การศึกษาเทคนิคการเพิ่มค่าความนำที่ใช้ค่าขนาดการก้าวที่แตกต่างกันและการควบคุมแบบฟัซซีสำหรับการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดในวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์

A STUDY ON MULTIPLE STEP SIZE INCREMENTAL CONDUCTANCE TECHNIQUE AND FUZZY LOGIC CONTROL FOR MPPT IN FLYBACK PV INVERTER

ภูมิ คงห้วยรอบ

POOM KONGHUAYROB

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

KMITL-2013-EN-M-020-067

การศึกษาเทคนิคการเพิ่มค่าความนำที่ใช้ค่าขนาดการก้าวที่แตกต่างกันและการควบคุมแบบฟัซซีสำหรับการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดในวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์

A STUDY ON MULTIPLE STEP SIZE INCREMENTAL CONDUCTANCE TECHNIQUE AND FUZZY LOGIC CONTROL FOR MPPT IN FLYBACK PV INVERTER

ภูมิ คงห้วยรอบ
POOM KONGHUAYROB

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2556
KMITL-2013-EN-M-020-067

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเทคนิคการเพิ่มค่าความนำที่ใช้ค่าขนาดการก้าวที่แตกต่างกันและการควบคุมแบบฟัซซีสำหรับการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดในวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์

A STUDY ON MULTIPLE STEP SIZE INCREMENTAL CONDUCTANCE TECHNIQUE AND FUZZY LOGIC CONTROL FOR MPPT IN FLYBACK PV INVERTER

ภูมิ คงห้วยรอบ
POOM KONGHUAYROB

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2556
KMITL-2013-EN-M-020-067

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY ON MULTIPLE STEP SIZE INCREMENTAL CONDUCTANCE TECHNIQUE AND FUZZY LOGIC CONTROL FOR MPPT IN FLYBACK PV INVERTER

POOM KONGHUAYROB

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2012
KMITL-2013-EN-M-020-067

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2013
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเทคนิคการเพิ่มค่าความนำที่ใช้ค่าขนาดการก้าวที่แตกต่างกันและการควบคุมแบบฟัซซีสำหรับการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดในวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์
Thesis Title	A Study on Multiple Step Size Incremental Conductance Technique and Fuzzy Logic Control for MPPT in Flyback PV Inverter
นักศึกษา	นายภูมิ คงห้วยรอบ
รหัสประจำตัว	55610738
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล
หมายเลขวิทยานิพนธ์	KMITL-2013-EN-M-020-067

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	**ลายมือชื่อ**
ดร.สมภพ ผลไม้	
ดร.นิรุธ จิรสุวรรณกุล	
ผศ.ดร.ณัฐภพ นิ่มปิติวัน	
ผศ.ดร.ชัยยันต์ เจตนาเสน	
ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2556 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(ศาสตราจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)
คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงสำนักหอสมุดฯ ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเทคนิคการเพิ่มค่าความนำที่ใช้ค่าขนาดการก้าวที่แตกต่างกันและการควบคุมแบบฟัซซีสำหรับการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดในวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์
นักศึกษา	นายภูมิ คงห้วยรอบ
รหัสประจำตัว	55610738
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2556
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล

บทคัดย่อ

โดยปกติเทคนิคการรบกวนและสังเกต (P&O) ได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางสำหรับการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในการเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ ค่าการปรับของดัชนีมอดูเลชั่นอินเด็กมีความสำคัญต่อวิธีการตามรอยกำลังไฟฟ้าภายใต้เทคนิครบกวนและสังเกต อย่างไรก็ตามถ้าอัตราการเปลี่ยนดัชนีมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) มากเกิน มีผลทำให้การแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่ามาก ในทางตรงกันข้ามถ้าอัตราการเปลี่ยนดัชนีมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) มีค่าน้อย มีผลทำให้การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดเป็นไปอย่างช้าแต่ส่งผลให้มีการแกว่งที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่ำ เพื่อแก้ปัญหาดังที่กล่าวมา วิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอการศึกษาเทคนิคการปรับค่าของอัตราการเปลี่ยนดัชนีมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) จำนวนสองเทคนิคได้แก่ เทคนิคแบบฟัซซีและเทคนิคการเพิ่มค่าความนำเพื่อให้มีการแกว่งของกำลังที่ต่ำประกอบกับใช้เวลาในการตามรอยที่น้อย โดยเทคนิคที่นำเสนอใช้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า (ΔP) และค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดัน (ΔV) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาเป็นอินพุตของระบบการควบคุมด้วยฟัซซีและเทคนิคการเพิ่มค่าความนำที่ใช้ค่าขนาดการก้าวที่แตกต่างกัน โดยประยุกต์ใช้ค่าความชันของกราฟเพื่อตัดสินใจเลือกค่าอัตราการเปลี่ยนดัชนีมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) ซึ่งถูกใช้ในการประมาณค่าเพื่อหาค่าอัตราการเปลี่ยนดัชนีมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) ที่เหมาะสม ผลจากการจำลองตลอดจนผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่นำเสนอทั้งสองเทคนิคสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามเทคนิคแบบฟัซซีสามารถเพิ่มกฎกรณีที่ต้องการความซับซ้อนของการควบคุมได้ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	STUDY OF MULTIPLE STEP SIZE INCREMENTAL CONDUCTANCE TECHNIQUE AND FUZZY LOGIC CONTROL FOR MPPT IN FLYBACK INVERTER
Student	Mr.Poom Konghuayrob
Student ID.	55610738
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2013
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Somyot Kaitwanidvilai

ABSTRACT

Generally, "perturb and observe (P&O)" technique is widely adopted in photovoltaic (PV) system to maximize the power from photovoltaic (PV) array. In PV grid connected system with flyback inverter, modulation index needs to be adjusted based on the P&O algorithm. However, if the step size of modulation index (Δma) is too high, there will be a large oscillation around the maximum power point (MPP). In contrary, the small step size of modulation index (Δma) results in slow tracking and small oscillation. To overcome this problem, this thesis proposes two techniques, i.e. fuzzy control and multiple step size Incremental Conductance (INC) to adjust the Δma to achieve both acceptable tracking time and small power oscillation. In the both proposed technique, the change of power (ΔP) and the change of PV voltage (ΔV) are adopted as the inputs of the proposed systems which are used to estimate the appropriate Δma. Simulation and experimental results concern that the both proposed techniques can perform the similar efficient power tracking in various irradiance conditions. Although INC is more simple; however, the fuzzy system is more flexible when other rule needs to be included in the future aspect.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยเรื่องการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้การควบคุมแบบฟัซซีในวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถประสบความสำเร็จได้ด้วยดีนั้น เกิดจากการทำงานด้วยความวิริยะอุตสาหะของผู้จัดทำ และได้รับคำแนะนำและการสนับสนุนจากบุคคล รวมถึงหน่วยงานที่เกี่ยวข้องหลายๆ ฝ่าย ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์ดังกล่าว ดังมีรายนามดังต่อไปนี้

ผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณในความกรุณา ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำชี้แนะแนวทางจนโครงงานชิ้นนี้สำเร็จตามเป้าหมาย และขอขอบพระคุณ อาจารย์วรกัลป์ ลิ้มเจริญ ที่ให้ความช่วยเหลือเพิ่มเติมด้วยความเอ็นดูเสมอมา ตลอดจนอาจารย์ในสาขาวิชาที่ประสิทธิประสาทความรู้ให้กับผู้จัดทำในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณนายพงศ์ดนัย ฉายอรุณ, นายปิยเชษฐ์ เสงี่ยมโพธิ์ และนางสาวมณีวัฒน์ แซ่โอ้ว นักศึกษาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำที่ดีตลอดการทำงาน และขอบคุณเพื่อนร่วมห้องปฏิบัติการที่ให้กำลังใจซึ่งกันและกันตลอดมา

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณนายนครศักดิ์ แสงศรเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ให้เบิกใช้เครื่องมือ ตลอดจนนางกมลวรรณ ถาวร, นายปุณยวีร์ ฉายศิริ, นางสาวสุภารัตน์ พุ่มย้อย และนางสาวนิตยา นากสุก เจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงงาน และขอขอบคุณนางสาวศนิ กลิ่นสนิท และนายศรุชา ยรรยง ที่คอยเป็นกำลังใจรวมทั้งให้ความช่วยเหลือร่วมทุกข์ร่วมสุขด้วยกันเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้คือบิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้จัดทำมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมาในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบไม่ได้ ผู้จัดทำระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ภูมิ คงห้วยรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	XIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	4
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน	5
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	5
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน	5
1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic)	8
2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์และการประยุกต์ใช้งาน	9
2.1.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	10
2.1.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน	10
2.1.2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน	11
2.1.2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน	11
2.1.3 คุณสมบัติและหลักการทำงานโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์	12
2.1.4 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	13
2.1.5 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	15
2.2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์	18
2.2.1 การทำงานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์	18
2.2.2 การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กของหม้อแปลงความถี่สูง	20
2.3 การมอดูเลชัน	25
2.3.1 การมอดูเลชันความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation: PWM)	25
2.4 ฮาร์มอนิกและตัวประกอบกำลัง	25
2.4.1 ฮาร์มอนิกและความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม	25
2.4.2 ผลกระทบของฮาร์มอนิกต่อระบบจ่ายไฟฟ้ากำลังหรือการไฟฟ้า	26
2.5 การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและการสังเกต	26
2.5.1 ขั้นตอนของวิธีการรบกวนและการสังเกต	27
2.6 การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีเพิ่มค่าความนำ	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 ฟัซซีลอจิก (Fuzzy logic)	30
2.7.1 ระบบฟัซซี	30
2.7.2 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับฟัซซีลอจิก	31
2.7.3 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก	32
2.7.4 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก	33
2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์	35
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์	37
3.1 โครงสร้างของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์	37
3.2 การออกแบบวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์แบบควบคุมด้วยวิธีการฟัซซี และการเพิ่มค่าความนำ	38
3.2.1 หลักการพื้นฐานของการม็อดดูเลชันความกว้างพัลส์	38
3.2.1.1 การทำงานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับโหลด	38
3.2.2 พิกัดอุปกรณ์ของอินเวอร์เตอร์	40
3.2.2.1 พิกัดกำลังของฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์	40
3.2.2.2 พิกัดกระแสไฟฟ้าของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์	41
3.2.2.3 ขนาดพิกัดของตัวสวิตช์	41
3.2.2.4 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง	42
3.3 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์	43
3.3.1 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม	43
3.3.2 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator)	45
3.3.3 วงจรตรวจจับสัญญาณซายน์สัมบูรณ์ที่มีเฟสตรงกับการไฟฟ้า	45
3.3.4 วงจรขับเกต (Gate Drive Control)	46
3.3.5 วงจรประวิงเวลา (Dead Time Circuit)	48
3.3.6 วงจรตรวจวัดจุดตัดศูนย์ของแรงดันการไฟฟ้า (Zero Crossing)	49
3.3.7 วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)	50
3.3.8 วงจรคูณ (Multiplier IC)	52
3.3.9 วงจรตรวจจับกระแส (Current sensor)	53
3.3.10 วงจรตรวจจับแรงดันไฟตรง (DC Voltage sensor)	54
3.4 การออกแบบระบบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	55
3.4.1 ระบบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการรบกวนและสังเกต	55
3.4.2 ระบบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการเพิ่มค่าความนำโดยใช้ ค่าอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชันอินเด็กแตกต่างกัน	57
3.4.3 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยการควบคุมแบบฟัซซี	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 4 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง		65
	4.1 การสร้างแบบจำลองกราฟคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์	65
	4.2 การจำลองระบบควบคุมแบบเทคนิคที่นำเสนอบนวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์	67
	4.3 การจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink	69
	4.3.1 ผลการจำลองการทำงานสภาวะความเข้มแสงแบบต่างๆ	69
	4.3.2 ผลการจำลองการทำงานภายใต้สภาวะที่ความเข้มแสงมีค่าเปลี่ยนแปลง	76
	4.4 การทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	81
	4.4.1 การทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิค P&O เทียบกับ เทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี ภายใต้ความเข้มแสงค่าต่างๆ	84
	4.4.1.1 การสร้างกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ค่าความเข้มแสง 390 W/m^2	84
	4.4.1.2 การทดลองตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มแสง 390 W/m^2	85
	4.4.1.3 การสร้างกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ค่าความเข้มแสง 570 W/m^2	91
	4.4.1.4 การทดลองตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มแสง 570 W/m^2	92
	4.4.1.5 การสร้างกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ค่าความเข้มแสง 790 W/m^2	98
	4.4.1.6 การทดลองตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มแสง 790 W/m^2	99
	4.4.2 การทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการแกว่งและสังเกตเทียบกับเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี ภายใต้ความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ	106
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา		111
	5.1 สรุปผลการทดลอง	111
	5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง	111
	5.3 แนวทางการพัฒนา	112
บรรณานุกรม		113
ภาคผนวก บทความที่ได้รับการตีพิมพ์		116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ 9
2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดต่อเชื่อมระบบสายส่งพลังงานไฟฟ้า..... 10
2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว..... 11
2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ แบบผลึกโพลี 11
2.5 เซลล์แสงอาทิตย์ แบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน..... 12
2.6 การทำงานเซลล์แสงอาทิตย์..... 13
2.7 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์โดยต่อเข้ากับโหลด..... 14
2.8 กราฟคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 15
2.9 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันเมื่อความเข้มแสงจากมากไปน้อย 16
2.10 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 16
2.11 ก. วงจรสมมูลของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ขณะทำงานที่ครึ่งคาบด้านไฟบวก 18
ข. วงจรสมมูลของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ขณะทำงานที่ครึ่งคาบด้านไฟบวก สวิตช์ S_{Pri} และ S_{sec1} ทำงาน ในขณะที่ D_1 หยุดนำกระแส..... 18
ค. วงจรสมมูลของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ขณะทำงานที่ครึ่งคาบด้านไฟบวก สวิตช์ สวิตช์ S_{Pri} หยุดทำงาน สวิตช์ S_{sec1} ทำงาน..... 19
2.12 สัญญาณกระแสปฐมภูมิและทุติยภูมิของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ และลำดับการทำงานของสวิตช์ S_{pri}, S_{sec1}, S_{sec2} รวมทั้งวิธีการสร้างสัญญาณ PWM 19
2.13 เส้นโค้งกระแส – แรงดัน จุดที่เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด..... 27
2.14 Flow Chart ลักษณะการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบรบกวนและสังเกต..... 28
2.15 หลักการพื้นฐานของเทคนิคการเพิ่มค่าความนำบนกราฟ PV..... 29
2.16 Flow Chart ลักษณะการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบการเพิ่มค่าความนำ..... 29
2.17 ตรรกะแบบจริงเท็จ (บูลีนลอจิก) กับตรรกะแบบฟัซซี่ (ฟัซซีลอจิก)..... 31
2.18 ความไม่แน่นอน (uncertainty)..... 32
2.19 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี่..... 32
2.20 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก 33
2.21 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก 33
2.22 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก 34
2.23 ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก 34
2.24 ขั้นตอนที่ 4 ของการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก 35
3.1 โครงสร้างของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์..... 37
3.2 วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ที่มีตัวตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบฟัซซีและการเพิ่มค่าความนำ แบบ ใช้ค่าความชันของกราฟ PV ออกแบบบนโปรแกรม MATLAB/simulink..... 38
3.3 วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์..... 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.4 ก. วงจรสมมูลของวงจรฟลายแบ็คขณะทำงานที่ครึ่งคาบด้านไฟบวกขณะสวิตช์ S_{pri} และ S_{sec1} ทำงาน 39
ข. วงจรสมมูลของวงจรฟลายแบ็คขณะทำงานที่ครึ่งคาบด้านไฟบวกขณะสวิตช์ S_{pri} หยุดทำงาน สวิตช์ S_{sec1} ทำงาน 40
3.5 ก. วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมแผนผังวงจร 44
ข. วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมวงจรจริง 44
3.6 ก. ภาพวงจรเปรียบเทียบสัญญาณแผนผังวงจร 45
ข. ภาพวงจรเปรียบเทียบสัญญาณวงจรจริง 45
3.7 ก. วงจรตรวจจับสัญญาณซายน์สัมบูรณ์จากการไฟฟ้าแผนผังวงจร 46
ข. วงจรตรวจจับสัญญาณซายน์สัมบูรณ์จากการไฟฟ้าวงจรจริง 46
3.8 ก. วงจรขับเกตด้านปฐมภูมิแผนผังวงจร 47
ข. วงจรขับเกตด้านปฐมภูมิวงจรจริง 47
3.9 ก. วงจรขับเกตด้านทุติยภูมิแผนผังวงจร 48
ข. วงจรขับเกตด้านทุติยภูมิวงจรจริง 48
3.10 ก. วงจรประวิงเวลาแผนผังวงจร 49
ข.วงจรประวิงเวลาวงจรจริง 49
3.11 ก. วงจรตรวจวัดจุดตัดศูนย์ของแรงดันการไฟฟ้าแผนผังวงจร 50
ข. วงจรตรวจวัดจุดตัดศูนย์ของแรงดันการไฟฟ้าวงจรจริง 50
3.12 ก. วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์แผนผังวงจร 51
ข. วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์วงจรจริง 51
3.13 ก. วงจรคูณแผนผังวงจร 52
ข. วงจรคูณวงจรจริง 52
3.14 ก. วงจรตรวจจับกระแสที่แผนผังวงจร 53
ข. วงจรตรวจจับกระแสวงจรจริง 53
3.15 ก. วงจรตรวจจับแรงดันไฟตรงแผนผังวงจร 54
ข. วงจรตรวจจับแรงดันไฟตรงวงจรจริง 54
3.16 แผนผังการทำงาน (Flow chart) ของเทคนิคการรบกวนและสังเกต (P&O) 56
3.17 แผนผังการทำงาน (Flow chart) ของเทคนิคการเพิ่มค่าความนำโดยใช้ค่าอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชันอินเด็กแตกต่างกัน (Multiple step size Incremental conductance) 57
3.18 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ $\Delta ma = 0.08$ (เส้นสีฟ้า), กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ $\Delta ma = 0.002$ (เส้นสีดำ) และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ Δma ถูกควบคุมด้วยฟัซซี่ (เส้นสีดำ) 59
3.19 โครงสร้างของการควบคุมแบบฟัซซี่ 60
3.20 แผนผังการทำงาน (Flow chart) ของเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่ 61
3.21 ค่าฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของอินพุตตัวที่ 1 และตัวที่ ($|\Delta P_{av}|$), ($|\Delta V_{av}|$) 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.22 เอาท์พุต (Δma) ในระบบสามมิติโดยใช้เทคนิค Sugeno ของระบบที่นำเสนอ.................... 64
4.1 วงจรทดสอบหาคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม MATLAB................ 65
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและแรงดันที่แต่ละความเข้มแสง....................................... 66
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่แต่ละความเข้มแสง 66
4.4 วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ที่จำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink......................... 67
4.5 วงจรสำหรับการควบคุมแบบฟัซซี่ของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์.................................. 67
4.6 (ก) สัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์..... 68
(ข) สัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์..... 68
4.7 (ก) แสดงผลตอบสนองของการควบคุมแบบฟัซซี่สัญญาณมอดูเลชั่นอินเด็ก......................... 69
(ข) แสดงผลตอบสนองของการควบคุมแบบฟัซซี่สัญญาณกำลังไฟฟ้าจริง 69
(ค) แสดงผลตอบสนองของการควบคุมแบบฟัซซี่สัญญาณกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย........................... 69
(ง) แสดงผลตอบสนองของการควบคุมแบบฟัซซี่ค่าการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้า........... 69
4.8 (ก) ผลการเปรียบเทียบค่ามอดูเลชั่นอินเด็กของทั้งสามเทคนิคที่ความเข้มแสง 500 W/m^2 70
(ข) ผลการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของทั้งสามเทคนิคที่ความเข้มแสง 500 W/m^2 70
4.9 (ก) แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่ความเข้มแสง 500 W/m^2 71
(ข) แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าที่ความเข้มแสง 500 W/m^2. 71
4.10 (ก) ผลการเปรียบเทียบค่ามอดูเลชั่นอินเด็กของทั้งสามเทคนิคที่ความเข้มแสง 500 W/m^2 72
(ข) ผลการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของทั้งสามเทคนิคที่ความเข้มแสง 500 W/m^2 72
4.11 (ก) แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่ความเข้มแสง 800 W/m^2 73
(ข) แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าที่ความเข้มแสง 800 W/m^2. 73
4.12 (ก) ผลการเปรียบเทียบค่ามอดูเลชั่นอินเด็กของทั้งสามเทคนิคที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2 74
(ข) ผลการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของทั้งสามเทคนิคที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2.... 74
4.13 (ก) แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2 75
(ข) แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2. 75
4.14 ผลการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงของการควบคุมสามเทคนิค .. 76
(ก) แสดงค่าของความเข้มแสง 76
(ข) แสดงค่ากำลังไฟฟ้าจริงจากการจำลองที่การควบคุมแบบ P&O (Δma=0.005) 76
(ค) แสดงค่ากำลังไฟฟ้าจริงจากการจำลองที่การควบคุมแบบฟัซซี่....................................... 76
(ง) แสดงผลการเปรียบเทียบของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของการควบคุมทั้งสามเทคนิค 76
4.15 ผลการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงของการควบคุมสามเทคนิค .. 77
(ก) แสดงค่าของความเข้มแสง 77
(ข) แสดงค่ากำลังไฟฟ้าจริงจากการจำลองที่การควบคุมแบบ P&O (Δma=0.01)................ 77
(ค) แสดงค่ากำลังไฟฟ้าจริงจากการจำลองที่การควบคุมแบบฟัซซี่....................................... 77
(ง) แสดงผลการเปรียบเทียบของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของการควบคุมทั้งสามเทคนิค 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.16 ผลการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงของการควบคุมสามเทคนิค .. 78
(ก) แสดงค่าของความเข้มแสง 78
(ข) แสดงค่ากำลังไฟฟ้าจริงจากการจำลองที่การควบคุมแบบ P&O (Δma=0.05)........ 78
(ค) แสดงค่ากำลังไฟฟ้าจริงจากการจำลองที่การควบคุมแบบฟัซซี่........ 78
(ง) แสดงผลการเปรียบเทียบของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของการควบคุมทั้งสามเทคนิค 78
4.17 กราฟระหว่างกำลังไฟฟ้ากับเวลาเมื่อเปลี่ยนค่าความเข้มแสงจาก 600 ถึง 700 W/m^2 79
4.18 วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ต้นแบบสำหรับใช้ทำการทดลอง 82
4.19 รูปแบบการเชื่อมต่อวงจรการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Flyback Inverter).... 82
4.20 สัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิจากการทดลอง 83
4.21 สัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิที่ได้จากการทดลอง........ 83
4.22 กำลังไฟฟ้า แรงดันและกระแสที่ได้จากการเปลี่ยนค่าความต้านทานอย่างรวดเร็ว ที่ความเข้มแสง 390 W/m^2 84
4.23 คุณลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากการทดลองที่ความเข้มแสง 390 W/m^2 84
4.24 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma = 0.01) ที่ความเข้มแสง 390 W/m^2 85
4.25 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma = 0.05) ที่ความเข้มแสง 390 W/m^2 86
4.26 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma = 0.1) ที่ความเข้มแสง 390 W/m^2 87
4.27 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการควบคุมการตามรอยกำลังไฟฟ้าแบบฟัซซี่ ที่ความเข้มแสง 390 W/m^2 88
4.28 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการเพิ่มค่าความนำชนิดขนาดการก้าวไม่เท่ากัน ที่ความเข้มแสง 390 W/m^2 89
4.29 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้าด้วยการปรับอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็กค่าต่างๆ เทียบกับเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่ที่ได้จากการทดลอง ที่ความเข้มแสง 390 W/m^2 90
4.30 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยการปรับอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็กค่าต่างๆ เทียบกับเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่ที่ได้จากการทดลอง ที่ความเข้มแสง 390 W/m^2 90
4.31 กำลังไฟฟ้า แรงดันและกระแสที่ได้จากการเปลี่ยนค่าความต้านทานอย่างรวดเร็ว ที่ความเข้มแสง 570 W/m^2 91
4.32 คุณลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากการทดลองที่ความเข้มแสง 570 W/m^2 91
4.33 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma = 0.01) ที่ความเข้มแสง 570 W/m^2 92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.34 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma = 0.05) ที่ความเข้มแสง 570 W/m^2 93
4.35 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma = 0.1) ที่ความเข้มแสง 570 W/m^2 94
4.36 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการควบคุมการตามรอยกำลังไฟฟ้าแบบฟัซซี่ ที่ความเข้มแสง 570 W/m^2 95
4.37 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการเพิ่มค่าความนำชนิดขนาดการก้าวไม่เท่ากัน ที่ความเข้มแสง 570 W/m^2 96
4.38 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้าด้วยการปรับอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็กค่าต่างๆ เทียบกับเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่ที่ได้จากการทดลอง ที่ความเข้มแสง 570 W/m^2 97
4.39 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยการปรับอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็กค่าต่างๆ เทียบกับเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่ที่ได้จากการทดลอง ที่ความเข้มแสง 570 W/m^2 97
4.40 กำลังไฟฟ้า แรงดันและกระแสที่ได้จากการเปลี่ยนค่าความต้านทานอย่างรวดเร็ว ที่ความเข้มแสง **790** W/m^2 98
4.41 คุณลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากการทดลองที่ความเข้มแสง **790** W/m^2 98
4.42 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma = 0.01) ที่ความเข้มแสง **790** W/m^2 99
4.43 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma = 0.05) ที่ความเข้มแสง **790** W/m^2 100
4.44 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma = 0.1) ที่ความเข้มแสง **790** W/m^2 101
4.45 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการควบคุมการตามรอยกำลังไฟฟ้าแบบฟัซซี่ ที่ความเข้มแสง **790** W/m^2 102
4.46 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการเพิ่มค่าความนำชนิดขนาดการก้าวไม่เท่ากัน ที่ความเข้มแสง **790** W/m^2 103
4.47 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้าด้วยการปรับอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็กค่าต่างๆ เทียบกับเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่ที่ได้จากการทดลอง ที่ความเข้มแสง **790** W/m^2 104
4.48 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยการปรับอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็กค่าต่างๆ เทียบกับเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่ที่ได้จากการทดลอง ที่ความเข้มแสง **790** W/m^2 104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.49 (ก) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลองที่รับแสงโดยตรง 106
(ข) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลองที่ปิดทับด้วยกระดาษลอกลาย 106
4.50 ผลการทดลองเมื่อทำการเปลี่ยนแสงด้วยเทคนิคการควบคุมแบบการรบกวนและสังเกต โดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma=0.01) 107
4.51 ผลการทดลองเมื่อทำการเปลี่ยนแสงด้วยเทคนิคการควบคุมแบบการรบกวนและสังเกต โดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma=0.01) 107
4.52 ผลการทดลองเมื่อทำการเปลี่ยนแสงด้วยเทคนิคการควบคุมแบบการรบกวนและสังเกต โดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma=0.01) 108
4.53 ผลการทดลองเมื่อทำการเปลี่ยนแสงด้วยเทคนิคการควบคุมแบบการรบกวนและสังเกต โดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma=0.01) 108
4.54 ผลการทดลองเมื่อทำการเปลี่ยนแสงด้วยเทคนิคการควบคุมแบบเทคนิคที่นำเสนอที่ 1 : ฟัซซี่ลอจิก 109
4.55 ผลการทดลองเมื่อทำการเปลี่ยนแสงด้วยเทคนิคการควบคุมแบบเทคนิคที่นำเสนอที่ 2 : การเพิ่มค่าความนำแบบค่าการก้าวไม่เท่ากัน 109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 เปรียบเทียบทิศทางการรบกวน การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าและทิศทางครั้งต่อไป 27
3.1 กฎของเทคนิคการเพิ่มค่าความนำแบบเทคนิคที่นำเสนอ 58
3.2 กฎการควบคุมแบบฟัซซี่ของเทคนิคที่นำเสนอ 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

จากวิกฤตการณ์การขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงและพลังงานทดแทนที่ใช้ในปัจจุบันทั่วโลกจึงมีความตื่นตัวในการนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ ได้แก่ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ ไฮโดรเจน และพลังงานชีวมวล เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ได้รับความนิยมและถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายและมีแนวโน้มที่จะมีการใช้เพิ่มสูงขึ้นในอนาคตอันใกล้ เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นพลังงานสะอาดไม่มีพิษต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นพลังงานที่สามารถหาใช้ได้ง่าย

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะแก่การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า ดังนั้นการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และเอกชน จึงจัดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นเพื่อจ่ายไฟฟ้าไปยังชนบทที่ไฟฟ้ายังเข้าไม่ถึงและแบ่งเบาภาระการผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต โดยแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2555-2573 (PDP2010 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3) มีเป้าหมายการเพิ่มกำลังการผลิตรวมของพลังงานหมุนเวียนประเภทพลังงานแสงอาทิตย์ จากปัจจุบันมีกำลังการผลิต 138.0 MW (กำลังการผลิตปัจจุบันปี 2554) เป็น 1,806.4 MW ในปี 2564 และ 3,802 MW ในปี 2573 ตามลำดับ [24] ในต่างประเทศสมาคมพลังงานทดแทนแห่งยุโรป ได้ศึกษาและทำการวิจัยเรื่องพลังงานทดแทนได้ทำนายว่าในอนาคตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีปริมาณการใช้เพิ่มขึ้น 31% ในปี 2583

เนื่องจากในปัจจุบันมีผู้ให้ความสนใจกับพลังงานแสงอาทิตย์กันมากขึ้น โดยนักวิชาการหรือผู้ที่มีความสนใจในการหาพลังงานทดแทนได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อเพิ่มความสามารถในการเก็บสะสมพลังงานเพื่อประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นอุปกรณ์แปลงผันพลังงานจึงมีความสำคัญมากในการเพิ่มประสิทธิภาพ แต่ปัญหาหลักในการพัฒนาอุปกรณ์หรือเครื่องมือต่างๆ เมื่อมีการปรับปรุงประสิทธิภาพให้ดีขึ้นราคาของอุปกรณ์และการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ก็มีราคาสูงขึ้นด้วย โดยที่พลังงานแสงอาทิตย์ได้มีการพัฒนาและมีการประยุกต์ใช้ในหลายๆ รูปแบบ ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผงสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 125 วัตต์ สำหรับระบบขนาดเล็กทำให้สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุดตามความเข้มของแสงอาทิตย์ (solar radiation) อุณหภูมิสภาพแวดล้อม (ambient temperature) และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (solar cell temperature) จากนั้นต้องมีอุปกรณ์แปลงกำลังไฟฟ้าจากกระแสตรงที่ได้รับจากแผงโซล่าเซลล์ให้เป็นกระแสสลับ ซึ่งใช้วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ซึ่งมีอุปกรณ์สวิตซ์เพียง 3 ตัวเท่านั้น โดยจะทำการแปลงกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกำลังไฟฟ้ากระแสสลับและยกระดับแรงดันเพื่อให้สามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบกริดการไฟฟ้า หลักการโดยทั่วไปจะมีราคาในกระบวนการผลิตและการติดตั้งที่สูงมาก ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ประยุกต์ใช้วงจรเพื่อทำให้เป็นระบบที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำและง่ายต่อการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดตั้ง ซึ่งจากผลงานวิจัยในอดีตได้มีการใช้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์ โดยปรับค่าม็อดดูเลชันความกว้างพัลส์เผื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีอนาล็อก โดยมีข้อจำกัดที่เมื่อแสงเปลี่ยนจะไม่สามารถเปลี่ยนตามความเข้มของแสงได้อย่างอัตโนมัติ ตัวอย่างเช่นบทความการแปลงกำลังไฟฟ้าของแผงโซล่าเซลล์ โดยใช้อินเวอร์เตอร์ฟลายแบ็คหนึ่งเฟส ที่มีกระแสกระเพื่อมความถี่ต่ำของคุณ Shimizu และคณะ [1] เป็นการควบคุมโดยใช้เทคนิคการม็อดดูเลชันความกว้างพัลส์ โดยใช้ประกอบกับวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ ผลปรากฏว่าสามารถหากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผงโซล่าเซลล์ โดยการปรับการปรับค่าการม็อดดูเลชันความกว้างพัลส์แบบอนาล็อค ซึ่งต้องปรับตามความเข้มแสง คุณ Shimizu และคณะ [2] ได้ศึกษาถึงผลของเมฆที่บังแผงโซล่าเซลล์ที่มีผลต่อการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด จึงได้แก้ไขด้วยการใส่ตัวควบคุมให้แผงโซล่าเซลล์หลายแผง โดยมีตัวควบคุมทุกแผง เพื่อให้แต่ละแผงหากำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ และทำการเพิ่มกำลังไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์ โดยใช้วงจรดีคัปปลิ้ง (Decoupling circuit) เป็นผลให้ ใช้ตัวเก็บประจุ (capacity) ที่ต่อกับแรงดันกระแสตรงขาเข้า มีขนาดเล็กลง ทำให้เกิดค่าสูญเสียที่ลดลง ทำให้เพิ่มกำลังไฟฟ้าให้มากขึ้น โดยใช้วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ในการแปลงกำลังไฟฟ้า คุณ Kyritsis และคณะ [3] ได้ศึกษาและออกแบบวงจรแปลงกำลังไฟฟ้าโดยใช้วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์แปลงกำลังที่ได้จากแผงโซล่าเซลล์ เพื่อเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้า โดยทำการศึกษาถึงการออกแบบเพื่อให้วงจรสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าออกไปได้สูงที่สุด ผลปรากฏว่าวงจรฟลายแบ็คชนิดการทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง (discontinuous conduction mode : DCM) สามารถทำได้ง่ายและราคาถูก โดยสามารถส่งผ่านกำลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ คุณ Kyritsis และคณะ [4] ทำการออกแบบวงจรหม้อแปลงฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์แหล่งจากกระแสทั้งแบบ BCM (Between continuous and discontinuous conduction mode) และ DCM (Discontinuous conduction mode) แล้วนำมาประยุกต์เข้ากับการตามรอยหากำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT) ด้วยการปรับการม็อดดูเลชันความกว้างพัลส์ คุณ Kerekes และคณะ [5] การควบคุมแรงดันของแผงโซล่าเซลล์ด้วยเทคนิคตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยเปรียบเทียบวิธีการแบบรบกวนและสังเกต (Perturbation and Observation: P&O) กับเทคนิคการเปลี่ยนแปลงอัตราการเพิ่มกำลังและความนำ (dP incremental conductance : dP-INC) โดยในตอนเริ่มต้นจะตามรอยแบบไต่เขา (Hill climbing) ได้ผลปรากฏว่า P&O ใช้เวลาที่นานกว่าแบบการเปลี่ยนแปลงอัตราการเพิ่มกำลังและความนำ (dP incremental conductance : dP-INC) แต่พอถึงช่วงคงตัวจะใช้เวลาใกล้เคียงกัน คุณ Fangrui Liu และคณะ [6] ได้ศึกษาถึงการเปรียบเทียบเทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT) ระหว่างวิธีการแบบรบกวนและสังเกต (Perturbation and Observation: P&O) กับวิธีแบบการฮิลคลามมิ่ง (Hill Climbling) โดยพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าขาออกกับเวลา พบว่าเทคนิคP&O สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ดีและรวดเร็วกว่าแบบเทคนิคฮิลคลามบิ้ง ซึ่งเทคนิคP&O เหมาะที่จะใช้กับระบบโซล่าเซลล์ ส่วนเทคนิค Hill Clambling อุปกรณ์จะถูกและเหมาะสมที่จะใช้กับระบบแบตเตอร์รี่ คุณ Kasa และคณะ [7] ได้นำเสนอเทคนิคการควบคุมวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์โดยทำการปรับปรุงจากเทคนิคเดิมที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์วัดกระแสและแรงดันมาเพื่อคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า สำหรับใช้ตามรอยกำลังไฟฟ้าต่อไป โดยเทคนิคที่เสนอนี้จะไม่ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดกระแสทำให้ลดอุปกรณ์ลงจึงทำให้ราคาถูกกว่าแบบเดิม รวมถึงการเลือกใช้วงจรฟลายแบ็คแทนวงจรบัค-บูส เพราะมีการใช้สวิตซ์ที่น้อยกว่าช่วยลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่สวิตซ์และราคาถูก รวมถึงยังมีประสิทธิภาพที่สูงกว่า Pongsakorn และคณะ [8] ได้ศึกษาการควบคุมการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยระบบฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy logic control) ในการควบคุมการปรับค่าดิวตี้ไซเคิลของความกว้างพัลส์ของวงจรดีซีคอนเวอร์เตอร์ โดยใช้หลักการของค่าความชันของกราฟกำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ผลลัพธ์คือเทคนิคนี้สามารถตรวจหากำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างรวดเร็วและมีความเสถียรกว่าแบบP&O โดยสามารถดูได้จากกราฟคุณลักษณะ คุณ Femia และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพของการตรวจหากำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยทำการปรับเปลี่ยนช่วงเวลาการแซมปิ้ง ให้เหมาะสมกับความเข้มแสง ซึ่งผลปรากฏว่าสามารถวิเคราะห์หาค่าช่วงเวลาที่เหมาะสมของการแซมปิ้งในการตรวจหากำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ โดยสามารถตรวจหาได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้เหมาะสมกับช่วงของแสง คุณ Nicola และคณะ [10] ได้ศึกษาถึงเทคนิคการรบกวนและการสังเกต (Perturbation and Observation: P&O) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ผลปรากฏว่า เทคนิค P&O เป็นวิธีที่นิยมใช้ เพราะความสะดวกในการทำงาน แต่ยังมีข้อเสียเปรียบที่ว่า ที่สภาวะคงตัวนั้นจะมีการแกว่งรอบๆจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPP) ทำให้เสียพลังงานบางส่วนไป นอกจากนี้ P&O ในกรณีที่มีการเปลี่ยนช่วงแสงอย่างรวดเร็ว P&O จะทำให้การตรวจหากำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบมีความคลาดเคลื่อนได้ คุณ Khamphakdi และคณะ [11] ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ถึงการออกแบบตัวกรองฮาร์มอนิกส์ของวงจรอินเวอร์เตอร์ โดยจำลองผ่านโปรแกรม PSpice ซึ่งผลลัพธ์คือ เมื่อสังเกตจากกราฟสเปตรัมฮาร์มอนิกส์หลังผ่านวงจรกรองแล้วสเปกตรัมของฮาร์มอนิกที่ไม่ต้องการนั้นถูกกรองออกหมด และสามารถเชื่อมต่อกริดผ่านตัวเหนี่ยวนำเชื่อมต่อกริดโดยกระแสและแรงดันอยู่ในเฟสเดียวกัน คุณ Hyosung Kim และคณะ [12] ได้ศึกษาถึงการออกแบบวงจรกรองก่อนเชื่อมต่อระบบกริด การไฟฟ้าชนิดหนึ่งเฟส โดยทำการศึกษาเมื่อมีการปรับค่าการม็อดดูเลชันความกว้างพัลส์ รวมถึงชนิดของการม็อดดูเลชันทั้งแบบ Unipolar และ Bipolar ทำให้สามารถวิเคราะห์สเปกตรัมเพื่อคำนวณหาค่า LC สำหรับวงจรกรองฮาร์มอนิกส์ได้ คุณ Kim และคณะ [13] ได้นำเสนอการควบคุมวงจรกรองด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาควบคุม โดยนำมาพัฒนาแก้ไขข้อเสียของวงจรกรองแบบเก่าที่ไม่ได้ใช้ตัวควบคุมแบบไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วนำมาออกแบบวงจรตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ แบบวงจรกรองความถี่ต่ำ (LC Low Pass Filter) โดยผลปรากฏว่าสามารถกรองฮาร์มอนิกได้ดีกว่าแบบเก่าเป็นอย่างมาก คุณ Hanju Cha และคณะ [14] ได้ทำการเปรียบเทียบการต่อฟิลเตอร์รูปแบบ L filter, LC filter และ LCL filter ผลปรากฏว่าการใช้ filter แบบ LC และ LCL filter สามารถกรองฮาร์มอนิกส์ โดยเมื่อพิจารณากราฟของกระแสมีกระแสกระเพิ่มที่ต่ำมากโดยมีค่าความผิดเพี้ยนที่น้อยซึ่งเหมาะแก่การเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้า คุณ Hyosung Kim และคณะ [15] ได้ศึกษาถึงวงจรกรองความถี่ต่ำสำหรับม็อดดูเลชันความกว้างพัลส์ ซึ่งจะสร้างฮาร์มอนิกส์ความถี่ในลำดับต่างๆขึ้นมา จากการวิเคราะห์ จะได้ว่าความถี่คัทออฟได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำกัดแบนวิดของ converter เพื่อนำมาวิเคราะห์หาตัวกรองเพื่อกรองฮาร์มอนิกลำดับต่างๆออกได้อย่างเหมาะสม ซึ่งในบทความนี้ได้เสนอการเลือกค่า LC เพื่อกำหนดความถี่คัทออฟในสภาวะต่างๆ ทั้งสภาวะไร้โหลด, โหลดความต้านทาน และ โหลดตัวเหนี่ยวนำ จากการนำเสนองานวิจัยและบทความที่ผ่านมานั้น วงจรแปลงกำลังไฟฟ้าที่ได้รับความนิยมมากและใช้กันอย่างแพร่หลายนั้นคือวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ที่มีข้อดีคือใช้จำนวนสวิตซ์ที่น้อยกว่าเพียงแค่ 3 ตัว ซึ่งทำให้มีค่าสูญเสียที่สวิตซ์น้อยกว่า โดยใช้การควบคุมการตามรอยกำลังไฟฟ้าด้วยการปรับค่ามอดูเลชันอินเด็กที่ถูกสร้างจากการนำค่าสัญญาณซายน์สัมบูรณ์ขนาด 50 เฮิร์ทซ์ มาเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยมเพื่อสร้างสัญญาพัลส์วิดมอดูเลชัน (PWM) เพื่อขับมอสเฟตทางด้านฝั่งปฐมภูมิของหม้อแปลงฟลายแบ็คความถี่สูง โดยค่าอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชันอินเด็ก (Δma) ส่งผลต่อค่าการแกว่งของกำลังที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดและเวลาที่ใช้ในการตามรอย โดยในส่วยของวงจรกรองฝั่งเอาท์พุตนั้นใช้วงจรกรองตัวเหนี่ยวนำตัวเก็บประจุแบบความถี่ต่ำผ่าน (LC Low pass filter) เพื่อใช้กรองฮาร์มอนิกลำดับต่ำที่ไม่ใช่ความที่มูลฐานออกและใช้เชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้าต่อไป ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการพัฒนา ตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการตามรอยแบบฟัซซีร่วมกับการตามรอยและสังเกต (Fuzzy based P&O) รวมทั้งเทคนิคการเพิ่มค่าความนำที่ใช้ขนาดการก้าวไม่เท่ากัน (Multiple step size Incremental Conductance) สำหรับอินเวอร์เตอร์ฟลายแบ็คเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในเทคโนโลยีโมดูลกระแสสลับด้วยวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับแบบฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ (Flyback Inverter) โดยทั่วไปจะทำหน้าที่ขยายขนาดแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Voltage) แผงเดียวให้สูงขึ้นและมีการแปลงแรงดันให้อยู่ในรูปของซายน์สัมบูรณ์ (Absolute Sine) โดยใช้วิธีสวิตชิ่งความถี่สูงแบบกระแสไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous Conduction Mode) จากนั้นจะมีวงจรที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณซายน์สัมบูรณ์ (Absolute Sine) ให้กลายเป็นสัญญาณไซน์ (Sine Wave) ความถี่ 50Hz เพื่อเชื่อมต่อกับโหลดที่มีพิกัดการดึงกำลังไฟฟ้าได้ 100 วัตต์ได้

โครงงานนี้นำเสนอการพัฒนาตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิคการตามรอยแบบฟัซซี่และเทคนิคการตามรอยแบบเพิ่มค่าความนำที่ใช้ค่าอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชัน (Δma) ที่แตกต่างกันตามค่าความชันของกราฟคุณลักษณะและใช้ค่าน้ำหนักที่มากสำหรับการตามรอยทางขวาของกราฟ PV และในทางตรงกันข้ามใช้ค่าน้อยกว่าเมื่อการตามรอยอยู่ทางด้านซ้ายของกราฟ PV ในวงจรดังกล่าวข้างต้นเพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดในทุกช่วงความเข้มแสง โดยชุดควบคุมที่พัฒนาขึ้นในโครงงานนี้จะใช้ตัวควบคุมสัญญาณดิจิตอล dsPIC30F4011 และใช้เทคนิคที่ใช้ในการหากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking : MPPT) แบบเทคนิคฟัซซี่ร่วมกับวิธีการรบกวนและการสังเกต (Fuzzy based P&O) รวมทั้งเทคนิคการเพิ่มค่าความนำแบบปรับค่าอัตราการเปลี่ยนดัชนีมอดูเลชันอินเด็กที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาด้านการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุดและเวลาที่ใช้ในการตามของเทคนิคการตามรอยแบบรบกวนและสังเกตแบบธรรมดาได้ใกล้เคียงกัน โดยผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์และผลการทดลองจะได้นำเสนอในบทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

จุดมุ่งหมายในการทำวิจัยนี้เพื่อสร้างวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ต้นแบบสำหรับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ โดยมีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดึงกำลังไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

1.2.2 เพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตลอดจนสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้อย่างปลอดภัยและไม่มีอันตราย

1.2.3 เพื่อศึกษาด้านการประยุกต์ใช้วงจรแปลงผันพลังงานสำหรับงานด้านพลังงานทดแทน

1.2.4 เพื่อสร้างต้นแบบอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อโหลด 100 วัตต์ สำหรับแผงโซล่าเซลล์หนึ่งแผงสำหรับการนำไปใช้งานจริงต่อไป

1.2.6 เพื่อศึกษาการทำงานของระบบ MPPT (Maximum Power Point Tracking) โดยใช้การควบคุมแบบฟัซซี่บนพื้นฐานการรบกวนและสังเกต (Fuzzy based Perturbation and Observation) และเทคนิคการตามรอยแบบเพิ่มค่าความนำที่ใช้ขนาดอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชันอินเด็กไม่เท่ากัน และนำมาประยุกต์ใช้เพื่อให้สามารถดึงกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานได้มากที่สุด

1.2.7 เพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียนเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน

โครงการวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษา ออกแบบ รวมทั้งสร้างเครื่องต้นแบบของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ชุดแปลงผันกำลังไฟฟ้าในการเชื่อมต่อกับโหลด สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผงพิกัดกำลังไฟฟ้า 100 วัตต์ โดยขอบเขตของโครงงานนี้คือสร้างต้นแบบวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์และสามารถเชื่อมต่อกับโหลดได้ โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผงที่นำระบบ MPPT แบบฟัซซี่ร่วมกับการรบกวนและสังเกตรวมทั้งเทคนิคการเพิ่มค่าความนำที่ใช้ค่าขนาดการก้าวไม่เท่ากัน เข้ามาควบคุม ทำให้กำลังที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นกำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละความเข้มแสงและจำลองการทำงานของวงจรโดยใช้โปรแกรม MATLAB/simulink รวมทั้งศึกษาผลที่ได้จากการทดลองเพื่อวิเคราะห์ ปรับปรุง และพัฒนาวงจรต้นแบบฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในขั้นต่อไป

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1.4.1 จัดเตรียมหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัย ศึกษาข้อมูลและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยทั้งหมด สำหรับงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

1.4.2 จัดหาและเตรียมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งหมด รวมถึงศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือชนิดต่างๆ

1.4.3 ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ด้วยเทคนิคที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.4 ทดสอบและปรับปรุงเครื่องต้นแบบวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ด้วยเทคนิคที่นำเสนอ

1.4.5 สรุปผลของงานวิจัย เพื่อจัดทำวิทยานิพนธ์ต่อไป

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน

1.5.1 โครงการวิจัยนี้จะทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการนำ เทคนิค MPPT มาใช้กับการทำงานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะทำการดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยอัตโนมัติในแต่ละช่วงของระดับความเข้มแสง

1.5.2 วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์สามารถใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการนำกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้

1.5.3 วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ที่จัดทำขึ้นสามารถเชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้าและสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนกลับให้การไฟฟ้าได้

1.5.4 ชุดแปลงผันกำลังไฟฟ้าสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้มีราคาสูงมาก แต่วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ที่จัดทำขึ้นนั้นสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ทำให้มีราคาที่ถูกกว่า

1.5.5 โครงงานวิจัยนี้เป็นการบูรณาการระหว่างวิทยาการทางด้านต่างๆ เช่น อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ระบบไฟฟ้ากำลัง และระบบควบคุมเข้าด้วยกัน ซึ่งย่อมก่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้ศึกษาค้นคว้าวิจัยในสาขาดังกล่าว

1.5.6 โครงงานนี้เป็นอีกหนึ่งทางเลือกของการพัฒนาในด้านพลังงานทดแทนและสามารถพัฒนาเพื่อนำไปใช้งานจริงได้

1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในวิทยานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะประกอบด้วยเนื้อหาสาระที่เกี่ยวข้องกับการจัดทำวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์สำหรับการเชื่อมต่อกับโหลด 100 วัตต์ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคโนโลยีโมดูลกระแสสลับ ซึ่งสามารถแบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ของโครงงาน ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน รวมถึงวิธีการดำเนินงาน และแผนการดำเนินโครงงาน ตลอดจนประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีเซลล์แสงอาทิตย์ การประยุกต์ใช้งาน ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ หลักการทำงานโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ คุณสมบัติต่างๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อเซลล์แสงอาทิตย์ ทฤษฎีของชุดแปลงผันกำลังไฟฟ้าของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ และหลักการพื้นฐานของการมอดูเลชัน นิยามต่างๆ ของหลักการ และหลักการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยฟัซซีรวมทั้งเทคนิคแบบเพิ่มค่าความนำ

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและจัดสร้างชิ้นงานจริง การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์แบบควบคุมด้วยกระแส พิกัดต่างๆ ของอุปกรณ์ในวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ รวมถึงวิธีการคำนวณในการออกแบบวงจรกำลัง และอธิบายการทำงานในส่วนต่างของวงจรควบคุมได้แก่ วงจรสร้างสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามเหลี่ยม วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ วงจรขับเกต วงจรประวิงเวลา วงจรตรวจวัดจุดตัดศูนย์ของแรงดันการไฟฟ้า วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรคูณ วงจรตรวจจับกระแส และวงจรตรวจวัดแรงดัน รวมทั้งอธิบายวิธีการทำงานของวิธีการตามรอยกำลังไฟฟ้าแบบฟัซซี และการเพิ่มค่าความนำที่กำหนดค่าอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชันอินเด็กจากความชันของกราฟ PV

บทที่ 4 แสดงผลการจำลองการทำงานของด้วยโปรแกรม MATLAB และผลการทดจากวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ที่ได้จัดทำขึ้นโดยจะแสดงผลดังนี้ สัญญาณขับสวิตซ์ด้านปฐมภูมิ สัญญาณกระแส แรงดันด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง สัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจวัดจุดตัดศูนย์ สัญญาณขับสวิตซ์ด้านทุติยภูมิ สัญญาณจากวงจรขับเกต สัญญาณแรงดันจากอินเวอร์เตอร์ สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อกับโหลด รวมทั้งผลการเปรียบเทียบเชิงคุณสมบัติทางด้านความเร็วในการตามรอยและการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ของทั้งเทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าแบบ P&O ธรรมดา, การตามรอยแบบฟัซซี่ร่วมกับ P&O และการตามรอยแบบเพิ่มค่าความนำที่กำหนดค่าอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชันอินเด็กจากความชันของกราฟ PV

บทที่ 5 กล่าวถึงบทสรุปที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าและจากการดำเนินการจัดทำโครงงานสรุปผลการทดลองที่ได้ ตลอดจนข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนาที่เกี่ยวข้องกับโครงงานวิจัยนี้

ภาคผนวก สำหรับในส่วนของภาคผนวกนี้จะประกอบไปด้วยรูปถ่ายเครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริง รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง มาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิง ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดสร้างชิ้นงานต่างๆ ทั้งหมดตลอดจนบทความวิชาการรวม 2 บทความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic)

