

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

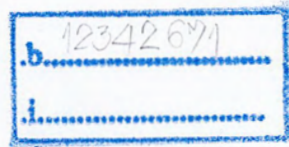
อินเวอร์เตอร์สำหรับเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์
โดยใช้เทคโนโลยีโมดูลกระแสสลับ
PV grid – Connected Inverter Using AC Module Technology



T117511



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 117511
วัน,เดือน,ปี - 5 ต.ค. 2554



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2553

อินเวอร์เตอร์สำหรับเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์
โดยใช้เทคโนโลยีโมดูลกระแสสลับ
PV grid – Connected Inverter Using AC Module Technology



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล

อ.วรภัทร์ ลิ้มเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อินเวอร์เตอร์สำหรับเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์
โดยใช้เทคโนโลยีไมโครกริดและสลับ

ผู้จัดทำ

1. นายศรายุทธ สร้อยสลับ
2. นายสิทธิกร ศรีแก้วนวล
3. นายสุรุดล ภูักลิ้น



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ วรศิลป์ ลิ้มเจริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเวอร์เตอร์สำหรับเชื่อมต่อบริการไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคโนโลยีโมดูลกระแสสลับ

นายศรายุทธ สร้อยสลับ

นายสิทธิกร ศรีแก้วนวล

นายสุรตล ภู่อกลิ่น

ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.วรกัลป์ ลิ้มเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการเชื่อมต่อบริการไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคโนโลยีโมดูลกระแสสลับ ซึ่งในเทคนิคเดิมนั้นวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง (DC – DC Converter) จะเพิ่มแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Voltage) ให้มีขนาดสูงขึ้นโดยใช้การสวิตช์ความถี่สูง จากนั้นวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Inverter) จะสร้างกระแสในรูปของสัญญาณไซน์และจ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้า ซึ่งเทคนิคเดิมนี้อุปกรณ์และต้องการการควบคุมมาก ในส่วนของโครงการนี้จะใช้วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับแบบฟลายแบค (Flyback Inverter) ทำหน้าที่ขยายขนาดแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Voltage) และมีการควบคุมแรงดันให้อยู่ในรูปของแอมพลิจูดไซน์ (Absolute Sine) โดยใช้วิธีสวิตช์ซึ่งความถี่สูงแบบกระแสไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous conduction mode) นอกจากนี้วงจรยังทำหน้าที่กลับสัญญาณแอมพลิจูดไซน์ (Absolute Sine) ให้กลายเป็นสัญญาณไซน์ (Sine Wave) ความถี่ 50 Hz โดยข้อดีของเทคนิคนี้จะให้วงจรมีขนาดเล็ก ง่ายต่อการติดตั้งและมีต้นทุนต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคแบบเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ I ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PV Grid – Connected Inverter Using AC Module Technology

Sarayut

Soisarub

Sittikorn

Srikaewnuan

Suradon

Phukan

Assf. Dr. Somyot Kaitwanidvilai Supervisor

Mr.Worrakan Limcharoen Co - Supervisor

2010

ABSTRACT

This project presents a grid-connected technology using AC module. The conventional technique of grid-connected photovoltaic power system uses a DC-DC converter to boost the PV voltage at high switching frequency and adapts an inverter to generate the sinusoidal current and feeds the current into the utility grid. Consequently, in the conventional technique, complex controller and large control circuit are needed. This project uses a flyback inverter circuit, which boosts and controls PV voltage to be an absolute sine current by switching at high frequency in DCM (discontinuous conduction mode). Moreover, the flyback inverter is also used to unfold the absolute sinusoidal current to be the sinusoidal waveform at the exact grid frequency 50 Hz. The advantages of this circuit are a small circuit, easy installation and low cost when compared with the conventional technique.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่องอินเวอร์เตอร์สำหรับการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เทคโนโลยีโมดูลกระแสดับสามารถประสบความสำเร็จได้ด้วยดีนั้น เกิดจากการทำงานด้วยความวิริยะอุตสาหะของกลุ่มผู้จัดทำ และได้รับคำแนะนำและการสนับสนุนจากบุคคลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในข้อหลายๆ ฝ่าย ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์ดังกล่าว ดังมีรายนามดังต่อไปนี้

ผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณในความกรุณาที่ ผศ.ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำชี้แนะแนวทางจนโครงการขึ้นสำเร็จตามเป้าหมาย และขอขอบพระคุณ ดร.สมภพ ผลไม้ ที่ให้ความช่วยเหลือเพิ่มเติมด้วยความเอ็นดูเสมอมา ถึงแม้ว่าท่านจะไม่ใช่อาจารย์ที่ปรึกษาก็ตาม ตลอดจนอาจารย์ในสาขาวิชาที่ประสิทธิประสาทความรู้ให้กับผู้จัดทำในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ นายปัญญา สุวรรณมิตร พี่บัณฑิตสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำที่ดีตลอดการทำงาน และขอบคุณเพื่อนร่วมห้องปฏิบัติการที่ให้กำลังใจซึ่งกันและกันตลอดมา

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ คุณบุญมี เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้เบิกใช้เครื่องมือ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงการ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือบิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมาในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบไม่ได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ศรายุทธ สร้อยสลับ
สิทธิกร ศรีแก้วนวล
สุรดล ภู่กลิ่น

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป.....	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ.....	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ.....	4
1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์.....	7
2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์และการประยุกต์ใช้งาน	7
2.1.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์.....	8
2.1.3 หลักการทำงานโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์	11
2.1.4 คุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	13
2.1.5 ตัวแปรสำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์	13
2.2 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	14
2.3 วงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์.....	15
2.4 การมอดดูเลชัน	16
2.4.1 การมอดดูเลชันความกว้างพัลส์ (pulse width modulation : PWM)	16
2.5 การเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้า	16
2.6 การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กของหม้อแปลงความถี่สูง.....	17
2.7 ฮาร์มอนิกและตัวประกอบกำลัง.....	21
2.7.1 ฮาร์มอนิกและความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม	21
2.7.2 ผลกระทบของฮาร์มอนิกต่อระบบจ่ายไฟฟ้ากำลังหรือการไฟฟ้า	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์.....	23
3.1 การออกแบบวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์แบบควบคุมด้วยกระแส.....	23
3.1.1 หลักการพื้นฐานของการมอดดูเลชันความกว้างพัลส์	23
3.1.1.1 แผนผังการทำงานฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบริการกริด การไฟฟ้าแหล่งจ่ายกระแส.....	23
3.1.2 พิกัดอุปกรณ์ของอินเวอร์เตอร์.....	24
3.1.2.1 พิกัดกำลังของฟลายแบคอินเวอร์เตอร์	24
3.1.2.2 พิกัดกระแสไฟฟ้าของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์.....	25
3.1.2.3