เซลล์แสงอาทิตย์ หรือเซลล์ Photovoltaic ซึ่งล้วนมีที่มาจากคำว่า Photovoltaic โดยแยกออกเป็นคำว่า Photo ซึ่งหมายถึง แสง และ Volt หมายถึง แรงดันไฟฟ้า เมื่อรวมคำแล้วหมายถึงกระบวนการผลิตจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แนวความคิดนี้ได้ถูกค้นพบมาตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1839 แต่เซลล์แสงอาทิตย์ก็ยังไม่ถูกสร้างขึ้นมา จนกระทั่งใน ปี ค.ศ. 1954 จึงมีการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ และได้ถูกนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับดาวเทียมในอวกาศ เมื่อ ปี ค.ศ. 1959 ดังนั้น สรุปได้ว่า **เซลล์แสงอาทิตย์** คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน (Silicon) แกลเลี่ยม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide) อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium Phosphide) แคดเมียม เทลเลอร์ไรด์ (Cadmium Telluride) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองข้างของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ได้จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งสามารถนำไปต่อใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยตรงหรือนำมาผ่านคอนเวอร์เตอร์เพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อนำไปใช้งานได้ต่อไป

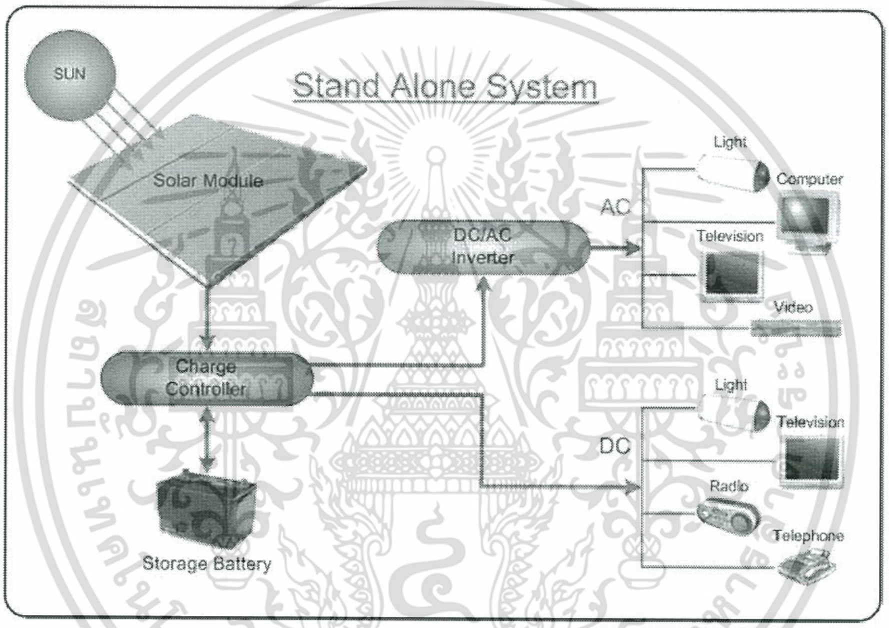
พลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ เป็นพลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย และมีอยู่อย่างไม่จำกัด ไม่ว่าจะนำไปใช้เกี่ยวกับวิธีพื้นบ้านหรือวิธีทางวิทยาศาสตร์ก็ตาม แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งได้นำพลังงานแสงไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า โดยผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) สามารถดึงพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ได้โดยตรง และสามารถเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าจากแสงได้ในรูปของแบตเตอรี่เพื่อใช้งานในด้านต่างๆ เช่น ใช้เปิดไฟในตอนกลางคืนสำหรับบ้านพักอาศัยที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง เป็นต้น จะเห็นว่าปัจจุบันนี้คนส่วนใหญ่หันมาให้ความสนใจพลังงานทางด้านนี้มากขึ้น เนื่องจากมีความสะอาด บริสุทธิ์ ไม่ส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม และในเชิงพาณิชย์จะสามารถช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าได้ แต่มีข้อเสียในเรื่องของต้นทุนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาสูงและมีน้ำหนักมาก ทำให้นักวิจัยต่างๆ มีความต้องการที่จะพัฒนาเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ในหลายๆด้าน ไม่ว่าจะเป็นด้านการดึงพลังงานไปใช้ให้ได้มากที่สุด หรือด้านของวัสดุที่ใช้ทำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีต้นทุนที่ต่ำลง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์และการประยุกต์ใช้งาน

ในปัจจุบันนั้นเซลล์แสงอาทิตย์มีการประยุกต์ใช้งานในหลายๆ ด้านโดยแบ่งเป็น 2 ประเภทดังนี้**ระบบ**ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (stand alone solar systems) **และ** ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดต่อเชื่อมระบบสายส่ง (grid-connected solar systems)

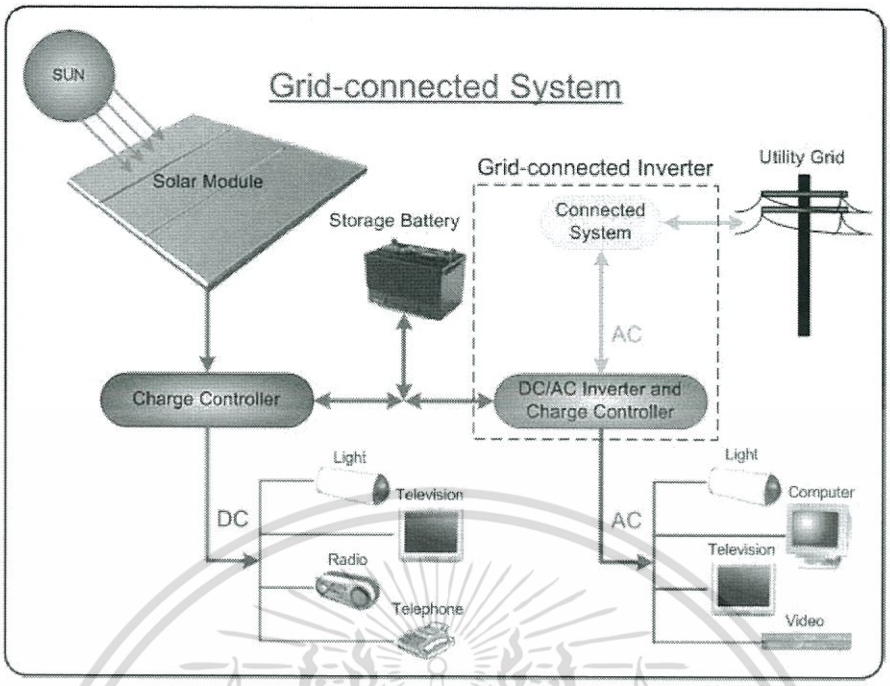
โดยระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระในระบบประเภทนี้สามารถพบเห็นได้ตามสถานที่ต่างๆ เช่น สัญญาณไฟจราจรพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องบำบัดน้ำเสียพลังงานแสงอาทิตย์ หรือให้เซลล์แสงอาทิตย์ชาร์จไฟฟ้าเก็บไว้ในแบตเตอรี่แล้วจ่ายไฟฟ้าให้เก็บเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ซึ่งจะมีข้อดีคือไม่ต้องจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์นั้นๆ เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้าใช้เองได้ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ [16]

ในส่วน**ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดต่อเชื่อมระบบสายส่ง**พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกนำมาแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับด้วยอินเวอร์เตอร์ เพื่อจ่ายให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า และหากระบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าที่เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ต้องการ พลังงานไฟฟ้าที่เหลือก็จะถูกขายคืนให้กับการไฟฟ้าได้ ดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดต่อเชื่อมระบบสายส่ง**พลังงานไฟฟ้า [16]**

2.1.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาและใช้งานในปัจจุบันนั้น แทบทั้งหมดทำจากธาตุ silicon ซึ่งเป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับสองบนโลกรองจากออกซิเจน โดยสิ่งที่เห็นรอบตัว เช่น ทรายตามชายหาด หินต่างๆ ล้วนมีซิลิคอนเป็นส่วนประกอบหลักๆ นั้นคือ เป็นธาตุที่มีมากมายเหลือใช้ (การนำมาทำให้บริสุทธิ์ใช้งานได้ ต้องมีเทคนิคและใช้พลังงาน รวมถึงต้องมีค่าใช้จ่าย) ซิลิคอนเป็นวัตถุดิบที่ใช้มากในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำในปัจจุบัน ซึ่งเรียกได้ว่าเป็นเมล็ดข้าวสารของอุตสาหกรรมเลยทีเดียว ทรานซิสเตอร์, ไอซี (Integrated Circuit : IC) และวงจรแอลเอสซี (Large Scale Integration : LSI) โดยส่วนใหญ่แล้วมักสร้างจากซิลิคอนทั้งสิ้น ซึ่งในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ในแง่ของวัตถุดิบได้มีอุตสาหกรรมรองรับอยู่แล้ว โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนแบ่งตามโครงสร้างได้ 3 แบบคือ

2.1.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน (Single crystalline silicon solar cell : c-Si) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar Cell ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก ซิลิกอนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในโลกชนิดหนึ่ง สามารถถลุงได้จากหินและทราย โดยนิยมใช้ธาตุซิลิกอนในงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้ทำทรานซิสเตอร์ ไอซี และเซลล์แสงอาทิตย์ เทคโนโลยี c-Si ได้รับความนิยมและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย นิยมใช้งานในพื้นที่เฉพาะ ได้แก่ ในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีไฟฟ้าใช้เป็นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว [17]

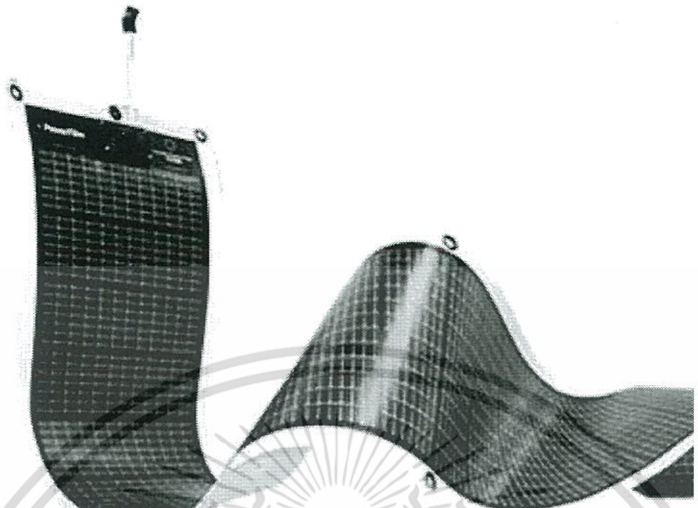
2.1.2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิผลึกโพลีซิลิกอน (Polycrystalline silicon solar cell: p-Si) เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกโพลีได้ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของแบบผลึกเดี่ยวซิลิคอนโดยทำให้ลดต้นทุนให้ต่ำกว่าถึงร้อยละ 10 อย่างไรก็ตาม เทคนิค p-Si ได้รับความนิยมและใช้งานอย่างแพร่หลายเช่นกัน

รูปที่ 2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ แบบผลึกโพลี **[18]**

2.1.2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (amorphous silicon solar cell: a-Si) ลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน (0.0005 มม.) น้ำหนักเบามาก และประสิทธิภาพเพียง 5-10% เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ธาตุซิลิกอนเช่นกัน แต่จะไม่เป็นผลึก แต่ผลของสารอะมอร์ฟัสจะทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางของซิลิกอน ซึ่งมีความบางประมาณ 300 นาโนเมตร ทำให้ไม่สิ้นเปลืองเนื้อวัสดุ น้ำหนักเบา การผลิตทำได้ง่าย และข้อดีของ a-Si ไม่เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม จึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะที่จะประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กินไฟฟ้าน้อย เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ วิทยุทรานซิสเตอร์ เป็นต้น



รูปที่ 2.5 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน [19]

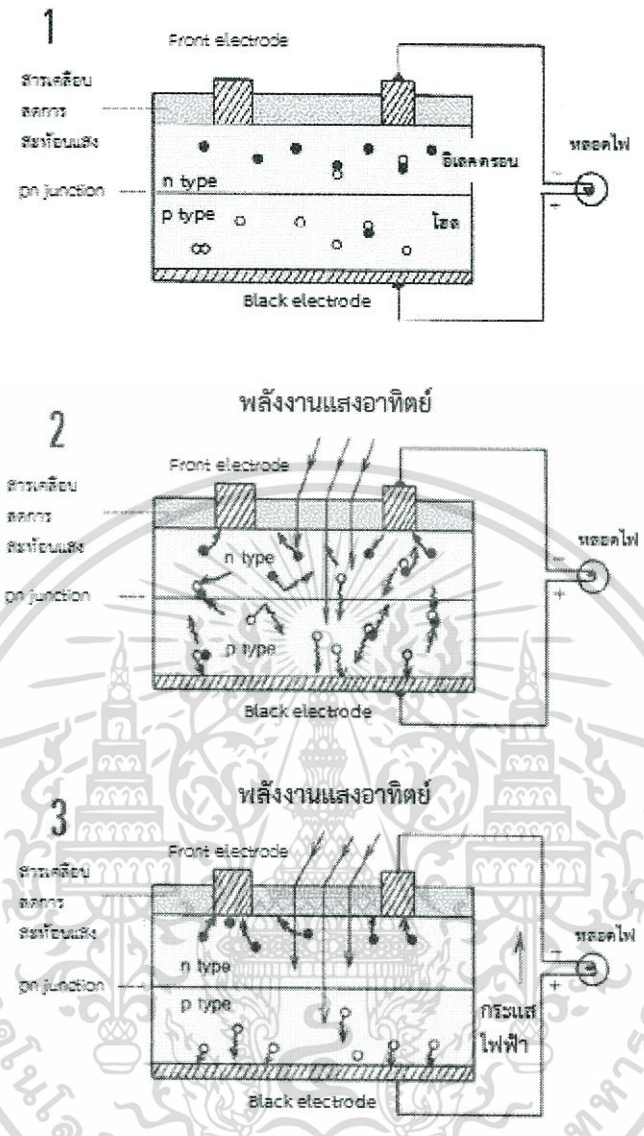
2.1.3 คุณสมบัติและหลักการทำงานโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

1. n type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้การโดปปิ้งด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ n type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้การโดปปิ้งด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงาน จากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วย pn junction จึงทำให้เกิดเป็น เซลล์แสงอาทิตย์ ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด n type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะ ปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ p type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล

2. เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p type

3. อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Elec trode ให้ครบวงจร ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

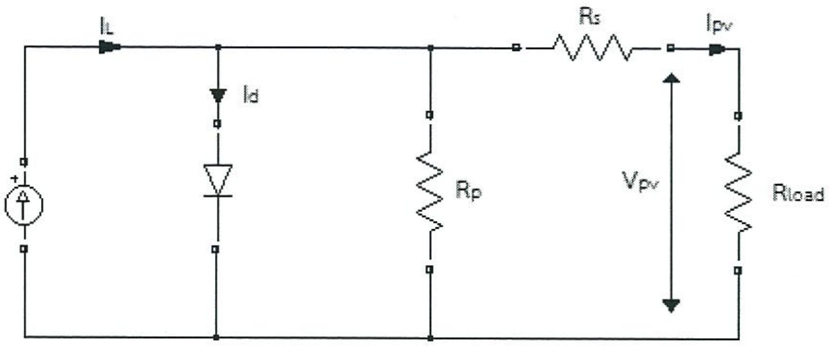


รูปที่ 2.6 การทำงานเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.4 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตมาจากวัสดุสารกึ่งตัวนำเหมือนกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป โครงสร้างของวัสดุสารกึ่งตึวนำของเซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะรอยต่อพี-เอ็น (P-N Junction) เหมือนไดโอด ดังนั้นคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติจึงสามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลประกอบด้วยแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าขนานกับไดโอดได้ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งปริมาณกระแส I_{SC} นี้กำเนิดมาจากปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกที่มีความเข้มข้นของแสงค่าหนึ่ง ซึ่งสามารถแทนได้ด้วยแหล่งจ่ายกระแสคงที่ ส่วนไดโอดจะแสดงถึงคุณลักษณะของสารกึ่งตัวนำที่เป็นรอยต่อพี-เอ็น ดังนั้นค่ากระแสจ่ายออกจึงสามารถอธิบายได้ด้วยความแตกต่างของกระแส I_{SC} ที่กำเนิดจากแสงอาทิตย์กับกระแสของไดโอดแสดงในสมการที่ 2.1 [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์โดยต่อเข้ากับโหลด

จากรูปที่ 2.7 เป็นรูปวงจรสมมูลซึ่งแสดงรายละเอียดภายในเซลล์แสงอาทิตย์ โดยR_S คือความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์ R_P คือ ความต้านทานขนาน

โดยที่ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงออกมาในรูปของสมการได้ดังนี้

$$I_{PV} = I_L - I_d[\exp(V_{PV}/V_T) - 1] \tag{2.1}$$

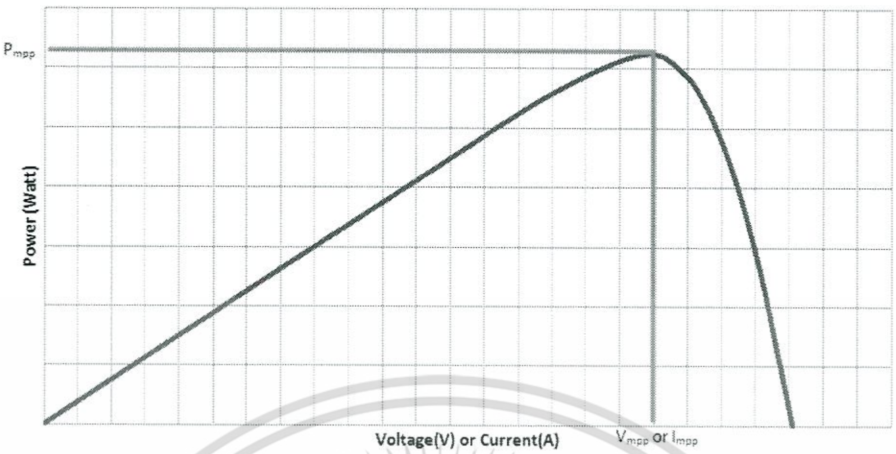
$$V_{PV} = V_T \ln[(I_L - I_{PV})/I_d + 1] \tag{2.2}$$

ตัวแปรต่างๆในสมการสำหรับคำนวณหากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีความหมายดังนี้

I_{PV} คือ กระแสที่ได้เมื่อแผงโซล่าเซลล์ได้รับแสง (แอมป์)
I_d คือ กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (แอมป์)
I_L คือ กระแสเอาท์พุท (แอมป์)
V_{PV} คือ แรงดันที่ได้เมื่อแผง PV ได้รับแสง (โวลต์)
V_T คือ แรงดันที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเท่ากับ $(nK_BT)/q$
K_B คือ ค่าคงที่ของโบล์ทมาน
T คือ อุณหภูมิ
n คือ ideality factor
q คือ ประจุอิเล็กตรอน (คูลอมบ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้าใน I-V Curve



รูปที่ 2.8 กราฟคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อทำการปรับค่าความต้านทานที่ต่อตรงเข้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่จุดทำงานต่างๆ จะได้กราฟของกำลังไฟฟ้าซึ่งพล็อตระหว่างแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าก็จะได้ลักษณะเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 28 และจะพบว่าจุดที่กำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่จุด V_{mpp} กับจุด I_{mpp}

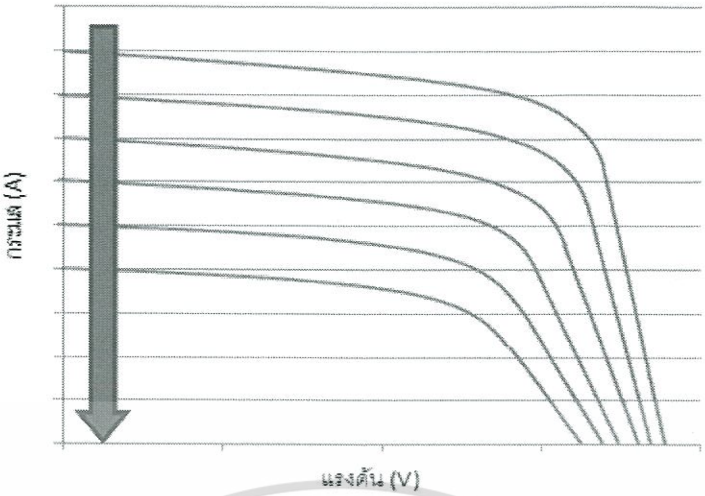
ผลคูณของกระแสและแรงดันที่จุดพลังงานสูงสุดจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความชันของกราฟ คือ ถ้ากราฟมีความชันมากลักษณะกราฟที่ได้จะใกล้เคียงกับสี่เหลี่ยมมาก ผลคูณของกระแสและแรงดันก็จะมีค่ามากตามไปด้วย การที่กราฟของเซลล์แสงอาทิตย์มีความชันแตกต่างกันนั้นเป็นผลมาจากความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละเซลล์นั้นมีความแตกต่างกัน จากกราฟคุณสมบัติของเซลล์นี้จะมีค่าค่าหนึ่งที่แสดงให้เห็นว่าเซลล์สามารถจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติมากเท่าใด ค่านี้จะเรียกว่าค่า ฟิลแฟคเตอร์ (FF: Fill Factor) ของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งคิดมาจากอัตราส่วนต่อไปนี้

2.1.5 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

- ความเข้มแสง

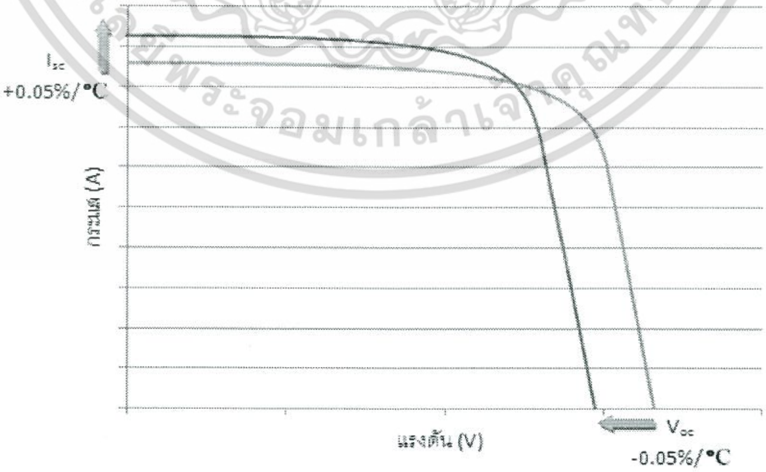
ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันเมื่อความเข้มแสงจากมากไปน้อย

ความเข้มของกระแสไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้ม ของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร หรือ 1,000 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (air mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศากับพื้นโลกความเข้มของแสง จะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรหรือ 750 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง ดังรูปที่ 2.9



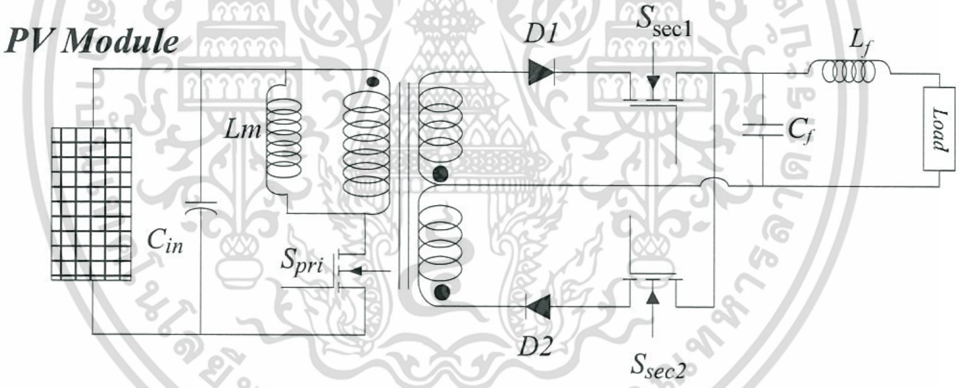
รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

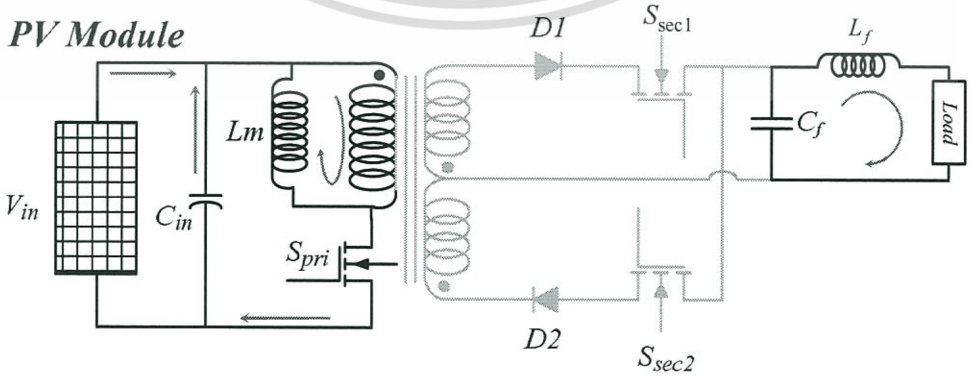
2.2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

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} ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิตชิ่งเปลี่ยนไฟฟ้าตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ สถานะที่ 2 เมื่อสวิตซ์ของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ S_{pri} ไม่นำกระแสดังรูปที่ 2.11 (ค) ตัวเหนี่ยวนำ Lm จะคายพลังงานออกไปทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงฟลายแบ็คมีผลทำให้ไดโอด D_1 ถูกไบแอสตรงมีผลทำให้สัญญาณแรงดันด้านบวกและไอโอด D_2 ถูกไบแอสตรงเมื่อสัญญาณแรงดันด้านลบ ทำให้มีการสะสมพลังงานที่ตัวเก็บประจุด้านขาออกและมีการถ่ายเทพลังงานไปยังระบบกริดการไฟฟ้าโดยมี S_{sec1}, S_{sec2} ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิตชิ่งเปลี่ยนไฟฟ้าตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเช่นกัน

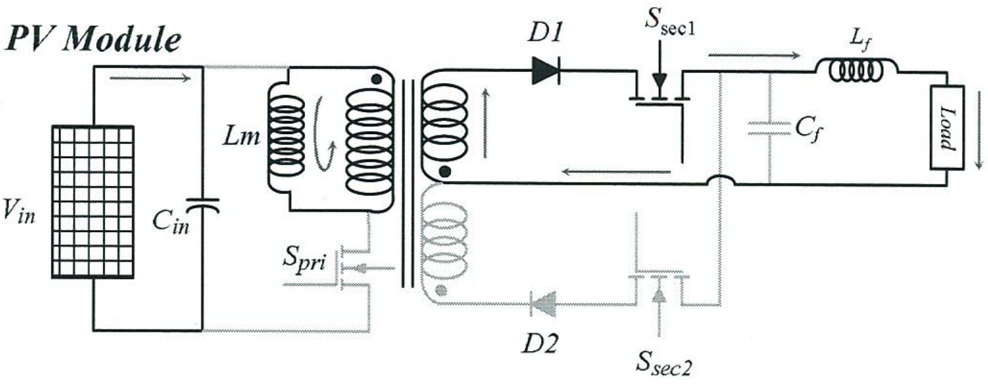


(ก)



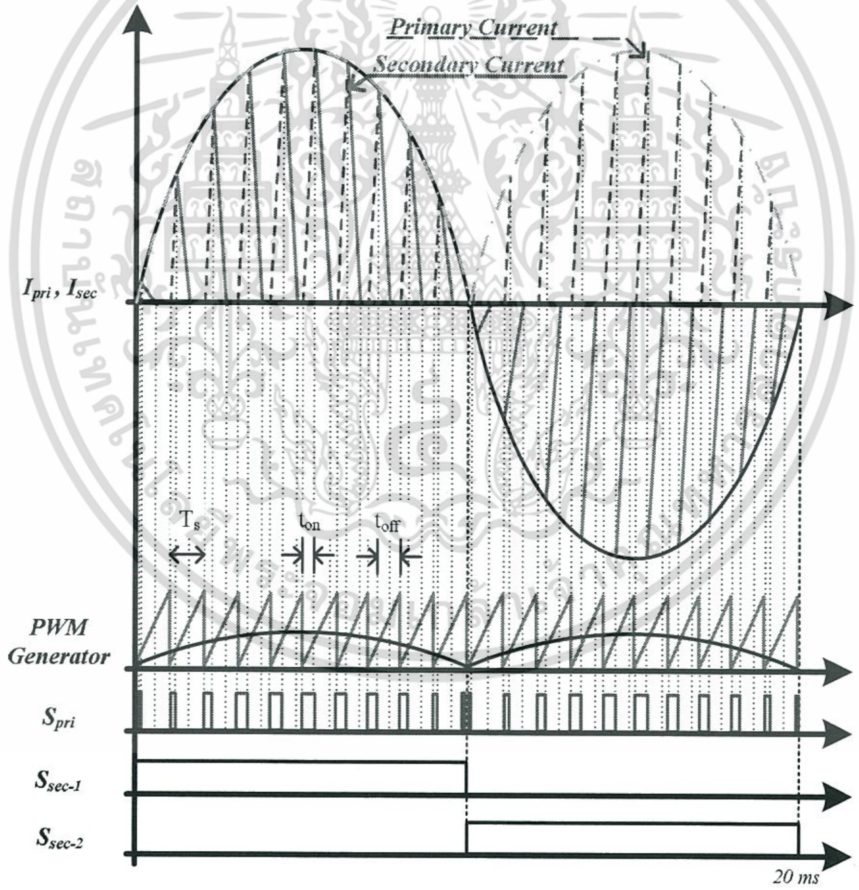
(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 2.11 (ก) วงจรสมมูลของวงจรฟลายแบ็คขณะทำงานที่ครึ่งคาบด้านไฟบวก (ข) สวิตซ์ S_{Pri} และ S_{sec1} ทำงาน ในขณะที่ D_1 หยุดนำกระแส (ค) สวิตซ์ S_{pri} หยุดทำงาน สวิตซ์ S_{sec1} ทำงาน



รูปที่ 2.12 สัญญาณกระแสปฐมภูมิและทุติยภูมิของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ และลำดับการทำงานของสวิตซ์ S_{pri}, S_{sec1}, S_{sec2} รวมทั้งวิธีการสร้างสัญญาณ PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กของหม้อแปลงความถี่สูง [21]

กำหนดพิกัดกำลังของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์คือ 100 วัตต์ เมื่อพิจารณาด้านปฐมภูมิจะได้สมการแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำคือ

$$V_{dc} = L_m \frac{di_{dc}(t)}{dt} \tag{2.3}$$

เมื่อ L_m คือ ค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (μH) หรือเขียนเป็นฟังก์ชันของกระแสได้คือ

$$i_{dc,p} = \frac{V_{dc}}{L_m} t_{on} \tag{2.4}$$

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

$$i_{dc,p} = \frac{V_{dc}}{L_m f_s} d \tag{2.5}$$

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

เมื่อเขียนสมการ $i_{dc,p}$ ในฟังก์ชันรูปคลื่นไซน์

$$i_{dc,p} = I_{dc,p} \sin \omega t, \omega t \in [o, \pi] \tag{2.6}$$

โดยที่ค่า อัตราการเปลี่ยนแปลงระดับขั้นเปลี่ยนแปลงตามเวลา

$$d(t) = d_p \sin \omega t \tag{2.7}$$

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

$$t_{off} \le T_s - t_{on,p} \tag{2.8}$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรสมมูลในรูปที่ 2.11 ได้

$$u_{ac}(t) = \frac{dni_{dc}(t)}{dt}\frac{L_m}{n^2} \tag{2.9}$$

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

จากรูปที่ 2.11 (ค) เมื่อสวิตช์ S_{pri} หยุดทำงาน สวิตช์ S_{sec1} ทำงาน

$$t_{off} = \frac{ni_{dc,p}}{u_{ac}(t)}\frac{L_m}{n^2} = \frac{I_{dc,p}}{V_{ac,p}}\frac{\sin\omega t}{\sin\omega t}\frac{L_m}{n} = \frac{I_{dc,p}}{V_{ac,p}}\frac{L_m}{n} \tag{2.10}$$

$$t_{on} = T_s d(t) = T_s d_p \sin\omega t \tag{2.11}$$

$$I_{dc,p} = \frac{V_{dc}}{L_m}t_{on,p} = \frac{V_{dc}}{L_m f_s}d_p \tag{2.12}$$

เมื่อแทนสมการที่ 2.12 ลงในสมการ 2.10 ได้

$$t_{off} = \frac{V_{dc}d_p}{L_m f_s V_{ac,p}}\frac{L_m}{n} = \frac{\lambda}{n}d_p T_s \tag{2.13}$$

หรือเขียนเป็นสมการใหม่ได้คือ

$$\frac{t_{off}}{T_s} = \frac{\lambda}{n}d_p = \text{ค่าคงที่} \tag{2.14}$$

จะได้สมการ t_{off} คือ

$$\frac{t_{off}}{T_s} = \frac{\lambda}{n}d_p = \text{ค่าคงที่} \tag{2.15}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$\lambda = \frac{V_{dc}}{V_{ac,p}} \tag{2.16}$$

เมื่อ V_{dc} คือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และ $V_{ac,p}$คือ ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสูงสุด ดังนั้นค่า dp จะต้องมีค่าตามสมการที่ 2.17 เพื่อจะทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

$$dp \le \frac{1}{1+\frac{\lambda}{n}} \tag{2.17}$$

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

$$P = V_{dc} I_{dc,avg} \tag{2.18}$$

เมื่อ P คือ กำลังที่ใช้ในการส่งผ่าน, P_{ac} คือ กำลังไฟฟ้าในการส่งผ่านไประบบกริดการไฟฟ้า, P_{dc} คือ กำลังไฟฟ้ากระแสตรง และ $I_{dc,avg}$คือ ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง แทนค่า $I_{dc,avg}$ จากสมการ

$$I_{dc,avg} = \frac{1}{T_{hl}} \int_0^{T_{hl}} i_{dc}(t)dt \tag{2.19}$$

หรือเขียนเป็นสมการใหม่ได้คือ

$$I_{dc,avg} = \frac{1}{T_{hl}} \left[\int_0^{T_s} i_{dc}(t)dt + \ldots + \int_{(w-1)T_s}^{wT_s} i_{dc}(t)dt + Q \right] \tag{2.20}$$

เมื่อ w คือ $\frac{T_{hl}}{T_s}$ โดยที่ Q เป็นส่วนที่เหลือจากการอินทิเกรต เนื่องจากในเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดของลูกคลื่น จึงสามารถละทิ้งในส่วนนี้ได้จากสมการ 2.3, 2.7 และ 2.20 เมื่อ

$$\omega t = \left(\frac{\pi}{T_{hl}}\right)(iT_s) \approx \frac{\pi}{\omega} i \tag{2.21}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก

$$i_{dc}(t_x)=\frac{i_{dc}}{t_{on}}t_x=\frac{I_{dc,p}\sin\omega t}{t_{on}}t_x=\frac{V_{dc}}{L_1 f_s}\frac{d_p\sin\omega t}{L_1 f_s\sin\omega t}t_x=\frac{V_{dc}}{L_1 f_s T_s}t_x \tag{2.22}$$

เมื่อ $t_x=t-(i-1)T_s, i=1,2,3,...$

$$\int_{(i-1)T_s}^{T_s} i_{dc}(t)\,dt=\int_0^{t_{on}} i_{dc}(t_x)\,dt_x=\frac{V_{dc}}{L_1}\frac{t_{on}^2}{2} \tag{2.23}$$

$$t_{on}=T_s d_p\sin\omega t=T_s d_p\sin\omega iT_s\approx T_s d_p\sin\frac{\pi}{w}i \tag{2.24}$$

จากสมการที่ 2.20 ข้างต้น จะได้

$$\begin{aligned} I_{dc,avg}&=\frac{T_s}{T_{hl}}\frac{d_p^2 V_{dc}}{2f_s L_1}\sum_{i=1}^{w}\sin^2\left(\frac{\pi}{w}i\right)\\ I_{dc,avg}&=\frac{d_p^2}{sf_s}\frac{V_{dc}}{L_1}\frac{1}{w}\sum_{i=1}^{w}\sin^2\left(\frac{\pi}{w}i\right)\end{aligned} \tag{2.25}$$

จาก $\sin^2 x=\frac{1-\cos 2x}{2}$

$$\begin{aligned}\frac{1}{w}\sum_{i=1}^{w}\sin^2\left(\frac{\pi}{w}i\right)&=\frac{1}{w}\sum_{i=1}^{w}\left[\frac{1}{2}-\frac{1}{2}\cos\left(\frac{2\pi}{w}i\right)\right]\\ &=\frac{1}{2}-\frac{1}{2w}\left\{\frac{\sin[(w+\frac{1}{2})\frac{2\pi}{w}]}{2\sin\frac{2\pi}{2w}}-\frac{1}{2}\right\}\\ &=\frac{1}{2}-\frac{1}{4w}\left\{\frac{\sin(2\pi+\frac{\pi}{w})}{\sin\frac{\pi}{w}}-1\right\}\\ &=\frac{1}{2}-\frac{1}{4w}\left\{\frac{\sin(\frac{\pi}{w})}{\sin\frac{\pi}{w}}-1\right\}=\frac{1}{2}\end{aligned} \tag{2.26}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแทน ค่าที่ได้จากสมการ **2.26** ในสมการ 2.25 จะได้

$$I_{dc,avg} = \frac{d_p^2 V_{dc}}{2 f_s L_m}\left[\frac{1}{\omega}\sum_{i=1}^{\omega}\sin^2(\frac{\pi}{\omega}i)\right] = \frac{d_p^2 V_{dc}}{4 f_s L_m} = \frac{1}{4} g_L d_p^2 V_{dc} \tag{2.27}$$

กำหนดให้

$$g_L = \frac{1}{f_s L_m} \tag{2.28}$$

เมื่อนำไปแทนค่าในสมการกำลังไฟฟ้า

$$P = \frac{1}{4} d_p^2 g_L V_{dc}^2 \tag{2.29}$$

จากสมการที่ 2.28

$$P = \frac{1}{2}\lambda^2 d_p^2 g_L V_{ac,rms}^2 \tag{2.30}$$

หรือ

$$P = g_s V_{ac,rms}^2 \tag{2.31}$$

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

$$\frac{g_S}{g_L} = \frac{1}{2}\lambda^2 d_p^2 \tag{2.32}$$

จากสมการที่ 2.17

$$\left(\frac{g_S}{g_L}\right)_{\max} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{n}\right)^{-2} \tag{2.33}$$

จากสมการที่ 2.33 เมื่อค่าจำนวนรอบของหม้อแปลงเพิ่มขึ้นถึง Infinite ค่า $(\frac{g_S}{g_L})_{\max}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ตามสมการคือ

$$\left(\frac{g_S}{g_L}\right)_{\max} \mid n \to \infty = \frac{\lambda^2}{2} \tag{2.34}$$

ซึ่งหมายความว่าถึงแม้ค่าจำนวนรอบหม้อแปลงจะเพิ่มขึ้นมากเพียงใด ค่ากำลังไฟฟ้าจะคงที่

2.3 การมอดูเลชัน

2.3.1 การมอดูเลชันความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation: PWM)

การมอดูเลชันความกว้างพัลส์ โดยการนำเอาสองสัญญาณมาเปรียบเทียบกันและสองสัญญาณที่ว่านี้คือสัญญาณ "สามเหลี่ยม" กับสัญญาณที่ใช้ในการปรับความกว้างของพัลส์ ยกตัวอย่างเช่น ถ้านำสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงมาเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม แต่ในส่วนของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำสัญญาณแอปซูลูทไซน์มาเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม โดยได้สัญญาณ PWM ที่มีลักษณะดังรูปที่ 2.12

2.4 ฮาร์มอนิกและตัวประกอบกำลัง

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ รูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากอินเวอร์เตอร์นั้นจะไม่เหมือนกับสัญญาณไซน์จริงๆ เพราะการทำงานของอินเวอร์เตอร์จะใช้วิธีการ เปิด/ปิด ค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้มาปรากฏที่ด้านขาออก ด้วยช่วงเวลาสั้นๆและมีความไวสูง เพื่อทำการปรับระดับของแรงดันขาออกให้ใกล้เคียงกับไฟฟ้ากระแสสลับรูปไซน์ให้มากที่สุดเมื่อผ่านวงจรกรอง ซึ่งในกระบวนการสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับด้านขาออกนี้จะมีฮาร์มอนิกปะปนมาด้วย ซึ่งเป็นผลให้รูปคลื่นกระแสระบบไฟฟ้าผิดเพี้ยนด้วย ดังนั้นในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาฮาร์มอนิกและผลกระทบของฮาร์มอนิกต่อไป

2.4.1 ฮาร์มอนิกและความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม

ฮาร์มอนิก หมายถึง ส่วนประกอบในรูปคลื่นสัญญาณไซน์หรือปริมาณเป็นคาบใดๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล ตัวอย่างเช่นส่วนประกอบที่ความถี่เป็น 2 เท่าของความถี่หลักมูลจะเรียกว่า ฮาร์มอนิกลำดับที่ 2 (second harmonic) เป็นต้นดังนั้นสามารถสรุปได้ว่ารูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าที่เป็นรูปสัญญาณไซน์โดยสมบูรณ์ จะไม่มีฮาร์มอนิกรวมอยู่ด้วยในขณะที่คลื่นของกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าที่ผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณไซน์จะมีฮาร์มอนิกรวมอยู่ด้วยเสมอ การพิจารณาว่ารูปคลื่นสัญญาณนั้นๆ ผิดเพี้ยนมากหรือน้อยไปจากรูปคลื่นสัญญาณไซน์จะต้องพิจารณาจากค่า ความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total harmonic distortion: THD)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (total harmonic distortion: THD) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างค่ารากที่สองของผลบวกกำลังสองของค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (rms) ของส่วนประกอบฮาร์มอนิก กับค่ากำลังสองเฉลี่ยของส่วนประกอบความถี่หลักมูล ดังแสดงในสมการที่ 2.22 และ 2.23 ค่า THD มีค่าน้อยจะหมายถึง สัญญาณฮาร์มอนิกรวมขนาดไม่มากปนอยู่กับความถี่หลักมูล [6]

$$THD_v = \left[\left(\frac{V_{rms}}{V_1} \right)^2 - 1 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{2.35}$$

$$THD_i = \left[\left(\frac{I_{rms}}{I_1} \right)^2 - 1 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{2.36}$$

2.4.2 ผลกระทบของฮาร์มอนิกต่อระบบจ่ายไฟฟ้ากำลังหรือการไฟฟ้า

ผลกระทบที่เกิดจากฮาร์มอนิกต่อการไฟฟ้า สามารถแบ่งออกได้สองแบบด้วยกันคือแบบระยะสั้นและแบบระยะยาว โดยแบบระยะสั้นผลกระทบจะสามารถเห็นได้ชัดและโดยมากมักจะอยู่ในรูปของความเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ส่วนแบบระยะยาวจะตรวจสอบไม่ค่อยพบและมักจะอยู่ในรูปของความสูญเสียตัวต้านทานหรือแรงดันเค้น

ผลกระทบแบบระยะสั้นสามารถทำให้โหลดที่มีความไวสูงเกิดการทริปขึ้นได้เช่นโหลดที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์จะไวต่อค่าความเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้าเป็นต้น ในขณะที่ผลของฮาร์มอนิก จะทำให้ความเที่ยงตรงของเครื่องวัดไฟฟ้าลดลงและนอกจากนั้นยังอาจทำให้ฟิวส์ขาดและอาจจะทำให้ตัวเก็บประจุทำงานผิดพลาดเพราะแรงดันไฟฟ้าฮาร์มอนิกจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกเกินที่ตัวเก็บประจุ ซึ่งค่าความเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้าประมาณ 5 – 10% อาจมีผลทำให้ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสเพิ่มขึ้น 10 – 50% และนอกจากนั้นยังอาจเกิดค่าแรงดันเค้นที่ไดอิเล็กทริก (dielectric) ของตัวเก็บประจุอีกด้วย

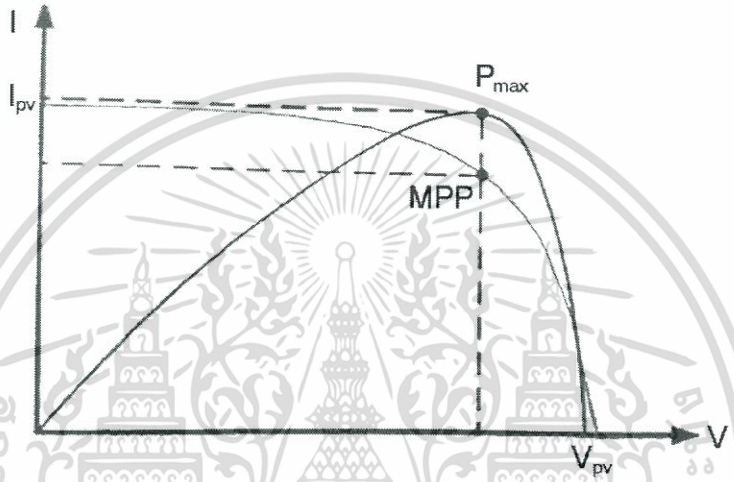
ฮาร์มอนิกยังอาจทำให้เกิดความร้อนเกิน (overheating) ที่หม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งจะพบบ่อยในกรณีที่หม้อแปลงจ่ายโหลดแบบไม่เชิงเส้นเป็นจำนวนมาก โดยที่ในกรณีดังกล่าวการคิดพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยทั่วไปจะนิยมคิดที่ค่าเท่ากับ 0.9 ของค่าที่พิกัดของกำลังไฟฟ้าปรากฏ (kVA) และยังทำให้เกิดกระแสเกินที่สายนิวทรอล (neutral)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

2.5 การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีการรบกวนและสังเกต

การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking: MPPT) หมายถึง ขั้นตอนวิธีที่ถูกรวมเข้าไว้ในอุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าให้ได้สูงสุด (Maximum Power) ทั้งนี้กำลังไฟฟ้าสูงสุดจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ความเข้มของแสงอาทิตย์ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell Temperature) ระบบติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้รับการออกแบบให้ใช้หน่วยประมวลผลสำหรับทำการตรวจสอบกำลังไฟฟ้าขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดเวลาเพื่อให้ได้ค่ากำลังผลิตสูงสุดในแต่ละเวลาตามค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ได้รับ ในรูปของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ด้วยขั้นตอนวิธีของการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่จะทำให้ได้กำลังไฟฟ้ามากขึ้น หากตรวจสอบพบว่า ตำแหน่งจุดทำงานไม่ใช่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยทำการย้ายจุดทำงานนั้นไปยังตำแหน่งที่คาดว่าจะเป็นจุดสูงสุดต่อไป



รูปที่ 2.13 เส้นโค้งกระแส – แรงดัน จุดที่เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

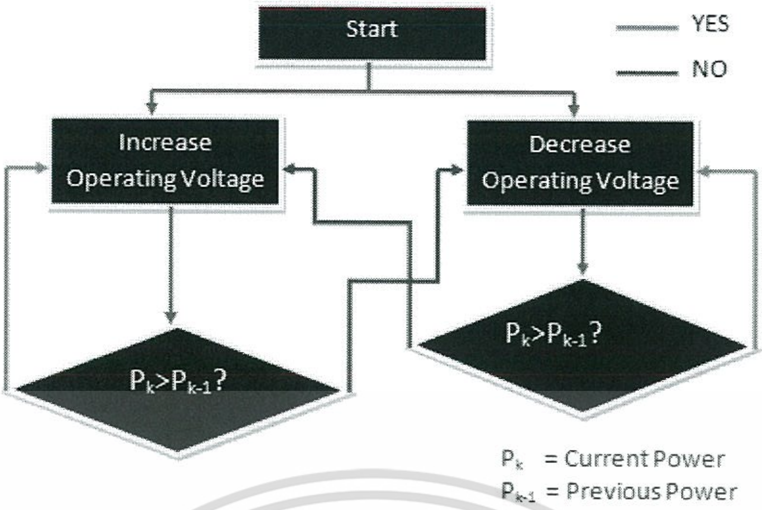
2.5.1 ขั้นตอนของวิธีการรบกวนและสังเกต (Perturbation and Observation: P&O)

วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อนโดยลักษณะการคิดค่ากำลังไฟฟ้า ณ เวลาปัจจุบัน $P_{pv}(k)$ ค่ากำลังไฟฟ้าคำนวณจาก $I_{pv}(k)xV_{pv}(k)$ นำมาเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าก่อนหน้า $P_{pv}(k-1)$ ถ้าอัตราการเปลี่ยนกำลังไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นหรือน้อยลงระบบจะปรับทิศทางของแรงดันอ้างอิงตามอัตราการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าโดยสามารถสรุปได้ดังตาราง

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบทิศทางการรบกวนการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า และทิศทางครั้งต่อไป

ทิศทางการรบกวน	การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า	ทิศทางการรบกวนครั้งต่อไป
บวก	บวก	บวก
บวก	ลบ	ลบ
ลบ	บวก	ลบ
ลบ	ลบ	บวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 Flow Chart ลักษณะการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบรบกวนและสังเกต

2.6 การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยวิธีเพิ่มค่าความนำ (Incremental Conductance)

วิธีการเพิ่มค่าความนำเกิดจากการหาค่าความชันของกราฟกำลังไฟฟ้า-แรงดันของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์จากรูปที่ 2.8 ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ของอัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันเป็น สมการที่ (2.37)

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} \rightarrow \frac{dP}{dV} = I + V\frac{dI}{dV} \tag{2.34}$$

ที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะมีความชันเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจะได้สมการเป็น

$$I + V\frac{dI}{dV} = 0 \rightarrow \frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \tag{2.35}$$

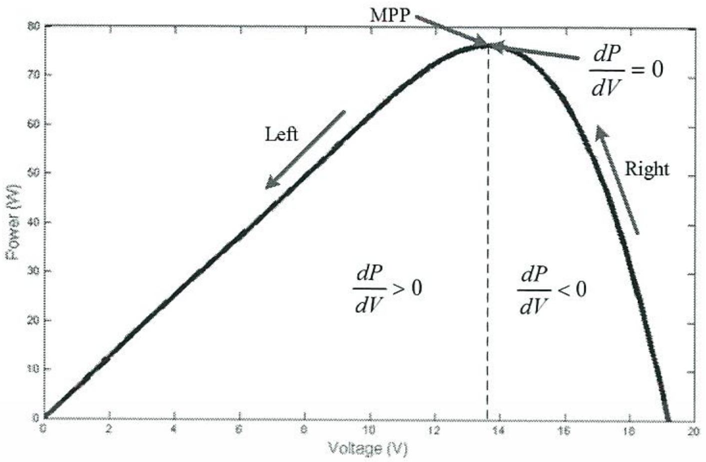
กำหนดให้ $\frac{I}{V}$ คือค่าความนำของเซลล์แสงอาทิตย์, $\frac{dI}{dV}$ อัตราการเปลี่ยนแปลงความนำของเซลล์แสงอาทิตย์ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์จากสมการที่ (2.35) ดังนี้

- ถ้า $\frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V}$ ความชันเป็นบวกแสดงถึงจุดทำงานอยู่ทางด้านซ้ายของจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด

- ถ้า $\frac{dI}{dV} < -\frac{I}{V}$ ความชันเป็นลบแสดงถึงจุดทำงานอยู่ทางด้านขวาของจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด

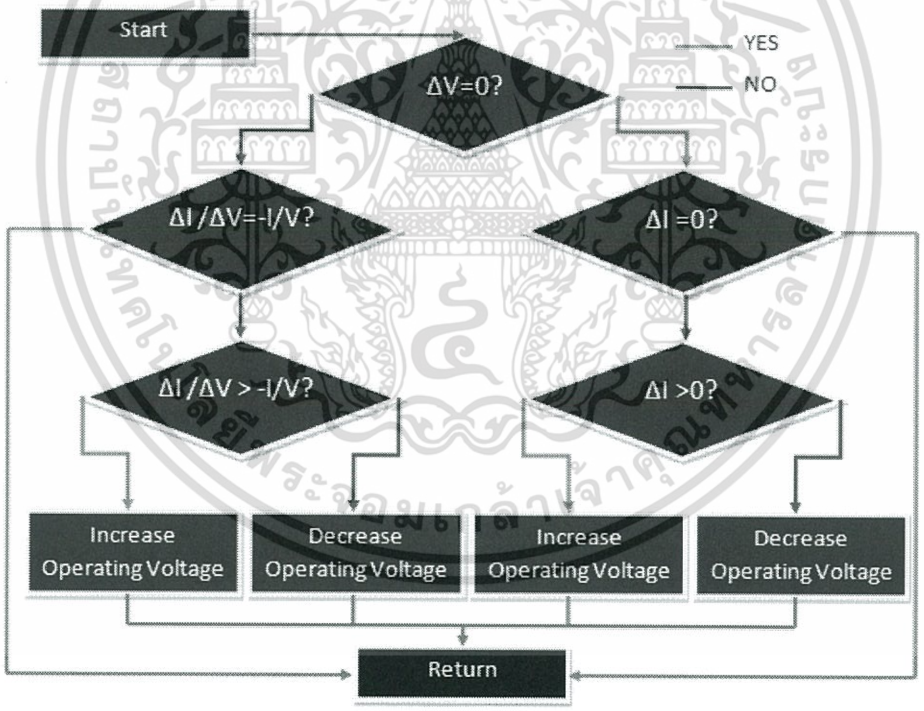
- ถ้า $\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V}$ ความชันเป็นศูนย์แสดงถึงจุดทำงานอยู่ที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 หลักการพื้นฐานของเทคนิคการเพิ่มค่าความนำบนกราฟ PV

ลักษณะการทำงานของวิธีเปลี่ยนแปลงค่าความนำสามารถแทนค่า $V_{PV}(k)$, $V_{PV}(k\text{-}1)$, $I_{PV}(k)$ และ $I_{PV}(k\text{-}1)$ เพื่อวิเคราะห์และแบ่งการทำงานได้ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 Flow Chart ลักษณะการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบการเพิ่มค่าความนำ

ข้อดีของวิธีการรบกวนและการสังเกต (P&O) ใช้ได้ดีในสภาวะคงที่ ส่วนข้อเสียคือจะเกิดความผิดพลาดในการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดเมื่อเกิดสภาวะการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และเกิดการแกว่งของแรงดันอ้างอิงที่จุดจ่ายกำลังสูงสุด ส่วนเทคนิควิธีเพิ่มค่าความนำ (INC) คือ สามารถหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดได้เมื่อเกิดสภาวะการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว แต่ต้องเพิ่มลำดับขั้นตอนการคำนวณเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ฟัซซีลอจิก (fuzzy logic)

ฟัซซีลอจิก (fuzzy logic) ศาสตร์ด้านการคำนวณที่เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในวงการวิจัยด้านคอมพิวเตอร์ และได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ มากมาย เช่น ด้านการแพทย์ ด้านการทหาร ด้านธุรกิจ ด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่นักศึกษาด้านวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ ควรจะได้ศึกษาเพื่อทำความเข้าใจในศาสตร์ฟัซซีลอจิกและโครงข่ายประสาทเทียมให้ลึกซึ้ง ทั้งนี้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆซึ่งนับวันจะยิ่งมีความต้องการระบบคอมพิวเตอร์ ที่มีความสามารถในการปรับเปลี่ยนระบบได้โดยอัตโนมัติตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป มีการตัดสินใจแบบชาญฉลาดเยี่ยงมนุษย์ได้มากขึ้น ซึ่งมนุษย์สามารถแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่ไม่เคยพบได้โดยอาศัยความรู้เก่าที่ได้เรียนรู้มาประยุกต์ในการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.7.1 ระบบฟัซซี

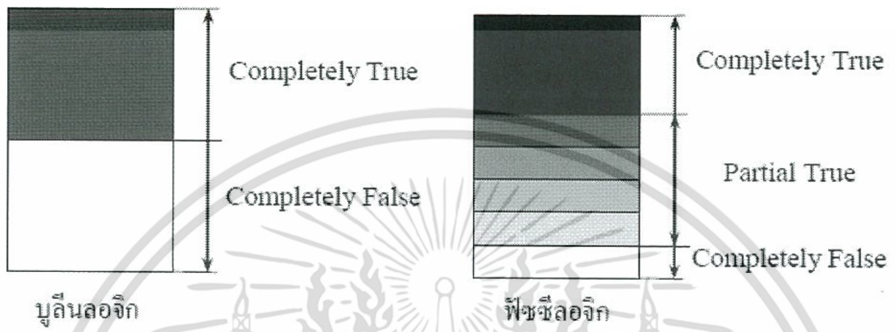
เป็นระบบด้านคอมพิวเตอร์ที่ทำงานโดยอาศัยฟัซซีลอจิกที่คิดค้นโดย L. A. Zadeh ในปี ค.ศ. 1965 ซึ่งเป็นผลงานวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอก ฟัซซีลอจิกเป็นตรรกะที่อยู่บนพื้นฐานความเป็นจริงที่ว่า ทุกสิ่งบนโลกแห่งความเป็นจริงไม่ใช่มีเฉพาะสิ่งมีความแน่นอนเท่านั้น แต่มีหลายสิ่งหลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่เที่ยงและไม่แน่นอน (uncertain) อาจเป็นสิ่งที่คลุมเครือ (fuzzy) ไม่ใช่ชัดเจน (exact) ยกตัวอย่างเช่น เซตของอายุคน อาจแบ่งเป็น วัยทารก วัยเด็ก วัยรุ่น วัยกลางคน และวัยชรา จะเห็นได้ว่าในแต่ละช่วงอายุคนไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าวัยทารกกับวัย เด็กแยกจากกันแน่ชัดช่วงใด วัยทารกอาจถูกตีความว่าเป็นอายุระหว่าง 0 ถึง 1 ปี บางคนอาจตีความว่าวัยทารกอยู่ในช่วงอายุ 0 ถึง 2 ปี ในทำนองเดียวกัน วัยเด็กและวัยรุ่น ก็ไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่าช่วงต่อของอายุควรจะอยู่ในช่วงใด อาจตีความว่าวัยเด็กมีอายุอยู่ในช่วง 1 ถึง 12 ปี หรืออาจเป็น 2 ถึง 10 ปี เป็นต้น สิ่งเหล่าเป็นตัวอย่างของความไม่แน่นอน ซึ่งเป็นลักษณะทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วไป เซตของเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอนเช่นนี้เรียกว่าฟัซซีเซต (fuzzy set)

จากแนวความคิดของ Zadeh เกี่ยวกับความไม่แน่นอนได้มีการขยายแนวคิดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ มากมายจนนับไม่ถ้วน ได้มีนักวิจัยได้คิดค้นทฤษฎีเสริมกับแนวคิดเดิมจนทำให้ฟัซซีเซตโดดเด่นในวงการคอมพิวเตอร์ ถึงแม้ว่าฟัซซีเซตจะนำเสนอจากคนอเมริกันแต่ประเทศอเมริกาก็ไม่ได้นำไปประยุกต์ใช้อย่างจริงจังในช่วงต้น ๆ แต่ประเทศญี่ปุ่นเล็งเห็นคุณค่าของศาสตร์ด้านนี้ได้เป็นผู้บุกเบิกฟัซซีเซตทางการค้า โดยได้นำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้ามากมาย เช่น เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้า หม้อหุงข้าว และอื่นๆ อีกมากมาย ในยุคปัจจุบันประเทศสหรัฐ-อเมริกาได้ในความสำคัญกับศาสตร์นี้มากขึ้น โดยได้มีการทุ่มงบประมาณให้กับการวิจัยมากขึ้นและฟัซซีลอจิกถูกนำไปประยุกต์ใช้งานต่างๆ มากมาย ตัวอย่างเช่น ในโครงการอวกาศ NASA และโครงการด้านการทหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับฟัซซีลอจิก

ตรรกะแบบฟัซซี (fuzzy logic) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายในใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิธีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ฟัซซีลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่าตรรกะแบบจริงเท็จ (Boolean logic) เป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วนของความจริง (partial true) โดยค่าความจริงจะอยู่ในช่วงระหว่างจริง (completely true) กับเท็จ (completely false) ส่วนตรรกศาสตร์เดิมจะมีค่าเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น แสดงดังรูปที่ 2.15



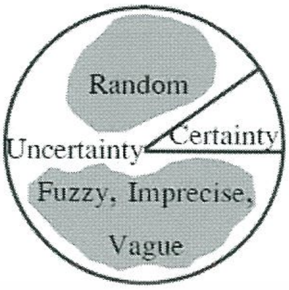
รูปที่ 2.17 ตรรกะแบบจริงเท็จ (บูลีนลอจิก) กับตรรกะแบบฟัซซี่ (ฟัซซีลอจิก)

ความเป็นฟัซซี (fuzziness) มีชื่อเรียกว่า มัลติวาลานซ์ (multivalance) ซึ่งมีค่าที่ความเป็นสมาชิกมากกว่า 2 ค่า และแตกต่างกับไบวาลานซ์ (bivalance) ที่มีความเป็นสมาชิกเพียง 2 ค่า ฟัซซีเซต (Fuzzy set) เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่สื่อถึง “ความไม่แน่นอน (uncertainty)” สามารถที่ไม่ใช่ เพียง 2 กรณี ซึ่งหากกำหนดว่า คนที่อ้วนคือคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม คอมพิวเตอร์จะให้ผลว่าคนที่มีน้ำหนัก 74.50 กิโลกรัม ไม่จัดเป็นคนที่อ้วน จะสร้างและกำหนดรูปแบบ (modeling) ของลักษณะความไม่แน่นอนที่เป็นความคลุมเครือ ความไม่ตายตัว รวมถึงความขาดข้อมูลบางส่วน โดยทฤษฎีของฟัซซีเซตจะใช้ลักษณะความหมายตัวแปร (linguistic) มากกว่าปริมาณ (quantitative) ของตัวแปร เช่น การหาความหมายของ “คนที่อ้วน” เราไม่สามารถนิยามค่าความอ้วนที่ตรงกันและระบุเป็นหนึ่งเดียว (identical) สำหรับคนที่อ้วน นาย ก. จะให้ความหมายของ “คนอ้วน” หมายถึงคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 70 กิโลกรัม นาย ข. ให้ความหมายว่าเป็นคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม ซึ่งทั้งสองคนต่างแสดงความหมายของคำว่าคนที่อ้วนโดยเปรียบเทียบและในมุมมองของตัวเองตามน้ำหนักของตน ในการทำงานในมุมมองแบบฐานสอง (Binary sense) จะได้ผลเป็น ใช่ หรือ แต่จะเห็นว่าบุคคลนี้เป็นคนอ้วนน้ำหนักเกือบจะ 75 กิโลกรัม และถึงแม้ว่าบุคคลนี้จะมีน้ำหนัก 75 กิโลกรัม แต่หากพิจารณาจากกลุ่มคนที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 90 กิโลกรัม บุคคลนี้ก็จะไม่จัดอยู่ในกลุ่มคนที่อ้วน แสดงให้เห็นว่า ความอ้วนไม่ได้มีลักษณะความไม่แน่นอนแบบสุ่ม จากการศึกษาปัญหาทั่วๆ ไปจะแสดงถึงรูปแบบลักษณะการกระจายของปัญหา

รูปที่ 2.17 เป็นการแสดงให้เห็นว่าแนวทางในการตัดสินใจของปัญหาทั้งหมดมีเพียงส่วนน้อยที่เป็นสิ่งที่แน่นอน (certainty) ที่เหลือคือสิ่งที่ไม่แน่นอนซึ่งประกอบด้วยความไม่แน่นอนที่มีลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบสุ่ม และความไม่แน่นอนที่มีลักษณะเป็นฟัซซี หรือคลุมเครือ ซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 40 เพราะปัญหาส่วนมากเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจของมนุษย์ซึ่งจะตัดสินใจตามพื้นฐานความคิดของตนเป็นหลัก

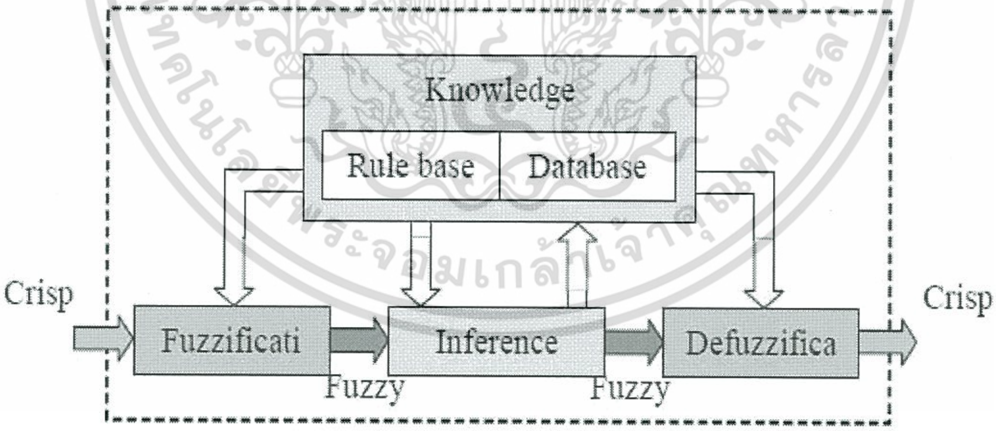


รูปที่ 2.18 ความไม่แน่นอน (uncertainty)

ฟัซซีจะสร้างวิธีทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความคลุมเครือ ความไม่แน่นอนของระบบที่เกี่ยวข้องกับความคิดความรู้สึกของมนุษย์ เมื่อพิจารณาส่วนประกอบต่าง ๆ ในความไม่แน่นอนเพื่อกำหนดเงื่อนไขในการตัดสินใจ (Decision making) โดยอาศัยเซตของความไม่เป็นสมาชิก (Set membership)

2.7.3 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วนดังนี้ ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.19 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี่

ส่วนที่แปลงการอินพุตทั่วไปเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี (Fuzzification) หรือในรูปแบบเซตฟัซซีหรือเรียกว่าเป็นตัวแปรภาษา (Linguistic Variable)

ฐานความรู้ (Knowledge base) เป็นส่วนที่จัดเก็บรวบรวมข้อมูลในการควบคุมประกอบ 2 ส่วนคือ ฐานกฎ (Rule base) และฐานข้อมูล (Database)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฐานกฎ (Rule base) ส่วนของการกำหนดวิธีการควบคุม ซึ่งได้จากผู้เชี่ยวชาญในรูปแบบของชุดข้อมูลแบบกฎของภาษา (Linguistic rule)

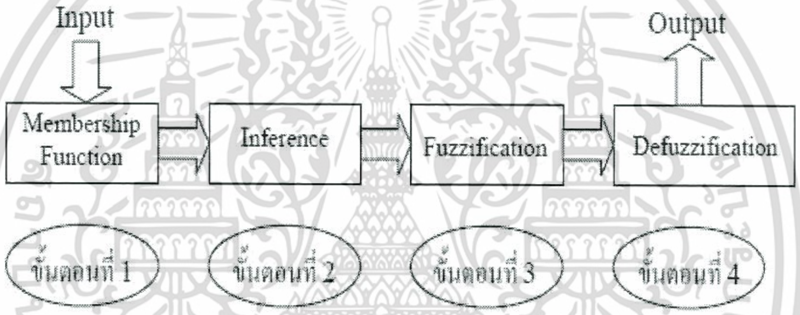
ฐานข้อมูล (Database) เป็นการจัดเตรียมส่วนที่จำเป็นเพื่อที่จะใช้ในการกำหนดกฎการควบคุม และการจัดการข้อมูลของตรรกศาสตร์ฟัซซี

เครื่องอนุมานหรือการตีความ (Inference Engine) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจสอบข้อเท็จจริงและกฎ เพื่อใช้ในการตีความหาเหตุผล เหมือนกลไกสำหรับควบคุมการใช้ความรู้ในการแก้ไขปัญหา รวมทั้งการกำหนดวิธีการของการตีความเพื่อหาคำตอบ

ส่วนที่แปลงการเอาต์พุตให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (Defuzzification) เป็นการทำการแปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบฟัซซีให้เป็นค่าที่สรุปผลหรือค่าการควบคุมระบบ

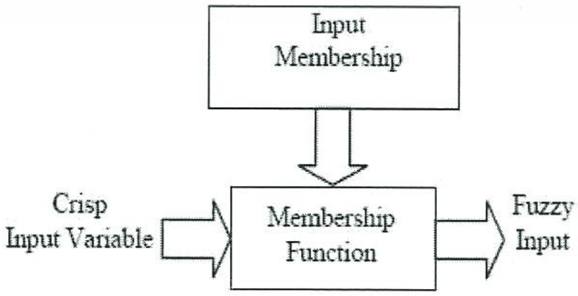
2.7.4 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิกมีรูปแบบการทำงานเป็น 4 ส่วนจะแสดงดัง รูปที่ 2.18



รูปที่ 2.20 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก

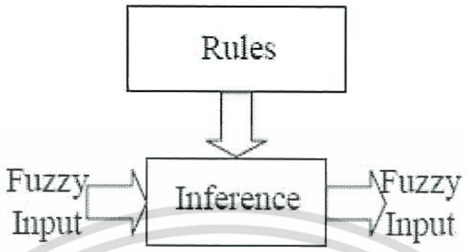
ขั้นตอนที่ 1 เป็นการแปลงการอินพุตแบบทวินัยเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี โดยจะสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเดียวกัน ขึ้นกับคุณลักษณะของแต่ละการอินพุต (Input) และความสำคัญต่อการเอาต์พุต (Output) ที่น่าสนใจโดยฟังก์ชันจะมีลักษณะเป็นการกำหนดภาษาสามัญ เพื่อให้เป็นฟัซซีการอินพุต ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.21 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก

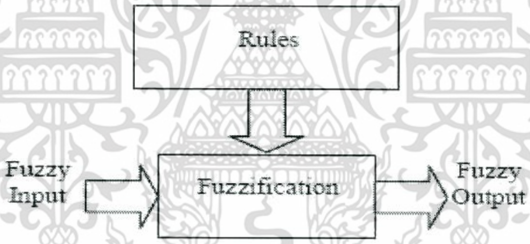
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตที่อาศัยหลักการของการหาเหตุและผล อาจจะสร้างการเก็บข้อมูล การคาดการณ์จากการตัดสินใจของมนุษย์ หรือค่าจากการทดลอง โดยเขียนเป็นกฎการควบคุมระบบ ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบ ถ้า (If) และ (And) หรือ (Or) ซึ่งเป็นภาษาสามัญ นำกฎทั้งหมดมาประมวลผลรวมกัน เพื่อการหาตัดสินใจที่เหมาะสม ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.22 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการหาฟัซซีเอาต์พุต โดยการนำกฎการควบคุมที่สร้างขึ้น ในขั้นตอนที่ 2 มาประมวลผลกับฟัซซีอินพุต โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำค่าที่ได้ประมวลผล ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.23 ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก

วิธีการทำเป็นค่าคลุมเครือ (Fuzzification) เป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการตีความหาเหตุผลเลือกใช้ Max-Min method และ Max-Dot method

ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการดีฟัซซิฟิเคชันเป็นการทำค่าฟัซซีให้เป็นค่าที่ใช้งานจริง ซึ่งวิธีการในการแปลงค่าสามารถทำได้หลายวิธี แต่ในการควบคุมนี้เลือกใช้วิธีการแปลงค่าฟัซซีเป็นค่าจริงด้วยความสูง (Height Defuzzification) เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายในการใช้ สำหรับวิธีการแปลงค่าฟัซซีเป็นค่าจริงด้วยความสูง ซึ่งมีอยู่ m กฎ โดยสามารถหาค่าของเอาต์พุตได้โดยใช้สมการที่ (2.37)

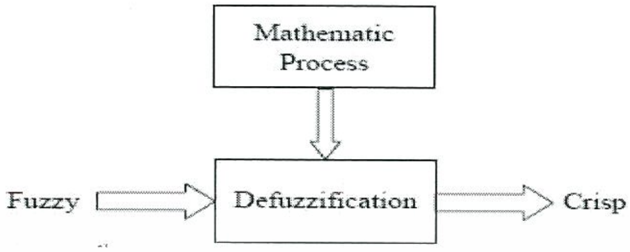
$$du = \left(\frac{\sum_{k=1}^{m} c(k) \times w_k}{\sum_{k=1}^{n} w_k} \right) \tag{2.37}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ du คือ การเปลี่ยนแปลงของการควบคุมเอาท์พุต

$c(k)$ คือ ค่าสูงสุดของแต่ละอินพุต และ

W_k คือ ความสูงของกฎที่ k



รูปที่ 2.24 ขั้นตอนที่ 4 ของการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก

2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ ตัวควบคุมการทำงานของอุปกรณ์หรือขบวนการต่างๆ เป็น อุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำที่รวบรวมฟังก์ชันการทำงานต่างๆ ไว้ภายในตัวของมันเอง มีขนาดเล็ก และสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เชื่อมต่อกับตัวมัน โดยเน้นความสมบูรณ์ภายในตัวของมันเองและง่ายต่อการนำไปใช้งานหรือแก้ไขดัดแปลง

โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU: Central Processing Unit)

2. หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือ ข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกกระดาษทดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำแรม (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วๆ ไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีอีพรอม(EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก ใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุต เพื่อรับสัญญาณ อาจจะด้วยการกดสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น

4. ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ภายในตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

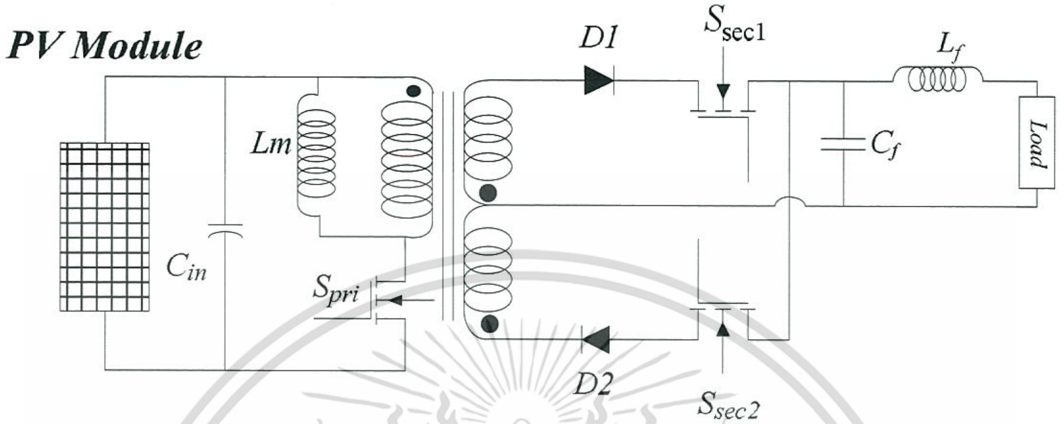
ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus) บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)

5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับการกำหนดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้น มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและสร้างชุดควบคุมวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

3.1 โครงสร้างของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

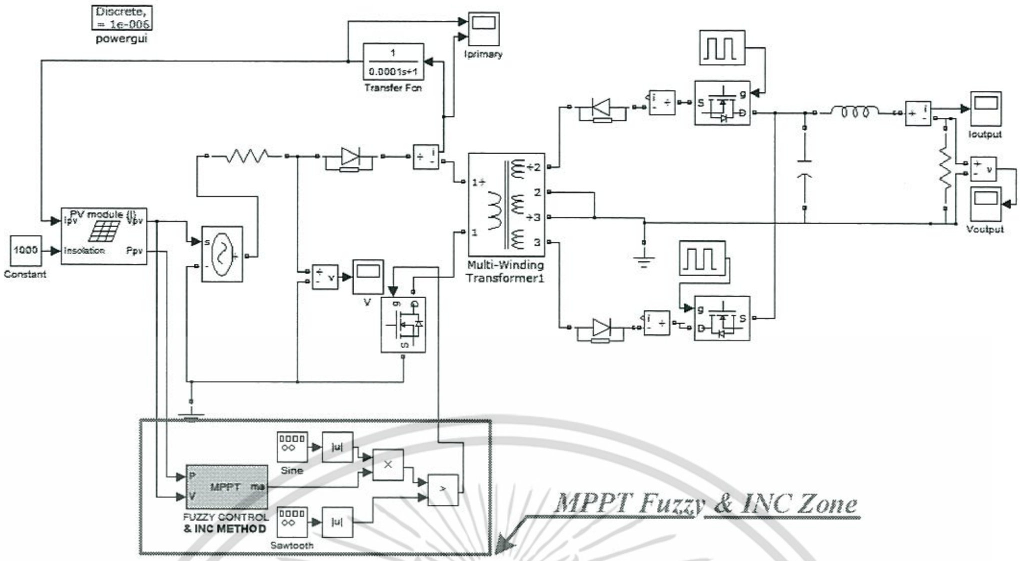


รูปที่ 3.1 โครงสร้างของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 3.1 ทำการออกแบบวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์และชุดควบคุม ซึ่งมีผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง โดยมีวงจรตรวจจับกระแสและแรงดัน ส่งค่าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เข้าไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลผ่านทางตัวแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล (ADC) ทั้งสองพอต ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยสัญญาณที่ได้ถูกนำมาควบคุมการทำงานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ส่งกำลังไฟฟ้าสูงสุดเข้าสู่ระบบตลอดเวลา ซึ่งมีสวิตซ์มอสเฟตกำลังที่ถูกขับด้วยสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชัน (PWM) ที่สร้างจากการนำสัญญาณซายน์สัมบูรณ์ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ มาเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยมที่ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยใช้การปรับแอมปลิจูดของซายน์สัมบูรณ์เพื่อควบคุมการดึงกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด แล้วจ่ายเข้าหม้อแปลงฟลายแบ็คความถี่สูงเพื่อยกระดับแรงดันรวมทั้งเป็นตัวเก็บพลังงานและแยกกราวด์ทางไฟฟ้าระหว่างอินพุตและเอาท์พุต แล้วควบคุมการสวิตซ์ของ IGBT ทางด้านทุติยภูมิ เพื่อสร้างสัญญาณซายน์ที่มีแรงดันสูงขึ้นและมีความถี่เท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์ แล้วจ่ายเข้ากับโหลดสำหรับวงจรทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์แบบควบคุมด้วยวิธีการฟัซซีและการเพิ่มค่าความนำ

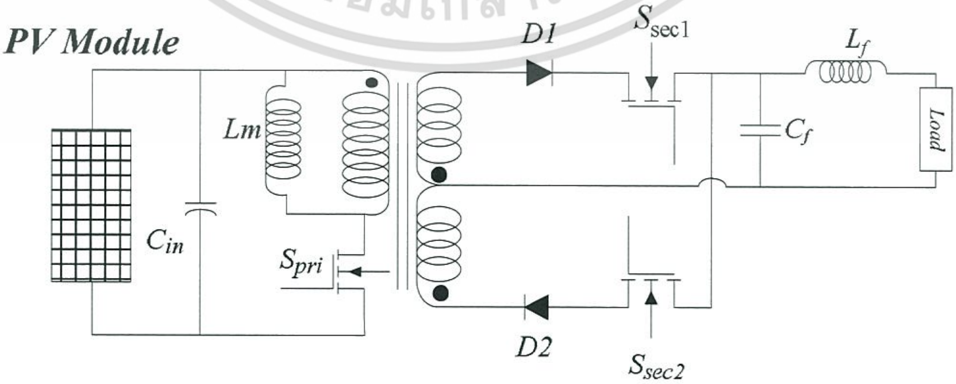


รูปที่ 3.2 วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ที่มีตัวตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบฟัซซีและการเพิ่มค่าความนำแบบใช้ค่าความชันของกราฟ PV ออกแบบบนโปรแกรม MATLAB/simulink

3.2.1 หลักการพื้นฐานของการม็อดดูเลชันความกว้างพัลส์

การศึกษาหลักการพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการสร้างสัญญาณพัลส์วิดมอดเลชัน (PWM) จำเป็นต้องอาศัยความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการสร้างสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชัน โดยสัญญาณนั้นถูกสร้างจากการนำสัญญาณ 2 สัญญาณเข้ามาเปรียบเทียบกัน ซึ่งมีหลากหลายวิธีการ สำหรับในบทความนี้เสนอวิธีการมอดูเลชันความกว้างพัลส์ โดยนำสัญญาณสามเหลี่ยมและสัญญาณซายน์สัมบูรณ์มาทำการเปรียบเทียบกันเพื่อสร้างสัญญาณ PWM เพื่อขับสวิตซ์มอสเฟสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงฟลายแบ็คความถี่สูง ซึ่งจำเป็นต่อการควบคุมการดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3.2.1.1 แผนผังการทำงานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับโหลด



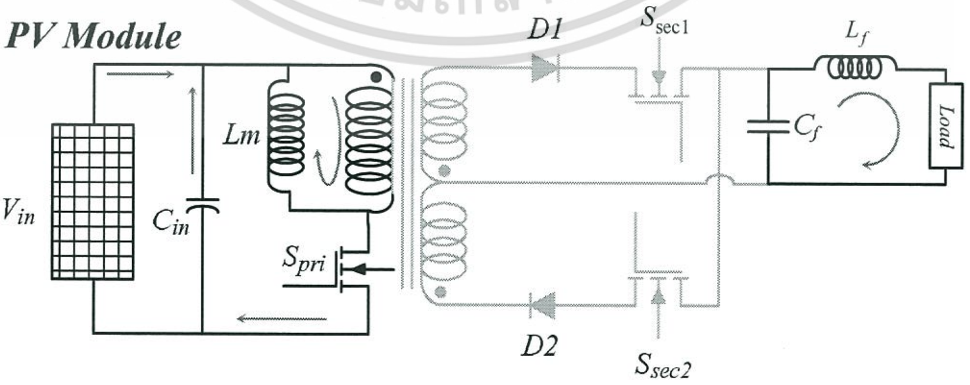
รูปที่ 3.3 วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 แสดงรูปวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ โดยมีส่วนประกอบดังนี้ ส่วนแรกคือหม้อแปลงฟลายแบ็คมีหน้าที่สร้างกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ และช่วยเป็นตัวแยกระหว่าง แผงเซลล์แสงอาทิตย์กับระบบกริดการไฟฟ้าเพื่อช่วยป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์กรณีเกิดข้อผิดพลาดหรือลัดวงจร และหม้อแปลงจะต้องมีการคายกระแสที่สมบูรณ์เพื่อให้หม้อแปลงทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง (DCM) ซึ่งเหมาะสำหรับระบบต้องการกำลังไฟฟ้าไม่มาก

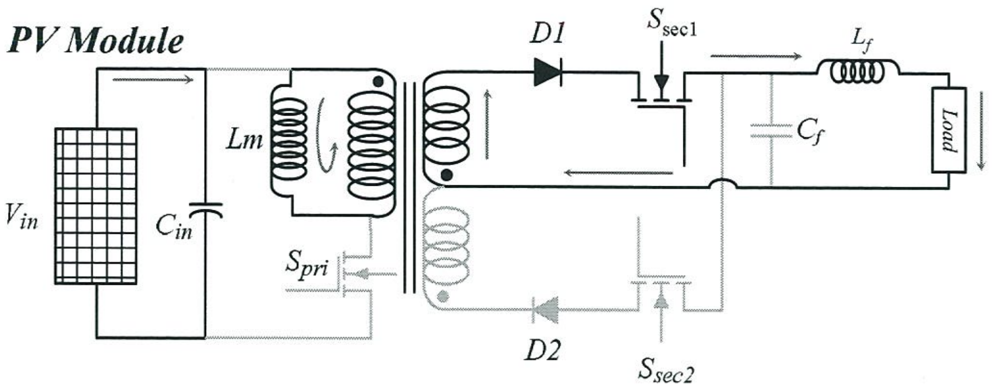
ในส่วนต่อมาคืออุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งมีทั้งหมด 3 ตัวด้วยกันในโครงงานนี้เลือกใช้มอสเฟตเนื่องจากราคาถูกและสามารถสวิตซ์ในย่านความถี่สูงได้ โดยมีการกำหนดสัญลักษณ์ตามรูปที่ 3.2 โดยที่ S_1 จะรับสัญญาณขับเกตในรูปของสัญญาณ PWM ซึ่งเกิดจากการม็อดดูเลชั่น ระหว่างแอบซูลูทไซน์กับรูปคลื่นสามเหลี่ยมซึ่งมีการสวิตซิ่งที่ความถี่ 27 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งจะได้กำลังไฟฟ้าออกมาอยู่ในรูปสัญญาณแอปซูลูทไซน์ส่งเข้าไปยังหม้อแปลงฟลายแบ็คส่วน S_{sec1} และ S_{sec2} จะมีวงจรตรวจจับผ่านศูนย์ส่งสัญญาณขับเกตเพื่อที่แปลงสัญญาณแอปซูลูทไซน์ให้เป็นสัญญาณไซน์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์

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



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 3.4 วงจรสมมูลของวงจรฟลายแบ็คขณะทำงานที่ครึ่งคาบด้านไฟบวก
(ก) สวิตช์ S_{pri} และ S_{sec1} ทำงาน (ข) สวิตช์ S_{pri} หยุดทำงาน สวิตช์ S_{sec1} ทำงาน

3.2.2 พิกัดอุปกรณ์ของอินเวอร์เตอร์

3.2.2.1 พิกัดกำลังของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

จากหัวข้อที่ 2.2.1 การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กของหม้อแปลงความถี่สูง [21] เมื่อ $P = 100$ วัตต์ และ $V_{ac,rms}^2 = 220^2$ แทนลงในสมการที่ 2.31 จะคำนวณหาค่า

$$g_s = 2.06612 \times 10^{-3}$$

กำหนดให้ $\lambda = \dfrac{V_{dc}}{V_{ac,p}} = \dfrac{17}{311} = 0.0546623$ และ $n = \dfrac{N_p}{N_s} = 0.5$

เมื่อแทนลงในสมการที่ 2.32 จะได้ค่าความสัมพันธ์คือ

$$\frac{g_S}{g_L} = 1.21403 \times 10^{-3} \qquad (3.1)$$

นำค่า g_s ไปแทนสมการที่ 3.1 จะได้ค่า

$$g_L = 1.701869$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2.28 แทนค่า $g_L = 1.701869$ และ $f_s = 27\ kHz$

$$L_m = 21.76\ \mu H$$

ดังนั้นถ้าต้องการพิกัดกำลังของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ 100 วัตต์ จะต้องใช้ค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก 21.76 ไมโครเฮนรี่

3.2.2.2 พิกัดกระแสไฟฟ้าของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

จากหัวข้อที่ 2.5 การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กของหม้อแปลงความถี่สูงจากสมการที่ 2.27

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

เมื่อแทนค่า $g_l = 1.701869,\ dp \leq \dfrac{1}{1+\dfrac{0.0546623}{0.5}} \leq 0.901449$ และ $V_{dc} = 17V$

$$I_{dc,avg} = 5.87A$$

และรวมสมการที่ 2.5, 2.17 และ 2.27 จะได้ความสัมพันธ์คือ

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

เมื่อแทน $I_{dc,avg} = 5.87756$ แอมแปร์ ลงในสมการที่ 3.2 จะได้ค่า

$$I_{dc,peak} = 26.08049A$$

3.2.2.3 ขนาดพิกัดของตัวสวิตซ์

จากค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่คำนวณได้คือ 26.08049 แอมแปร์ ดังนั้นจึงเลือกใช้อุปกรณ์สวิตซ์ในด้านปฐมภูมิดังนี้ อุปกรณ์สวิตซ์ปฐมภูมิ มอสเฟต เบอร์ IRFP260 พิกัดแรงดัน 200 โวลต์ พิกัดกระแส 50 แอมป์ อุปกรณ์สวิตซ์ด้านทุติยภูมิ ไอจีบีที เบอร์ GW30NC80W พิกัดแรงดัน 800 โวลต์ พิกัดกระแส 30 แอมแปร์ หลักการที่เลือกใช้อุปกรณ์ตามนี้เนื่องจากเพื่อให้อุปกรณ์มีความทนทานสามารถรองรับกระแสไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.4 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

ขั้นตอนการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงโดยวิธีผลคูณพื้นที่ [21] ในโครงงานนี้เลือกใช้แกนเหล็กชนิดแกนเฟอร์ไรต์ซึ่งเป็นแกนแม่เหล็กสำหรับคอนเวอร์เตอร์สวิตชิ่งความถี่สูง ซึ่งมีค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กอิ่มมีค่าประมาณ 0.3 เทสลา จากสมการผลคูณพื้นที่ของวงจรฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์จะได้ค่า A_p ดังสมการที่ 3.4

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

โดยที่ $A_p = A_c \times A_w$

เมื่อ A_c หมายถึง พื้นที่หน้าตัดของแกน

A_w หมายถึง พื้นที่ภายในกรอบว่างของแกน

P_o 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 ความถี่สวิตชิ่ง

ดังนั้นจะคำนวณหาค่า

$$A_p = \frac{100\left(\frac{1}{0.7}\sqrt{\frac{4(0.9)}{3}} + \sqrt{\frac{4(1-0.9)}{3}}\right)}{(3.5)(0.35)(10^6)(0.2)(27\times10^3)}$$

$$A_p = 2.917 \times 10^{-8} m^4$$

จากค่า A_p ข้างต้นสามารถนำไปพิจารณาในการเลือกแกน โดยเลือกแกนที่มีค่า A_p มากกว่าที่คำนวณได้จากตารางภาคผนวก ก. ตารางผลคูณพื้นที่แกนเฟอไรต์ จะเลือกแกนชนิด EE42/21/15 ซึ่งมีค่า $A_p = 2.917 \times 10^{-8} m^4$ และ $A_c = 1.82 \times 10^{-4} m^2$ การคำนวณหาจำนวนรอบของขดลวดสามารถคำนวณได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

โดย N_1 คือ จำนวนรอบของขดลวดที่พันอยู่บนแกนแม่เหล็กซึ่งได้ค่า

$$N_1 = \frac{(0.9)(0.7)}{(1.82\times10^{-4})(0.2)(27\times10^{3})}$$

ดังนั้นจำนวนรอบของขดลวดที่พันอยู่บนแกนแม่เหล็กจำนวน 15 รอบ จากค่าอัตราส่วนรอบของหม้อแปลง $n = 0.5$ ดังนั้นจะได้ว่า $N_2 = 30$ รอบ

3.3 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

วงจรควบคุมประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือส่วนควบคุมด้านปฐมภูมิ ด้านทุติยภูมิ และวงจรควบคุม MPPT ทางส่วนปฐมภูมิจะทำงานประสานกับวงจรควบคุม MPPT โดยนำสัญญาณซายน์สัมบูรณ์ที่ทำงานร่วมกับสัญญาณควบคุม MPPT ซึ่งประกอบด้วยชุดตรวจจับแรงดัน กระแส และวงจรคูณ มาเปรียบเทียบกับสัญญานสามเหลี่ยม แล้วนำสัญญาณที่ได้ไปขับเกตทางฝั่งปฐมภูมิ ในส่วนของวงจรขับเกตทางฝั่งทุติยภูมิจะใช้วงจรจุดตัดศูนย์ใช้ตรวจจับสัญญาณซายน์อ้างอิง 50Hz แล้วเข้าวงจรประวิงเวลาเพื่อควบคุมสัญญาณการทำงานของสวิตซ์ด้านทุติยภูมิทั้งสองไม่ให้ทำงานพร้อมกัน

3.3.1 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม

การสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมนั้นจะใช้ IC เบอร์ LM741CN เนื่องจากอุปกรณ์ขยายที่ใช้ในวงจรจะทำงานอยู่ในย่าน คัดออฟหรืออิ่มตัว เท่านั้น ซึ่งในระหว่างที่วงจรทำงานในย่านอิ่มตัวนั้น จะไม่มีกระแสไหลและเมื่อนำสัญญาณภายนอกเข้ามาในวงจรสัญญาณเอาต์พุตได้ย้อนกลับไปยังอินพุต ดังนั้น ความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับการประจุของตัวเก็บประจุ ไปยังค่าความต้านทานตามสมการที่ (1) จากรูปวงจรข้างบนจึงจะได้ว่า ออปแอมป์ตัวแรก (A_1) ทางซ้ายจะเป็นตัวกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม แล้วนำสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้มาเข้าวงจรอินติเกรตของออปแอมป์ตัวที่สอง(A_2) โดยสัญญาณจาก A_1 เป็นค่าเปรียบเทียบสัญญาณศูนย์โวลต์ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตสี่เหลี่ยมกำเนิดคู่กับ A_1 และอัตราส่วน R_1/R_2 เป็นตัวกำหนดขนาดของสัญญาณสามเหลี่ยมจะมีความถี่ตามสมการ (3.6) ความต้านทาน R_1 และ R_2 ควรมีค่าที่เหมาะสม R_1 ควรมีค่าใกล้เคียง 1หนึ่งใน3ของ R R_2 ควรเป็น 2-10 เท่าของ R_1 โดยในวงจรเลือกใช้ R_1 มีค่าเท่ากับ 2 กิโลโอห์ม R_2 มีค่าเท่ากับ 100 กิโลโอห์ม กำหนดใช้ ค่าตัวเก็บประจุ 1 นาโนฟารัด และความถี่ที่เลือกใช้ 27 กิโลเฮิรตซ์ เมื่อคำนวณจะได้ค่า R เท่ากับ 47 กิโลโอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_0 = \frac{1}{2RC\ln\left(\frac{2R_1}{R_2}+1\right)} \quad (3.6)$$

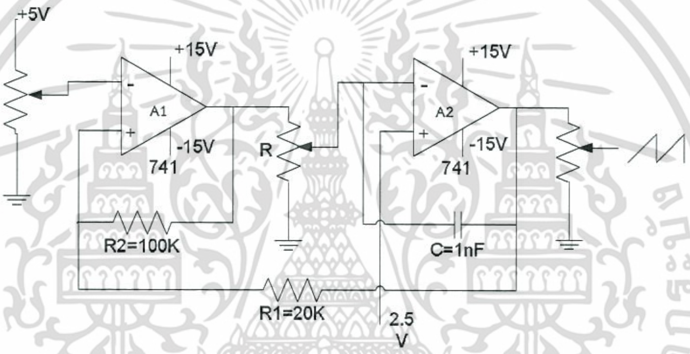
$$f_0 = \frac{1}{4RC}\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \quad (3.7)$$

เมื่อ f_0 = ความถี่ของสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม (กิโลเฮิรตซ์)

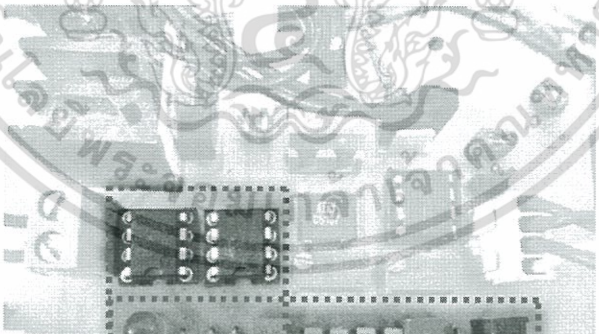
ความต้านทาน R_1 และ R_2 ควรมีค่าที่เหมาะสม ดังนี้

R_1 = ควรมีค่าใกล้เคียงหนึ่งในสามของ R

R_2 = ควรเป็นสองถึงสิบเท่าของ R_1



(ก)



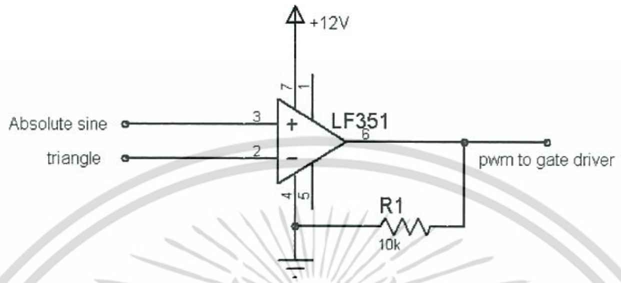
(ข)

รูปที่ 3.5 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม (ก) แผนผังวงจร (ข) วงจรจริง

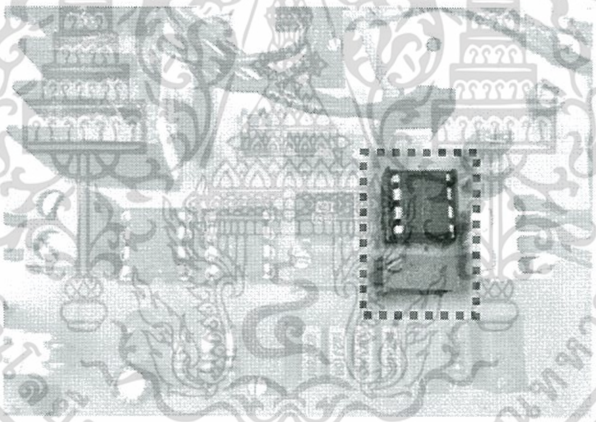
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator)

ในการเปรียบเทียบสัญญาณจะใช้สัญญาณสามเหลี่ยมและสัญญาณซายน์สัมบูรณ์ในการเปรียบเทียบ โดยที่สัญญาณซายน์สัมบูรณ์นำมาจากสัญญาณซายน์ของการไฟฟ้านำมาลดระดับแรงดันและเรียงกระแสให้กลายเป็นซายน์สัมบูรณ์ จากนั้นนำทั้ง 2 สัญญาณมาเปรียบเทียบสัญญาณโดยใช้ IC คือ LF351



(ก)



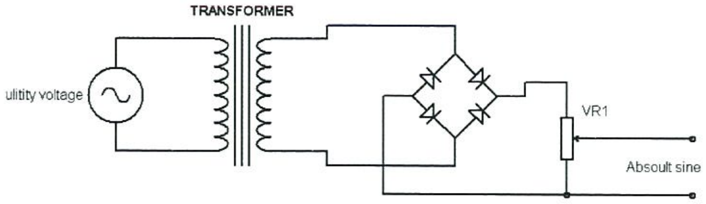
(ข)

รูปที่ 3.6 ภาพวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (ก) แผนผังวงจร (ข) วงจรจริง

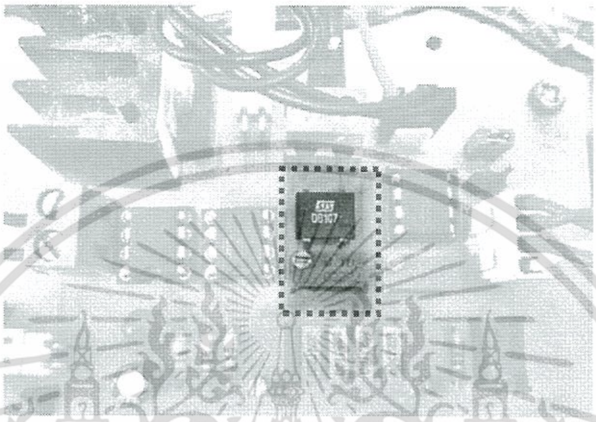
3.3.3 วงจรตรวจจับสัญญาณซายน์สัมบูรณ์ที่มีเฟสตรงกับการไฟฟ้า

วงจรตรวจจับสัญญาณซายน์สัมบูรณ์เป็นวงจรที่สร้างสัญญาณซายน์สัมบูรณ์ที่มีเฟสตรงกับการไฟฟ้าโดยมีหม้อแปลงแรงดันลดระดับแรงดันจากการไฟฟ้าและเข้าสู่ไดโอดบริดจ์ทำหน้าที่เรียงกระแสทำให้เกิดสัญญาณซายน์สัมบูรณ์และมี VR1 ในรูปที่ 3.6 ทำหน้าที่แบ่งแรงดันเพื่อเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



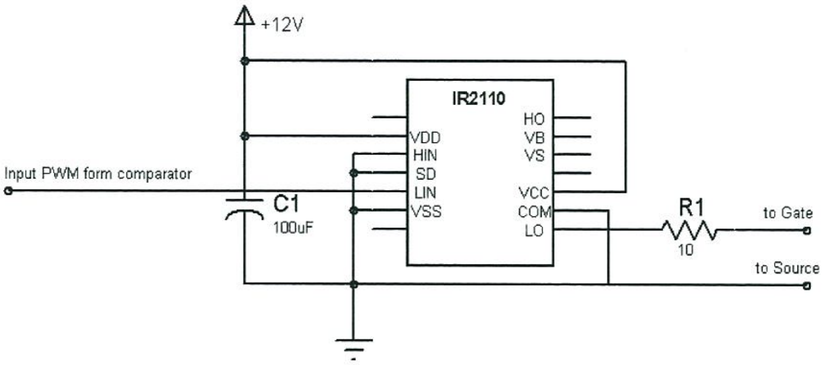
(ข)

รูปที่ 3.7 วงจรตรวจจับสัญญาณซายน์สัมบูรณ์จากการไฟฟ้า
(ก) แผนผังวงจร (ข) วงจรจริง

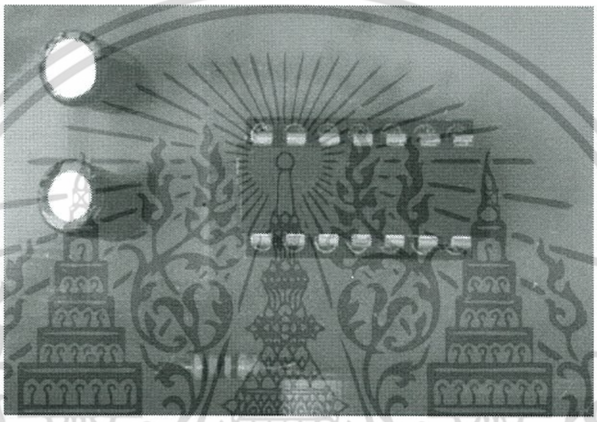
3.3.4 วงจรขับเกต (Gate Drive Control)

วงจรขับเกตแบ่งออกเป็นสองชุดด้วยกันคือ วงจรขับเกตด้านปฐมภูมิและวงจรขับเกตด้านทุติยภูมิ ซึ่งวงจรขับเกตด้านปฐมภูมิจะรับสัญญาณ PWM จากวงจรเปรียบเทียบสัญญาณและจะส่งสัญญาณ PWM ไปขับขาเกตของมอสเฟตดังรูปที่ 3.7 ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่ามีการใช้วงจรขับเกตเฉพาะด้าน Low side เท่านั้นเนื่องจากมีสวิตซ์เพียงตัวเดียว ด้านทุติยภูมิจะแตกต่างกับด้านปฐมภูมิเล็กน้อยเนื่องจากสวิตซ์ด้านทุติยภูมิต่ออยู่กับแรงดันของการไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องมีการแยกกราวน์กันทางไฟฟ้าซึ่งใช้ Opto isolate เบอร์ PC817 ซึ่งทำหน้าที่ในการแยกกราวน์ ดังรูปที่ 3.8 จะเห็นได้ว่าวงจรกำลังและวงจรควบคุมมีการแยกกราวน์ทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



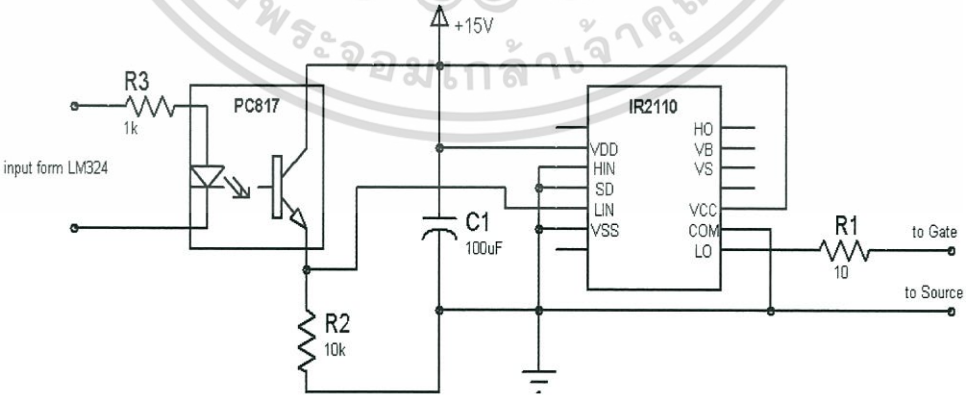
(ก)



(ข)

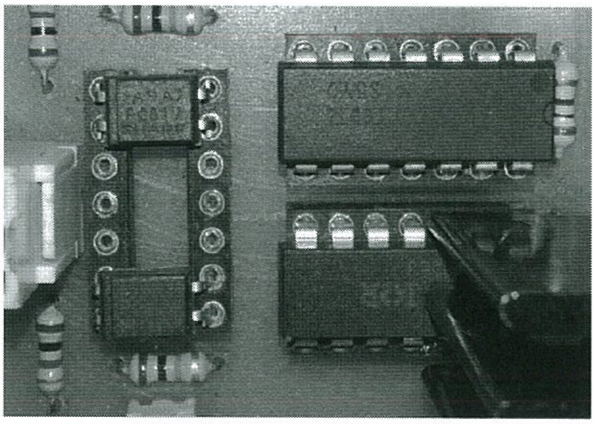
รูปที่ 3.8 วงจรขับเกตด้านปฐมภูมิ

(ก) แผนผังวงจร (ข) วงจรจริง



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 3.9 วงจรขับเกตด้านทุติยภูมิ

(ก) แผนผังวงจร (ข) วงจรจริง

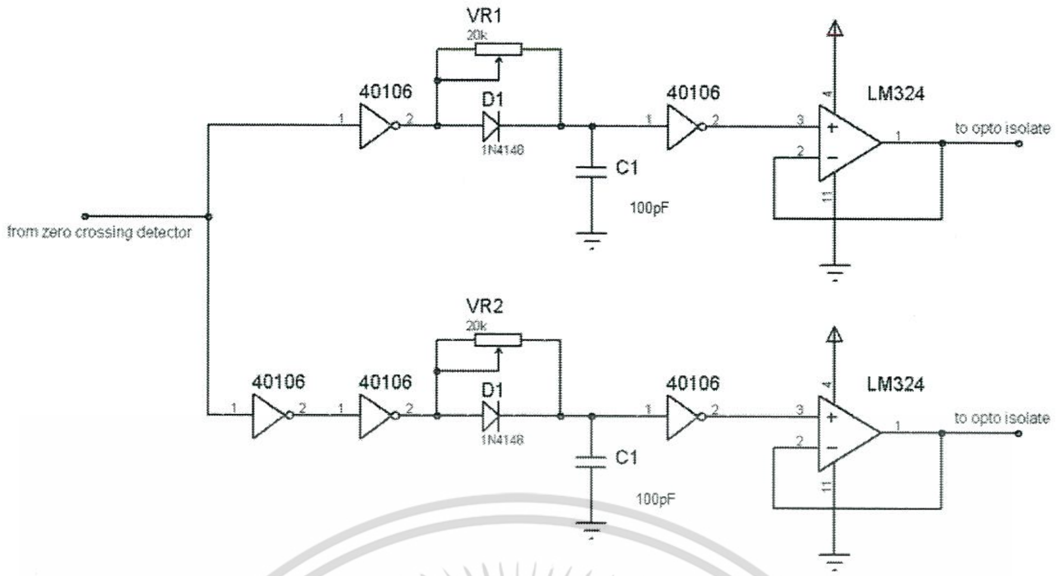
3.3.5 วงจรประวิงเวลา (Dead Time Circuit)

ในทางอุดมคติสัญญาณควบคุมอุปกรณ์สวิตซ์ชิ่งกำลังทางไฟฟ้านั้นจะมีช่วงเวลาในการทำงานและหยุดทำงาน ช่วงหนึ่ง โดยช่วงเวลาเริ่มการทำงานของสวิตช์จะมีค่าน้อยกว่าช่วงเวลาที่ให้หยุดทำงาน ถ้าหากให้สัญญาณควบคุม สวิตซ์หนึ่งหยุดทำงาน และอีกสวิตซ์เริ่มทำงานที่เวลาเดียวกัน ในทางปฏิบัติจะทำให้มีช่วงเวลาที่สวิตช์ทั้งสองยังคงทำงานอยู่ จะทำให้เกิดการลัดวงจรของแหล่งจ่ายกำลังงานได้จะทำให้เกิดความเสียหายกับสวิตช์ หรือแหล่งจ่ายได้ ดังนั้นจึงต้องป้องกันการลัดวงจรดังกล่าวด้วยการหน่วงเวลา ของสัญญาณเพื่อให้สวิตซ์ตัวแรกหยุดทำงาน และเริ่มให้สวิตซ์อีกตัวเริ่มทำงานหลังจากที่หน่วงเวลา โดยที่วงจรประวิงเวลาจะใช้กับมอสเฟตฝั่งทุติยภูมิเพื่อป้องกันการลัดวงจร

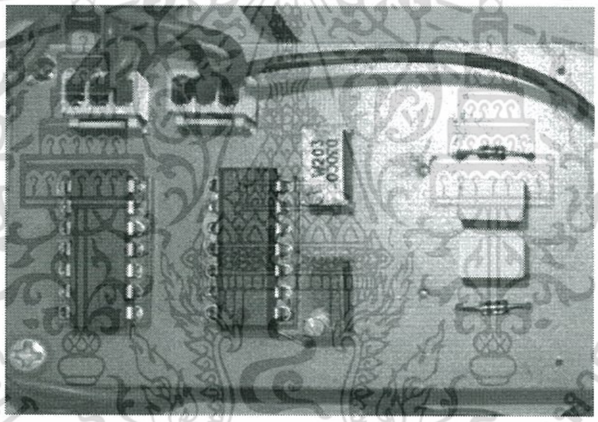
การทำงานของวงจรประวิงเวลาอาศัยหลักการ ชาร์จ ดิสชาร์จของวงจร RC ทำงานร่วมกับไอซี Hex inverse ซึ่งการหน่วงเวลาจะขึ้นอยู่กับค่าเวลาคงตัว (time constant) ของวงจร RC โดยมี VR1 และ VR2 เป็นตัวปรับเวลาที่หน่วงสำหรับสวิตซ์ด้านทุติยภูมิซึ่งสัญญาณก่อนจะส่งไปขับเกตจะผ่านออปแอมป์เบอร์ LM324 เพื่อทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้แรงดันเอาพุตท์ไม่ลดลงเมื่อผ่าน Opto isolate สัญญาณที่ออกจากออปแอมป์แต่ละตัวจะเป็นสัญญาณพัลล์ที่มีความถี่ 50 เฮิรตซ์ มีดิวตี้ไซเคิล 50% ซึ่งจะมีสัญญาณหนึ่งที่มีมุมเฟสตรงกับแรงดันการไฟฟ้าและอีกสัญญาณหนึ่งมีมุมเฟสตรงข้ามกับแรงดันการไฟฟ้า โดยวงจรมีค่าเวลา (T) ในช่วง 2-7 ไมโครวินาที โดยกำหนดค่าตัวเก็บประจุ (C_1) เท่ากับ 100 พิโคฟารัด สามารถคำนวณหาค่าความต้านทาน ได้ตามสมการที่ 3.8

$$T = 5\tau = 5RC \tag{3.8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



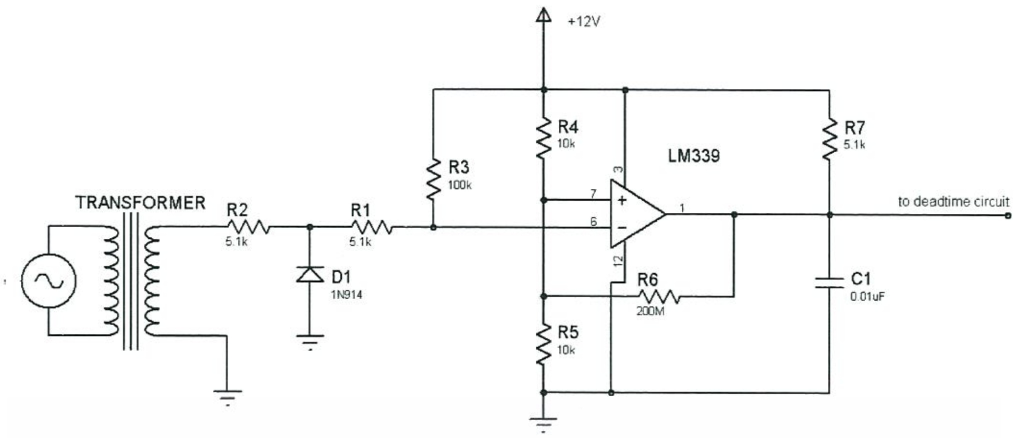
(ข)

รูปที่ 3.10 วงจรประวิงเวลา
(ก) แผนผังวงจร (ข) วงจรจริง

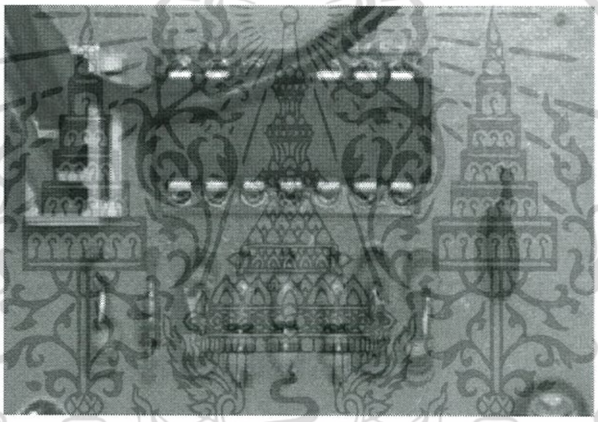
3.3.6 วงจรตรวจวัดจุดตัดศูนย์ของแรงดันการไฟฟ้า (Zero Crossing)

การสร้างสัญญาณตรวจวัดจุดตัดศูนย์ของแรงดันการคือการจับสัญญาณไซน์ให้เป็นสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่เท่ากับสัญญาณไซน์การไฟฟ้านั้นเพื่อนำไปเป็นสัญญาณที่ไปขับเกตของสวิตซ์กำลังทางด้านทุติยภูมิซึ่งการทำงานของวงจรตรวจวัดจุดศูนย์ออกแบบโดยใช้ไอซีเบอร์ LM339N เป็นตัวเปรียบเทียบแรงดันโดยสัญญาณที่เข้าไอซี LM339N เป็นสัญญาณที่ได้จากหม้อแปลงลดระดับแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.11 วงจรตรวจวัดจุดตัดศูนย์ของแรงดันการไฟฟ้า

(ก) แผนผังวงจร (ข) วงจรจริง

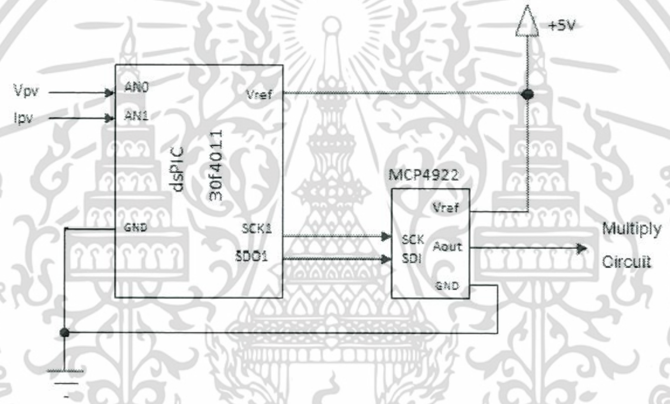
3.3.7 วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

การควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมได้หลายภาษา ได้แก่ แอสเซมบลี เบสิก ซี และ พาสคาล แต่เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์มีด้วยกันหลายประเภทหรือตระกูลแบ่งตามสถาปัตยกรรม (การผลิตและกระบวนการทำงานระบบการประมวลผล) บางประเภทสามารถเขียนได้ทุกภาษา แต่บางประเภทก็ใช้ได้บางภาษาทั้งนี้ขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม รวมถึงผู้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย สำหรับในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC30F4011 ในการทำการจำลอง

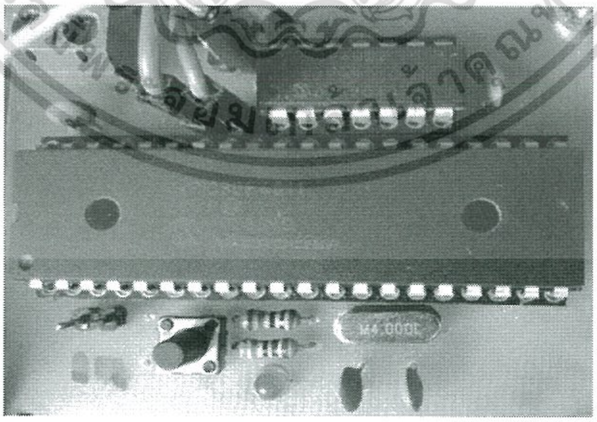
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dsPIC30F4011 เป็นตัวประมวลผลดิจิตอลขนาด 16 บิต ของบริษัท ไมโครชิพ จำกัด โดยใช้เป็นชุดควบคุมดิจิตอลของโครงงานนี้ รายละเอียดของชุดควบคุมดิจิตอลนั้นกล่าวไว้ในบทที่ 2 ในโครงงานนี้ใช้ฟังก์ชันของ dsPIC30F4011 ในการควบคุมค่ามอดูเลชั่นอินเด็ก ตัวแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล (ADC) ตัวแปลงดิจิตอลเป็นอนาล็อก (DAC) ตัวประมวลผล (CPU) ซึ่งฟังก์ชันดังกล่าวนั้นสำคัญมากในการควบคุมระบบของชุดไมโครอินเวอร์เตอร์สำหรับระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 3.11(ก) แสดงการทำงานของ dsPIC30F4011 ที่ใช้ในโครงงานนี้ ซึ่ง dsPIC30F4011 นี้รับสัญญาณทั้งหมด 2 สัญญาณ ได้แก่ แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (V_{pv}) ทางช่อง AN0 กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ (I_{pv}) ทางช่อง AN1 โดยสัญญาณที่เข้าไปในตัว dsPIC30F4011 นี้เป็นเงื่อนไขของแรงดันไฟฟ้า โดย dsPIC30F4011 ทำการอ่านค่าของสัญญาณรับเข้าของตัวแปลงอนาล็อก โดยรับแรงดันและกระแสจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อทำการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Maximum Power Point Tracking : MPPT) ซึ่งวิธีการทำ MPPT ก็ใช้ dsPIC30F4011 ในการหากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.12 วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

(ก) แผนผังวงจร (ข) วงจรจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.8 วงจรคูณ (Multiplier IC)

ขั้นตอนแรกเลือกใช้ไอซีเบอร์ AD633JN เป็นไอซีที่ใช้คูณค่าระหว่างแรงดันซายน์สัมบูรณ์และแรงดันที่ใช้อ้างอิงจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อต้องการปรับค่าอัตราขยายภายในโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3.9

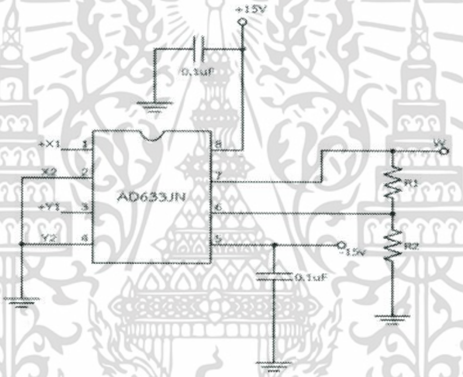
$$W=\frac{(x_1-x_2)(y_1-y_2)}{10V}\left(\frac{R_1+R_2}{R_1}\right) \tag{3.9}$$

$1k\Omega \le R_1, R_2 \le 100k\Omega$

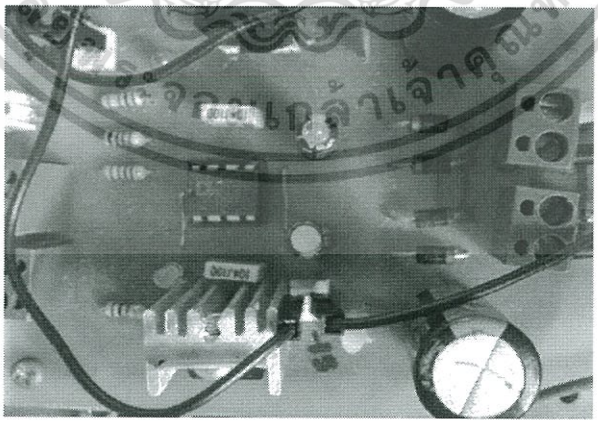
เมื่อ x_1 คือ แรงดันซายน์สัมบูรณ์

y_1 คือ แรงดันที่ใช้อ้างอิงจากคอนโทรลเลอร์

W คือ ค่าแรงดันที่คูณเรียบร้อยแล้ว



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.13 วงจรคูณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) แผนผังวงจร (ข) วงจรจริง

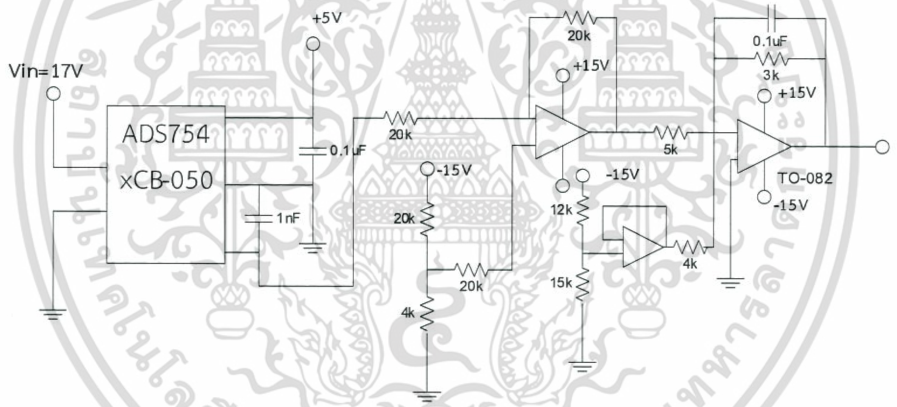
3.3.9 วงจรตรวจจับกระแส (Current sensor)

อาศัยปรากฏการณ์ที่ประจุเคลื่อนที่ในวัตถุตัวนำในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองฝั่งของตัวนำ ทำให้สามารถตรวจวัดค่ากระแสหรือแรงดันฟ้าได้ โดยการออกแบบได้ใช้ไอซีเบอร์ ACS754xCB-050 ในการตรวจจับกระแส ส่วนวงจรขยายรวมสัญญาณใช้ไอซีเบอร์ TL-082 ช่วยขยายแรงดันไฟฟ้าให้ได้ค่าตามที่ต้องการและยังใช้ในการเปรียบเทียบแรงดันเอาท์พุตจากไอซีเบอร์ ACS754xCB-050 แล้วนำค่าที่เปรียบเทียบได้ไปคำนวณดังสมการที่ 3.10

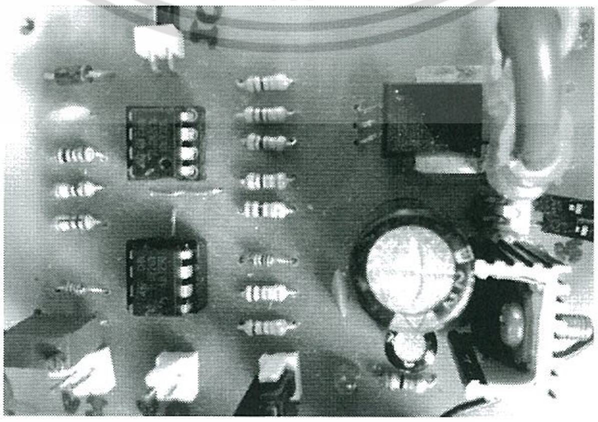
$$V_{out} = -\left(\frac{R_f}{R_i}V_1 + \frac{R_f}{R_i}V_2\right) \tag{3.10}$$

เมื่อ V_{out} คือ แรงดันเอาท์พุตของวงจรเปรียบเทียบ

R_i, R_f คือ ค่าความต้านทาน



(ก)



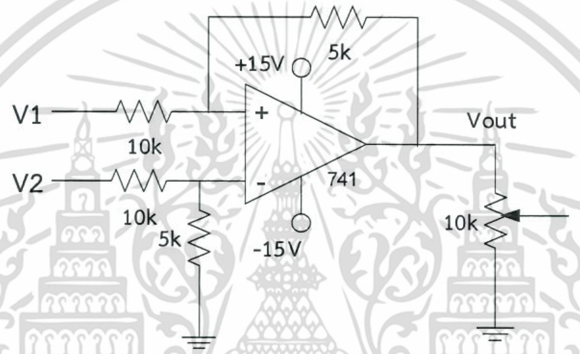
(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.14 วงจรตรวจจับกระแส
(ก) แผนผังวงจร (ข) วงจรจริง

3.3.10 วงจรตรวจจับแรงดันไฟตรง (DC Voltage sensor)

ออกแบบโดยใช้ไอซี LM 741CN โดยใช้การต่อแบบวงจรขยายความแตกต่าง ซึ่งเป็นการหาค่าความแตกต่างระหว่าง 2 สัญญาณ หรืออาจมองว่าเป็นการขจัดความเหมือนกันของสัญญาณทั้ง 2 ก็ได้ โดย V_1 ใช้แรงดันไฟบวกจากแผงโซล่าเซล 18-20 โวลต์ ส่วนแรงดัน V_2 ต่อเข้าที่ขั้วลบของแผงโซล่า เมื่อผ่านวงจรที่อัตราการขยาย 0.5 เท่าของแรงดันอินพุต จะได้แรงดันเอาต์พุต 9-10 โวลต์ ส่วนตัวต้านทานปรับค่าได้ต่อไว้เพื่อลดทอนแรงดันไฟฟ้าให้เหลือ 0-5 โวลต์ ก่อนที่จะนำสัญญาณที่ได้เข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ จะสามารถวิเคราะห์ได้ตามสมการดังนี้



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.15 วงจรตรวจจับแรงดันไฟตรง
(ก) แผนผังวงจร (ข) วงจรจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{out} = \frac{R_f}{R_i}\left(V_1 - V_2\right) \qquad (3.11)$$

โดยที่ V_{out} คือ แรงดันเอาต์พุตก่อนเข้าตัวต้านทานปรับค่าได้ (โวลต์)

R_f คือ ค่าความต้านทานที่ใช้ขนาด 5 กิโลโอห์ม

R_i คือ ค่าความต้านทานที่ใช้ขนาด 10 กิโลโอห์ม

V_1 คือ แรงดันไฟบวกมีค่า 18-20 โวลต์

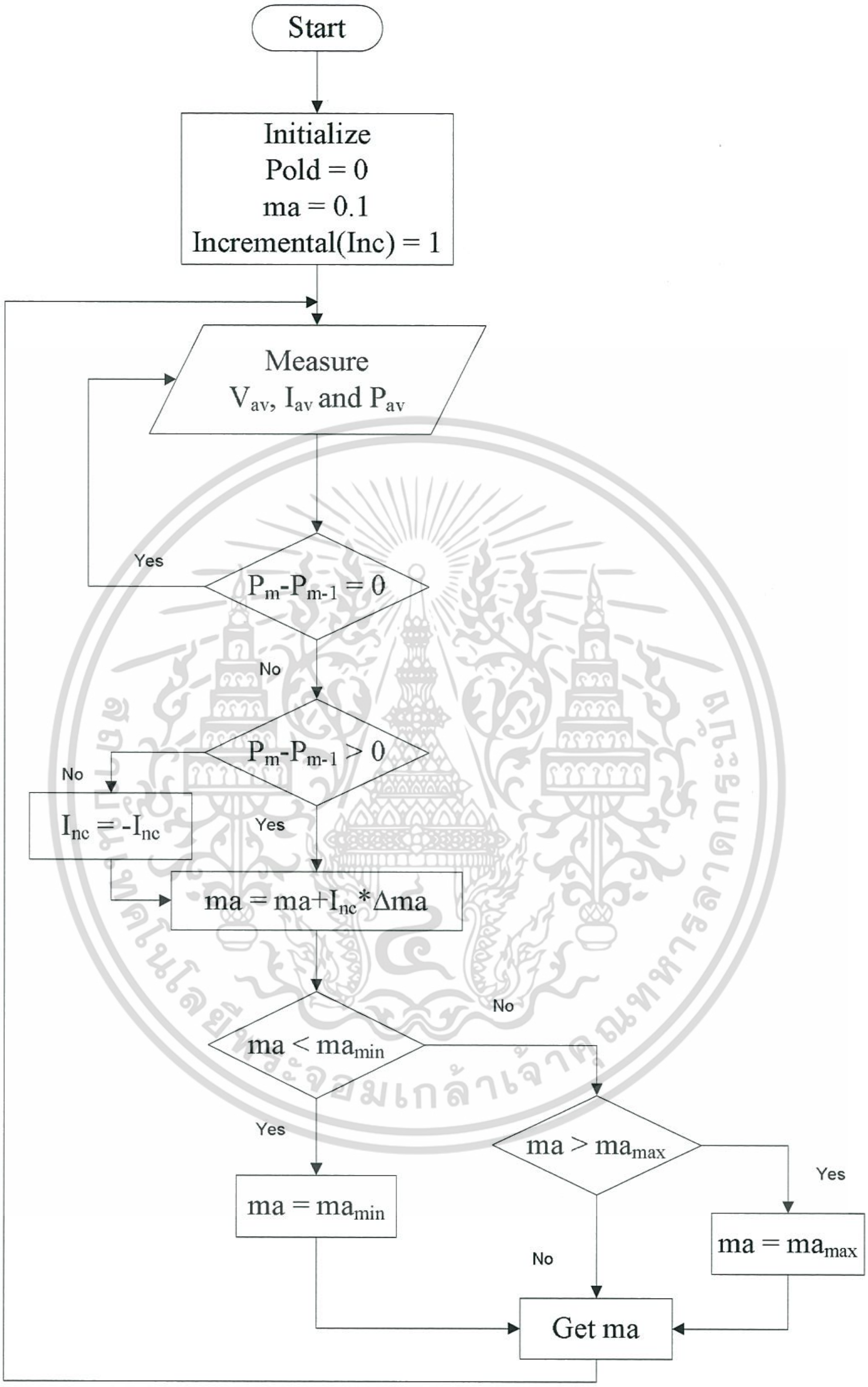
V_2 คือ แรงดันไฟลบหรือแรงดันที่มีค่าเป็นศูนย์โวลต์

3.4 การออกแบบระบบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3.4.1 ระบบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการรบกวนและสังเกต (P&O)

เทคนิครบกวนและสังเกตใช้การปรับค่าของกระแสและค่าของแรงดันจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยวิธีการรบกวนและสังเกตถูกอธิบายไว้ในเอกสารอ้างอิงที่ 3 ดังจะเห็นได้จากบทความวิจัยที่ผ่านมา วิธีการนี้เป็นวิธีการที่เหมาะสมและทำงานได้อย่างดีที่สภาวะที่เป็นสภาวะคงตัว อย่างไรก็ตามข้อเสียของเทคนิคนี้คือเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ยิ่งไปกว่านั้นระบบอาจมีการตามรอยกำลังไฟฟ้าผิดทิศทางได้หากเกิดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงที่รวดเร็วรวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของโหลด โดยผลของอัตราการเปลี่ยนดัชนีมอดูเลชันอินเด็กส่งผลต่อความเร็วในการตามรอยกำลังไฟฟ้าและการแกว่งของกำลังที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

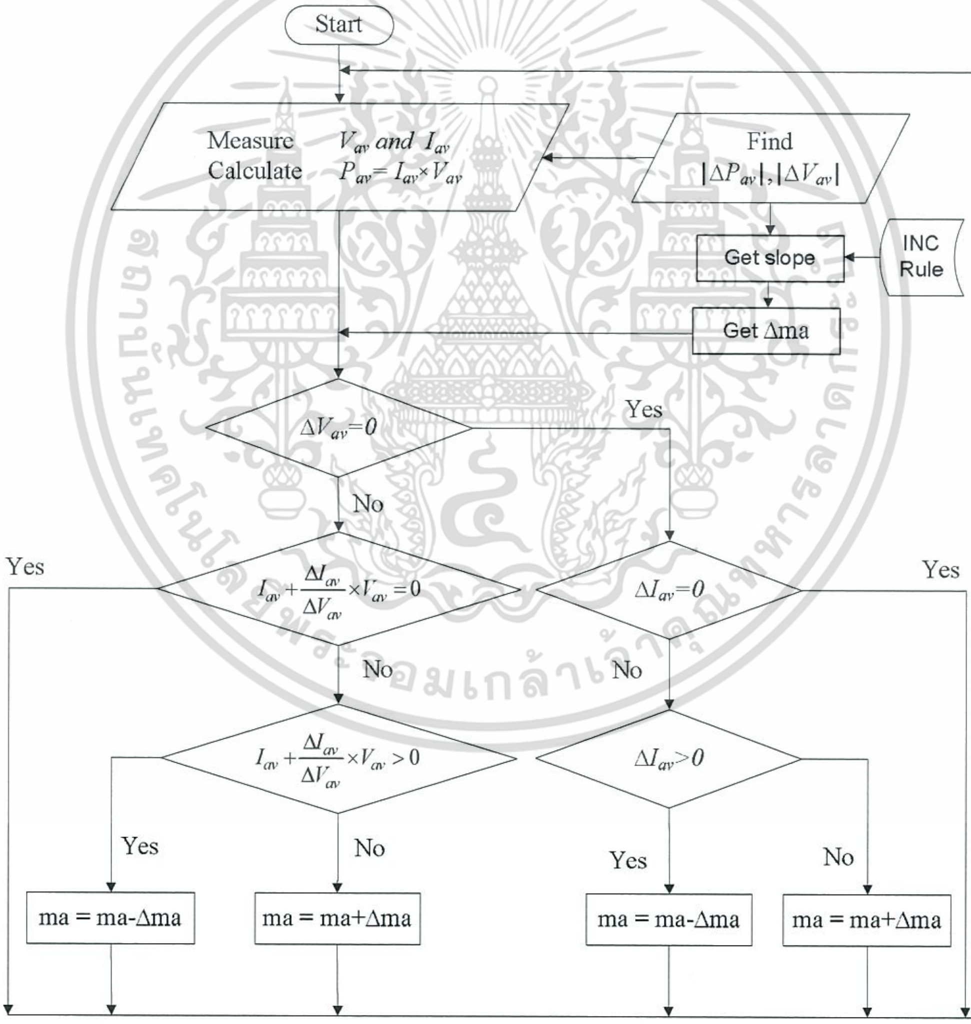


รูปที่ 3.16 แผนผังการทำงาน (Flow chart) ของเทคนิคการรบกวนและสังเกต (P&O)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 ระบบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการเพิ่มค่าความนำโดยใช้ค่าอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชันอินเด็กแตกต่างกัน (Multiple step size Incremental conductance)

วิธีเพิ่มค่าความนำ (Incremental conductance) [22,23] ใช้วิธีการหาค่าอนุพันธ์ของกำลังไฟฟ้าขาออกเทียบกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อค่าอนุพันธ์มีค่าเท่ากับศูนย์แสดงว่าจุดทำงานอยู่ที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด แต่ถ้าไม่เท่ากับศูนย์จะทำการเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นขั้นๆ จนกระทั่งจุดทำงานวิ่งเข้าสู่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด วิธีนี้มีข้อดีคือความสามารถในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างถูกต้องเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอาทิตย์อย่างทันทีทันใด แต่มีการคำนวณที่ซับซ้อน ใช้เวลาในการคำนวณมาก และเกิดปัญหาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดในสภาวะคงตัวเมื่อต้องการลดเวลาในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดให้น้อยลง วิธีนี้ยังคงมีการตรวจจับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เช่นเดียวกับวิธี การรบกวนและสังเกต



รูปที่ 3.17 แผนผังการทำงาน (Flow chart) ของเทคนิคการเพิ่มค่าความนำโดยใช้ค่าอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชันอินเด็กแตกต่างกัน (Multiple step size Incremental conductance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของค่าอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชันอินเด็ก (Δma) อาศัยหลักการของค่าอนุพันธ์ของกำลังไฟฟ้าขาออกเทียบกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำค่าความชันที่ได้มาเลือกค่า (Δma) จากตารางที่ถูกกำหนดเป็นกฎของวิธีการเพิ่มค่าความนำโดยใช้ค่าอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชันอินเด็กแตกต่างกัน (Multiple step size Incremental conductance) ดังตารางที่ 3.1 นอกจากนั้นจากกราฟคุณลักษณะ PV ดังรูปที่ 2.15 จะเห็นได้ว่าค่าความชันทางด้านซ้ายและทางด้านขวามีค่าไม่เท่ากัน จึงนำมาสู่การสร้างค่าน้ำหนักที่ใช้คูณกับค่าอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชันอินเด็ก (Δma) เพื่อให้ระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้รวดเร็วขึ้นดังแสดงในสมการที่ 3.12 และ 3.13

ในกรณีที่การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ทางด้านซ้ายของกราฟ PV

$$ma(k) = ma(k-1) + Inc \times weight_left \times \Delta ma \quad (3.12)$$

ในกรณีที่การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ทางด้านขวาของกราฟ PV

$$ma(k) = ma(k-1) + Inc \times weight_right \times \Delta ma \quad (3.13)$$

ซึ่งค่าน้ำหนักที่เลือกใช้คือ $weight_left$ = 0.8 เนื่องจากมีความชันของกราฟด้านซ้ายที่น้อย และ $weight_left$ = 1 เนื่องจากมีความชันที่มากกว่า

ตารางที่ 3.1 กฎของเทคนิคการเพิ่มค่าความนำแบบเทคนิคที่นำเสนอ

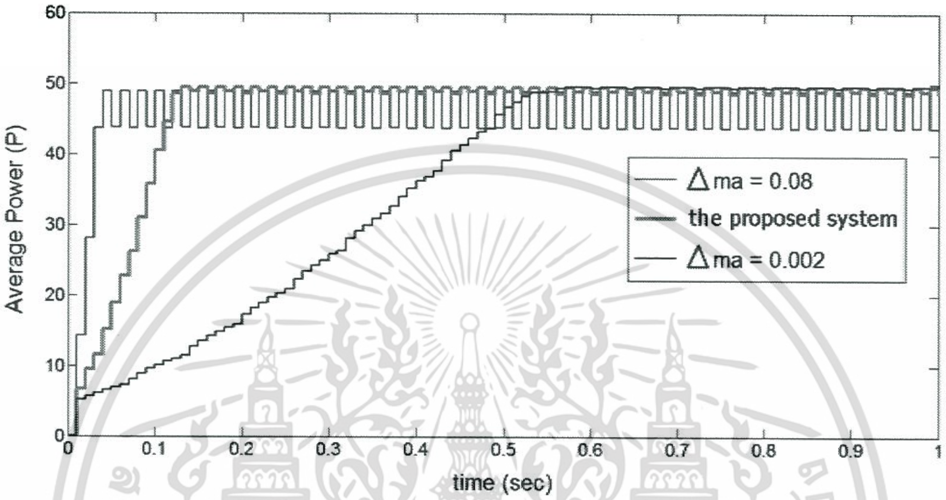
Rule No.	ถ้าค่าความชัน (slope) $(\lvert\Delta P\rvert / \lvert\Delta V\rvert)$	แล้ว Δma เท่ากับ
1	0<=slope<2	0.005
2	2<=slope<5	0.01
3	5<=slope<8	0.02
4	8<=slope<10	0.03
5	slope>10	0.05

3.4.3 การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยการควบคุมแบบฟัซซี่ (Fuzzy logic control)

อินเวอร์เตอร์ฟลายแบ็คจำเป็นต้องใช้การควบคุมการเปลี่ยนดัชนีมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) เพื่อควบคุมการตามรอยกำลังไฟฟ้าเพื่อให้ตามรอยกำลังไฟฟ้าได้สูงที่สุด โดยในการควบคุมแบบการรบกวนและการสังเกตเดิมนั้นจะใช้การควบคุม การเปลี่ยนดัชนีมอดูเลชั่นอินเด็กที่เท่ากัน โดยถ้าใช้อัตราการเปลี่ยนดัชนีมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) ที่มีค่ามากเกินไปจะทำให้เกิดการแกว่งที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดมากแต่จะใช้เวลาในการตามรอยถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้รวดเร็ว ในทางกลับกันถ้าใช้อัตราการเปลี่ยนดัชนีมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) ที่มีค่าน้อยเกินไปจะทำให้เกิดการแกว่งที่จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังไฟฟ้าสูงสุดต่ำขณะเดียวกันจะใช้เวลาในการตามรอยถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ช้าดังแสดงในรูปที่ 3.17 เทคนิคที่นำเสนอในบทความนี้คือตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้การควบคุมแบบฟัซซี่ควบคู่กับการรบกวนและสังเกต (Fuzzy based P&O MPPT) เพื่อปรับจูนค่าอัตราการเปลี่ยนดัชนีมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) ให้มีค่าที่เหมาะสม ซึ่งจำให้มีการตามรอยกำลังไฟฟ้าได้รวดเร็วอีกทั้งเมื่อตามรอยถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วจะมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำ



รูปที่ 3.18 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ $\Delta ma = 0.08$ (เส้นสีฟ้า), กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ $\Delta ma = 0.002$ (เส้นสีดำ) และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ Δma ถูกควบคุมด้วยฟัซซี่ (เส้นสีดำ)

การควบคุมการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยฟัซซี่ทำให้มีคุณสมบัติที่ดีมากขึ้นในหลายด้านเช่น ประสิทธิภาพที่ดีขึ้น มีความเสถียร เนื่องจากกฎพื้นฐานของฟัซซี่ถูกสร้างโดยผู้ที่มีความเชี่ยวชาญซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่ยุ่งยากและซับซ้อน รูปที่ 3.18 แสดงโครงสร้างปรับฐานความรู้ในการควบคุมแบบฟัซซี่ เป็นส่วนหนึ่งในการวิธีการของการควบคุมแบบฟัซซี่ ซึ่งประกอบด้วยส่วนหลัก 3 ส่วนด้วยกันคือ กระบวนการฟัซซิฟิเคชั่น (fuzzification) กระบวนการอนุมาน (inference engine) และกระบวนการดีฟัซซิฟิเคชั่น (defuzzification) โดยในเทคนิคที่นำเสนอได้นำค่าแอปโซลูทการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้า (|ΔPav|) และค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันมาเป็นอินพุตให้กับการควบคุมด้วยฟัซซี่ (|ΔVav|) โดยได้ค่าขนาดอัตราการเปลี่ยนดัชนีมอดูเลชั่นอินเด็ก (|Δma|) ออกมาเป็นเอาท์พุตของระบบ จากนั้นนำไปเข้ากระบวนการ P&O ซึ่งใช้เป็นตัวควบคุมการดึงกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับแผงผังการทำงาน (Flow chart) การทำงานของเทคนิคที่นำเสนอ (ตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยการควบคุมแบบฟัซซี่) ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 3.19

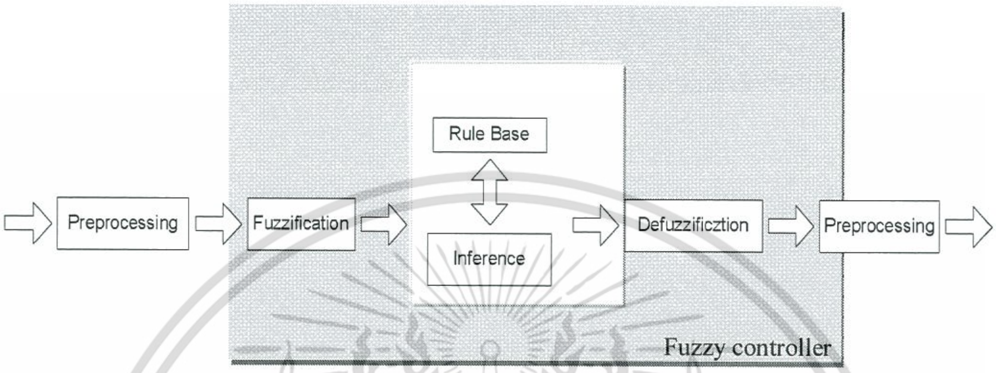
$$P_{av}^{m} = V_{av}^{m} \cdot I_{av}^{m} \quad (3.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left|\Delta P_{av}^{m}\right| = \left|P_{av}^{m} - P_{av}^{m-1}\right| \quad (3.15)$$

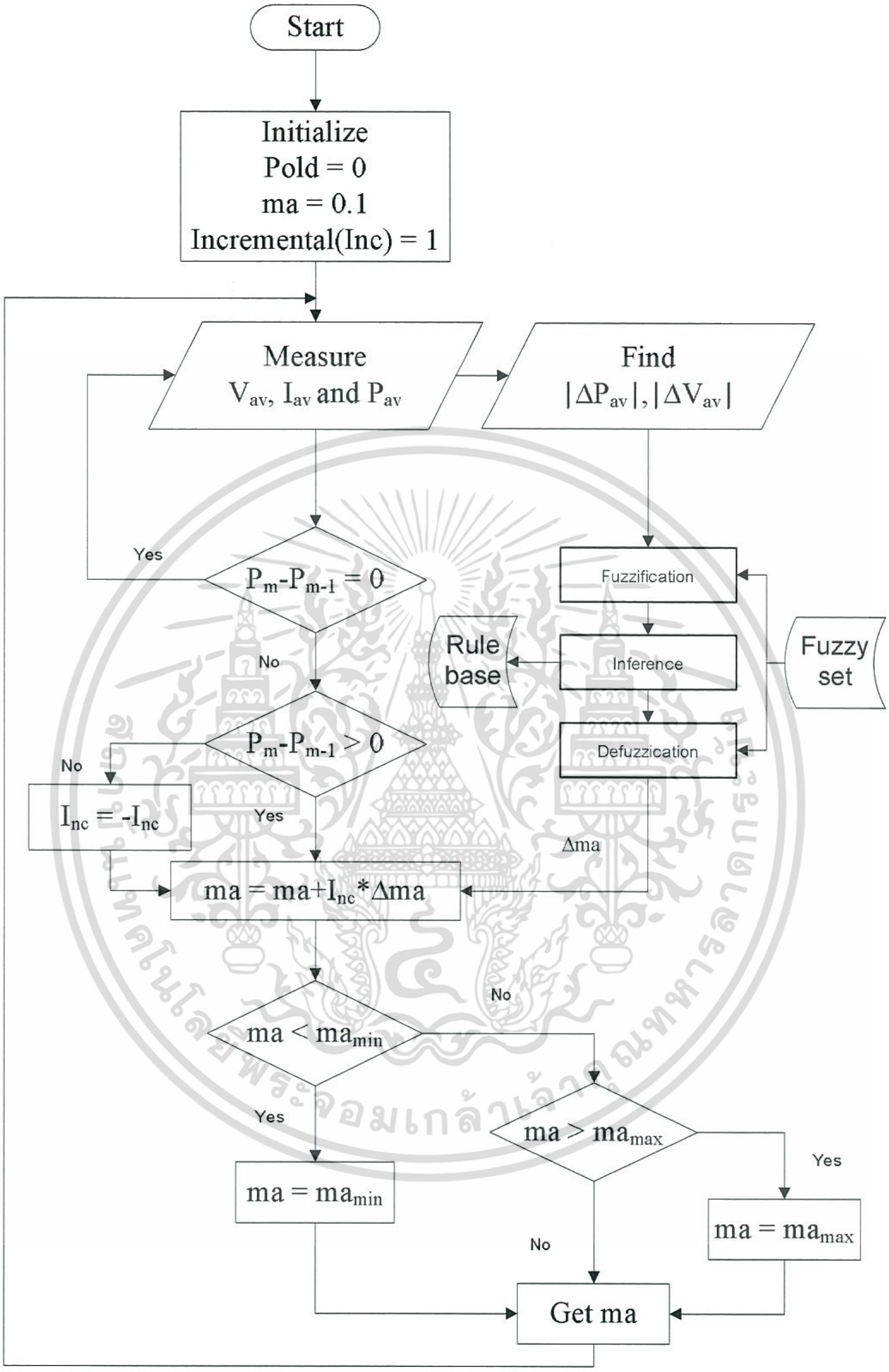
$$\left|\Delta V_{av}^{m}\right| = \left|V_{av}^{m} - V_{av}^{m-1}\right| \quad (3.16)$$

เมื่อ *m* และ *m-1* คือลำดับของการสุ่มที่ *m* และ *m-1*



รูปที่ 3.19 โครงสร้างของการควบคุมแบบฟัซซี่

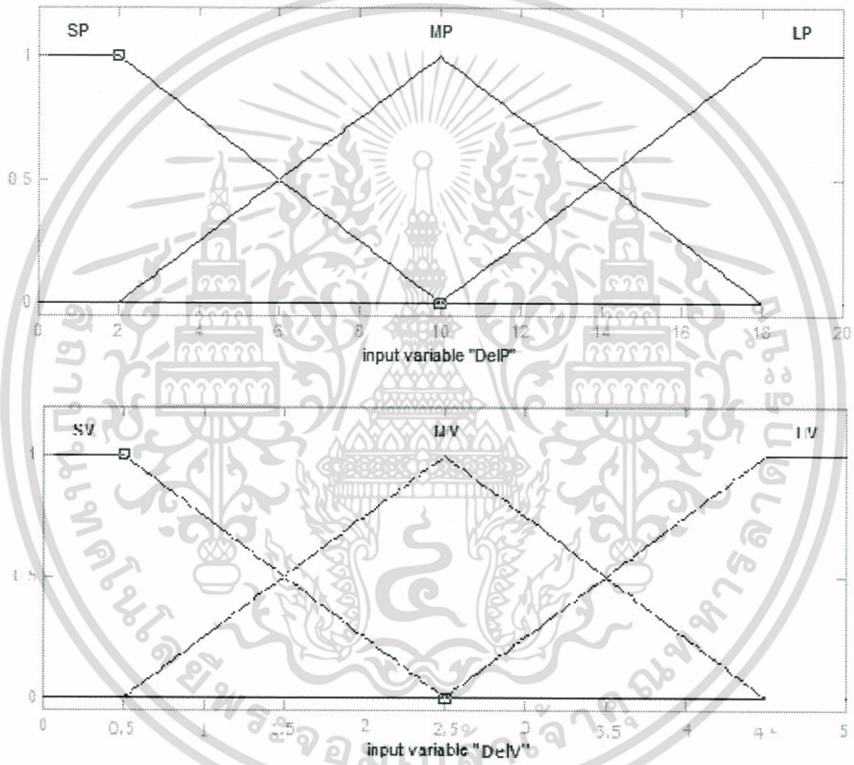
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 แผนผังการทำงาน (Flow chart) ของเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทความนี้ ในกระบวนการฟัซซิฟิเคชั่นได้นำค่าตัวแปรแอปโซลูทการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้า (|ΔPav|) มาเป็นอินพุตตัวแรกของระบบโดยทำการเปลี่ยนค่าที่เป็นตัวเลขให้เป็นตัวแปรเชิงภาษา (linguistic variable) ซึ่งประกอบด้วยสามสับเซตย่อยๆ คือ SP (small power) MP (medium power) และ LP (large power). และค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันมาเป็นอินพุตให้กับการควบคุมด้วยฟัซซี่ (|ΔVav|) มาใช้เป็นอินพุตตัวที่สองของระบบโดยแบ่งเป็น 3 สับเซตเช่นกัน แบ่งได้ดังนี้ SV (small voltage), MV (medium voltage) และ LV (large voltage). ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตถูกแสดงดังรูปที่ 3.20 โดยค่าขนาดอัตราการเปลี่ยนดัชนีมอดูเลชั่นอินเด็ก (|Δma|) เป็นเอาต์พุตของระบบ



รูปที่ 3.21 ค่าฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของอินพุตตัวที่ 1 และตัวที่ ($|\Delta P_{av}|$), ($|\Delta V_{av}|$)

การออกแบบกฎได้ออกแบบโดยใช้พื้นฐานความรู้จากการทดลองของผู้เขียน โดยค่าของกฎได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2 โดยกฎจะนำค่าขนาดความชันของ ($|\Delta P_{av}|$) และ ($|\Delta V_{av}|$) จากกราฟมาทำการเปรียบเทียบกัน โดยถ้าตามรอยจนถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วกราฟมีความชันที่ต่ำ ($|\Delta ma|$) จะถูกควบคุมให้มีค่าน้อย ในทางตรงกันข้ามถ้าความชันมีค่าสูงระบบจะควบคุมให้ ($|\Delta ma|$) มีค่ามาก สำหรับกระบวนการอนุมานของฟัซซี่จะใช้วิธีการ (Sugeno's method) ซึ่งเกี่ยวข้องกับวิธีการของค่าสูงสุดและต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 กฎการควบคุมแบบฟัซซี่ของเทคนิคที่นำเสนอ

Rule No.	ถ้า ΔPav	และ ΔVav	แล้ว Δma = weight (w_k)
1	SP	BV	5×10^{-3}
2	SP	MV	2×10^{-2}
3	SP	SV	3×10^{-2}
4	MP	BV	2×10^{-2}
5	MP	MV	3×10^{-2}
6	MP	SV	4×10^{-2}
7	LP	BV	3×10^{-2}
8	LP	MV	4×10^{-2}
9	LP	SV	6×10^{-2}

กระบวนการดีฟัซซิฟิเคชั่น ใช้เทคนิค (Sugeno's method) ซึ่งใช้งานง่ายและรวดเร็ว ซึ่งใช้การประมวลผลที่ไม่ยุ่งยากและซับซ้อน โดยในบทความนี้ได้โปรแกรมฟัซซี่ลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้ลดค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนของอุปกรณ์การประมวลผล อีกทั้งยังทำให้ระบบทำงานได้เร็วขึ้นอีกด้วย ในส่วนของการคำนวณเพื่อหาค่าขนาดอัตราการเปลี่ยนดัชนีมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) ของเอาต์พุตจากระบบสามารถคำนวณได้จากสูตรที่ 3.17

$$\Delta ma = \left(\frac{\sum_{k=1}^{m} \mu(k) \times w_k}{\sum_{k=1}^{n} w_k} \right) \tag{3.17}$$

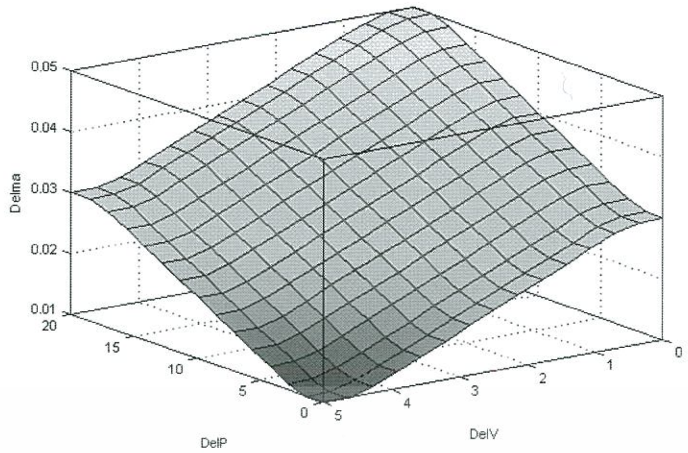
เมื่อ Δma คือ เอาพุตของระบบ

$\mu(\kappa)$ คือ ค่าผลจากฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของอินพุตในอันดับที่ k

w_k คือ ค่าน้ำหนักของกฎอันดับที่ k

m คือ จำนวนของกฎ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 เอาท์พุต (Δma) ในระบบสามมิติโดยใช้เทคนิค Sugeno ของระบบที่นำเสนอ

ค่าเอาต์พุตจากกระบวนการฟัซซี่ถูกนำไปคูณกับค่าแอปโซลูตไซต์ หลังจากนั้นนำสัญญาณที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม 30 kHz เพื่อสร้างสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชั่น (PWM) เพื่อนำไปขับสวิตซ์ S_{pri} ของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ ในรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง

4.1 การสร้างแบบจำลองกราฟคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

สร้างแบบจำลองคุณลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์โดยนำความต้านทานมาเป็นโหลดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และทำการเพิ่มความต้านทานของโหลดหลังจากนั้นทำการวัดค่ากระแสและแรงดันจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าดังนี้

ขนาดกำลังสูงสุด	125	วัตต์
แรงดันไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	17	โวลต์
กระแสไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	7.36	แอมป์
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร	7.64	แอมป์
แรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจร	21.6	โวลต์

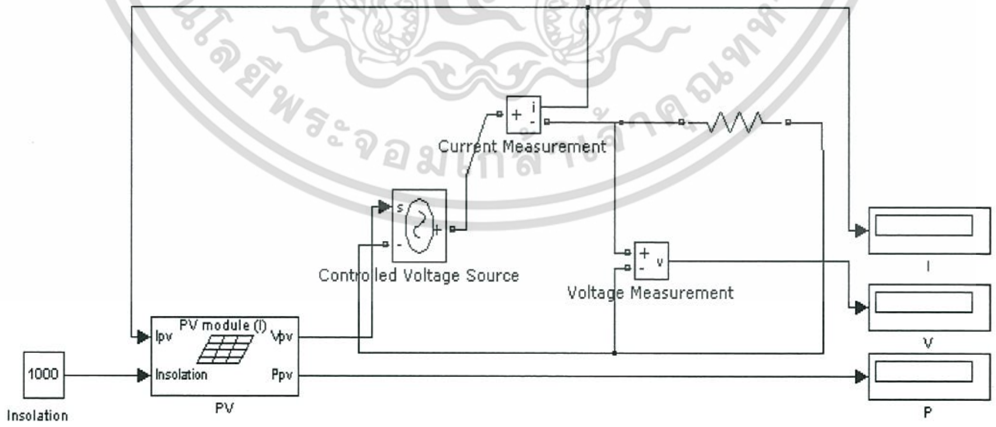
สภาพมาตรฐานที่ความเข้มแสง 1,000 W/m^2 ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันลดลง 0.5% ได้ทำการทดลองดังต่อนี้

1. เปิดวงจร (Open circuit) ทางด้านแรงดันเอาท์พุทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการไม่ต่อโหลดทำการวัดแรงดันเปิดวงจร

2. ลัดวงจร (Short circuit) ทางด้านเอาท์พุทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการทำการวัดกระแสลัดวงจร แรงดันลัดวงจรจะเป็นศูนย์

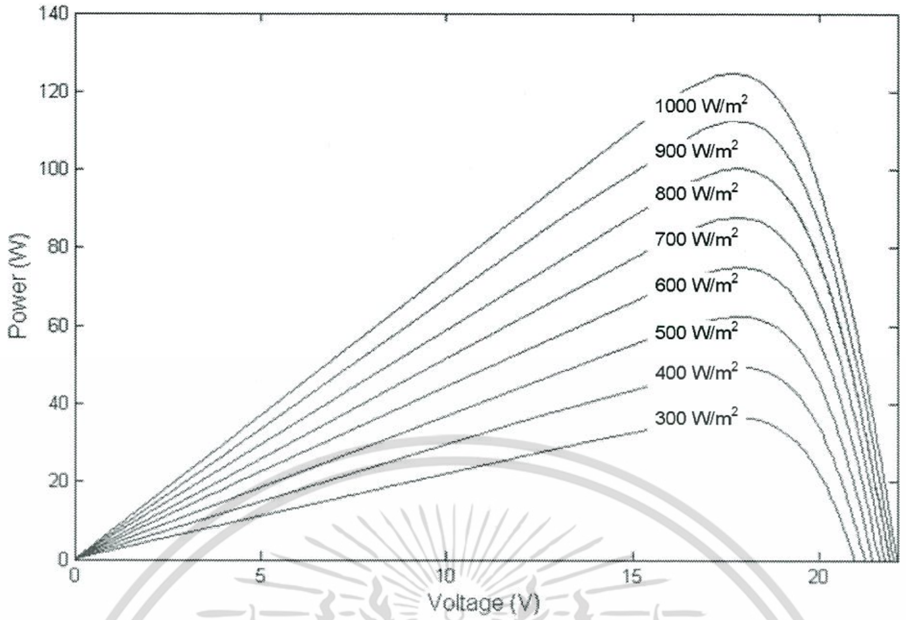
3. ต่อโหลดตัวต้านทานปรับค่าได้ปรับความต้านทานและวัดค่ากระแสและแรงดันในทุกขณะที่ มีการเปลี่ยนแปลง

4. นำค่ากระแสและแรงดันที่ได้จากการทดสอบในขั้นตอนที่ 1 – 3 มาทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดัน และ กระแสกับแรงดัน

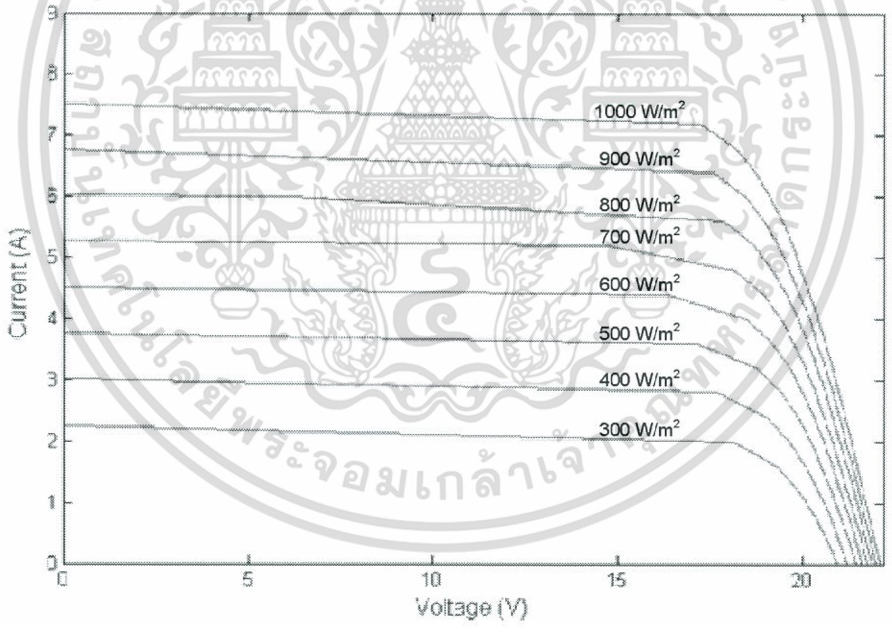


รูปที่ 4.1 วงจรทดสอบหาคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและแรงดันที่แต่ละความเข้มแสง

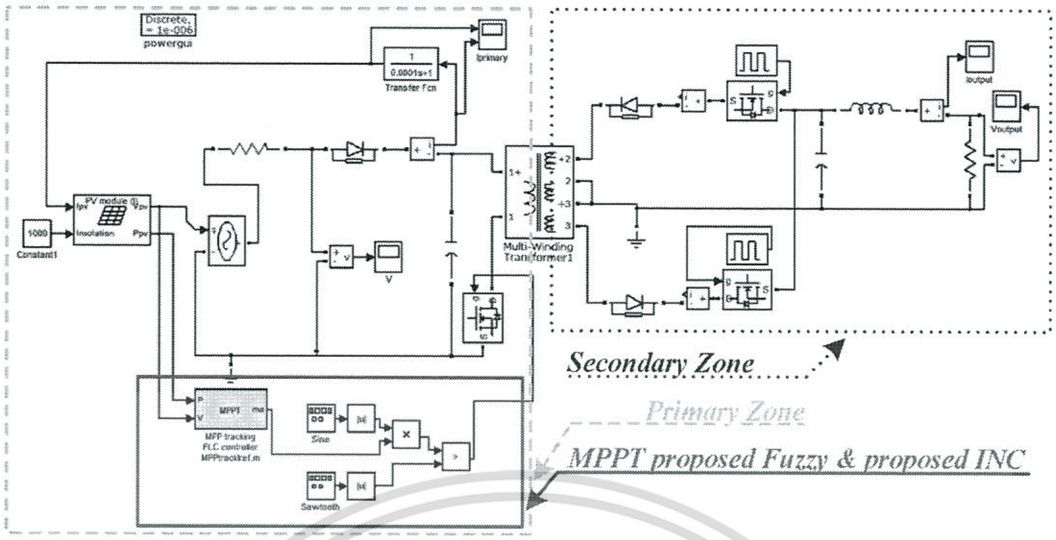


รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่แต่ละความเข้มแสง

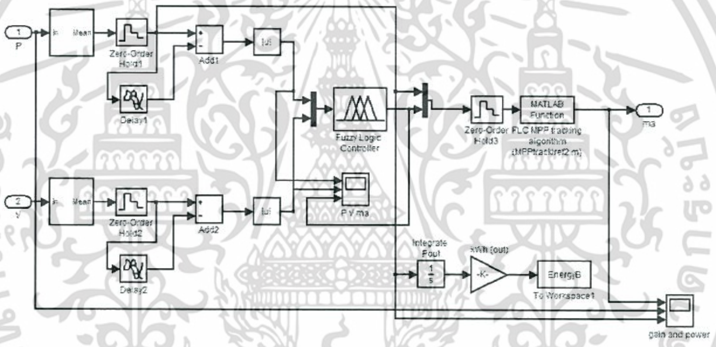
จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 ทำการจำลองหากราฟคุณลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้วงจรตามรูปที่ 4.1 ซึ่งทำการจำลองในแต่ละความเข้มแสง จะเห็นว่าที่แต่ละความเข้มแสงจะมีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเพียงค่าเดียวเท่านั้น

4.2 การจำลองระบบควบคุมแบบเทคนิคที่นำเสนอบนวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

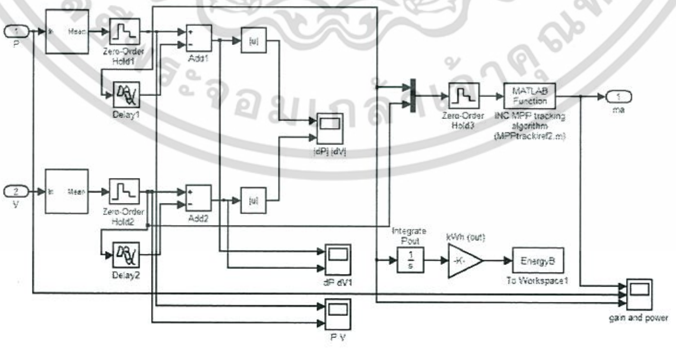
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ที่จำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink



รูปที่ 4.5 วงจรสำหรับการควบคุมแบบฟัซซี่ของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

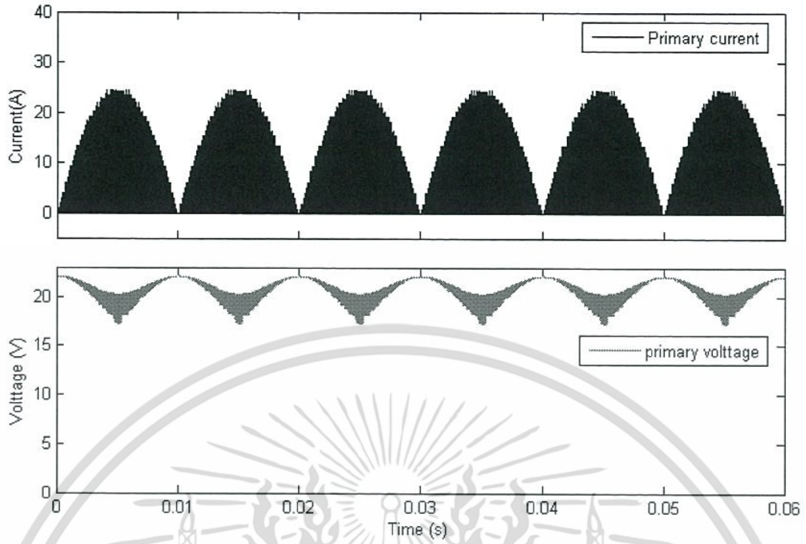


รูปที่ 4.6 วงจรสำหรับการควบคุมแบบเพิ่มค่าความนำของเทคนิคที่นำเสนอ

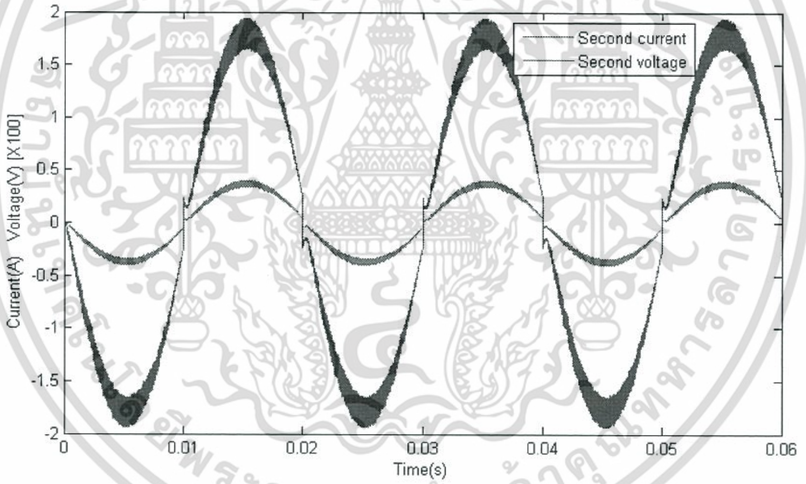
วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ที่ถูกจำลองขึ้นนี้ทำเพื่อศึกษาถึงการทำงานของวงจรเมื่อเชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ว่ามีความสอดคล้องกับทฤษฎีที่ตั้งไว้หรือไม่ นอกจากนี้ยังสามารถนำสัญญาณในแต่ส่วนที่วัดจากการจำลองมาใช้เป็นแนวทางในการสร้างวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์จริง จากรูปที่ 4.5 แสดงส่วนประมวลผลแบบฟัซซี่ของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ ซึ่งมีแรงดันและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟฟ้าปฐมภูมิเป็นอินพุตของระบบ โดยเอาท์พุตจากการประมวลผลด้วยฟัซซี่จะเป็นดัชนีมอ-ดูเลชั่นอินเด็กเพื่อใช้เป็นองค์ประกอบในการสร้างสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชัน(PWM) ซึ่งใช้ขับมอสเฟตทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงฟลายแบ็คความถี่สูง



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.6 (ก) สัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์
(ข) สัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์
โดยสัญญาณแรงดันมีขนาดแอมพลิจูดเป็น 0.01 เท่าของขนาดแอมพลิจูลจริงจากการจำลอง

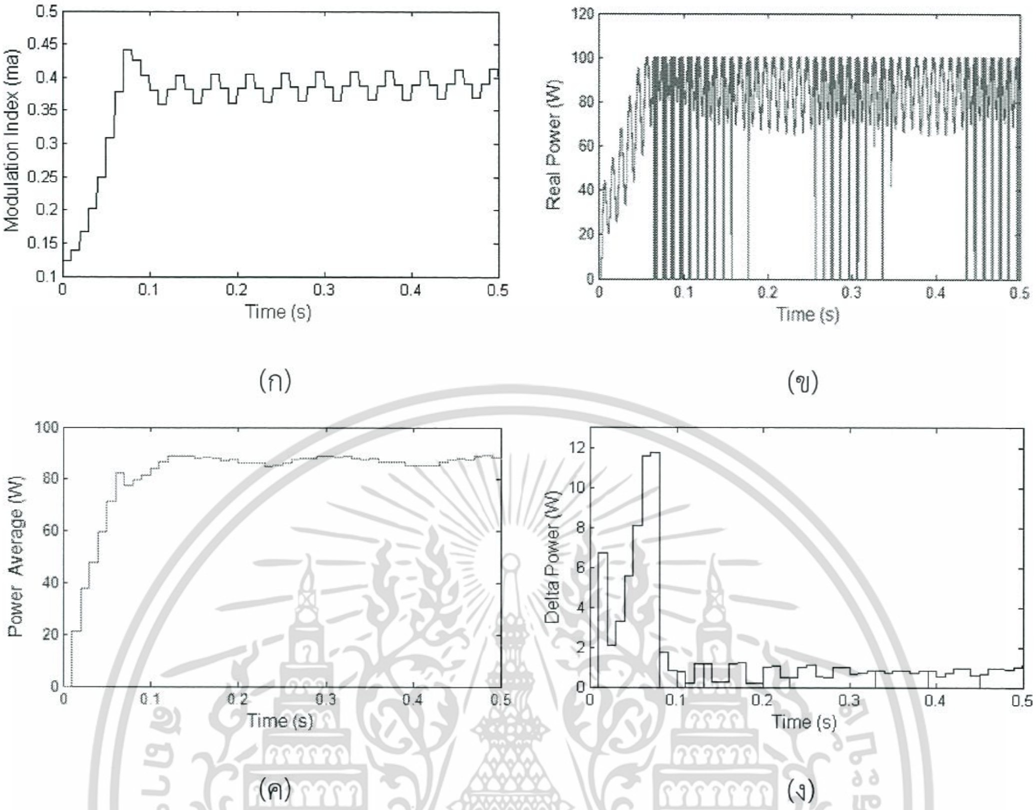
ผลการจำลองสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงฟลายแบ็คความถี่สูงจากโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยกราฟกระแสที่ได้มีลักษณะเป็นสัญญาณซายน์สัมบูรณ์ที่เป็นไปตามทฤษฎี ซึ่งเกิดจากการนำสัญญาณ PWM ที่สร้างจากการมอดูเลชันระหว่างสัญญาณซายน์สัมบูรณ์และสามเหลี่ยม เป็นดังรูป 4.6 (ก)

ผลการจำลองสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ตามรูปที่ 4.6 (ข) เมื่อทำการต่อกับโหลดที่เป็นความต้านทานสัญญาณมีลักษณะเป็นสัญญาณซายน์ที่ความถี่ 50 Hz

4.3 การจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ผลการจำลองการทำงานสภาวะความเข้มแสงแบบต่างๆ



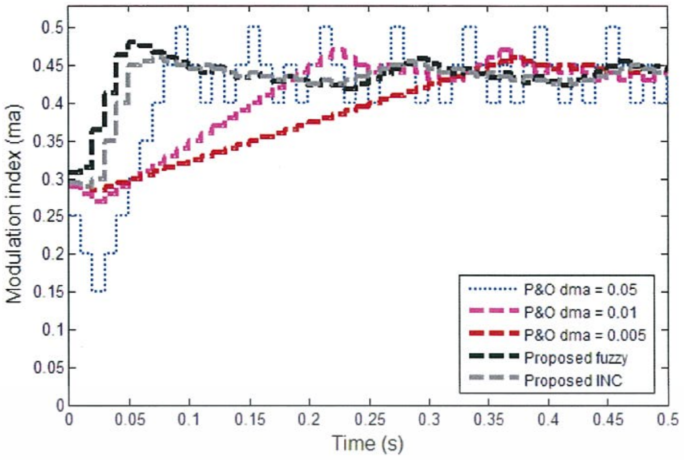
รูปที่ 4.7 แสดงผลตอบสนองของการควบคุมแบบฟัซซี่ (ก) สัญญาณมอดูเลชั่นอินเด็ก (ข) สัญญาณกำลังไฟฟ้าจริง (ค) กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย และ (ง) ค่าการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้า

จากรูปเป็นผลตอบสนองจากการจำลองการทำงานของระบบแบบฟัซซี่และเทคนิคการเพิ่มค่าความนำรูปแบบที่นำเสนอ โดยรูปที่ 4.7 (ก) แสดงค่ามอดูเลชั่นอินเด็กที่ใช้ควบคุมสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชั่น (PWM) จากรูปจะเห็นว่าช่วงการเพิ่มและลดของค่ามอดูเลชั่นอินเด็กมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นไปตามกฎที่ถูกกำหนดไว้ เพื่อให้ระบบสามารถปรับตัวให้มีการตามรอยที่รวดเร็วและมีการแกว่งของกำลังที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่ำ รูปที่ 4.7 (ข) แสดงค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่วัดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง ฟลายแบ็คความถี่สูง ในขณะที่ รูปที่ 4.7 (ค),(ง) เป็นค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดยอด (ΔP) ของรูปที่ 4.7 (ข) ตามลำดับ โดยค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้าจะถูกปรับให้มีการแกว่งที่ลดน้อยลง

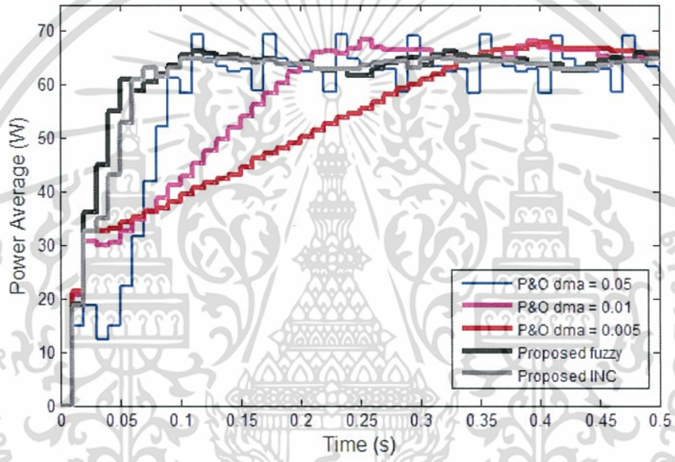
สำหรับค่าอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชันอินเด็กหมายถึงค่าการเปรียบเทียบของสัญญาณซายน์สัมบูรณ์เปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม 33 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยที่

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



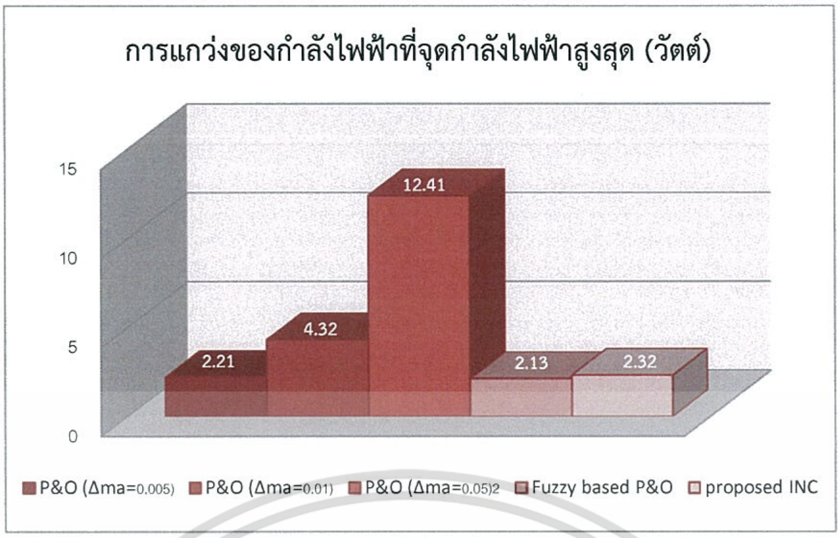
(ข)

รูปที่ 4.8 ผลการเปรียบเทียบของค่ามอดูเลชั่นอินเด็ก (ก) และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (ข) ของเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่, การควบคุมแบบการรบกวนและสังเกต (P&O) ธรรมดา และวิธีการเพิ่มค่าความนำของเทคนิคที่นำเสนอ ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนค่า Δma ค่าต่างๆกัน ที่ความเข้มแสง 500 W/m^2

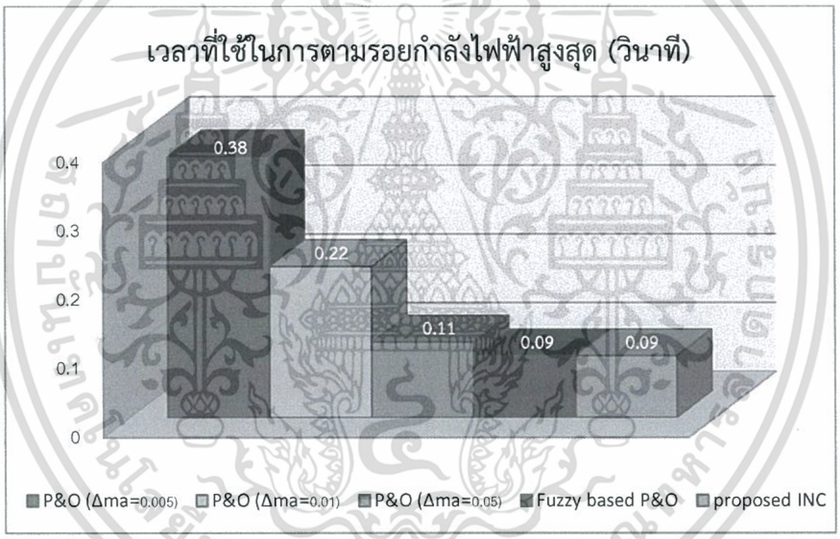
จากรูปจะเห็นว่าเมื่อใช้ค่า Δma ที่สูง (Δma=0.1) ระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็วแต่จะมีค่าการแกว่งขงกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดค่อนข้างมาก ในขณะที่เมื่อใช้ค่า Δma ที่น้อยลง (Δma=0.05 และ 0.01) ระบบจะใช้เวลาในการตามรอยกำลังไฟฟ้ามากขึ้นแต่จะมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าน้อยลงตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับทั้งสองเทคนิคที่นำเสนอ จะสังเกตเห็นว่าระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้รวดเร็วและมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ต่ำโดยเวลาที่ใช้ในการตามรอยของฟัซซี่ใช้เวลาประมาณ 0.07 วินาที ซึ่งสามารถแก้ไขทั้งปัญหาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าและเวลาในการตามรอยที่มากของเทคนิคเดิมได้

ระบบนี้ทำการจำลองที่ความเข้มแสง 500 W/m^2 โดยทั้งระบบการตามรอยแบบฟัซซี่, เทคนิคเพิ่มค่าความนำและการตามรอยแบบรบกวนและสังเกต (P&O) สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากทั้งสองเทคนิคมีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปที่ 4.2 ที่ค่าความเข้มแสง 500 W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

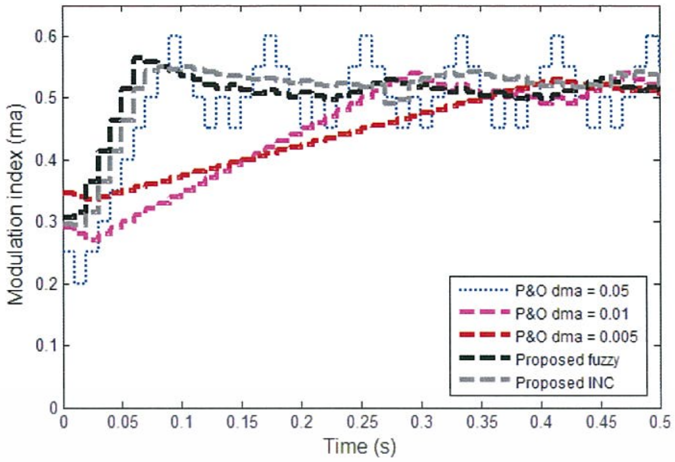


(ข)

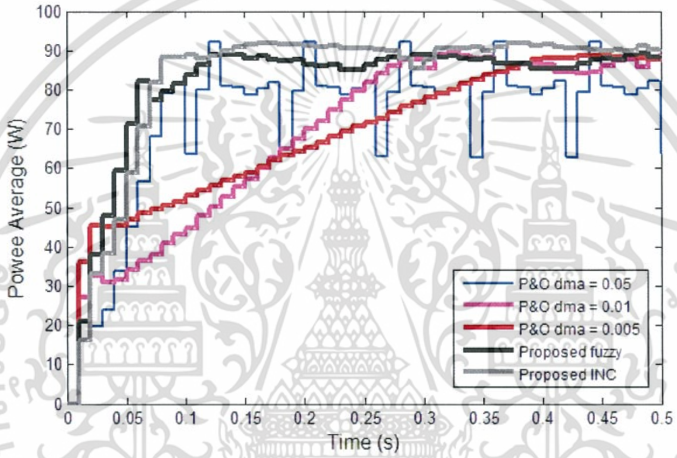
รูปที่ 4.9 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบการแกว่งของกำลังไฟฟ้า (ก) และเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (ข) ของเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่เทียบกับเทคนิคการรบกวนและสังเกต (P&O) และวิธีเพิ่มค่าความนำของเทคนิคที่นำเสนอ ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนค่า Δma ค่าต่างๆกัน ที่ความเข้มแสง 500 W/m^2

จากรูปเป็นการเปรียบเทียบผลจากการจำลองในด้านของการแกว่งของกำลังไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงจุดของเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่, เทคนิคการเพิ่มค่าความนำและการควบคุมแบบการตามรอยและสังเกตแบบเดิม (P&O) เพื่อแสดงผลการจำลองจากรูปที่ 4.8 (ก) และ (ข) ให้เห็นชัดเจนขึ้น พบว่าการควบคุมแบบฟัซซี่และการเพิ่มค่าความนำมีผลการตอบสนองที่ดีทั้งในด้านของการแกว่งของกำลังไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเทียบกับเทคนิค P&O โดยฟัซซี่ใช้เวลาในการตามรอยที่ 0.07 วินาที และมีการแกว่งประมาณ 0.55 วัตต์ โดยระบบนี้ทำการจำลองที่ความเข้มแสง 500 W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



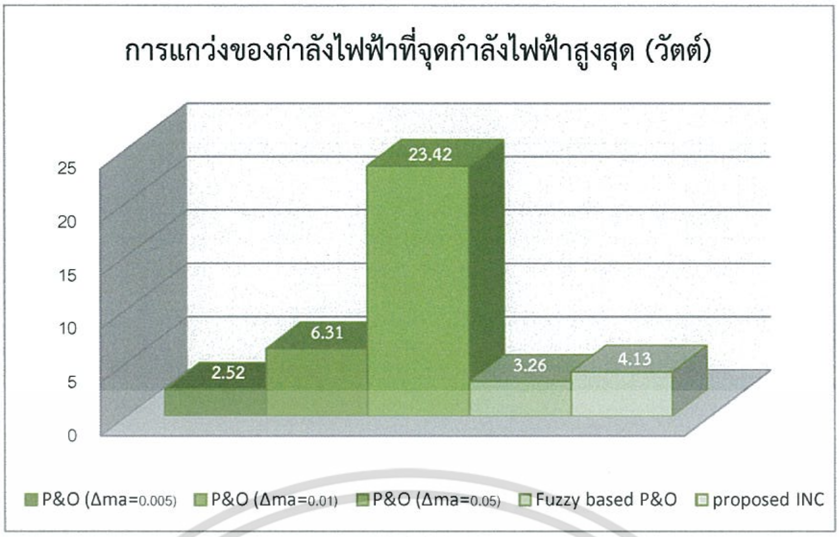
(ข)

รูปที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบของค่ามอดูเลชั่นอินเด็ก (ก) และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (ข) ของเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่, การควบคุมแบบการรบกวนและสังเกต (P&O) ธรรมดา และวิธีการเพิ่มค่าความนำของเทคนิคที่นำเสนอ ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนค่า Δma ค่าต่างๆกัน ที่ความเข้มแสง 800 W/m^2

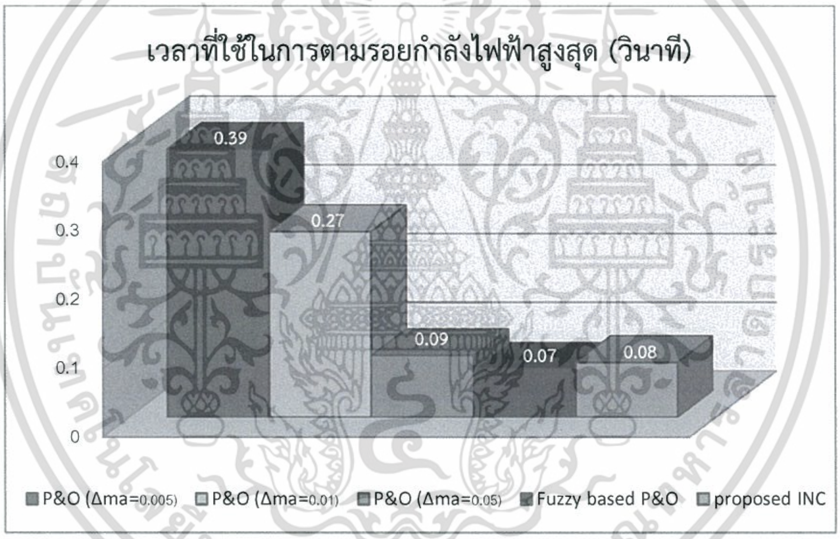
จากรูปจะเห็นว่าเมื่อใช้ค่า Δma ที่สูง (Δma=0.1) ระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็วแต่จะมีค่าการแกว่งขงกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดค่อนข้างมาก ในขณะที่เมื่อใช้ค่า Δma ที่น้อยลง (Δma=0.05 และ 0.01) ระบบจะใช้เวลาในการตามรอยกำลังไฟฟ้ามากขึ้นแต่จะมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าน้อยลงตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคที่นำเสนอ จะสังเกตเห็นว่าระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้รวดเร็วและมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ต่ำโดยเวลาที่ใช้ในการตามรอยของฟัซซี่ใช้เวลาประมาณ 0.07 วินาที ซึ่งสามารถแก้ไขทั้งปัญหาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าและเวลาในการตามรอยที่มากของเทคนิคเดิมได้

ระบบนี้ทำการจำลองที่ความเข้มแสง 500 W/m^2 โดยทั้งระบบการตามรอยแบบฟัซซี่, เทคนิคเพิ่มค่าความนำและการตามรอยแบบรบกวนและสังเกต (P&O) สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากทั้งสองเทคนิคมีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปที่ 4.2 ที่ค่าความเข้มแสง 800 W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

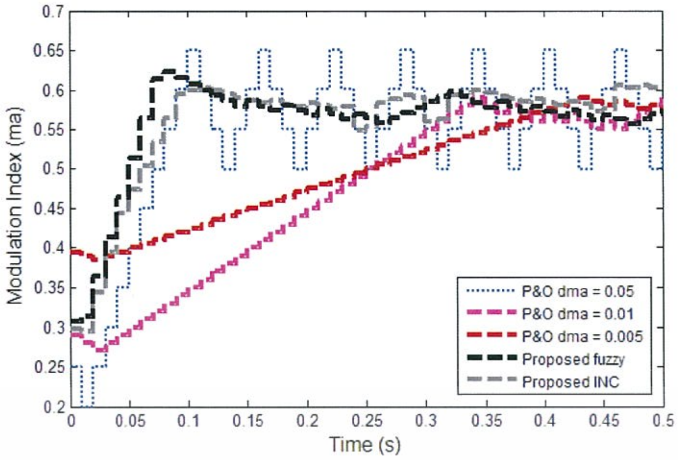


(ข)

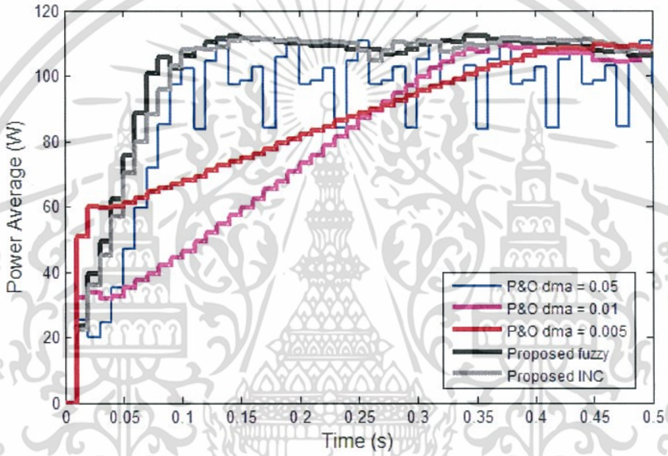
รูปที่ 4.11 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบการแกว่งของกำลังไฟฟ้า (ก) และเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (ข) ของเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่เทียบกับเทคนิคการรบกวนและสังเกต (P&O) และวิธีเพิ่มค่าความนำของเทคนิคที่นำเสนอ ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนค่า Δma ค่าต่างๆกัน ที่ความเข้มแสง 800 W/m^2

จากรูปเป็นการเปรียบเทียบผลจากการจำลองในด้านของการแกว่งของกำลังไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงจุดของเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่, เทคนิคการเพิ่มค่าความนำและการควบคุมแบบการตามรอยและสังเกตแบบเดิม (P&O) เพื่อแสดงผลการจำลองจากรูปที่ 4.8 (ก) และ (ข) ให้เห็นชัดเจนขึ้น พบว่าการควบคุมแบบฟัซซี่และการเพิ่มค่าความนำมีผลการตอบสนองที่ดีทั้งในด้านของการแกว่งของกำลังไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเทียบกับเทคนิค P&O โดยฟัซซี่ใช้เวลาในการตามรอยที่ 0.07 วินาที และมีการแกว่งประมาณ 1.7 วัตต์ โดยระบบนี้ทำการจำลองที่ความเข้มแสง 800 W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



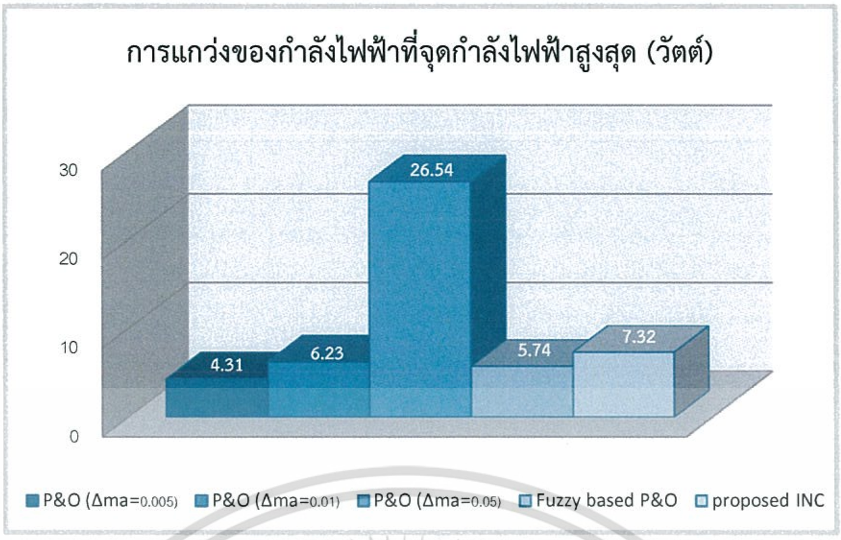
(ข)

รูปที่ 4.12 ผลการเปรียบเทียบของค่ามอดูเลชั่นอินเด็ก (ก) และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (ข) ของเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่, การควบคุมแบบการรบกวนและสังเกต (P&O) ธรรมดา และวิธีการเพิ่มค่าความนำของเทคนิคที่นำเสนอ ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนค่า Δma ค่าต่างๆกัน ที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2

จากรูปจะเห็นว่าเมื่อใช้ค่า Δma ที่สูง (Δma=0.1) ระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็วแต่จะมีค่าการแกว่งขงกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดค่อนข้างมาก ในขณะที่เมื่อใช้ค่า Δma ที่น้อยลง (Δma=0.05 และ 0.01) ระบบจะใช้เวลาในการตามรอยกำลังไฟฟ้ามากขึ้นแต่จะมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าน้อยลงตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคที่นำเสนอ จะสังเกตเห็นว่าระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้รวดเร็วและมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ต่ำโดยเวลาที่ใช้ในการตามรอยของฟัซซี่ใช้เวลาประมาณ 0.09 วินาที ซึ่งสามารถแก้ไขทั้งปัญหาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าและเวลาในการตามรอยที่มากของเทคนิคเดิมได้

ระบบนี้ทำการจำลองที่ความเข้มแสง 500 W/m^2 โดยทั้งระบบการตามรอยแบบฟัซซี่, เทคนิคเพิ่มค่าความนำและการตามรอยแบบรบกวนและสังเกต (P&O) สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากทั้งสองเทคนิคมีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปที่ 4.2 ที่ค่าความเข้มแสง 1000 W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

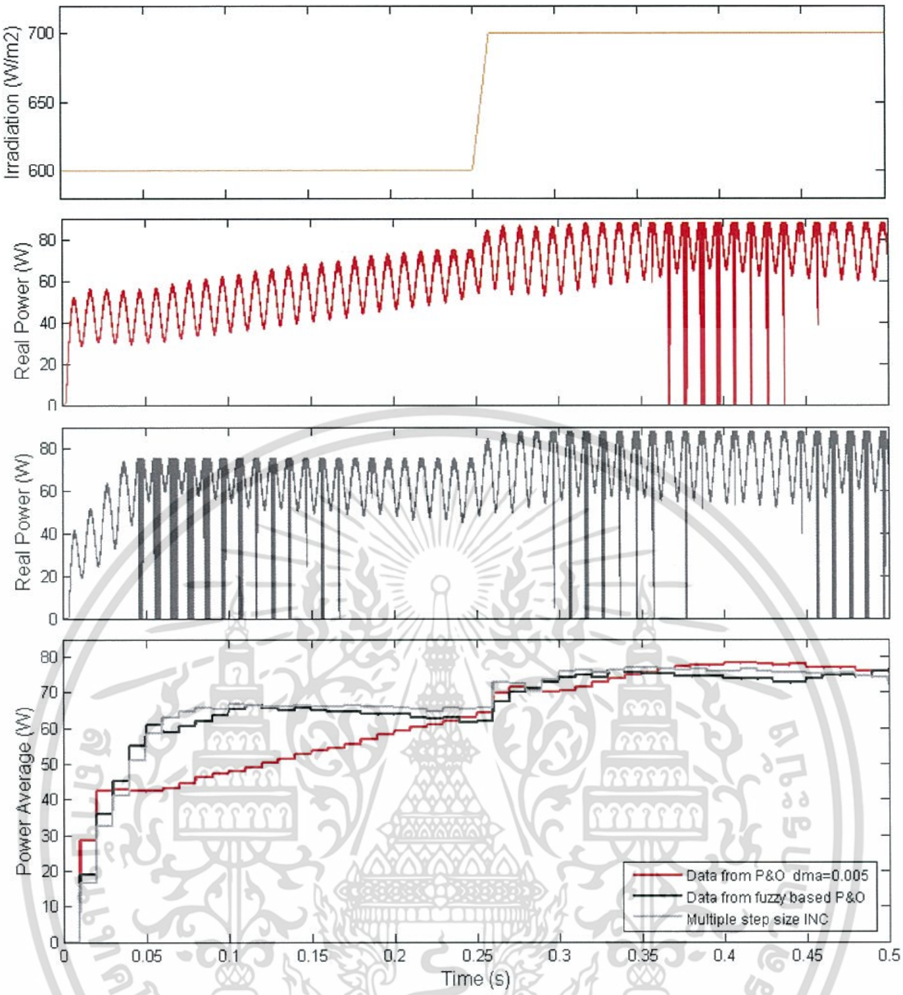
(ข)

รูปที่ 4.13 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบการแกว่งของกำลังไฟฟ้า (ก) และเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (ข) ของเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่เทียบกับเทคนิคการรบกวนและสังเกต (P&O) และวิธีเพิ่มค่าความนำของเทคนิคที่นำเสนอ ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนค่า Δma ค่าต่างๆกัน ที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2

จากรูปเป็นการเปรียบเทียบผลจากการจำลองในด้านของการแกว่งของกำลังไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงจุดของเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่, เทคนิคการเพิ่มค่าความนำและการควบคุมแบบการตามรอยและสังเกตแบบเดิม (P&O) เพื่อแสดงผลการจำลองจากรูปที่ 4.8 (ก) และ (ข) ให้เห็นชัดเจนขึ้น พบว่าการควบคุมแบบฟัซซี่และการเพิ่มค่าความนำมีผลการตอบสนองที่ดีทั้งในด้านของการแกว่งของกำลังไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเทียบกับเทคนิค P&O โดยฟัซซี่ใช้เวลาในการตามรอยที่ 0.09 วินาที และมีการแกว่งประมาณ 1.4 วัตต์ โดยระบบนี้ทำการจำลองที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการจำลองการทำงานภายใต้สภาวะที่ความเข้มแสงมีค่าเปลี่ยนแปลง

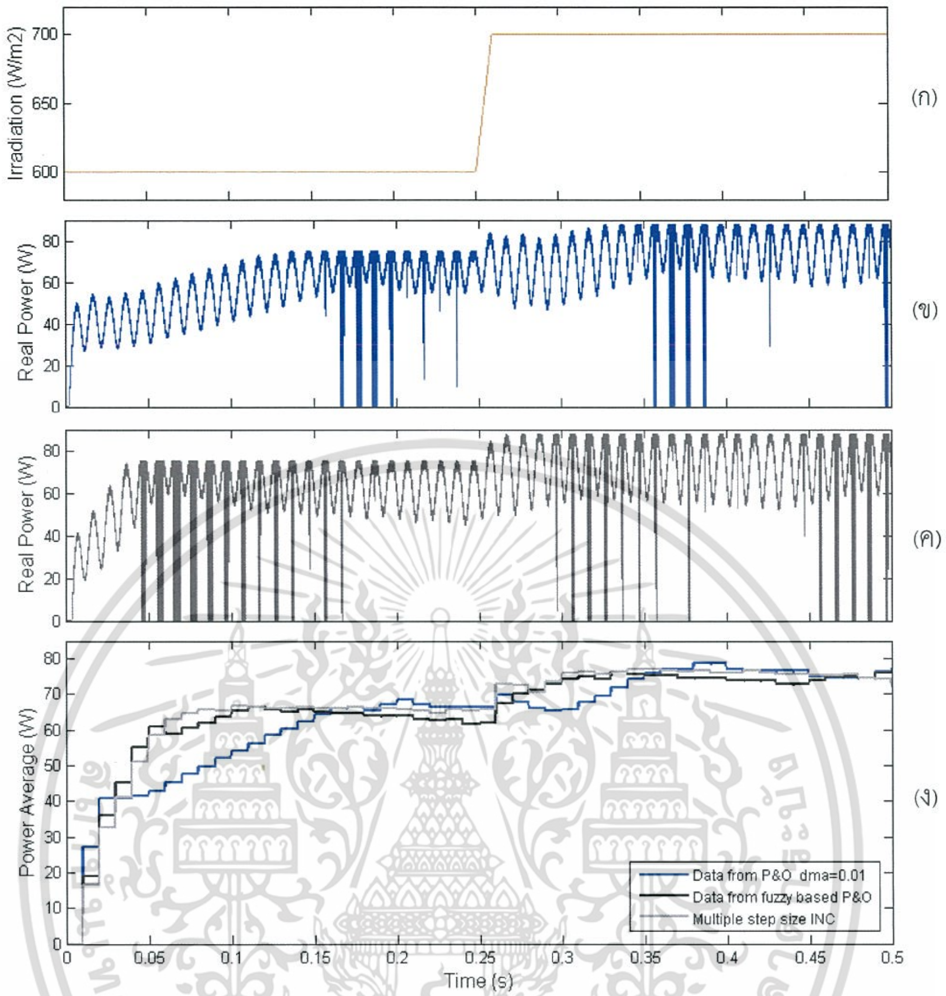


รูปที่ 4.14 ผลการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงของการควบคุมแบบฟัซซี่และการควบคุมแบบรบกวนและสังเกต (P&O) ที่ใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma=0.005) โดย (ก) แสดงค่าของความเข้มแสง, (ข) และ (ค) แสดงค่ากำลังไฟฟ้าจริงจากการจำลองที่การควบคุมแบบ P&O และ ฟัซซี่ตามลำดับ ในส่วนของ (ง) แสดงผลการเปรียบเทียบของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของการควบคุมทั้งสามเทคนิค

จากรูปที่ 4.14 (ง) เมื่อทำการป้อนอินพุตที่เป็นค่าความเข้มแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงตามรูปที่ 4.14 (ก) ให้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงตั้งแต่ 600 วัตต์ต่อตารางเมตร ถึง 800 วัตต์ต่อตารางเมตร พบว่ากำลังไฟฟ้าจากเทคนิคฟัซซี่และการเพิ่มค่าความนำให้ผลตอบสนองที่ดีกว่าเทคนิคการควบคุมแบบ P&O โดยสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าได้รวดเร็วกว่ามากในขณะที่ค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกัน

เนื่องจากที่ค่าอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็กค่าต่ำๆ (Δma=0.005) โดยปกติแล้วจะใช้เวลาในการตามรอยนาน แต่จะมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่ต่ำมาก ดังจะเห็นได้จากผลการจำลองว่าทั้งสามเทคนิคมีค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกัน แต่ฟัซซี่และการเพิ่มค่าความนำสามารถชดเชยข้อเสียของเทคนิค P&O เดิมได้ โดยทำให้สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้รวดเร็วกว่า

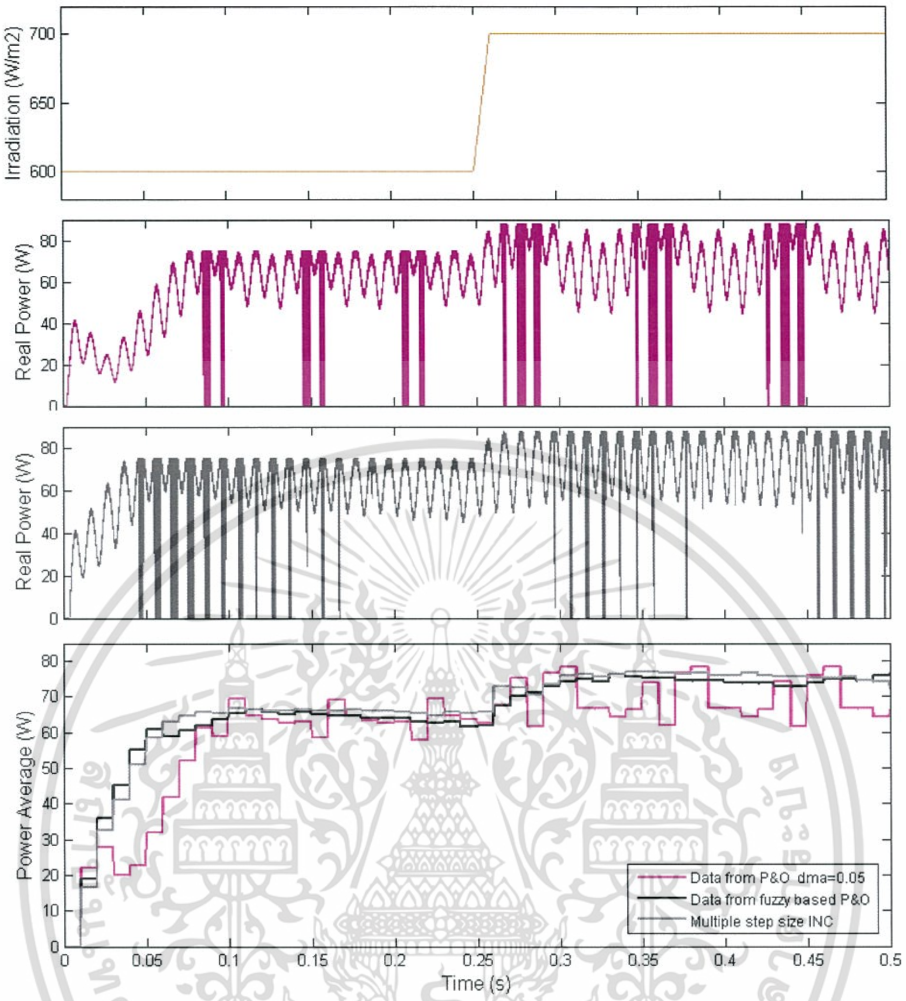
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ผลการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงของการควบคุมแบบฟัซซี่และการควบคุมแบบรบกวนและสังเกต (P&O) ที่ใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (∆ma=0.01) โดย (ก) แสดงค่าของความเข้มแสง, (ข) และ (ค) แสดงค่ากำลังไฟฟ้าจริงจากการจำลองที่การควบคุมแบบ P&O และฟัซซี่ ตามลำดับ ในส่วนของ (ง) แสดงผลการเปรียบเทียบของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของการควบคุมทั้งสามเทคนิค

จากรูปที่ 4.15 (ง) เมื่อทำการป้อนอินพุตที่เป็นค่าความเข้มแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงตามรูปที่ 4.15 (ก) ให้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงตั้งแต่ 600 วัตต์ต่อตารางเมตร ถึง 800 วัตต์ต่อตารางเมตร พบว่ากำลังไฟฟ้าจากเทคนิคฟัซซี่และการเพิ่มค่าความนำให้ผลตอบสนองที่ดีกว่าเทคนิคการควบคุมแบบ P&O โดยระบบที่นำเสนอสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าได้เร็วกว่าทั้งในช่วงแรกของการเปลี่ยนความเข้มแสง (0-600 วัตต์ต่อตารางเมตร) โดยเร็วกว่าประมาณ 0.02 วินาที และในช่วงหลังของการเปลี่ยนความเข้มแสง (600-800 วัตต์ต่อตารางเมตร) ซึ่งเร็วกว่าประมาณ 0.03 วินาที นอกจากนั้นค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้าของเทคนิคที่นำเสนอนั้นยังมีการแกว่งที่ต่ำกว่าเทคนิคการควบคุมแบบ P&O ตลอดช่วงของการเปลี่ยนความเข้มแสง โดยช่วงแรกมีการแกว่งที่ต่ำกว่าประมาณ 4.3 วัตต์ และ 6.2 วัตต์ ในช่วงหลังของการเปลี่ยนความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



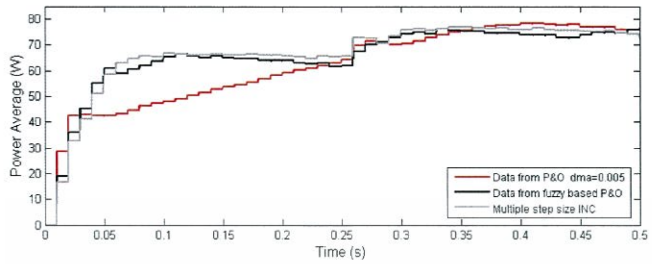
รูปที่ 4.16 ผลการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงของการควบคุมแบบฟัซซี่และการควบคุมแบบรบกวนและสังเกต (P&O) ที่ใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma=0.05) โดย (ก) แสดงค่าของความเข้มแสง, (ข) และ (ค) แสดงค่ากำลังไฟฟ้าจริงจากการจำลองที่การควบคุมแบบ P&O และฟัซซี่ ตามลำดับ ในส่วนของ (ง) แสดงผลการเปรียบเทียบของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของการควบคุมทั้งสามเทคนิค

จากรูปที่ 4.16 (ง) เมื่อทำการป้อนอินพุตที่เป็นค่าความเข้มแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงตามรูปที่ 4.16 (ก) ให้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงตั้งแต่ 600 วัตต์ต่อตารางเมตร ถึง 800 วัตต์ต่อตารางเมตร พบว่ากำลังไฟฟ้าจากเทคนิคฟัซซี่และการเพิ่มค่าความนำให้ผลตอบสนองที่ดีกว่าเทคนิคการควบคุมแบบ P&O โดยมีค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ต่ำกว่ามากในขณะที่ใช้เวลาในการตามรอยกำลังไฟฟ้ามากกว่าเทคนิค P&O เล็กน้อย

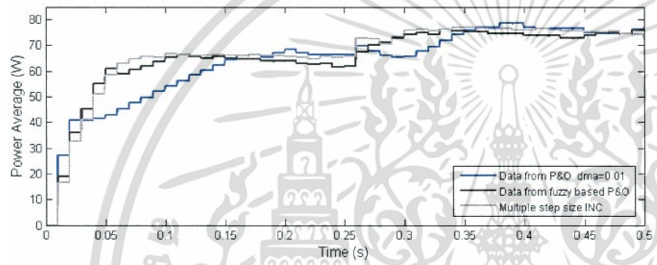
เนื่องจากที่ค่าอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็กค่าสูงๆ (Δma=0.05) โดยปกติแล้วจะใช้เวลาในการตามรอยที่รวดเร็ว แต่จะมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่สูง โดยจากผลการจำลองพบว่าทั้งสามเทคนิคใช้เวลาในการตามรอยที่ใกล้เคียงกันแต่ค่าการแกว่งกำลังไฟฟ้าของเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่และการเพิ่มค่าความนำมีค่าต่ำว่าเทคนิค P&O มาก โดยการควบคุมแบบฟัซซี่สามารถชดเชยข้อเสียของเทคนิค P&O เดิมได้ โดยสามารถทำให้ระบบมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่ต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

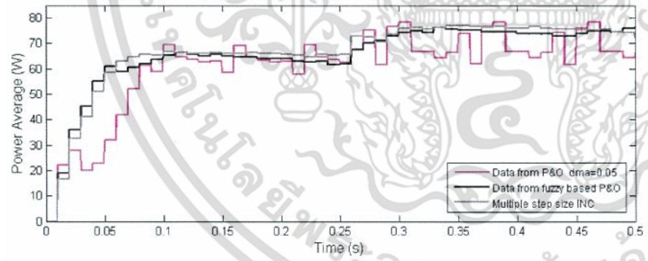
เปรียบเทียบการจำลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าภายใต้สภาวะความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงด้วยเทคนิคที่นำเสนอเทียบกับเทคนิคการรบกวนและสังเกตที่ใช้การปรับ ∆ma ค่าต่างๆ



เทคนิคการแกว่งและสังเกตที่ระดับ ∆ma=0.005 เทียบกับเทคนิคฟัซซี่และการเพิ่มค่าความนำที่นำเสนอ



เทคนิคการแกว่งและสังเกตที่ระดับ ∆ma=0.01 เทียบกับเทคนิคฟัซซี่และการเพิ่มค่าความนำที่นำเสนอ



เทคนิคการแกว่งและสังเกตที่ระดับ ∆ma=0.05 เทียบกับเทคนิคฟัซซี่และการเพิ่มค่าความนำที่นำเสนอ

รูปที่ 4.17 กราฟระหว่างกำลังไฟฟ้ากับเวลาเมื่อเปลี่ยนค่าความเข้มแสง จาก 600 ถึง 700 W/m^2 ตามลำดับ

จากรูปเป็นการเปรียบเทียบ ระหว่าง เทคนิคการแกว่งและสังเกตที่ใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (∆ma) 0.01, 0.05 และ 0.1 ตามลำดับ เทียบกับเทคนิคที่ใช้การควบคุมแบบฟัซซี่และเทคนิคการเพิ่มค่าความนำของเทคนิคที่นำเสนอ โดยการเปลี่ยนแสงจะอยู่ในลักษณะรูปสี่เหลี่ยมคางหมู จะพบว่าเทคนิคที่ใช้การควบคุมแบบฟัซซี่และการเพิ่มค่าความนำ มีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุดน้อยกว่าการใช้เทคนิคการแกว่งและสังเกตที่ใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก 0.05 ขณะที่เวลาที่ใช้ในการตามรอยถึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเทคนิคที่ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่และการเพิ่มค่าความนำมีค่าใกล้เคียงกับเทคนิคการรบกวนและสังเกตที่ใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก 0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการจำลองคุณลักษณะภายใต้สภาวะความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ

1. เทคนิคที่ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่และการเพิ่มค่าความนำ มีค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุดน้อยกว่า เทคนิคการแกว่งและสังเกตที่ใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็กที่ 0.01 และ 0.05
2. เวลาที่ใช้ในการตามรอยถึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเทคนิคที่ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่และการเพิ่มค่าความนำของเทคนิคที่นำเสนอ มีค่าใกล้เคียงกัน
3. เทคนิคที่ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่และการเพิ่มค่าความนำ สามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ดีกว่าใช้เทคนิคการแกว่งและสังเกตแบบธรรมดา

สรุปผลการจำลองคุณลักษณะภายใต้สภาวะความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ

จากการจำลองพบว่า เทคนิคที่ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่และการเพิ่มค่าความนำของเทคนิคที่นำเสนอ มีค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่ำ และสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้รวดเร็ว ส่งผลให้ระบบสามารถดึงกำลังไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นโดยมีค่าสูญเสียจากการแกว่งลดลง เทคนิคที่ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่และการเพิ่มค่าความนำ จึงสามารถนำมาใช้แก้ปัญหาของเทคนิคการแกว่งและสังเกตได้ โดยลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าและเวลาในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ทำการต่อเข้ากับวงจรฟลาย-แบ็คอินเวอร์เตอร์ โดยใช้ตัวควบคุมการตามรอยหากำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเทคนิคการรบกวนและสังเกต (P&O) และเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่ร่วมกับการรบกวนและสังเกต โดยทำการทดลองดังนี้

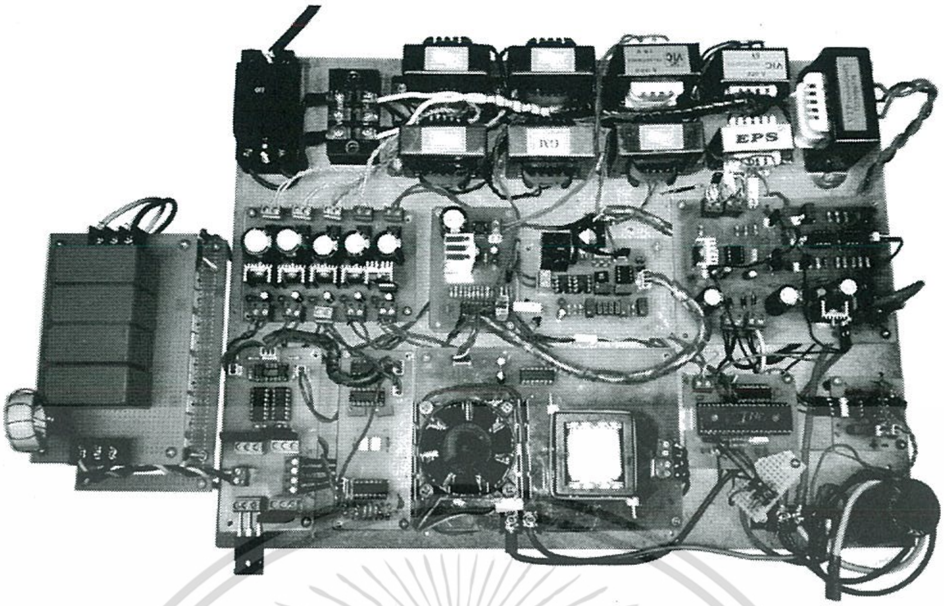
1. นำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพิกัดดังนี้

   ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

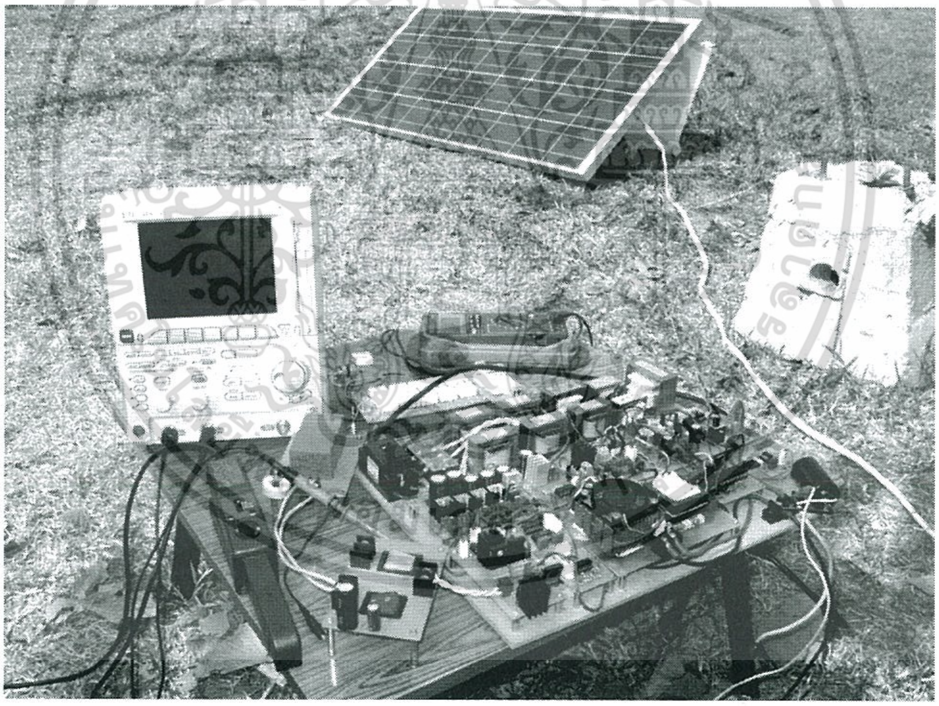
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร	7.64	แอมป์
แรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจร	21.6	โวลต์
กระแสไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	7.36	แอมป์
แรงดันไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	17	โวลต์
กำลังไฟฟ้าสูงสุด	125	วัตต์

   สภาพมาตรฐานที่ความเข้มแสง 1,000 W/m^2 ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันลดลง 0.5%
2. ต่อเข้ากับวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่เป็นตัวตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ยกระดับแรงดัน รวมทั้งแปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นกระแสสลับ
3. ใช้โหลดเป็นแผงโหลดความต้านทาน 20 โอห์มต่อเข้ากับเอาต์พุทของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์
4. นำออสซิลโลสโคปมาบันทึกกราฟกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า
5. ทดลองที่สภาวะความเข้มแสงต่างๆ และใช้โซล่ามิเตอร์บันทึกความเข้มแสงที่ทำการทดลอง
6. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่โปรแกรมด้วยเทคนิคการแกว่งและสังเกตและบันทึกการทดลอง
7. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่โปรแกรมด้วยเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่และบันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

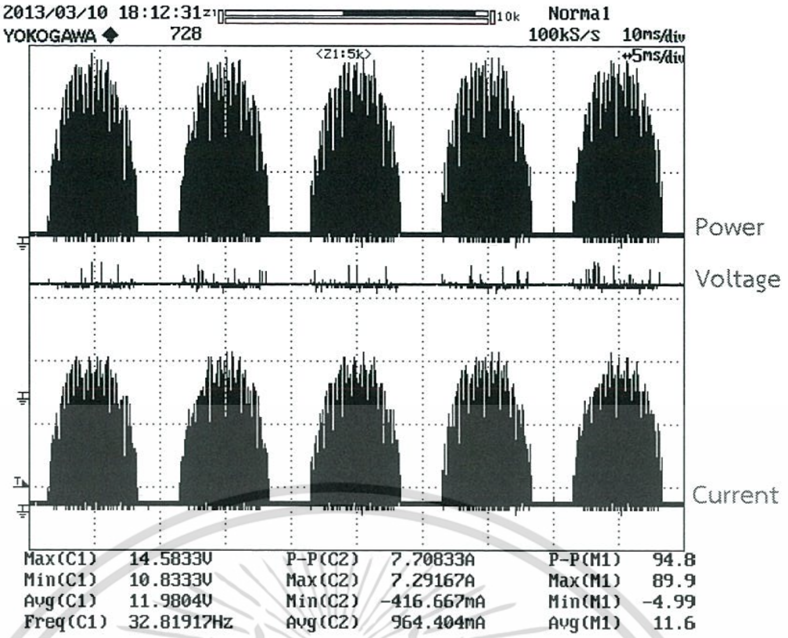


รูปที่ 4.18 วงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ต้นแบบสำหรับใช้ทำการทดลอง



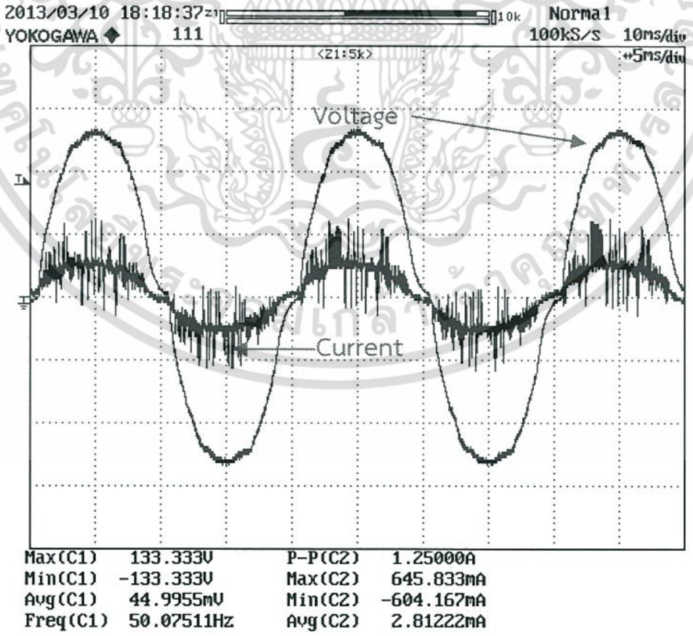
รูปที่ 4.19 รูปแบบการเชื่อมต่อวงจรการทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Flyback Inverter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 สัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิจากการทดลอง

จากรูปที่ 4.20 เป็นรูปสัญญาณกำลังไฟฟ้าจริง แรงดัน และกระแสปฐมภูมิของหม้อแปลงฟลายแบ็คความถี่สูงที่ได้จากการทดลอง โดยกราฟกระแสที่ได้มีลักษณะเป็นสัญญาณซายน์สัมบูรณ์ซึ่งมีคาบการสวิทซ์ที่ 50 เฮิร์ตซ์ โดยเป็นไปตามผลการจำลองดังรูปที่ 4.6



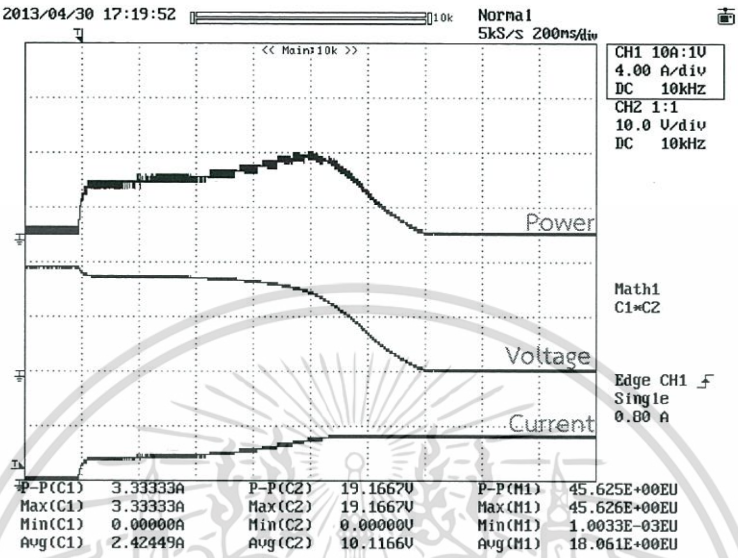
รูปที่ 4.21 สัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิที่ได้จากการทดลอง

จากรูปที่ 4.21 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการต่อกับโหลดที่เป็นความต้านทานสัญญาณมีลักษณะเป็นสัญญาณซายน์ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์

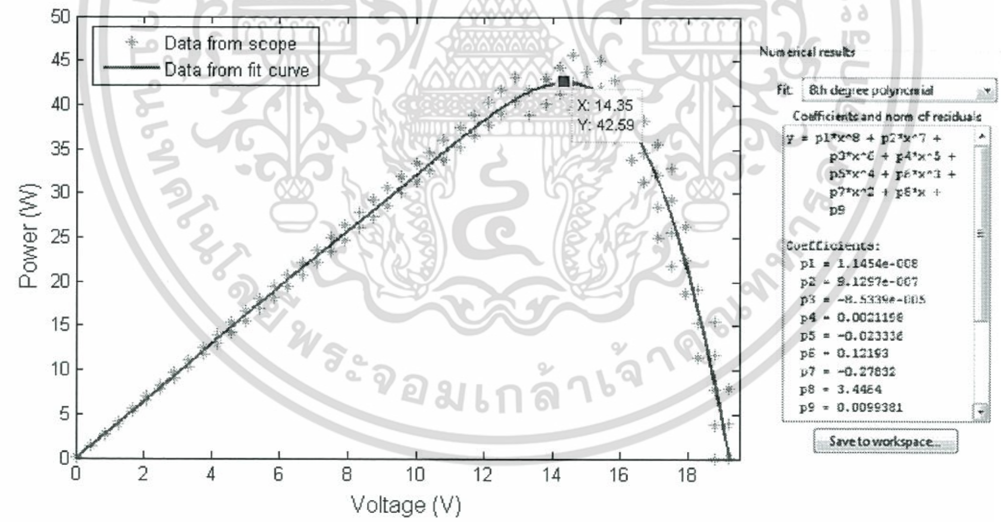
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 การทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการแกว่งและสังเกตเทียบกับเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่ ภายใต้ความเข้มแสงค่าต่างๆ

4.4.1.1 การสร้างกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ค่าความเข้มแสง 390 W/m^2



รูปที่ 4.22 กำลังไฟฟ้า แรงดันและกระแสที่ได้จากการเปลี่ยนค่าความต้านทานอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 4.23 คุณลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากการทดลองที่ความเข้มแสง 390 W/m^2

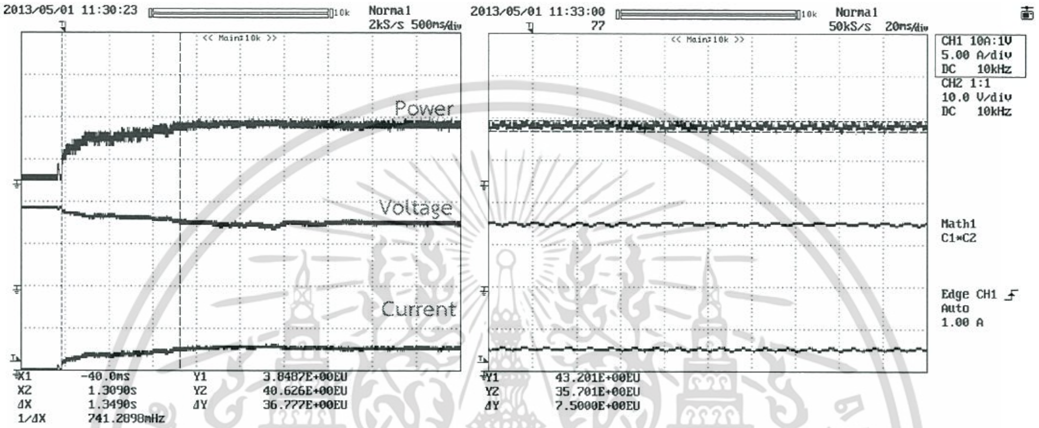
จากรูปที่ 4.23 แสดงกราฟคุณลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 390 W/m^2 โดยเก็บค่าจากสโคป ดังรูปที่ 4.22 โดยทำการเปลี่ยนค่าความต้านทานอย่างรวดเร็วแล้วเก็บค่ากำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส หลังจากนั้นนำค่ามาเข้าโปรแกรม MATLAB เพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันต่อกำลังไฟฟ้าดังแสดงเป็นเส้นสีเทาของรูปที่ 4.23 แล้วใช้ฟังก์ชันการ fit curve polynomial อันดับที่ 6 เพื่อสร้างกราฟคุณลักษณะเฉพาะดังเส้นสีแดง จากกราฟจะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 50 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.2 การทดลองตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มแสง 390 W/m^2

ทำการทดลองโดยใช้เทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) ตั้งแต่ 0.01, 0.05, 0.1 และเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่ โดยทำการทดลองในสภาวะความเข้มข้นแสงเฉลี่ยมีค่าประมาณ 390 W/m^2

กรณีที่1.1 เทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้การปรับระดับขั้นการตามรอยที่อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) เท่ากับ 0.01



(ก) (ข)

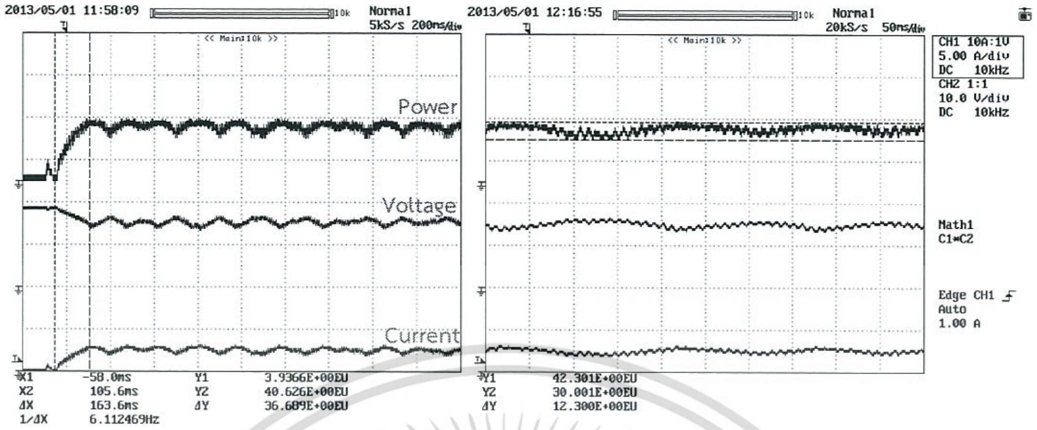
รูปที่ 4.24 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma = 0.01)

จากรูปที่ 4.24 (ก) แสดงกราฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับจากบนลงล่าง เพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด และรูปที่ 4.24 (ข) แสดงกราฟที่ทำการขยายในช่วงสภาวะคงตัวเมื่อระบบตามรอยถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วของรูปที่ 4.24 (ก) เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า โดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) เท่ากับ 0.01 ภายใต้สภาวะความเข้มแสงสม่ำเสมอที่ 390 W/m^2 โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกันดังรูปที่ 4.23 ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 43 วัตต์

จากกราฟพบว่าผลการทดลองมีความคล้ายคลึงกับผลจากการจำลองการทำงานด้วย MATLAB/simulink โดยแรงดันจะค่อยๆลดลง ในขณะที่กระแสจะค่อยๆเพิ่มขึ้น จนถึงจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด ลักษณะกราฟกระแสและแรงดันจะเป็นลักษณะที่แกว่งอยู่ตลอด เมื่อพิจารณาทางด้านกำลังไฟฟ้าลักษณะกราฟจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้เวลาในการตามรอยค่อนข้างช้าซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.34 วินาที และมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่ำซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.5 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่1.2 เทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้การปรับระดับขั้นการตามรอยที่อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) เท่ากับ 0.05



(ก) (ข)

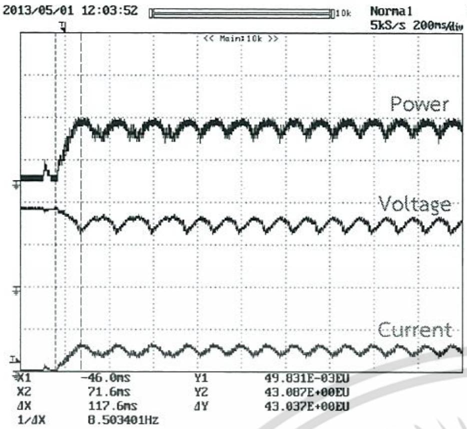
รูปที่ 4.25 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้การปรับระดับขั้นการตามรอยที่อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma = 0.05)

จากรูปที่ 4.25 (ก) แสดงกราฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับจากบนลงล่างเพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด และรูปที่ 4.25 (ข) แสดงกราฟที่ทำการขยายในช่วงสภาวะคงตัวเมื่อระบบตามรอยถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วของรูปที่ 4.25 (ก) เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า โดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) เท่ากับ 0.05 ภายใต้สภาวะความเข้มแสงสม่ำเสมอที่ 390 W/m^2 โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกันดังรูปที่ 4.23 ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 42 วัตต์

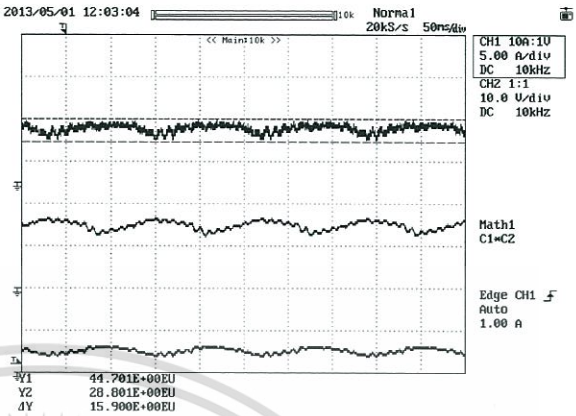
จากกราฟพบว่าผลการทดลองมีความคล้ายคลึงกับผลจากการจำลองการทำงานด้วย MATLAB/simulink โดยแรงดันจะค่อยๆลดลง ในขณะที่กระแสจะค่อยๆเพิ่มขึ้น จนถึงจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด ลักษณะกราฟกระแสและแรงดันจะเป็นลักษณะที่แกว่งอยู่ตลอด เมื่อพิจารณาทางด้านกำลังไฟฟ้าลักษณะกราฟจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้เวลาในการตามรอยเท่ากับ 0.163 วินาที และมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 12.3 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่1.3 เทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้การปรับระดับขั้นการตามรอยที่อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) เท่ากับ 0.1



(ก)



(ข)

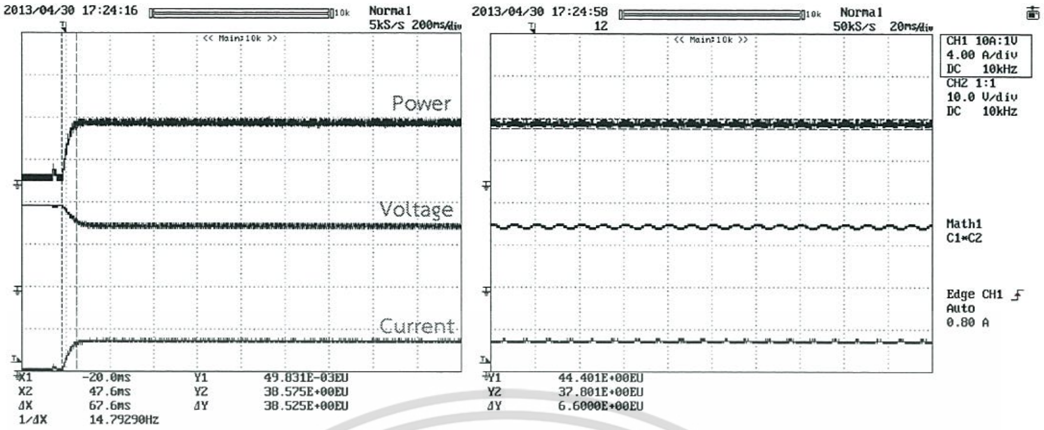
รูปที่ 4.26 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้การปรับระดับขั้นการตามรอยที่อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma = 0.1)

จากรูปที่ 4.26 (ก) แสดงกราฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับจากบนลงล่าง เพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด และรูปที่ 4.26 (ข) แสดงกราฟที่ทำการขยายในช่วงสภาวะคงตัวเมื่อระบบตามรอยถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วของรูปที่ 4.26 (ก) เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า โดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) เท่ากับ 0.1 ภายใต้สภาวะความเข้มแสงสม่ำเสมอที่ 390 W/m^2 โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกันดังรูปที่ 4.23 ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 44 วัตต์

จากกราฟพบว่าผลการทดลองมีความคล้ายคลึงกับผลจากการจำลองการทำงานด้วย MATLAB/simulink โดยแรงดันจะค่อยๆลดลง ในขณะที่กระแสจะค่อยๆเพิ่มขึ้น จนถึงจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด ลักษณะกราฟกระแสและแรงดันจะเป็นลักษณะที่แกว่งอยู่ตลอด เมื่อพิจารณาทางด้านกำลังไฟฟ้าลักษณะกราฟจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้เวลาในการตามรอยที่รวดเร็วมีค่าเท่ากับ 0.117 วินาที และมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 15.9 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่1.4 เทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่บนพื้นฐานของการตามรอยและสังเกต (Fuzzy based P&O)



(ก) (ข)

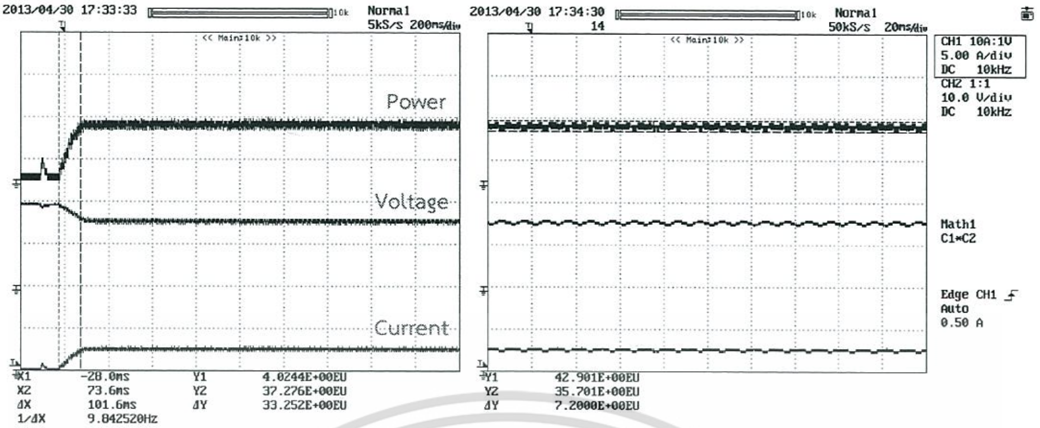
รูปที่ 4.27 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการควบคุมการตามรอยกำลังไฟฟ้าแบบฟัซซี่

จากรูปที่ 4.27 (ก) แสดงกราฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับจากบนลงล่าง เพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด และรูปที่ 4.27 (ข) แสดงกราฟที่ทำการขยายในช่วงสภาวะคงตัวเมื่อระบบตามรอยถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วของรูปที่ 4.27 (ก) เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า โดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) ที่ถูกปรับอัตโนมัติจากเทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าแบบฟัซซี่ ภายใต้สภาวะความเข้มแสงสม่ำเสมอที่ 390 W/m^2 โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกันดังรูปที่ 4.23 ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 44 วัตต์

จากกราฟพบว่าผลการทดลองมีความคล้ายคลึงกับผลจากการจำลองการทำงานด้วย MATLAB/simulink โดยแรงดันจะค่อยๆลดลง ในขณะที่กระแสจะค่อยๆเพิ่มขึ้น จนถึงจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด ลักษณะกราฟกระแสและแรงดันจะเป็นลักษณะที่แกว่งอยู่ตลอด เมื่อพิจารณาทางด้านกำลังไฟฟ้าลักษณะกราฟจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้เวลาในการตามรอยที่รวดเร็วมีค่าเท่ากับ 0.067 วินาที และมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 6.6 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่1.5 เทคนิคการควบคุมแบบการเพิ่มค่าความนำชนิดขนาดการก้าวไม่เท่ากัน



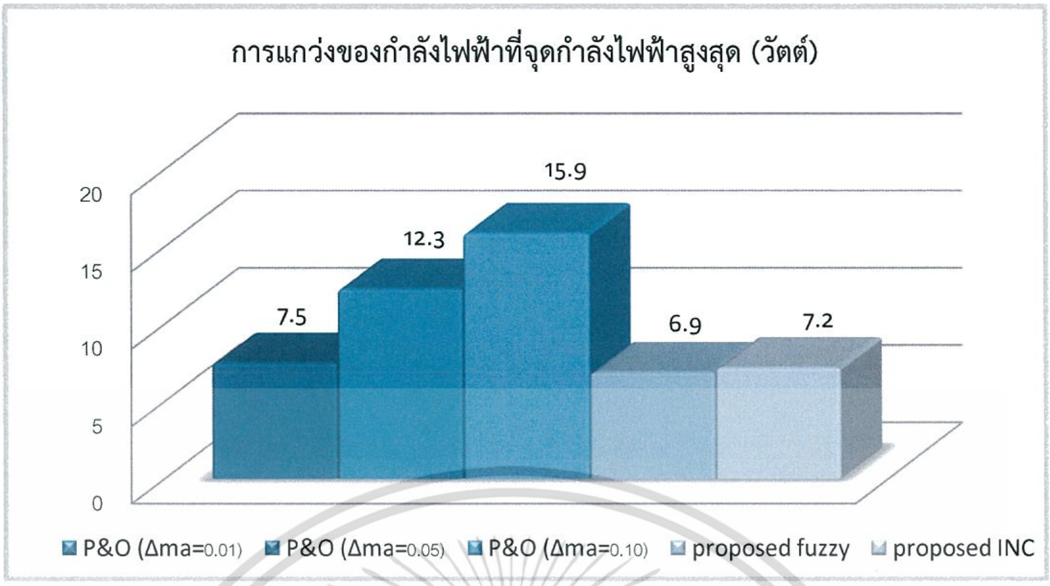
(ก) (ข)

รูปที่ 4.28 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการเพิ่มค่าความนำชนิดขนาดการก้าวไม่เท่ากัน

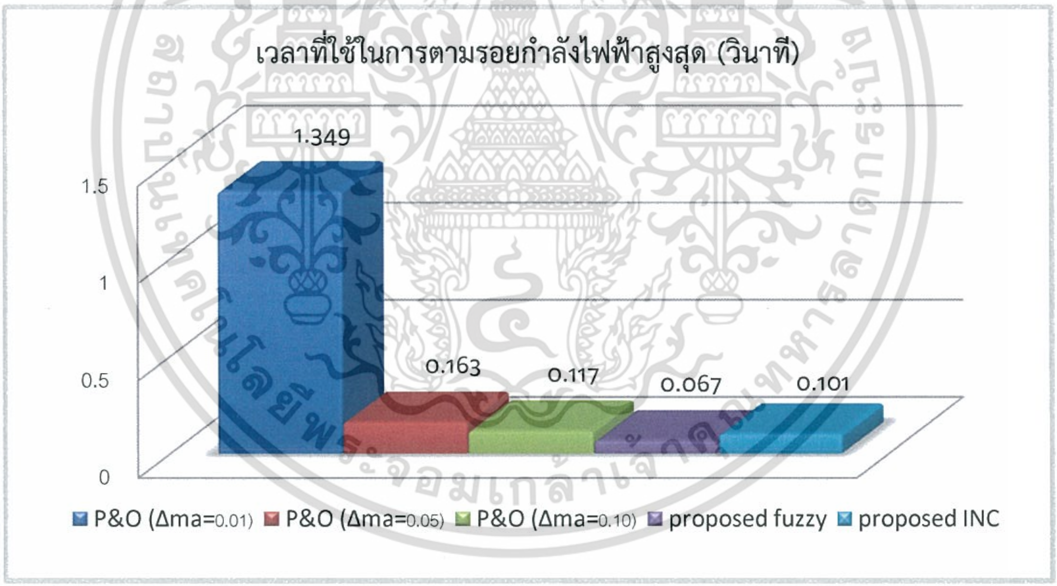
จากรูปที่ 4.28 (ก) แสดงกราฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับจากบนลงล่าง เพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด และรูปที่ 4.28 (ข) แสดงกราฟที่ทำการขยายในช่วงสภาวะคงตัวเมื่อระบบตามรอยถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วของรูปที่ 4.28 (ก) เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า โดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) ที่ถูกปรับอัตโนมัติจากเทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าแบบการเพิ่มค่าความนำที่นำเสนอ ภายใต้สภาวะความเข้มแสงสม่ำเสมอที่ 390 W/m^2 โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกันดังรูปที่ 4.23 ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 43 วัตต์

จากกราฟพบว่าผลการทดลองมีความคล้ายคลึงกับผลจากการจำลองการทำงานด้วย MATLAB/simulink โดยแรงดันจะค่อยๆลดลง ในขณะที่กระแสจะค่อยๆเพิ่มขึ้น จนถึงจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด ลักษณะกราฟกระแสและแรงดันจะเป็นลักษณะที่แกว่งอยู่ตลอด เมื่อพิจารณาทางด้านกำลังไฟฟ้าลักษณะกราฟจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้เวลาในการตามรอยที่รวดเร็วมีค่าเท่ากับ 0.101 วินาที และมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 7.2 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้าด้วยการปรับอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็กค่าต่างๆ เทียบกับเทคนิคการควบคุมทั้งสองเทคนิคที่นำเสนอที่ได้จากการทดลอง

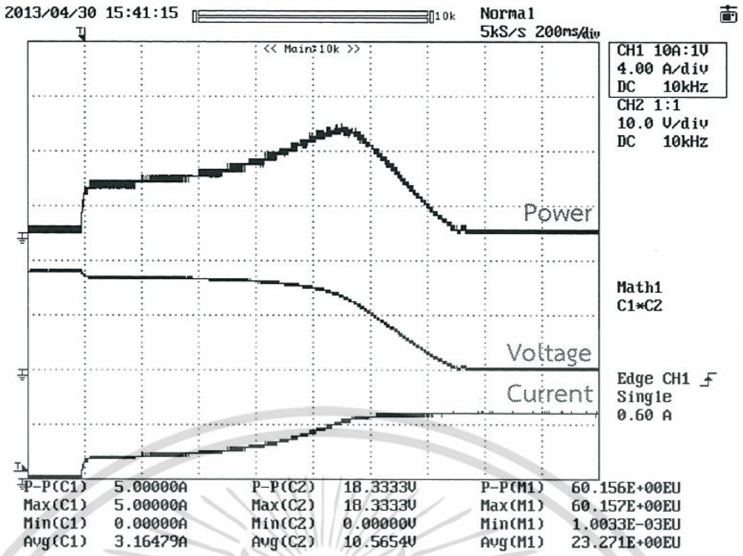


รูปที่ 4.30 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยการปรับอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็กค่าต่างๆ เทียบกับเทคนิคการควบคุมทั้งสองเทคนิคที่นำเสนอที่ได้จากการทดลอง

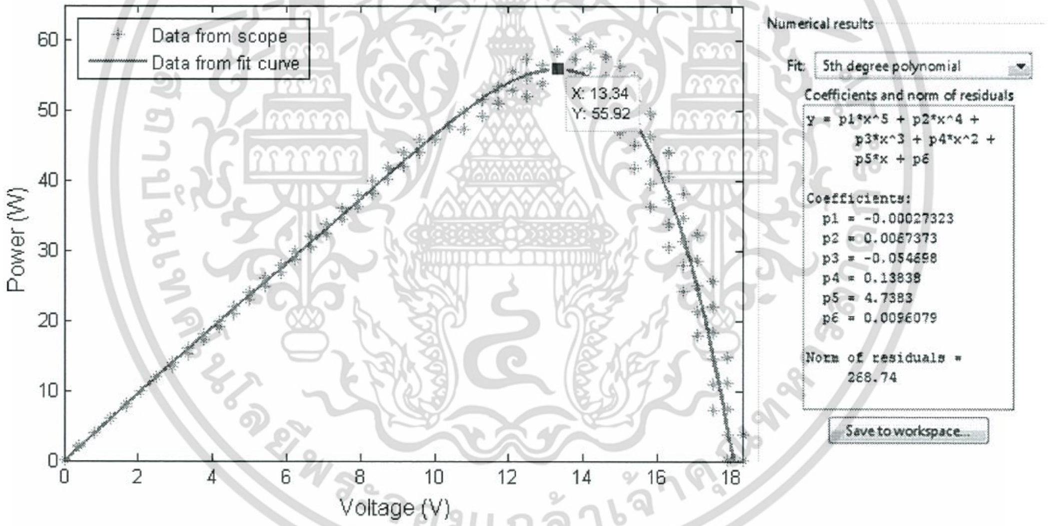
จากรูปที่ 4.29 และ 4.30 แสดงผลการเปรียบเทียบทั้งการแกว่งของกำลังและเวลาที่ใช้ในการตามรอยถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของทั้งสองเทคนิค ภายใต้สภาวะความเข้มแสง 390 W/m^2 ในรูปของผลการเปรียบเทียบแบบแผนภูมิแท่ง พบว่าเทคนิคการควบควบคุมแบบฟัซซี่มีการแกว่งของกำลังที่ต่ำกว่าเทคนิค P&O ในขณะที่ใช้เวลาในการตามรอยกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกับเทคนิค P&O ที่ใช้ Δma=0.1 ซึ่งสรุปได้ว่าเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่ให้ผลตอบสนองที่ดีกว่าเทคนิค P&O ธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.3 การสร้างกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ค่าความเข้มแสง 570 W/m^2



รูปที่ 4.31 กำลังไฟฟ้า แรงดันและกระแสที่ได้จากการเปลี่ยนค่าความต้านทานอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 4.32 คุณลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากการทดลองที่ความเข้มแสง 570 W/m^2

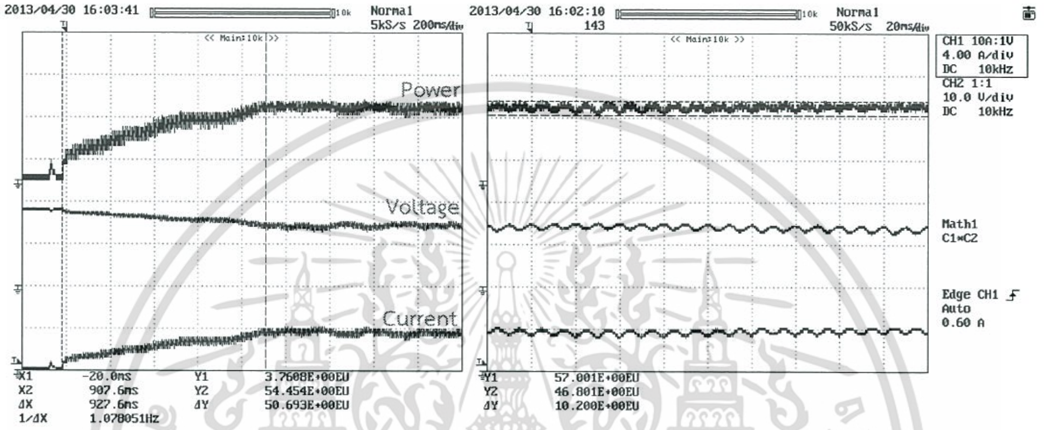
จากรูปที่ 4.32 แสดงกราฟคุณลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 570 W/m^2 โดยเก็บค่าจากสโคป ดังรูปที่ 4.31 โดยทำการเปลี่ยนค่าความต้านทานอย่างรวดเร็วแล้วเก็บค่ากำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส หลังจากนั้นนำค่ามาเข้าโปรแกรม MATLAB เพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันต่อกำลังไฟฟ้าดังแสดงเป็นเส้นสีเทาของรูปที่ 4.32 แล้วใช้ฟังก์ชันการ fit curve polynomial อันดับที่ 6 เพื่อสร้างกราฟคุณลักษณะเฉพาะดังเส้นสีน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.4 การทดลองตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มแสง 570 W/m^2

ทำการทดลองโดยใช้เทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) ตั้งแต่ 0.01, 0.05, 0.1 และเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่ โดยทำการทดลองในสภาวะความเข้มข้นแสงเฉลี่ยมีค่าประมาณ 570 W/m^2

กรณีที่2.1 เทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้การปรับระดับขั้นการตามรอยที่อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) เท่ากับ 0.01



(ก) (ข)

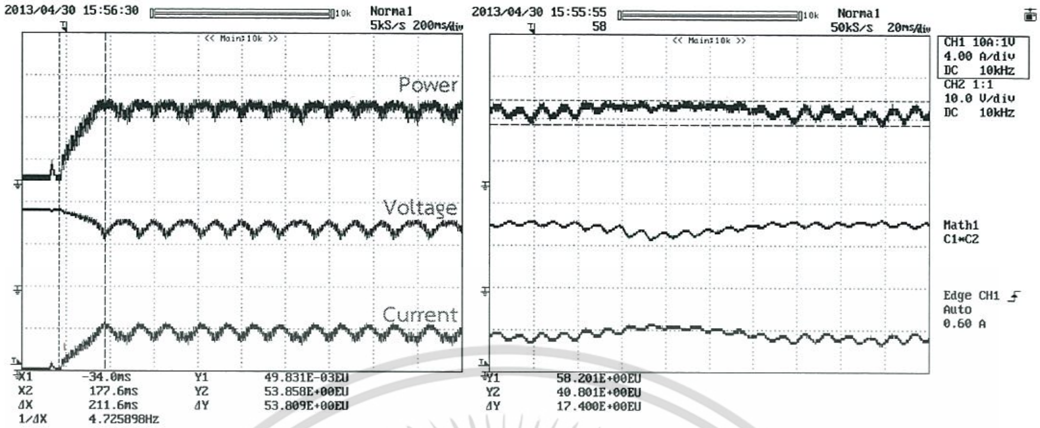
รูปที่ 4.33 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma = 0.01)

จากรูปที่ 4.33 (ก) แสดงกราฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับจากบนลงล่าง เพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด และรูปที่ 4.33 (ข) แสดงกราฟที่ทำการขยายในช่วงสภาวะคงตัวเมื่อระบบตามรอยถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วของรูปที่ 4.33 (ก) เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า โดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) เท่ากับ 0.01 ภายใต้สภาวะความเข้มแสงสม่ำเสมอที่ 570 W/m^2 โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกันดังรูปที่ 4.31 ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 57 วัตต์

จากกราฟพบว่าผลการทดลองมีความคล้ายคลึงกับผลจากการจำลองการทำงานด้วย MATLAB/simulink โดยแรงดันจะค่อยๆลดลง ในขณะที่กระแสจะค่อยๆเพิ่มขึ้น จนถึงจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด ลักษณะกราฟกระแสและแรงดันจะเป็นลักษณะที่แกว่งอยู่ตลอด เมื่อพิจารณาทางด้านกำลังไฟฟ้าลักษณะกราฟจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้เวลาในการตามรอยค่อนข้างช้าซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.927 วินาที และมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่ำซึ่งมีค่าเท่ากับ 10 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่2.2 เทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้การปรับระดับขั้นการตามรอยที่อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) เท่ากับ 0.05



(ก) (ข)

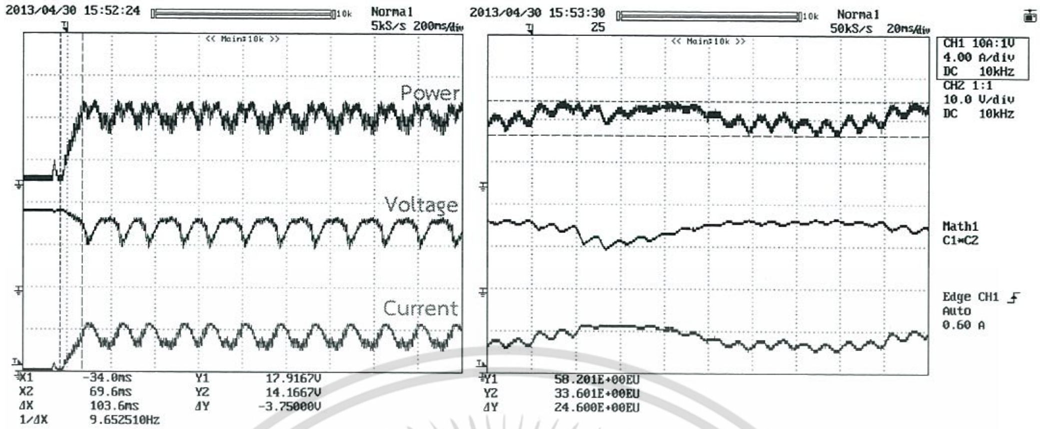
รูปที่ 4.34 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้การปรับระดับขั้นการตามรอยที่อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma = 0.05)

จากรูปที่ 4.34 (ก) แสดงกราฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับจากบนลงล่าง เพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด และรูปที่ 4.34 (ข) แสดงกราฟที่ทำการขยายในช่วงสภาวะคงตัวเมื่อระบบตามรอยถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วของรูปที่ 4.34 (ก) เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า โดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) เท่ากับ 0.05 ภายใต้สภาวะความเข้มแสงสม่ำเสมอที่ 570 W/m^2 โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกันดังรูปที่ 4.32 ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 58 วัตต์

จากกราฟพบว่าผลการทดลองมีความคล้ายคลึงกับผลจากการจำลองการทำงานด้วย MATLAB/simulink โดยแรงดันจะค่อยๆลดลง ในขณะที่กระแสจะค่อยๆเพิ่มขึ้น จนถึงจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด ลักษณะกราฟกระแสและแรงดันจะเป็นลักษณะที่แกว่งอยู่ตลอด เมื่อพิจารณาทางด้านกำลังไฟฟ้าลักษณะกราฟจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้เวลาในการตามรอยเท่ากับ 0.211 วินาที และมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 17 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่2.3 เทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้การปรับระดับขั้นการตามรอยที่อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) เท่ากับ 0.1



(ก) (ข)

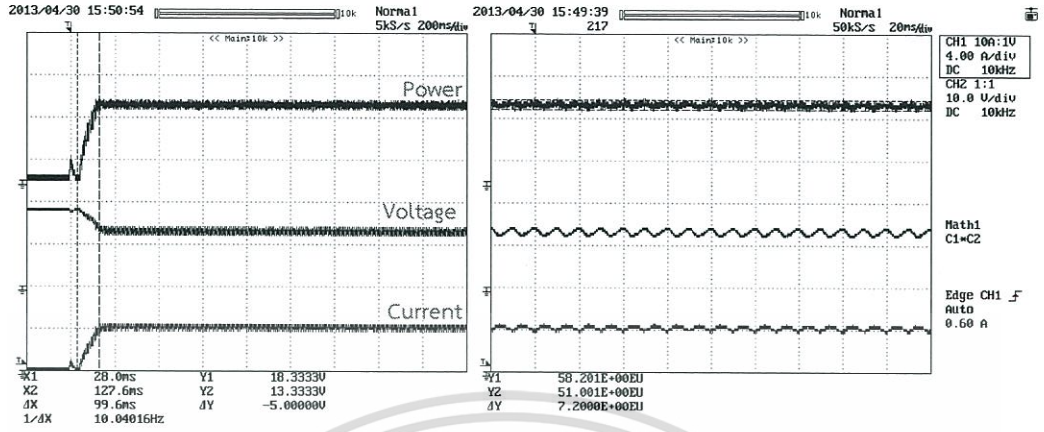
รูปที่ 4.35 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้การปรับระดับขั้นการตามรอยที่อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma = 0.1)

จากรูปที่ 4.35 (ก) แสดงกราฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับจากบนลงล่าง เพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด และรูปที่ 4.35 (ข) แสดงกราฟที่ทำการขยายในช่วงสภาวะคงตัวเมื่อระบบตามรอยถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วของรูปที่ 4.35 (ก) เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า โดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) เท่ากับ 0.1 ภายใต้สภาวะความเข้มแสงสม่ำเสมอที่ 570 W/m^2 โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกันดังรูปที่ 4.32 ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 58 วัตต์

จากกราฟพบว่าผลการทดลองมีความคล้ายคลึงกับผลจากการจำลองการทำงานด้วย MATLAB/simulink โดยแรงดันจะค่อยๆลดลง ในขณะที่กระแสจะค่อยๆเพิ่มขึ้น จนถึงจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด ลักษณะกราฟกระแสและแรงดันจะเป็นลักษณะที่แกว่งอยู่ตลอด เมื่อพิจารณาทางด้านกำลังไฟฟ้าลักษณะกราฟจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้เวลาในการตามรอยที่รวดเร็วมีค่าเท่ากับ 0.103 วินาที และมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 24.6 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่2.4 เทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่บนพื้นฐานของการตามรอยและสังเกต (Fuzzy based P&O)



(ก) (ข)

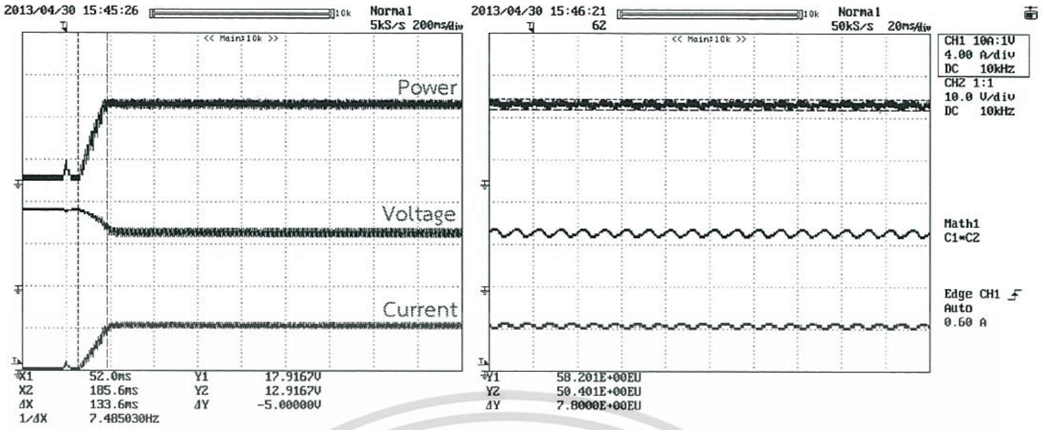
รูปที่ 4.36 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการควบคุมการตามรอยกำลังไฟฟ้าแบบฟัซซี่

จากรูปที่ 4.36 (ก) แสดงกราฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับจากบนลงล่าง เพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด และรูปที่ 4.36 (ข) แสดงกราฟที่ทำการขยายในช่วงสภาวะคงตัวเมื่อระบบตามรอยถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วของรูปที่ 4.36 (ก) เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า โดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) ที่ถูกปรับอัตโนมัติจากเทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าแบบฟัซซี่ ภายใต้สภาวะความเข้มแสงสม่ำเสมอที่ 570 W/m^2 โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกันดังรูปที่ 4.32 ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 58 วัตต์

จากกราฟพบว่าผลการทดลองมีความคล้ายคลึงกับผลจากการจำลองการทำงานด้วย MATLAB/simulink โดยแรงดันจะค่อยๆลดลง ในขณะที่กระแสจะค่อยๆเพิ่มขึ้น จนถึงจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด ลักษณะกราฟกระแสและแรงดันจะเป็นลักษณะที่แกว่งอยู่ตลอด เมื่อพิจารณาทางด้านกำลังไฟฟ้าลักษณะกราฟจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้เวลาในการตามรอยที่รวดเร็วมีค่าเท่ากับ 0.099 วินาที และมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 7.2 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2.5 เทคนิคการควบคุมแบบการเพิ่มค่าความนำชนิดขนาดการก้าวไม่เท่ากัน



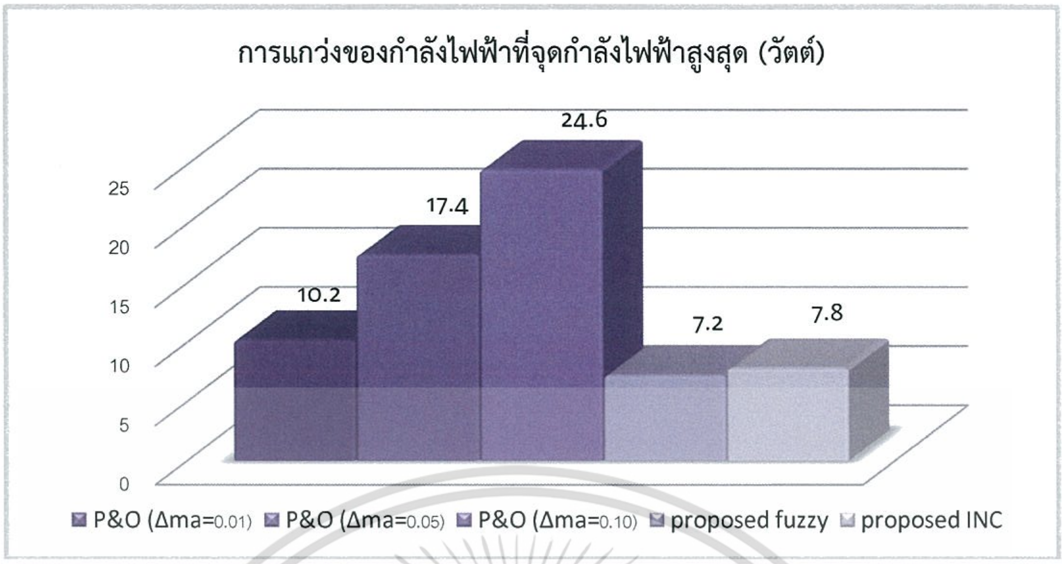
(ก) (ข)

รูปที่ 4.37 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการเพิ่มค่าความนำชนิดขนาดการก้าวไม่เท่ากัน

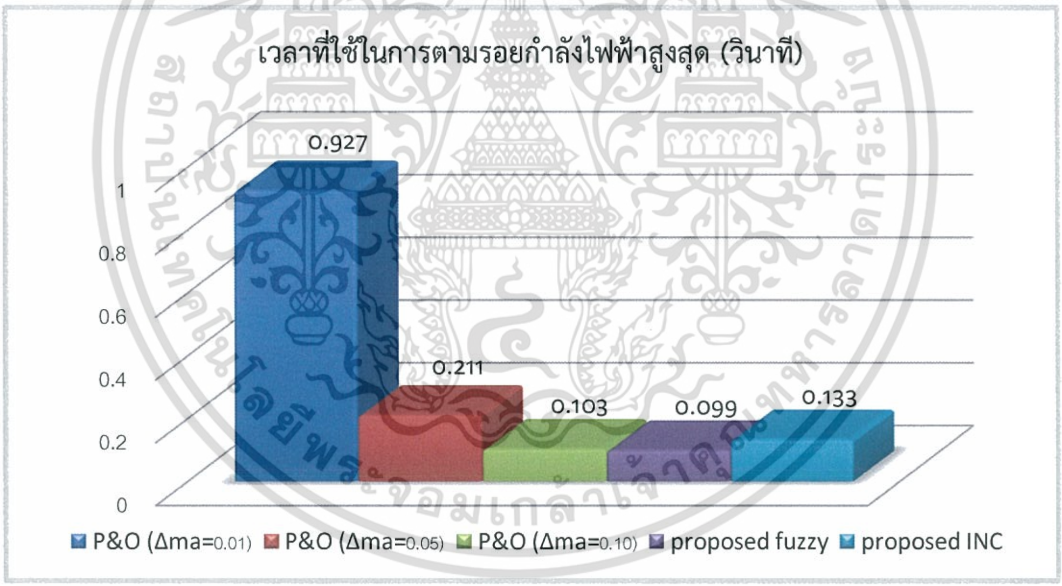
จากรูปที่ 4.37 (ก) แสดงกราฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับจากบนลงล่าง เพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด และรูปที่ 4.37 (ข) แสดงกราฟที่ทำการขยายในช่วงสภาวะคงตัวเมื่อระบบตามรอยถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วของรูปที่ 4.37 (ก) เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า โดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) ที่ถูกปรับอัตโนมัติจากเทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าแบบการเพิ่มค่าความนำที่นำเสนอ ภายใต้สภาวะความเข้มแสงสม่ำเสมอที่ 390 W/m^2 โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกันดังรูปที่ 4.32 ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 58 วัตต์

จากกราฟพบว่าผลการทดลองมีความคล้ายคลึงกับผลจากการจำลองการทำงานด้วย MATLAB/simulink โดยแรงดันจะค่อยๆลดลง ในขณะที่กระแสจะค่อยๆเพิ่มขึ้น จนถึงจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด ลักษณะกราฟกระแสและแรงดันจะเป็นลักษณะที่แกว่งอยู่ตลอด เมื่อพิจารณาทางด้านกำลังไฟฟ้าลักษณะกราฟจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้เวลาในการตามรอยที่รวดเร็วมีค่าเท่ากับ 0.133 วินาที และมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 7.8 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.38 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้าด้วยการปรับอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็กค่าต่างๆ เทียบกับเทคนิคการควบคุมทั้งสองเทคนิคที่นำเสนอที่ได้จากการทดลอง

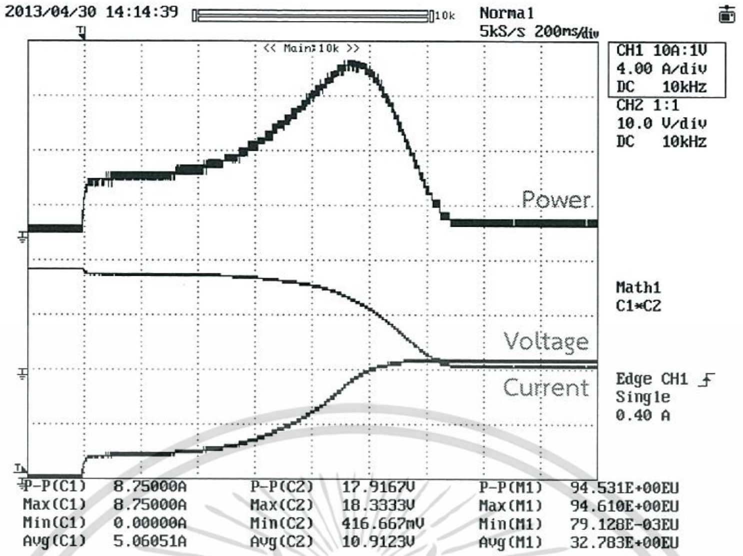


รูปที่ 4.39 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยการปรับอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็กค่าต่างๆ เทียบกับเทคนิคการควบคุมทั้งสองเทคนิคที่นำเสนอที่ได้จากการทดลอง

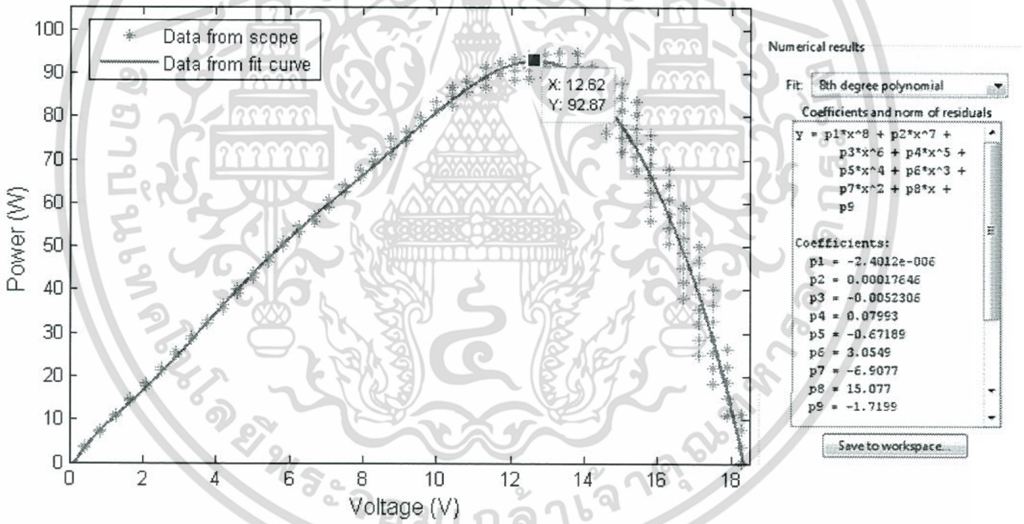
จากรูปที่ 4.38 และ 4.39 แสดงผลการเปรียบเทียบทั้งการแกว่งของกำลังและเวลาที่ใช้ในการตามรอยถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของทั้งสองเทคนิค ภายใต้สภาวะความเข้มแสง 570 W/m^2 ในรูปของผลการเปรียบเทียบแบบแผนภูมิแท่ง พบว่าเทคนิคการควบควบคุมแบบฟัซซี่มีการแกว่งของกำลังที่ต่ำกว่าเทคนิค P&O ในขณะที่ใช้เวลาในการตามรอยกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกับเทคนิค P&O ที่ใช้ Δma=0.1 ซึ่งสรุปได้ว่าเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่ให้ผลตอบสนองที่ดีกว่าเทคนิค P&O ธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.5 การสร้างกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ค่าความเข้มแสง 790 W/m^2



รูปที่ 4.40 กำลังไฟฟ้า แรงดันและกระแสที่ได้จากการเปลี่ยนค่าความต้านทานอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 4.41 คุณลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากการทดลองที่ความเข้มแสง 790 W/m^2

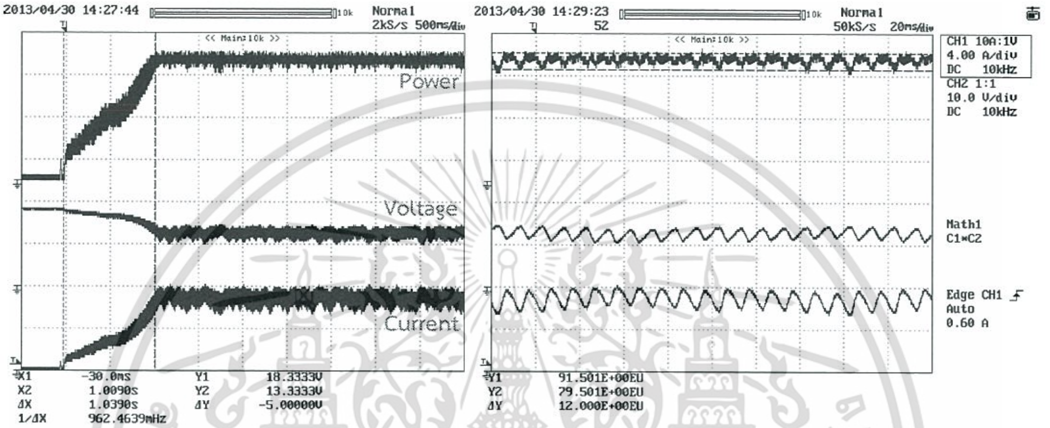
จากรูปที่ 4.41 แสดงกราฟคุณลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 790 W/m^2 โดยเก็บค่าจากสโคป ดังรูปที่ 4.40 โดยทำการเปลี่ยนค่าความต้านทานอย่างรวดเร็วแล้วเก็บค่ากำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส หลังจากนั้นนำค่ามาเข้าโปรแกรม MATLAB เพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันต่อกำลังไฟฟ้าดังแสดงเป็นเส้นสีเทาของรูปที่ 4.41 แล้วใช้ฟังก์ชันการ fit curve polynomial อันดับที่ 6 เพื่อสร้างกราฟคุณลักษณะเฉพาะดังเส้นสีส้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.6 การทดลองตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มแสง 790 W/m^2

ทำการทดลองโดยใช้เทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) ตั้งแต่ 0.01, 0.05, 0.1 และเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่ โดยทำการทดลองในสภาวะความเข้มข้นแสงเฉลี่ยมีค่าประมาณ 790 W/m^2

กรณีที่3.1 เทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้การปรับระดับขั้นการตามรอยที่อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) เท่ากับ 0.01



(ก) (ข)

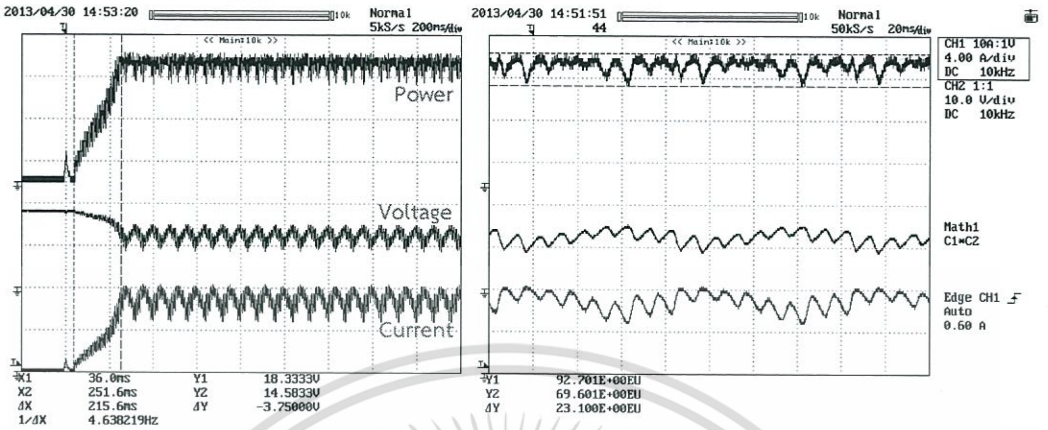
รูปที่ 4.42 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma = 0.01)

จากรูปที่ 4.42 (ก) แสดงกราฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับจากบนลงล่าง เพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด และรูปที่ 4.42 (ข) แสดงกราฟที่ทำการขยายในช่วงสภาวะคงตัวเมื่อระบบตามรอยถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วของรูปที่ 4.42 (ก) เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า โดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) เท่ากับ 0.01 ภายใต้สภาวะความเข้มแสงสม่ำเสมอที่ 790 W/m^2 โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกันดังรูปที่ 4.41 ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 91 วัตต์

จากกราฟพบว่าผลการทดลองมีความคล้ายคลึงกับผลจากการจำลองการทำงานด้วย MATLAB/simulink โดยแรงดันจะค่อยๆลดลง ในขณะที่กระแสจะค่อยๆเพิ่มขึ้น จนถึงจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด ลักษณะกราฟกระแสและแรงดันจะเป็นลักษณะที่แกว่งอยู่ตลอด เมื่อพิจารณาทางด้านกำลังไฟฟ้าลักษณะกราฟจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้เวลาในการตามรอยค่อนข้างช้าซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.03 วินาที และมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่ำซึ่งมีค่าเท่ากับ 12 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่3.2 เทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้การปรับระดับขั้นการตามรอยที่อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) เท่ากับ 0.05



(ก) (ข)

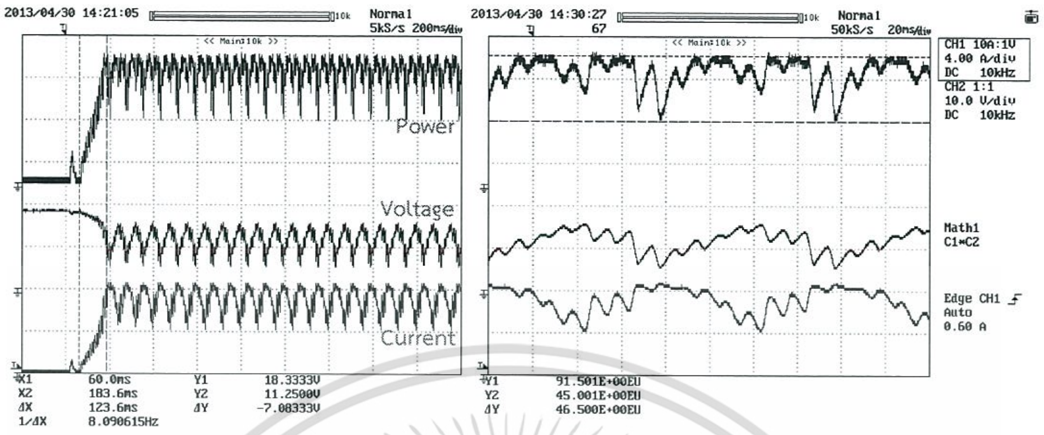
รูปที่ 4.43 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้การปรับระดับขั้นการตามรอยที่อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma = 0.05)

จากรูปที่ 4.43 (ก) แสดงกราฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับจากบนลงล่าง เพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด และรูปที่ 4.43 (ข) แสดงกราฟที่ทำการขยายในช่วงสภาวะคงตัวเมื่อระบบตามรอยถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วของรูปที่ 4.43 (ก) เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า โดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) เท่ากับ 0.05 ภายใต้สภาวะความเข้มแสงสม่ำเสมอที่ 790 W/m^2 โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกันดังรูปที่ 4.41 ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 92 วัตต์

จากกราฟพบว่าผลการทดลองมีความคล้ายคลึงกับผลจากการจำลองการทำงานด้วย MATLAB/simulink โดยแรงดันจะค่อยๆลดลง ในขณะที่กระแสจะค่อยๆเพิ่มขึ้น จนถึงจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด ลักษณะกราฟกระแสและแรงดันจะเป็นลักษณะที่แกว่งอยู่ตลอด เมื่อพิจารณาทางด้านกำลังไฟฟ้าลักษณะกราฟจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้เวลาในการตามรอยเท่ากับ 0.215 วินาที และมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 23 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่3.3 เทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้การปรับระดับขั้นการตามรอยที่อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (∆ma) เท่ากับ 0.1



(ก) (ข)

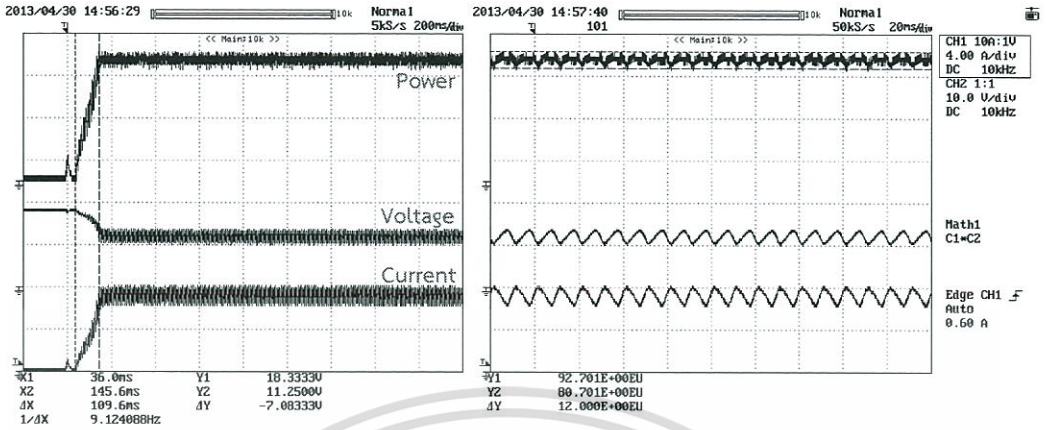
รูปที่ 4.44 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการแกว่งและสังเกตโดยใช้การปรับระดับขั้นการตามรอยที่อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (∆ma = 0.1)

จากรูปที่ 4.44 (ก) แสดงกราฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับจากบนลงล่าง เพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด และรูปที่ 4.44 (ข) แสดงกราฟที่ทำการขยายในช่วงสภาวะคงตัวเมื่อระบบตามรอยถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วของรูปที่ 4.44 (ก) เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า โดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (∆ma) เท่ากับ 0.1 ภายใต้สภาวะความเข้มแสงสม่ำเสมอที่ 790 W/m^2 โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกันดังรูปที่ 4.41 ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 91 วัตต์

จากกราฟพบว่าผลการทดลองมีความคล้ายคลึงกับผลจากการจำลองการทำงานด้วย MATLAB/simulink โดยแรงดันจะค่อยๆลดลง ในขณะที่กระแสจะค่อยๆเพิ่มขึ้น จนถึงจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด ลักษณะกราฟกระแสและแรงดันจะเป็นลักษณะที่แกว่งอยู่ตลอด เมื่อพิจารณาทางด้านกำลังไฟฟ้าลักษณะกราฟจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้เวลาในการตามรอยที่รวดเร็วมีค่าเท่ากับ 0.123 วินาที และมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 46.5 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่3.4 เทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่บนพื้นฐานของการตามรอยและสังเกต (Fuzzy based P&O)



(ก) (ข)

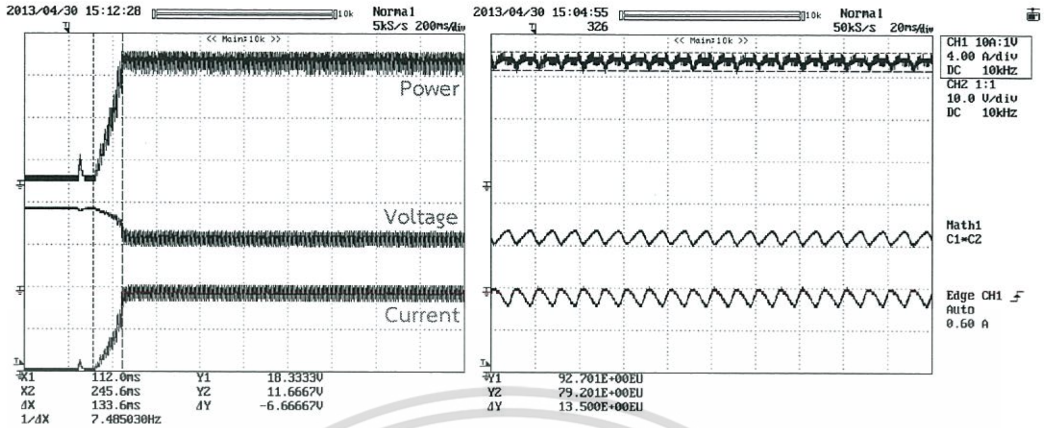
รูปที่ 4.45 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการควบคุมการตามรอยกำลังไฟฟ้าแบบฟัซซี่

จากรูปที่ 4.43 (ก) แสดงกราฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับจากบนลงล่าง เพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด และรูปที่ 4.45 (ข) แสดงกราฟที่ทำการขยายในช่วงสภาวะคงตัวเมื่อระบบตามรอยถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วของรูปที่ 4.45 (ก) เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า โดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) ที่ถูกปรับอัตโนมัติจากเทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าแบบฟัซซี่ ภายใต้สภาวะความเข้มแสงสม่ำเสมอที่ 790 W/m^2 โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกันดังรูปที่ 4.41 ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 92 วัตต์

จากกราฟพบว่าผลการทดลองมีความคล้ายคลึงกับผลจากการจำลองการทำงานด้วย MATLAB/simulink โดยแรงดันจะค่อยๆลดลง ในขณะที่กระแสจะค่อยๆเพิ่มขึ้น จนถึงจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด ลักษณะกราฟกระแสและแรงดันจะเป็นลักษณะที่แกว่งอยู่ตลอด เมื่อพิจารณาทางด้านกำลังไฟฟ้าลักษณะกราฟจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้เวลาในการตามรอยที่รวดเร็วมีค่าเท่ากับ 0.109 วินาที และมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 12 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 3.5 เทคนิคการควบคุมแบบการเพิ่มค่าความนำชนิดขนาดการก้าวไม่เท่ากัน



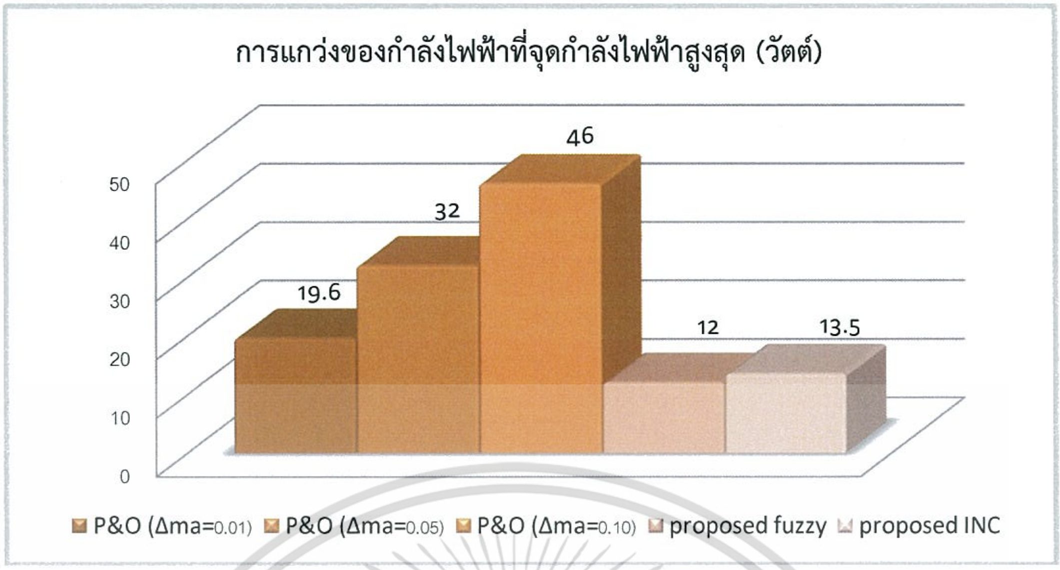
(ก) (ข)

รูปที่ 4.46 ผลการทดลองด้วยเทคนิคการเพิ่มค่าความนำชนิดขนาดการก้าวไม่เท่ากัน

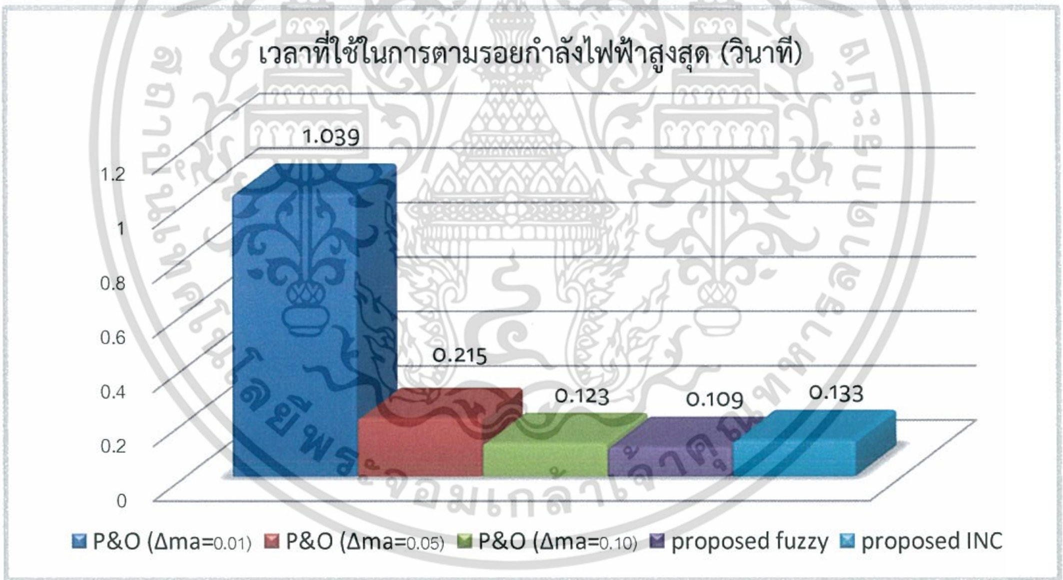
จากรูปที่ 4.46 (ก) แสดงกราฟของกำลังไฟฟ้า แรงดัน และกระแส ตามลำดับจากบนลงล่าง เพื่อแสดงเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด และรูปที่ 4.46 (ข) แสดงกราฟที่ทำการขยายในช่วงสภาวะคงตัวเมื่อระบบตามรอยถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วของรูปที่ 4.46 (ก) เพื่อวัดค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้า โดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma) ที่ถูกปรับอัตโนมัติจากเทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าแบบการเพิ่มค่าความนำที่นำเสนอ ภายใต้สภาวะความเข้มแสงสม่ำเสมอที่ 390 W/m^2 โดยระบบสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบตามรอยได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุดของกราฟคุณลักษณะเฉพาะที่ความเข้มแสงเดียวกันดังรูปที่ 4.41 ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 92 วัตต์

จากกราฟพบว่าผลการทดลองมีความคล้ายคลึงกับผลจากการจำลองการทำงานด้วย MATLAB/simulink โดยแรงดันจะค่อยๆลดลง ในขณะที่กระแสจะค่อยๆเพิ่มขึ้น จนถึงจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด ลักษณะกราฟกระแสและแรงดันจะเป็นลักษณะที่แกว่งอยู่ตลอด เมื่อพิจารณาทางด้านกำลังไฟฟ้าลักษณะกราฟจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้เวลาในการตามรอยที่รวดเร็วมีค่าเท่ากับ 0.133 วินาที และมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 13.5 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.47 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้าด้วยการปรับอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็กค่าต่างๆ เทียบกับเทคนิคการควบคุมทั้งสองเทคนิคที่นำเสนอที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 4.48 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยการปรับอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็กค่าต่างๆ เทียบกับเทคนิคการควบคุมทั้งสองเทคนิคที่นำเสนอที่ได้จากการทดลอง

จากรูปที่ 4.47 และ 4.48 แสดงผลการเปรียบเทียบทั้งการแกว่งของกำลังและเวลาที่ใช้ในการตามรอยถึงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของทั้งสองเทคนิค ภายใต้สภาวะความเข้มแสง 790 W/m^2 ในรูปของผลการเปรียบเทียบแบบแผนภูมิแท่ง พบว่าเทคนิคการควบควบคุมแบบฟัซซี่มีการแกว่งของกำลังที่ต่ำกว่าเทคนิค P&O ในขณะที่ใช้เวลาในการตามรอยกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกับเทคนิค P&O ที่ใช้ Δma=0.1 ซึ่งสรุปได้ว่าเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่ให้ผลตอบสนองที่ดีกว่าเทคนิค P&O ธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบการทดลองของเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่, เทคนิคการเพิ่มค่าความนำที่นำเสนอ และการควบคุมแบบการตามรอยและสังเกต (P&O) ภายใต้สภาวะความเข้มแสงค่าต่างๆ

1. เทคนิคการควบคุมการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบฟัซซี่, เทคนิคการเพิ่มค่าความนำที่นำเสนอ และเทคนิคการตามรอยและสังเกตสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้จริง โดยเมื่อเทียบค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่แต่ละเทคนิคสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุดจากกราฟคุณลักษณะเฉพาะดังรูปที่ 4.23, 4.32 และ 4.41
2. เทคนิคที่ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่และเทคนิคการเพิ่มค่าความนำที่นำเสนอมีค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุดน้อยกว่าเทคนิคการแกว่งและสังเกตแบบธรรมดา
3. ช่วงเวลาที่ใช้ในการตามรอยถึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเทคนิคที่ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่และเทคนิคการเพิ่มค่าความนำที่นำเสนอมีค่าน้อยกว่าเทคนิคการแกว่งและสังเกต

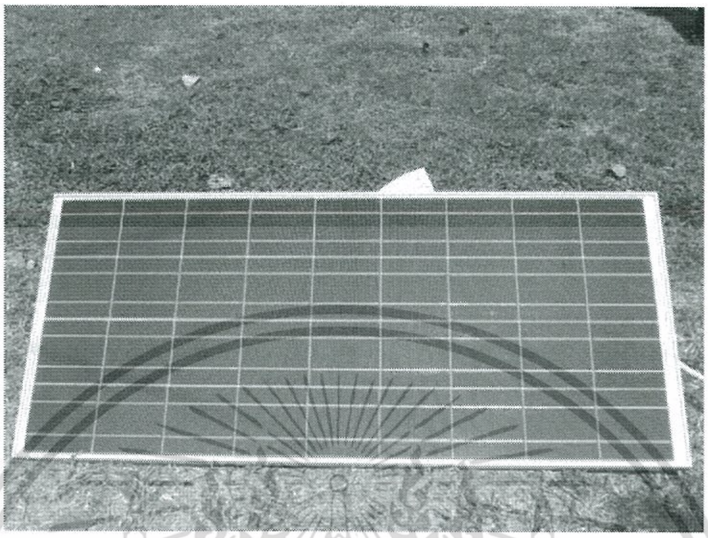
สรุปผลการทดลองการเปรียบเทียบผลการทดลองคุณลักษณะภายใต้สภาวะความเข้มแสงแบบต่างๆ

จากผลการทดลองที่ทำการทดลองทั้ง 3 ความเข้มแสงแสดงให้เห็นว่าเทคนิคการตามรอยด้วยการควบคุมแบบฟัซซี่และเทคนิคการเพิ่มค่าความนำที่นำเสนอ ทำให้ระบบเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่ำและใช้เวลาในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างรวดเร็วกว่าเทคนิคการรบกวนและสังเกตแบบธรรมดา ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการดึงกำลังไฟฟ้าที่ดีขึ้น โดยระบบมีค่าการสูญเสียอันเนื่องมาจากการแกว่งของกำลังไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดลดลง จากผลการทดลองสรุปได้ว่าเทคนิคการควบคุมทั้งสองเทคนิคที่นำเสนอสามารถใช้แก้ปัญหาที่เกิดจากการควบคุมแบบการรบกวนและสังเกตแบบธรรมดาได้

จากการจำลองพบว่า เทคนิคที่ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่และเทคนิคการเพิ่มค่าความนำที่นำเสนอมีค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุดน้อย และยังใช้เวลาในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่ำกว่าส่งผลให้ค่าความสูญเสียในระบบลดลง จากผลการทดลองที่ได้นั้นมีแนวโน้มเป็นไปในแนวทางเดียวกับการจำลองในคอมพิวเตอร์ สรุปได้ว่า เทคนิคที่ใช้ตัวควบคุมทั้งสองเทคนิคที่นำเสนอสามารถนำมาใช้แก้ปัญหาของเทคนิคการแกว่งและสังเกตแบบธรรมดาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 การทดลองการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการแกว่งและสังเกตเทียบกับเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่ ภายใต้ความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ



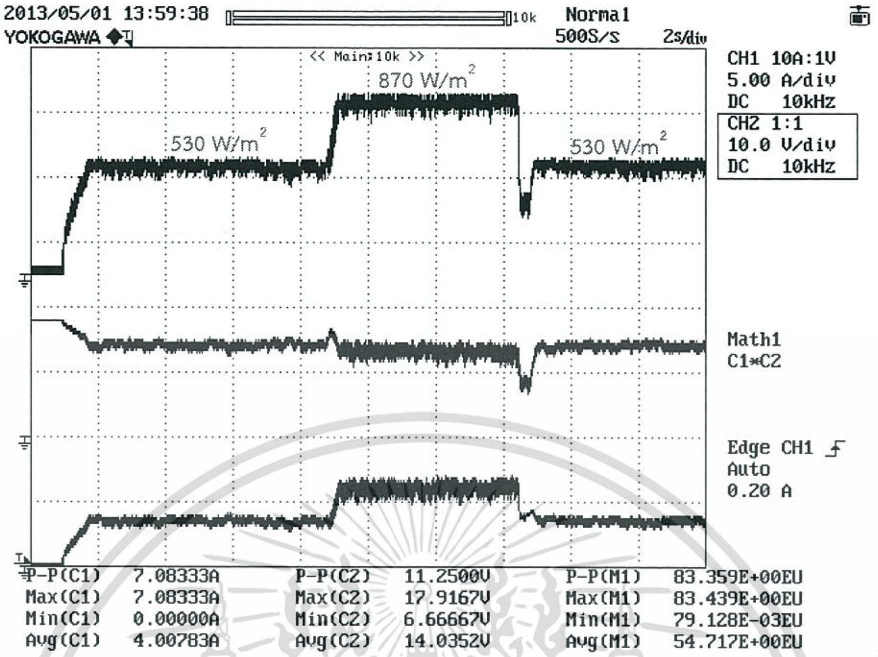
(ก)

(ข)

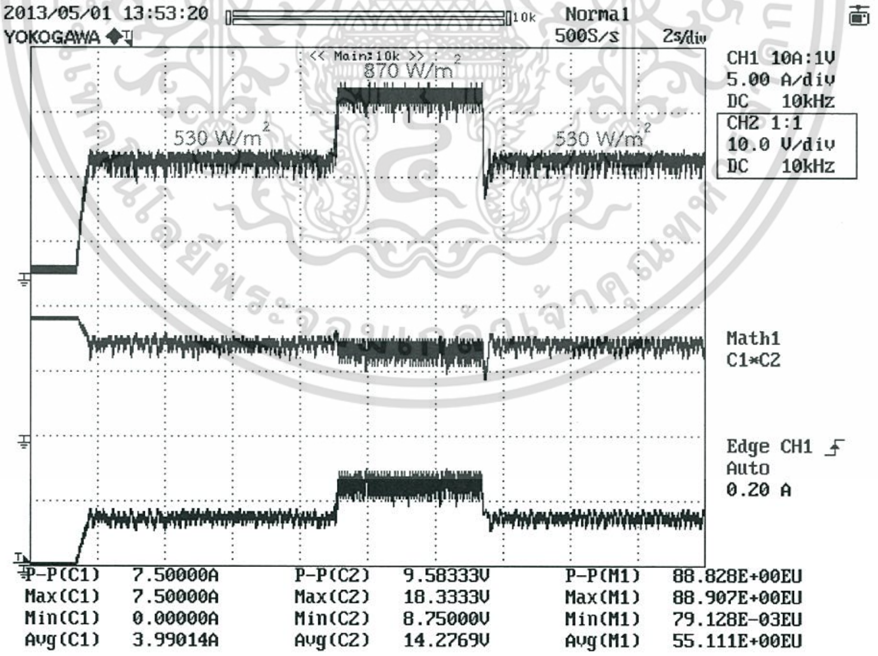
รูปที่ 4.49 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง
(ก) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่รับแสงโดยตรง
(ข) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ปิดทับด้วยกระดาษลอกลาย

จากรูปที่ 4.49 แสดงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่รับแสงโดยตรงและที่ถูกปิดทับด้วยกระดาษลอกลายเพื่อจำลองการเปลี่ยนของความเข้มแสง แล้วทำการวัดค่าเพื่อเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคที่นำเสนอและเทคนิคการตามรอยและสังเกตแบบธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

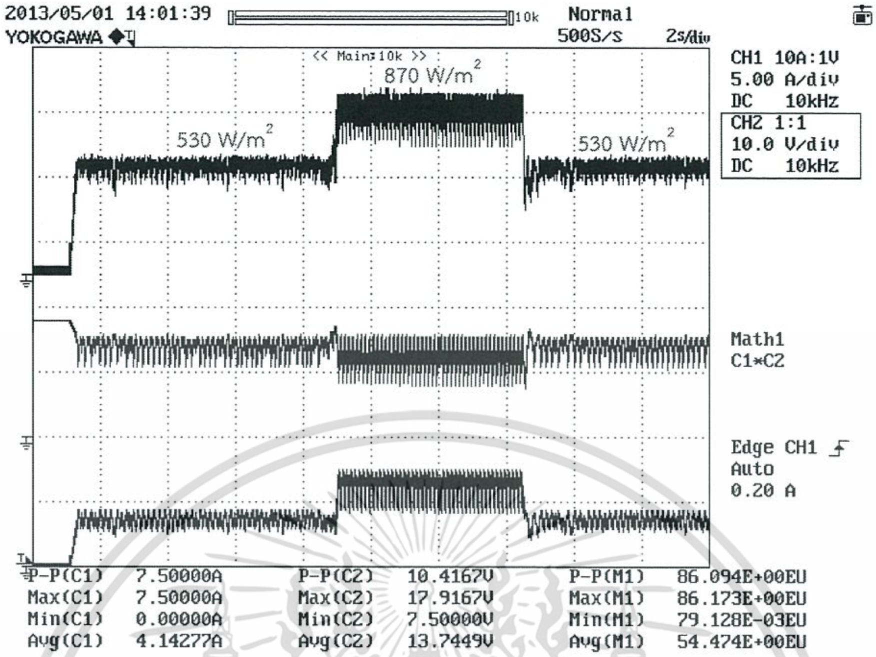


รูปที่ 4.50 ผลการทดลองเมื่อทำการเปลี่ยนแสงด้วยเทคนิคการควบคุมแบบการรบกวนและสังเกต โดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma=0.01)

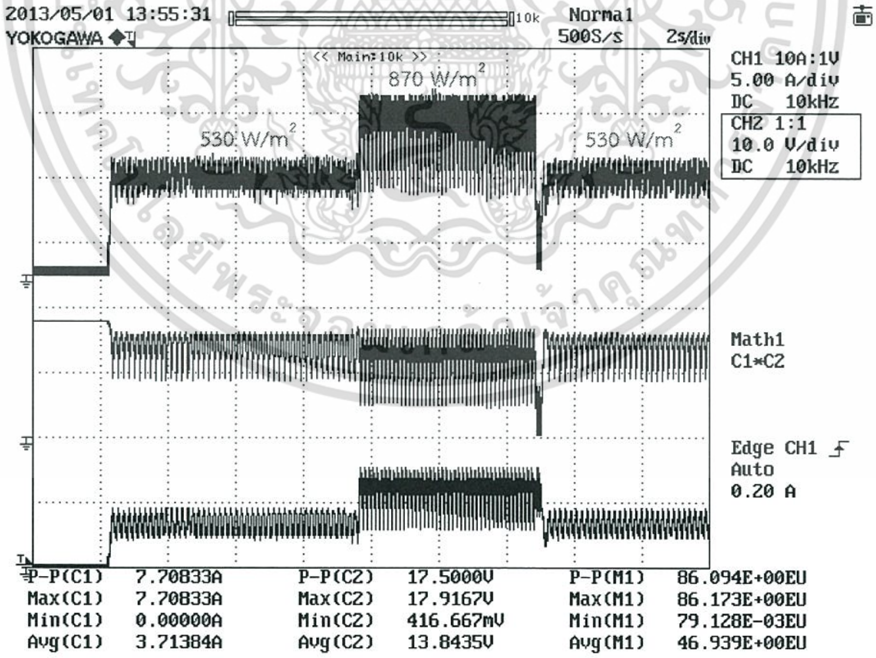


รูปที่ 4.51 ผลการทดลองเมื่อทำการเปลี่ยนแสงด้วยเทคนิคการควบคุมแบบการรบกวนและสังเกต โดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma=0.025)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

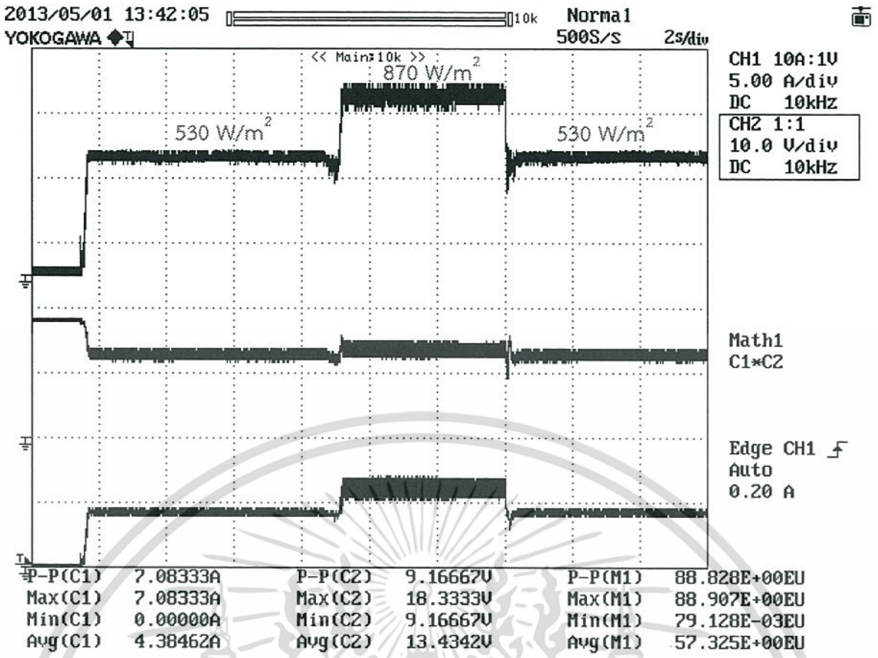


รูปที่ 4.52 ผลการทดลองเมื่อทำการเปลี่ยนแสงด้วยเทคนิคการควบคุมแบบการรบกวนและสังเกต โดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma=0.05)

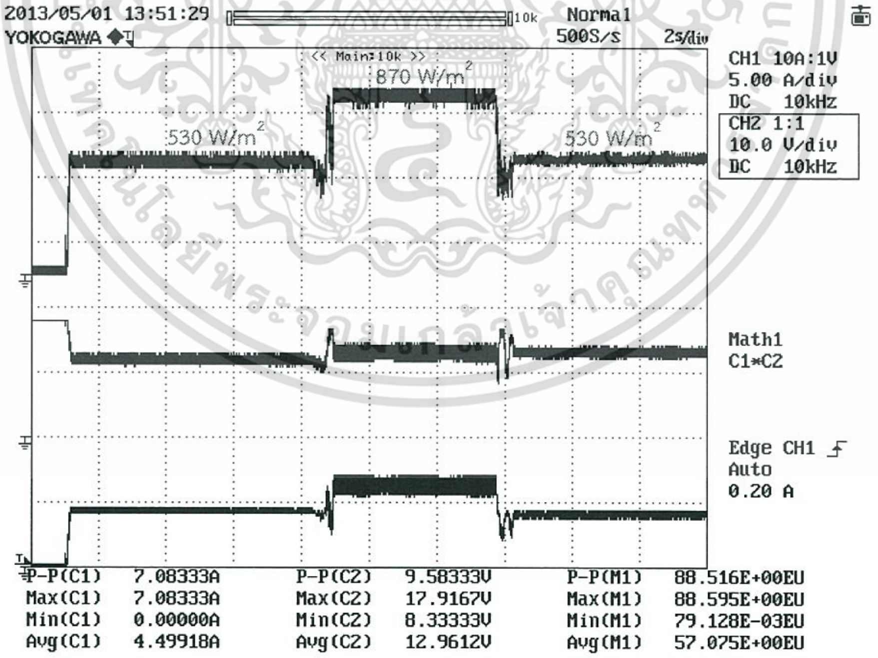


รูปที่ 4.53 ผลการทดลองเมื่อทำการเปลี่ยนแสงด้วยเทคนิคการควบคุมแบบการรบกวนและสังเกต โดยใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชั่นอินเด็ก (Δma=0.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.54 ผลการทดลองเมื่อทำการเปลี่ยนแสงด้วยเทคนิคการควบคุมแบบเทคนิคที่นำเสนอที่ 1 : ฟัซซี่ลอจิก



รูปที่ 4.55 ผลการทดลองเมื่อทำการเปลี่ยนแสงด้วยเทคนิคการควบคุมแบบเทคนิคที่นำเสนอที่ 2 : การเพิ่มค่าความนำแบบค่าการก้าวไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองคุณลักษณะภายใต้สภาวะที่ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.49-4.55 พบว่าทั้งเทคนิคที่ใช้การควบคุมแบบฟัซซี่และการเพิ่มค่าความนำที่นำเสนอ สามารถควบคุมระบบให้มีค่าการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่ำ และยังใช้เวลาในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดน้อย แม้ภายใต้การเปลี่ยนแปลงค่าของความเข้มแสงหลายค่า ด้วยเทคนิคนี้จะส่งผลให้ค่าความสูญเสียของระบบลดลง และจากผลการทดลองที่ได้นั้นมีแนวโน้มเป็นไปในแนวทางเดียวกับการจำลองในคอมพิวเตอร์ จึงสรุปได้ว่า เทคนิคที่ใช้การควบคุมแบบฟัซซี่และเทคนิคการเพิ่มค่าความนำที่นำเสนอนี้สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาของเทคนิคการแกว่งและสังเกตแบบธรรมดาได้ดี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการตามรอยกำลังไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคการรบกวนและสังเกตแบบธรรมดา, เทคนิคการควบคุมแบบฟัซซีและเทคนิคการเพิ่มค่าความนำที่ใช้ขนาดการก้าวไม่เท่ากันพบว่าทั้งสามเทคนิคสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดจริงโดยค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ตามรอยได้มีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าจากกราฟคุณลักษณะ ณ แสงนั้นๆ และจากการจำลองและทดลองสำหรับตัวควบคุมแบบตามรอยและสังเกตธรรมดาพบว่าเมื่อเลือกใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชันอินเด็ก (Δma) ค่าต่ำระบบจะใช้เวลาในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดมาก แต่ผลดีคือจะมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดน้อย ในทางกลับกันถ้าเลือกใช้อัตราการเปลี่ยนมอดูเลชันอินเด็ก (Δma) ที่มีค่าสูงระบบจะใช้เวลาในการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดน้อย แต่ผลดีคือจะมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดมาก ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงประยุกต์เทคนิคการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบฟัซซีและเทคนิคการเพิ่มค่าความนำที่ใช้ค่าขนาดการก้าวไม่เท่ากัน โดยอัตราการเปลี่ยนมอดูเลชันอินเด็ก (Δma) ที่ใช้ควบคุมจะมีค่าไม่คงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับกฎที่สร้างขึ้นในกระบวนการของเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี รวมทั้งกฎของเทคนิคการเพิ่มค่าความนำที่นำเสนอ โดยส่งผลต่อประสิทธิภาพของการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองและการจำลองระบบและเทคนิคที่นำเสนอนั้นสามารถตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้รวดเร็วพร้อมทั้งมีการแกว่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าน้อยกว่าโดยทั้งสองเทคนิคที่นำเสนอให้ผลตอบสนองที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันทั้งด้านของการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดและความรวดเร็วในการตามรอยกำลังไฟฟ้า

5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

1. ในการออกแบบตัวตรวจจับแรงดัน และกระแสควรออกแบบให้มีการเห็นการเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดันที่ชัดเจนเพื่อที่ไมโครคอนโทรเลอร์จะได้ค่าที่ถูกต้อง แม่นยำไปประมวลผล
2. ตัวตรวจจับแรงดันและกระแสควรที่จะมีการแยกกันทางไฟฟ้ากับวงจรกำลังเพื่อป้องกันวงจรควบคุมเมื่อเกิดการลัดวงจร
3. ในส่วนของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าให้วงจร ควรใช้หม้อแปลงที่มีการแยกกันทางไฟฟ้าอย่างชัดเจน (ไม่ใช้หม้อแปลงแบบมีแท็บกลาง) เพราะจะทำให้มีปัญหาเมื่อมีการต่อกราวด์ร่วม
4. ในการออกแบบวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ควรจะมีเทคนิคเสริม เช่นเทคนิคการสวิตซ์แบบนุ่มนวล (soft-switching) เพื่อลดค่าการสูญเสียที่เกิดจากการสวิตซ์ (switching loss)
5. ควรเพิ่มความถี่ในการสวิตชิ่งของสัญญาณพัลส์วิดต์มอดูเลชั่น ให้มากขึ้นเพื่อลดขนาดและน้ำหนักของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางการพัฒนา

จากผลการทดลองพบวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นใช้ชุดควบคุมที่ค่อนข้างยุ่งยากและซับซ้อน นอกจากนั้นยังใช้แหล่งจ่ายไฟจากภายนอก เพื่อพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ระบบควรปรับปรุงให้สามารถรับพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และสามารถแปลงเป็นไฟเลี้ยงให้กับชุดวงจรเพื่อทำงานได้เอง (Stand alone) รวมทั้งควรสร้างสัญญาณควบคุมจากไมโคคอนโทรลเลอร์ ซึ่งช่วยลดพื้นที่และอุปกรณ์ที่ใช้สร้างสัญญาณควบคุมแบบเดิม ทำให้ความสูญเสียลดลงและเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรให้มากขึ้น นอกจากนี้ควรออกแบบวงจรกรองฝั่งทุติภูมิ โดยคำนึงถึงคุณภาพรูปคลื่นซายน์ด้านขาออกของวงจรฟลายแบ็คอินเวอร์เตอร์ให้มีค่าฮาร์มอนิกส์น้อยกว่าที่การไฟฟ้ากำหนดหรือน้อยกว่า 5%

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าทั้งเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่และเทคนิคการเพิ่มค่าความนำที่ใช้ขนาดการก้าวไม่เท่ากันให้ผลใกล้เคียงกัน แต่ในส่วนของเทคนิคการควบคุมแบบฟัซซี่นั้นมีความยืดหยุด ซึ่งระบบสามารถเพิ่มกฎหรือค่าอินพุตอาทิเช่น ค่าความเข้มแสง, แรงดันเปิดวงจร (V_{OC}) หรือรวมทั้งกระแสลัดวงจร (I_{SC}) เป็นต้น เพื่อทำให้ประสิทธิภาพในการตามรอยกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นได้ นอกจากนั้นชุดวงจรต้นแบบที่สร้างขึ้นถูกออกแบบให้สร้างสัญญาณซายน์ที่มีขนาด 50 เฮิร์ตซ์ ซึ่งสามารถต่อยอดเพื่อเชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้าได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] T. Shimizu, K. Wada, and N. Nakamura, "A Flyback-type Single Phase Utility Interactive Inverter with Low-frequency Ripple Current Reduction on the DC Input for an AC Photovoltaic Module System," *IEEE Transactions on industrial electronics.*, Vol. 52, No. 4, 2005, pp. 1145-1152

[2] T. Shimizu, K. Wada, and N. Nakamura, "Flyback-Type Single-Phase Utility Interactive Inverter With Power Pulsation Decoupling on the DC Input for an AC Photovoltaic Module System," *IEEE Transactions on industrial electronics.*, Vol. 21, No. 5, 2006, pp. 1264-1272

[3] A. Ch. Kyritsis, N. P. Papanikolaou, E. C. Tatakis, and J. C. Kobougias, "Design and control of a current source flyback inverter for decentralized gridconnected photovoltaic systems," Power Electronics and Applications, 2005 European Conference on., Vol. 11, No. 3, 2006, pp. 2-10

[4] Sang Hee Kang, D. Maksimovic, and I. Cohen, "On-line efficiency optimization in flyback dc-dc converters over wide ranges of operating conditions." Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)., No. 3, 2011, pp. 1417-1424

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

[6] Fangrui Liu, Yong Kang, Yu Zhang, and Shanxu Duan, "Comparison of P&O and Hill Climbing MPP Methods for Grid-Connected PV Converter," *IEEE Transactions on industrial electronics.*, Vol. 10, No.3, 5 June, 2008, pp. 804-807

[7] N. Kasa, T. Iida, and L. Chen, "Flyback Inverter Controlled by Sensorless Current MPPT for Photovoltaic Power System," *IEEE Transactions on industrial electronics.*, Vol. 52, No. 4, 2005, pp. 1145-1152

[8] Pongsakorn Takun, Somyot Kaitwanidvilai, and Chaiyan Jettanasen, "Maximum Power Point Tracking using Fuzzy Logic Control for Photovoltaic Systems," *Lecture Notes in Engineering and Computer Science.*, Vol. 2189, No. 1, 2011, pp. 986-990

[9] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo, and M. Vitelli, "Optimizing Sampling Rate of P&O MPPT Technique,"*IEEE Transactions on industrial electronics.*, Vol. 3, No. 20-25 June, 2004, pp. 1945-1949

[10] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo, and M. Vitelli, "Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method", *IEEE Transactions on industrial electronics.*, Vol. 20, No. 4, 2005, pp. 963-973

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] P. Khamphakdi, and W .Khan-ngern, "The Analysis of Output filter for Grid Connected Single Phase Full Bridge Inverter Based on PSpice Simulation Technique", *2005 International Conference on electromagnetic compatibility* , ICEMC2005, July 27-29, 2005, session 1C-1

[12] Hyosung Kim, and Kyoung-Hwan Kim, "FILTER DESIGN FOR GRID CONNECTED PV INVERTERS", *IEEE Transactions on industrial electronics.*, No. 24-27 Nov, 2008, pp. 1070 - 1075

[13] J. Kim, J. Choi, and H. Hong, "Output LC Filter Design of Voltage Source Inverter Considering the Performance of Controller", *International Conference on Power System Technology.*, Vol. 3, No. 2000, 2005, pp. 1659 - 1664

[14] Hanju Cha, and Trung-Kien Vu, "Comparative Analysis of Low-pass Output Filter for Single-phase Grid-connected Photovoltaic Inverter", *IEEE Transactions on industrial electronics.*, No. 21-25 Feb, 2010, pp. 1659 - 1665

[15] Hyosung Kim, and Seung-Ki Sul, "Analysis on Output LC Filters for PWM Inverters", *IEEE Transactions on industrial electronics.*, No. 17-20 May, 2009, pp. 384 - 389

[16] บริษัท บางกอกโซลาร์ จำกัด. ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (Stand Alone Solar Systems). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.bangkoksolar.com/th/products/detail.php?id=21&SystemModuleKey=product

[17] Ningbo Huashun Solar Energy Technology Co., LTD. monocrystalline solar cell. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://nbsolar.en.hisupplier.com/product-188089-Monocrystalline-Solar-Cell.html

[18] Ningbo Huashun Solar Energy Technology Co., LTD. Polycrystalline solar cell. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://nbsolar.en.hisupplier.com/product-188247-Polycrystalline-Solar-Cell.html

[19] Thin film solar panels. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.solarwattage.org/thin-film-solar-panels/

[20] กรมพลังงานทหาร ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหาร. หลักการทางานของเซลล์แสงอาทิตย์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www1.mod.go.th/opsd/dedweb/k 20web/Solar%20working/KM%20solar%20working.htm

[21] A. Ch. Kyritsis, E. C.Tatakis, N. P. Papanikolaou, "Optimum Design of the Current-Source Flyback Inverter for Decentralized Grid-Connected Photovoltaic Systems," *IEEE Transactions on industrial electronics.*, Vol. 23, No. 1, 2008, pp. 281-293.

[22] C. Liu, B. Wu and R. Cheung, "Advanced algorithm for MPPT control of photovoltaic systems", Canadian Solar Building Conference, 2004.

[23] K. H. Hussein, I. Muta, T. Hoshino, and M. Osakada, "Maximum photovoltaic power tracking: An algorithm for rapidly changing atmospheric conditions", IEEE Proceedings on Generation, Transmission, and Distribution, 142, 1995, pp. 59-64.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

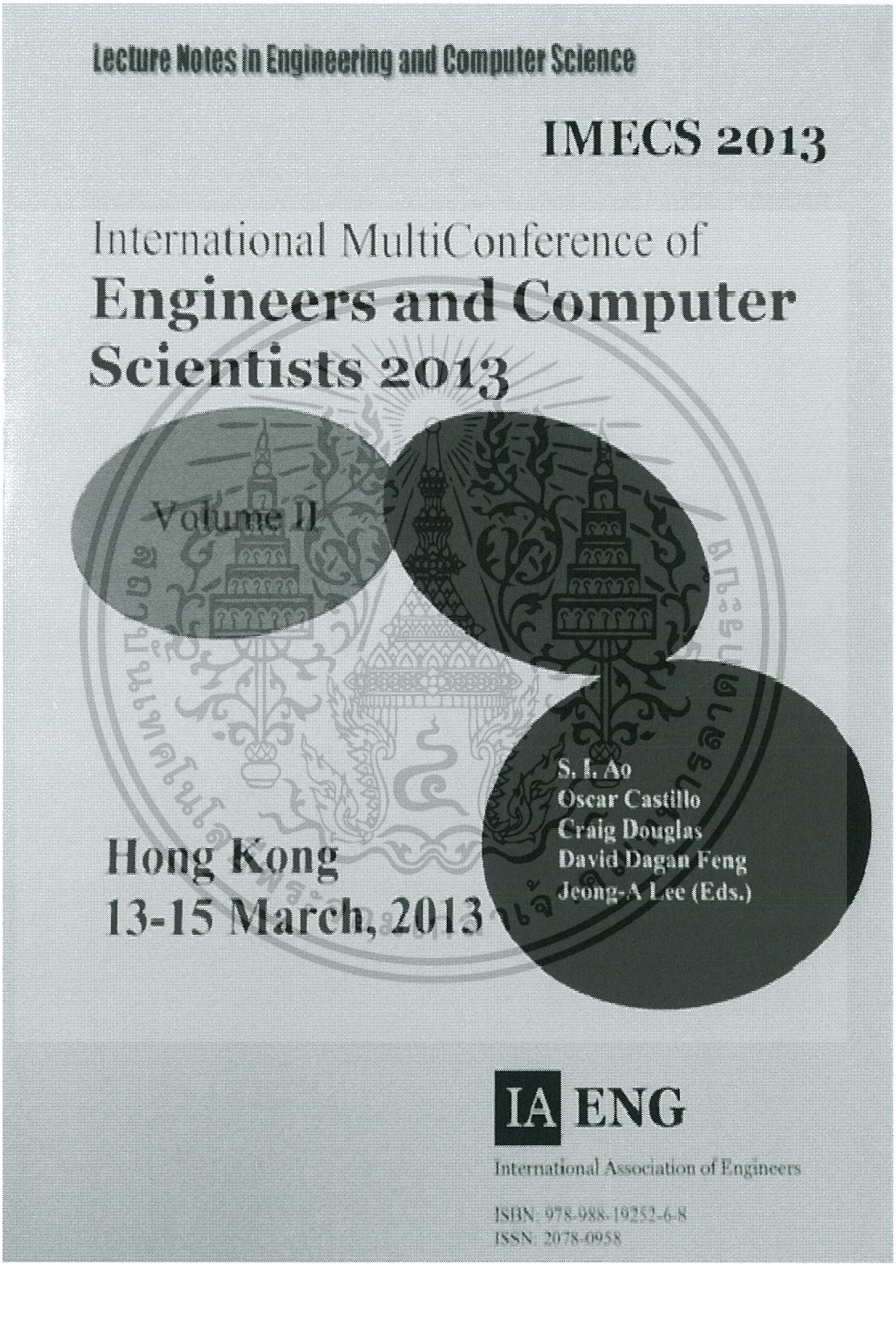
[24] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. แผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้า. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=782&Itemid=889

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


Lecture Notes in Engineering and Computer Science

IMECS 2013

International MultiConference of
Engineers and Computer Scientists 2013

Volume II

S. I. Ao
Oscar Castillo
Craig Douglas
David Dagan Feng
Jeong-A Lee (Eds.)

Hong Kong
13-15 March, 2013

IA ENG
International Association of Engineers

ISBN: 978-988-19252-6-8
ISSN: 2078-0958

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Microprocessor based Fuzzy MPPT for PV-AC Module DCM-flyback Inverter

Poom Konghuayrob and Somyot Kaitwanidvilai

Abstract— **This paper proposes a maximum power point tracking using fuzzy based perturb and observe (P&O) algorithm for a photovoltaic (PV) system (an AC module). In AC module flyback inverter, modulation index (Δma) are adopted as a control variable to track the maximum power point (MPP) of PV array. In the conventional technique, step size of modulation index (Δma) is adopted in the simple P&O technique; Although this technique is easy to be implemented but there is some problems regarding large oscillation around the MPP and slow tracking when improper step size is selected. The proposed technique, fuzzy based P&O technique, is adopted to provide non-equal step size of Δma. The proposed fuzzy system was programmed on microcontroller which is a low cost processing device. Experimental result confirms that the proposed system can effectively track the power from PV system, and is better than the conventional technique.**

Index Terms—**AC-module, fuzzy MPPT, flyback inverter, discontinuous mode.**

I. Introduction

NOWADAYS, interest in an AC module in photovoltaic energy has grown to solve the problem of environment crisis. Photovoltaic (PV) systems have been developed to overcome the problem of energy crisis. Solar energy generators are extensively adopted to generate the electrical power from solar irradiation. In this approach, solar power is converted into electric power by photovoltaic (PV) array. The output of the PV panels depends on surrounding weather conditions those are sun irradiance level and temperature [1-3]. Several circuits and control schemes for photovoltaic power generation systems were applied and studied. Generally, a PV system consists of PV array and PV power conditioner that can be divided into two categories, first is dc–dc converter to control the dc voltage and second is inverter to generate ac power [4].

In this paper, a flyback inverter with center-tapped secondary winding is adopted for implementing the proposed technique, fuzzy based P&O algorithm. The design of this circuit was presented in the references [5]–[7]; the features of flyback inverter are summarized here as follows. No dc–dc converter is required and the flyback inverter can directly convert the specified dc power to ac power. The main circuit configuration is simple and the number of power semiconductor switches used is less than that of the other circuits. This research work adopts the fuzzy maximum power point tracking (MPPT) technique to utilize the power from PV array.

Modulation index (flyback inverter) and duty-cycle (DC-DC converter) are key parameters for tracking MPP of solar array [8]. Although general P&O technique can be simply adopted for the tracking purpose, the selection of appropriate step size of modulation index (Δma) or duty cycle is not easy. If the step size is too high, the oscillation around the maximum power point (MPP) will be large. On the contrary, results of tracking will be slow if the step size is low. To overcome this problem, this paper proposes the fuzzy based P&O algorithm to adjust the appropriate Δma to achieve both fast tracking and low MPP power oscillation. The inputs of the proposed fuzzy logic are the magnitudes of the change of power (ΔP) and the change of PV voltage (ΔV) which are used to estimate the appropriate Δma. The system was programmed on microcontroller; thus, the cost of controller are reduced when compared to DSP or personal computer. The experimental results show that the proposed technique can perform efficient power tracking in various irradiance conditions.

II. Flyback Inverter with Center-Tapped Secondary Winding

A. Operation of DCM-flyback inverter with center-tapped secondary winding

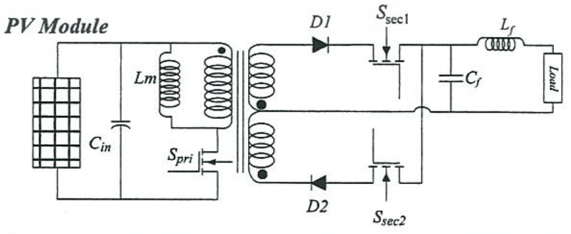


Fig. 1. Circuit configuration of grid connected flyback inverter with center-tapped secondary winding.

The main circuit of DCM-flyback inverter for a prototyped PV power conditioner is shown in Fig. 1. PV module is utilized as the input source of this inverter. A

Manuscript received Febuary, 2013; This work was supported in part by the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Research Fund.

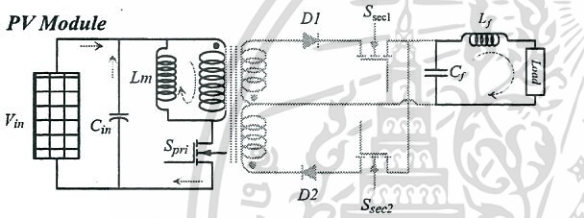
Somyot Kaitwanidvilai is with the Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand. (corresponding author to provide phone: 883-906-6567; e-mail: drsomyotk@ gmail.com).

Poom Konghuayrob is with the Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand. (e-mail: poom.konghuayrob@gmail.com).

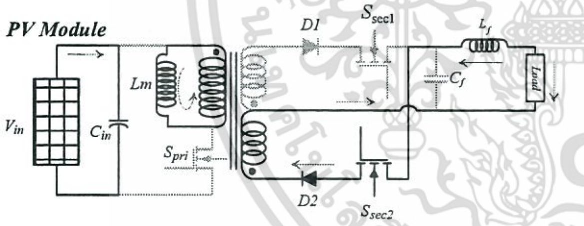
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

119

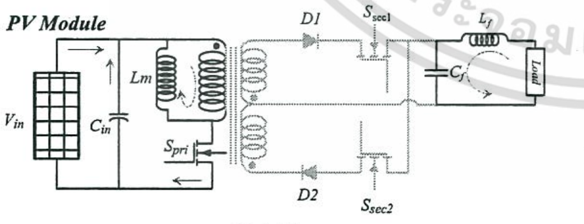
flyback inverter consists of one decoupling capacitor, one center-tapped secondary winding transformer, three semiconductor switches, two power diodes and LC output filter. The primary switch S_{pri} operates with high switching frequency, secondary switches S_{sec1} and S_{sec2} operate with 50 Hz like as line frequency. The capacitor (*C1*) is used to reduce ripple component of input power because nearly constant input voltage and current is needed for MPPT algorithm. The flyback transformer performs energy flow from dc to ac side and provides isolation between the PV array and ac line for protection. The primary winding is connected to the PV array and the MOSFET *Sp*, where the switch S_{pri} is driven by pulse-width modulated gate pulses generated by triangle compared with absolute sine. Both of AC semiconductor switches composed of the IGBTs S_{sec1}, S_{sec2} and the diodes D_1, D_2 in series connection as shown in Fig. 3, connected to each terminal of the secondary winding of the flyback transformer. The active switches S_{sec1} and S_{sec2} are turned on or off on each of half line cycle to generate positive or negative output current according to the polarity of the sinusoidal waveform.



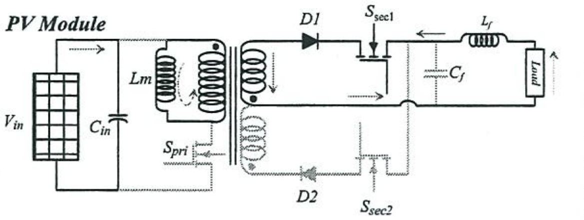
Mode I



Mode II



Mode III



Mode IV

Fig. 2. Circuit configuration and operation modes of flyback inverter.

The circuit of flyback inverter and the switching sequences (mode) are shown in Fig. 2. Mode I is defined for the situation where switch S_{pri} is conducted and all other switches are off, and the stored energy in C_f is discharged to the AC load or grid with the synchronized polarity and phase. Mode II is defined for the duration where IGBT S_{sec1} is conducted with all the rest in off, implying the stored energy in L_m releases to the AC utility grid and giving the positive polarity. Mode III and IV, the primary switch S_{pri} alternately operates at high switching frequency during the negative half cycle. The thorough analysis of the DCM flyback inverter is described in [9]. The transferred power is expressed by the following equation [9]:

$$P_{PV} = \frac{1}{4} V_{dc}^2 g_L d_p^2 \qquad (1)$$

where

$$g_L = \frac{1}{L_1 f_s} \qquad (2)$$

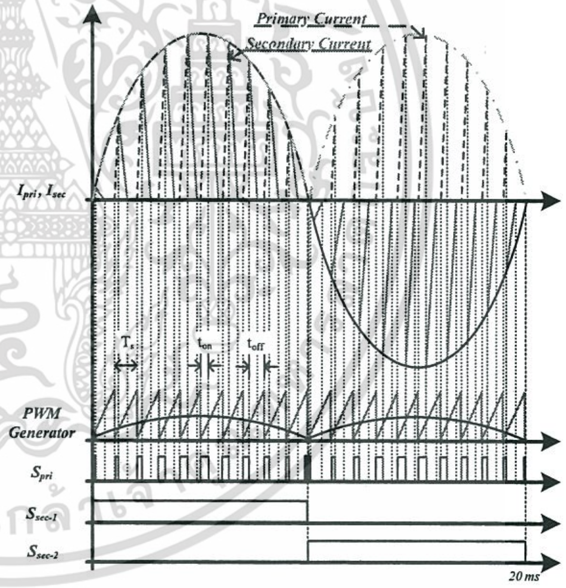


Fig. 3. Current waveform and switching sequence diagram

III. Proposed Fuzzy based P&O Algorithm

Fuzzy logic is easy to use because it does not require accurately mathematical model. Besides, fuzzy is able to work properly even without the precise knowledge of system and is more robust compared to the conventional non-linear controller [10]. The operation of fuzzy logic control can be classified into main basic elements, namely fuzzification, rule base inference engine and defuzzification.

ISBN: 978-988-19252-6-8
ISSN: 2078-0958 (Print); ISSN: 2078-0966 (Online)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The operation of the proposed fuzzy logic control is shown in the flow chart in Fig. 4. Solar PV system consists of a PV panel, a flyback inverter, fuzzy based P&O MPPT control unit and load which are shown in Fig.1. The power from PV panel is delivered to the load through the flyback inverter. The change of output voltage (ΔV_{pri}) and the change of power (ΔP_{pri}) from the PV panel are adopted as the inputs of the fuzzy based MPPT control unit for MPP tracking. Fuzzy logic is used to determine the step size of perturbed modulation index. In the other words, the proposed fuzzy logic P&O MPPT will decide the new operating voltage for PV panel by adjusting the step size of modulation index (Δma) on the flyback inverter.

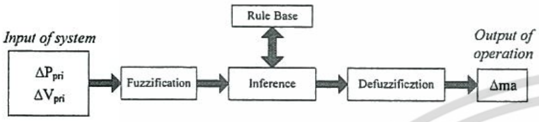


Fig. 4. Operation of fuzzy logic based P&O MPPT control

In this paper, fuzzification is the process of converting (ΔV_{pri}) and (ΔP_{pri}) from PV array, which are the inputs of fuzzy system, into linguistic fuzzy sets using fuzzy membership function with six fuzzy sets: NB (negative big), NM (negative medium), NS (negative small), PS (positive small), PM (positive medium), and PB (positive big). Fig. 6 shows the input membership functions of this proposed technique. 5 fuzzy sets of output membership are VB (Very Big), B (Big), M (Medium), S (small), VS (very small).

TABLE I
RULES OF FUZZY BASED P&O SYSTEM

Change of voltage (ΔV_{pri})	Change of power (ΔP_{pri}) NB	NM	NS	PS	PM	PB
NB	VS	S	M	M	S	VS
NM	B	VS	S	S	VS	B
NS	VB	B	VS	VS	B	VB
PS	VB	B	VS	VS	B	VB
PM	B	VS	S	S	VS	B
PB	VS	S	M	M	S	VS

TABLE II
DESCRIPTION OF WEIGHT VALUES

Rule No	Value of membership function	Δma weight (W_k)
1	VB	6×10^{-2}
2	B	4×10^{-2}
3	M	3×10^{-2}
4	S	2×10^{-2}
5	VS	1×10^{-2}

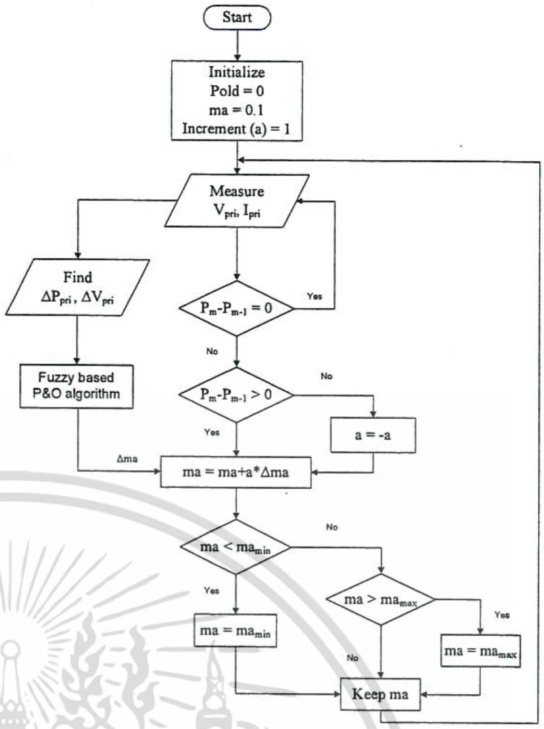


Fig. 5. Flow chart of the proposed fuzzy based perturb and observe (P&O) for MPPT of flyback inverter

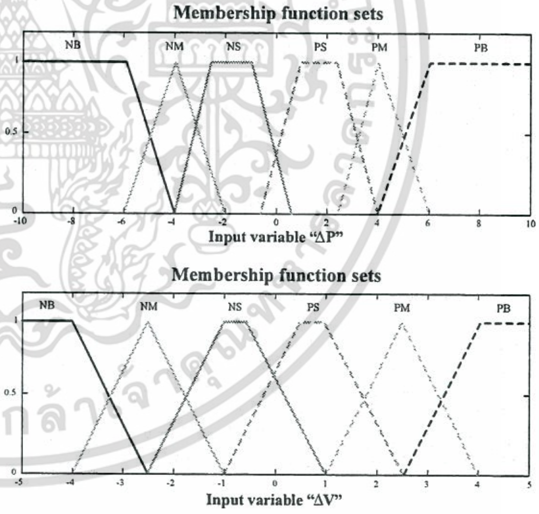


Fig. 6. Membership functions of the input variables (ΔV_{pri} and ΔP_{pri})

The fuzzy system rules can be designed as shown in Table I; rules and weights were specified by the knowledge of the expert. In this paper, the defuzzification method adopted in the proposed system is based on the concept of Sugeno's method which is the min-max composition. Defuzzification for Sugeno's system can be calculated by:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta ma = \left(\sum_{k=1}^{m} u^k w_k \Big/ \sum_{k=1}^{m} w_k \right) \qquad (3)$$

where Δma is the step size of modulation index. u^k is the product of all membership values of rule no. k, and w_k is the weight of rule no. k; m is the number of rules. As seen in Fig. 5, Δma is used as the magnitude of change but the direction of change is specified by the concept of simple P&O. AC-module flyback inverter adopts the output of fuzzy system (the step size) to the P&O method to generate pulse width modulation (PWM) signal for controlling primary switch S_{pri}.

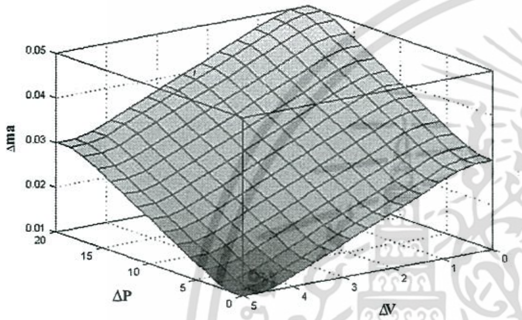


Fig. 7. Sugeno output surface (Δma)

IV. Experimental Results

The effectiveness of flyback inverter and the proposed fuzzy system are verfied by simultaion with Matlab/Simulink and real experiment. Flyback inverter model in MATLAB is shown in Fig 8. The PV system adopted in this study is composed of 100W. PV panel and Fly back inverter with 30 kHz switching frequency.

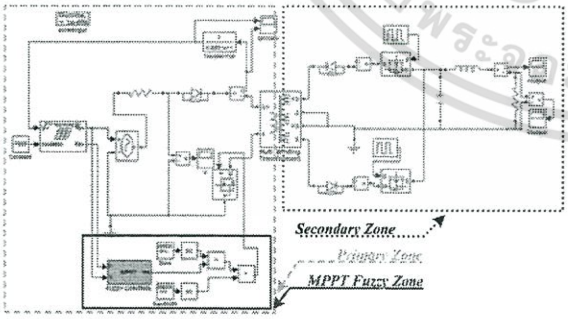
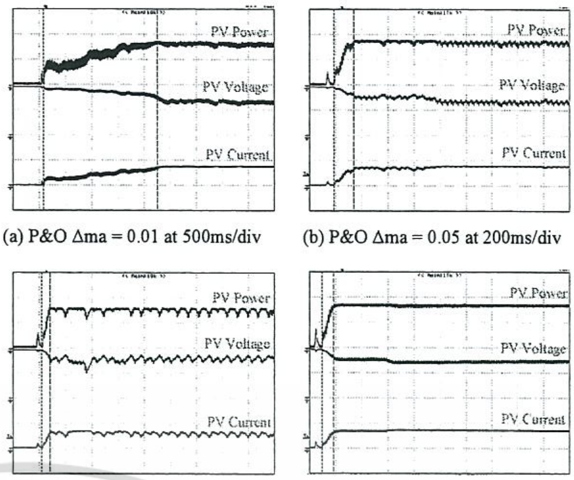


Fig. 8. Simulink model of fly back inverter

In order to show the effectiveness of the proposed fuzzy based P&O, both the proposed and the conventional P&O techniques were implemented on the MPPT. The results of comparision can be seen in Figs. 9 and 10. As seen in these figures, the proposed technique performs better performance in terms of fast tracking and low power oscillation at MPP.



(a) P&O Δma = 0.01 at 500ms/div (b) P&O Δma = 0.05 at 200ms/div

(c) P&O Δma = 0.1 at 200ms/div (d) Fuzzy based P&O at 200ms/div

Fig. 9. Real power, voltage and current of flyback inverter (a),(b) and (c) are experimental results of the conventional P&O (d) is the experimental result of the proposed fuzzy base P&O MPPT algorithm. (at irradiance level 450 W/m^2)

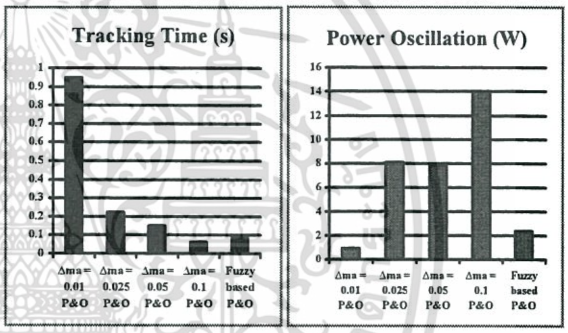


Fig. 10. The comparison results of the proposed and the conventional techniques

Figs. 9 (a), (b) and (c) show the results of power, voltage and current from the conventional MPPT algorithm when operted at irradiance level = 450 W/m^2. Fig. 9(d) shows the experimental results of the proposed fuzzy logic control based P&O algorithm. As seen in Fig. 9(c), high value of step size Δma results in fast tracking and high oscillation of power at MPP. In contrary, as shown in Fig. 9(a), low value of step size results in slow tracking and low oscillation of power at MPP. In Fig. 9(d), the results of tracking time and power oscillation concern that the proposed technique is better than the conventional technique in terms of lower power oscillation and faster tracking. Fig. 10 shows the bar graph of the results from Fig. 9.

V. Conclusion

In this paper, flyback inverter with center taped secondary winding using fuzzy based P&O algorithm for AC module system has been proposed. The proposed MPPT technique is adopted to approximate the appropriate Δma for achieving good power oscillation and fast tracking. The experimental results confirm that the proposed MPPT performs better performance and effectiveness compared to the conventional P&O technique.

ISBN: 978-988-19252-6-8
ISSN: 2078-0958 (Print); ISSN: 2078-0966 (Online)

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Research Fund.

REFERENCES

[1] Y-C. Kuo, T-J. Liang and J-F. Chen. Novel Maximum-Power-Point-Tracking Controller for Photovoltaic Energy Conversion System, *IEEE Transactions On Industrial Electronics, Vol. 48*, No. 3, June 2001, pp.594-601.

[2] M. A. S. Masoum, H. Dehbonei, and E. F. Fuchs. Theoretical and Experimental Analyses of Photovoltaic Systems with Voltage- and Current-Based Maximum Power-Point Tracking, *IEEE Transactions On Energy Conversion, Vol. 17*, No. 4, December 2002, pp.514-522.

[3] L. Fangrui, Y. Kang, Y. Zhang, and S. Duan. Comparison of P&O and Hill Climbing MPPT Methods for Grid-Connected PV Converter,"*Industrial Electronics and Applications, 2008, ICIEA 2008. 3rd IEEE Conference on*. pp. 804-7. 2008.

[4] N. Kasa, T. Iida, L. Chen, "Flyback inverter controlled by sensorless current MPPT for photovoltaic power system," IEEE Trans. Ind. Elec., vol. 52, no. 4, pp. 1145-1152, 2005.

[5] N. Kasa and T. Iida, "A flyback type inverter for small scale wind power generation system," (in Japanese), Dept. Electron. Eng., Okayama Univ. Science, Okayama, Japan, Tech. Rep. SPC-02-16, Feb. 2nd, 2002.

[6] "Photovoltaic systems with flyback type inverter" (in Japanese), *J. Jpn. Soc. Power Electron.*, vol. 27, pp. 187–192, Mar. 2002.

[7] T. Shimizu, K. Wada, and N. Nakamura, "A flyback-type single phase utility interactive inverter with low-frequency ripple current regulation on the DC input for an AC photovoltaic module system, IEEE 33rd Annual on power electronics.,Vol. 3,pp. 1483-1488,2002.

[8] Nicola Femia, Giovanni Petrone, Giovanni Spagnuolo, etc. "Optimization of Perturb and Observe Maximum PowerPoint Tracking Method," IEEE Trans. on Power Electronics., Vol. 20, No. 4, pp. 963-973, 2005.

[9] 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 Transactions on* ., Vol. 23, No. 1, pp. 281–293, 2008.

[10] C.S. Chin, P. Neelakantan, H.P. Yoong, S.S. Yang and K.T.K. Teo, "Maximum power point tracking for PV array under partially shaded conditions," Proceedings of 3rd International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks, Bali, Indonesia, pp. 72-77, 2011.

ISBN: 978-988-19252-6-8
ISSN: 2078-0958 (Print); ISSN: 2078-0966 (Online)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIMUM POWER POINT TRACKING USING FUZZY LOGIC CONTROL IN FLYBACK MPPT INVERTER FOR PV SYSTEMS

Poom Konghuayrob[1] and *Somyot Kaitwanidvilai*[2]

[1]Faculty of Engineering, King Mongkut's Insitute of Technology Ladkrabang Thailand.
E-mail: poom.konghuayrob@gmail.com
[2]Faculty of Engineering, King Mongkut's Insitute of Technology Ladkrabang Thailand.
E-mail: drsomyotk@gmail.com

ABSTRACT

Generally, "perturb and observe (P&O)" technique is widely adopted in photovoltaic (PV) system to maximize the power from photovoltaic (PV) array. In PV grid connected system with flyback inverter, the modulation index needs to be adjusted to track the maximum power point of the PV array. However, if the step size of modulation index (Δma) is too high, there will be a large oscillation around the maximum power point (MPP). In contrary, the small step size of modulation index (Δma) results in slow tracking and small oscillation. To overcome this problem, this paper proposes a technique to adjust the Δma to achieve both acceptable tracking time and small power oscillation. In the proposed technique, the magnitudes of the change of power (ΔP) and the change of PV voltage (ΔV) are adopted as the inputs of the proposed fuzzy logic system which is used to estimate the appropriate Δma. Simulation results confirm that the proposed technique can perform the efficient power tracking in various irradiance conditions.

Keywords: *flyback, MPPT, optimization, fuzzy*

1. INTRODUCTION

Due to the increasing of the demand for electrical energy and environmental issues such as pollution and global warming effect, solar energy is one of the most important options for generating clean energy. In addition, photovoltaic (PV) system gains more attention as it appears to be one of the most promising renewable energy sources. Recently, due to its technology development and cost reduction, PV system becomes an effective solution to the environmental issues [1].

The output characteristics of photovoltaic arrays are nonlinear with the temperature and solar irradiance. For a given condition, there is a unique point in which the array can produce the maximum output power [2]. As denoted in many research works, this point is called maximum power point (MPP) which depends on temperature and the irradiation. To operate the PV panel at the maximum power point, a maximum power point tracker (MPPT) is normally adopted. As seen in the literatures [3-7], the issues of tracking maximum power point have been addressed by different methods; several techniques such as fuzzy logic control (FLC), artificial intelligence (AI), neural networks, DSP based implementations, Incremental Conductance (INC) and pilot cells have been proposed. Among the various techniques, the Perturb and Observe (P&O) algorithm is the most commonly used method due to its ease of implementation. However, this technique has the problem of choosing the appropriate step size of perturbation.

In typical PV grid connected Flyback inverter, in which the P&O algorithm is applied, the operating current of the PV array can be perturbed by changing the modulation index in a given direction (increase or decrease), and the power drawn from the PV is then be observed. If the power of PV array increases, the operating modulation is further perturbed in the same direction. In contrary, if the power of PV array decreases, the direction of perturbation is opposite [3, 6]. Nevertheless, to obtain the satisfied MPP tracking performance, it is necessary to select the appropriate modulation index step size (*Δma*) [8, 9]. The performance of MPP tracking can be measured by the tracking time and the oscillation at the MPP. Unfortunately, the adequate step size at each irradiance condition is different. In addition, there is no general rule for determining the optimal modulation index step size in P&O technique. Most of the researchers selected the *Δma* by trial and error test. To solve this problem, this paper presents the adjustment of *Δma* of a flyback inverter by using fuzzy logic method. The fuzzy logic was adopted to estimate and adapt the *Δma* for achieving both acceptable tracking time and low power oscillation. The simulation study in this paper was performed on MATLAB and Simulink [10].

2. CONVENTIONAL AND PROPOSED P&O TECHNIQUES

2.1 Perturb and Observation (P&O)

The concept behind the "perturb and observe" (P&O) technique is to adjust the operating voltage or current of the photovoltaic panel to acheive the maximum power. Equation (1)-(3) describes the change of power which

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

defines the strategy of the P&O technique [3]. As seen in previous research works, this method worked well in the steady state condition; however, the major drawback of the P&O method is that the obtained power oscillates around the MPP in steady state operation. Moreover, it can track in the wrong direction under rapidly varying irradiance or electrical load. The step size affects to both the speed of convergence to the MPP and the amount of oscillation around the MPP at steady state operation.

2.2 MPPT Fuzzy logic control

Normally, trial and error method is used for choosing the step size, Δma (in inverter) or Δd (in DC-DC converter) [8]. The fuzzy logic based P&O is adopted in this paper to estimate the appropriate Δma for the proposed Flyback inverter. In the proposed technique, changing step size is not constant and depends on the inputs of fuzzy system ($|\Delta P_{av}|$, $|\Delta V_{av}|$). Based on the proposed technique, both acceptable tracking time and low power oscillation can be acheived. The Δma mainly affects to the performance of MPP tracking. As shown in Fig 1., high Δma results in high power oscillation and fast tracking speed, and low Δma results in low power oscillation and slow tracking speed. The tracking by the proposed technique is shown in the red solid line in Fig. 2. As seen in this figure, the proposed system can perform both low power oscillation and acceptable tracking time.

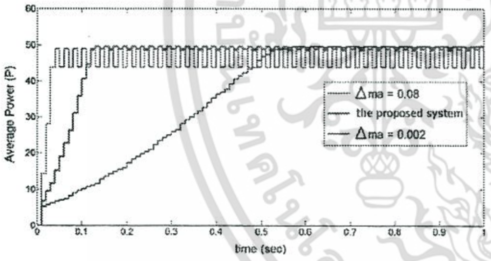


Figure 1. Average power curves at Δma = 0.08 (blue solid line), 0.002 (black solid line) and the proposed technique (red solid line) (irradiance = 800 W/m^2)

MPPT using fuzzy logic system is adopted to take more advantages of better performance, robustness and human knowledge based design. The proposed fuzzy logic system shown in Fig. 2 has three main parts and those are fuzzification, rule-base, inference and defuzzification. In the proposed system, the input variables of the fuzzy are the absolute of change in PV array power ($|\Delta Pav|$) and the absolute of change in PV voltage ($|\Delta V_{av}|$), whereas the output of Fuzzy logic control is the magnitude of Δma. The changing step size is the command for controlling the power drawn from the PV. Flow chart of the proposed fuzzy logic based P&O system is shown in Fig. 3.

$$P_{av}^{m} = V_{av}^{m} \cdot I_{av}^{m} \tag{1}$$

$$\left|\Delta P_{av}^{m}\right| = \left|P_{av}^{m} - P_{av}^{m-1}\right| \tag{2}$$

$$\left|\Delta V_{av}^{m}\right| = \left|V_{av}^{m} - V_{av}^{m-1}\right| \tag{3}$$

Where m and m-1 are the m^{th} and m-1^{th} sampling number.

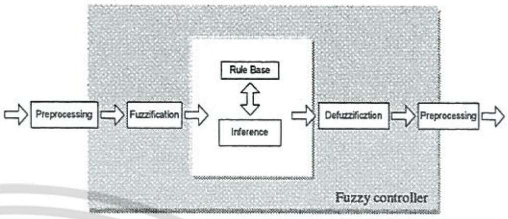


Figure 2. Typical Fuzzy logic system

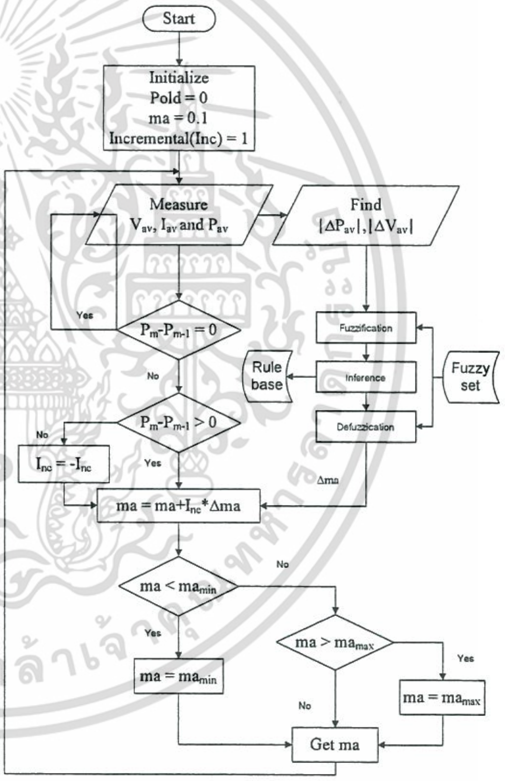


Figure 3. Flow chart of the propose fuzzy logic based P&O technique

In the proposed technique, the first input variable ($|\Delta Pav|$) is assigned in terms of several linguistic variables by three fuzzy subsets, which are denoted by SP (small power), MP (medium power) and LP (large power). The second input variable ($|\Delta Vav|$) is classified into 3 fuzzy sets, namely, SV (small voltage), MV (medium voltage) and LV (large voltage). The

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

membership functions for the input variables are shown in Fig. 4. Δma is the output.

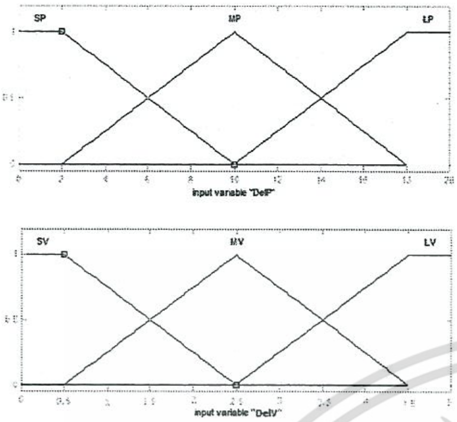


Figure 4. Membership functions of the 1st and 2nd Input variables(|ΔPav| and |ΔVav|)

Based on the knowledge of the system, the fuzzy rules can be designed as shown in Table I. The rules are defined by considering the magnitude of the slope of graph ΔPav versus ΔVav. If the MPP is approaching, the magnitude of slope is low and small Δma is required. In contraly, high magnitude of slope indicates that high value of Δma should be applied. The fuzzy inference of the proposed fuzzy logic control is based on the Sugeno's method which is associated with the max-min composition.

Table I. Rules for the proposed fuzzy logic system

Rule No.	If ΔPav	And ΔVav	Then Δma = weight (w_k)
1	SP	BV	5×10^{-3}
2	SP	MV	2.5×10^{-2}
3	SP	SV	3.5×10^{-2}
4	MP	BV	2.5×10^{-2}
5	MP	MV	3.5×10^{-2}
6	MP	SV	5.5×10^{-2}
7	LP	BV	3.5×10^{-2}
8	LP	MV	5.5×10^{-2}
9	LP	SV	7.5×10^{-2}

Defuzzificaion for the Sugeno's system is both simple and fast, which can be calculated by:

$$\Delta ma = \left(\frac{\sum_{k=1}^{m} \mu(k) \times w_k}{\sum_{k=1}^{n} w_k} \right) \qquad (4)$$

where Δma is the output, $\mu(k)$ is the product of input membership function values of rule no. k, and w_k is the weight of rule no. k; m is the number of rules. The output of the proposed fuzzy is used to modify the modulation index of the flyback inverter. Then, the absolute sinusodial signal with the controlled magnitude ma is compared with a sawtooth waveform to generate the modulated pulses for controllable switch of the Flyback inverter.

3. SIMULATION RESULTS

Fuzzy logic and the Flyback inverter [10] have been modeled and simulated by using Matlab/Simulink. Flyback inverter developed in this paper is operated in discontinuous mode which gains the advantage of higher voltage utilization. Fig. 5 shows the developed simulink model. The power rating of flyback inverter adopted in this study is 100 W. Switching frequency of the circuit is 30 kHz. Table II shows the specifications of the PV module used in this study.

Table II. The specification of PV module that used in the simulation

Open circuit voltage	21 V
Short circuit current	7.8 A
Volt at P_{MAX}	12.7 V
Current at P_{MAX}	6.72 A

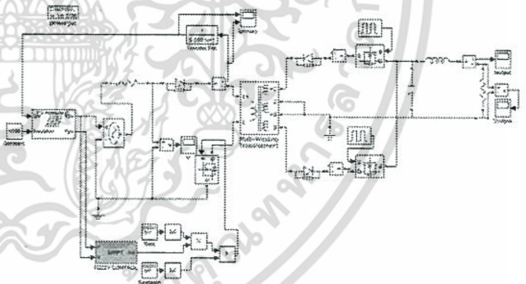


Figure 5. The developed model

The performance of MPP tracking of the proposed technique is investigated in comparison with that of the conventional P&O tracking. The simulation was performed by operating the system under the variations of irradiance from 500 to 1000 W/m^2. As seen in Figs. 6-8, the average power oscillation and tracking time from the proposed technique are less than those of the conventional P&O technique. As seen in these figures, the average power is calculated at each period 10 ms which is equal to the period of absolute sinusoidal waveform. The absolute sinusoidal waveform is the reference signal in control circuit of the proposed flyback inverter.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

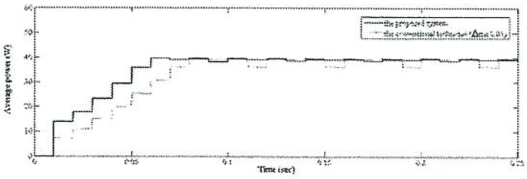


Figure 6. Average power versus time at irradiance 650 W/m^2

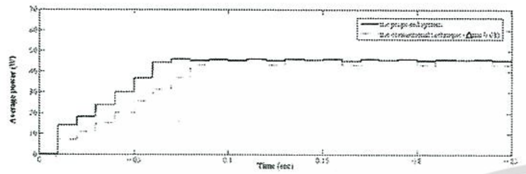


Figure 7. Average power versus time at irradiance 750 W/m^2

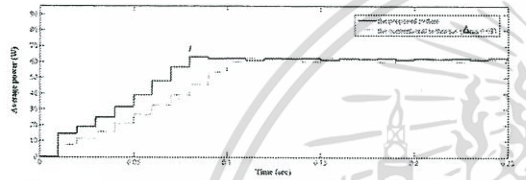


Figure 8. Average power versus time at irradiance 1000 W/m^2

Table III. Power oscillation and tracking time of the proposed and conventional techniques

Irradiance (W/m^2)	Proposed Technique		Conventional Technique	
	ΔP (W)	*Time (s)*	*ΔP (W)*	*Time (s)*
650	1.2	0.06	5.1	0.08
750	1.3	0.06	4.3	0.09
1000	1.1	0.08	2.1	0.10

Fig. 9 shows the energy obtained from the both controllers at irradiance 750 W/m^2; clearly, the proposed system gains more energy than the conventional P&O technique.

4. CONCLUSION

This paper presents the technique for approximating the appropriate Δma of Flyback inverter. The proposed method adopts the P&O technique and fuzzy logic system to find the appropriate Δma that achieves good power oscillation and fast tracking for all irradiance levels. The simulation results verify the effectiveness of the proposed system. The comparison with the conventional fixed modulation step size approach shows that the proposed technique is superior to the conventional technique. As seen in Table III, the power oscillation and tracking time from the proposed system is less than those of the conventional technique for all tested irradiance levels.

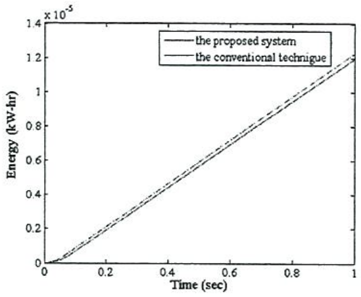


Figure 9. Energy obtained from the proposed and conventional.

5. ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Research Fund.

6. REFERENCES

[1] Chuanzong Fu and Shiping Su, "Simulation studying of MPPT control by a new method for photovoltaic power system," *Electrical and Control Engineering (ICE) 2011.*, pp. 1274-1278, 2011.

[2] S. Liu and R. A. Dougal, "Dynamic multiphysics model for solar array," *IEEE Trans., On Energy conversion.*, Vol. 17, No. 2, pp.285-294, 2002.

[3] Pongsakor Takun, Somyot Kaitwanidvilai, "Maximum Power Point Tracking using Fuzzy Logic Control for Photovoltaic Systems," *IMECS 2011.*, Vol. 2, pp. 986-990, 2011.

[4] B. Amrouche, M. Belhamel and A. Guessoum, "Artificial intelligence based P&O MPPT method for photovoltaic systems," *Revue des Energies Renouvelables ICRESD-07 Tlemcen 2007.*, pp. 11-16, 2007.

[5] S. Premrudeepreechachain and N. Patanapirom, "Solar Array Modelling and Maximum Power Tracking Using Neural Networks," *IEEE Power Tech Conference*, Bologna, Italy., pp. 53–68, 2003.

[6] I. Batarseh, T. Kasparis, K. Rustom, etc. "DSP-based Multiple Peak Power Tracking for Expandable Power System", *Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2003. APEC* '03. Eighteenth Annual IEEE., Vol. 1, pp. 525 – 530, 2003.

[7] Jae Ho Lee , HyunSu Bae and Bo Hyung Cho, "Advanced Incremental Conductance MPPT Algorithm with a Variable Step Size," *Power Electronics and Motion Control Conference 2006.*, pp. 603–607, 2006.

[8] Nicola Femia, Giovanni Petrone, Giovanni Spagnuolo, etc. "Optimization of Perturb and Observe Maximum PowerPoint Tracking Method," *IEEE Trans. on Power Electronics.*, Vol. 20, No. 4, pp. 963-973, 2005.

[9] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnolo and M. Vitelli, "Optimizing Duty-Cycle Perturbation of P&O MPPT Technique," *35th Annual IEEE Power Electronocs.*, Vol. 3, pp. 1939-1944, 2004.

[10] 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 Transactions on .*, Vol. 23, No. 1, pp. 281–293, 2008.

[11] N. Patcharaprakiti, S. Premrudeepreechacharn and Y. Sriuthaisiriwong, "Maximum power point tracking using adaptive fuzzy logic control for grid-connected photovoltaic system," *Renewable Energy.*, Vol. 30, pp. 1771–1788, 2005.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายภูมิ คงห้วยรอบ

วัน เดือน ปีเกิด 4 เมษายน 2532

สถานที่เกิด อ.มโนรมย์ จ.ชัยนาท

ที่อยู่ 359 ม.1 ต.ทัพทัน อ.ทัพทัน จ.อุทัยธานี โทร 0-5659-1042

ประวัติการศึกษา 2554 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ความชำนาญเฉพาะด้าน 1.) สิ่งประดิษฐ์ทางอุปกรณ์แปลงผันพลังงานไฟฟ้า
2.) เครื่องมือและอุปกรณ์การวัดทางด้านสัญญาณไฟฟ้า

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

[1] Poom Konghuayrob, and Somyot Kaitwanidvilai, "**Microprocessor based Fuzzy MPPT for PV-AC module DCM-flyback inverter**," IMECS 2013., Vol. 2, pp. 112-116, 2013.

[2] Poom Konghuayrob, and Somyot Kaitwanidvilai, "**Maximum power point tracking using fuzzy logic control in flyback inverter for PV systems**," The 2013 International Electrical Engineering Congress (*i*EECON2013), pp. 139-142, 2013.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้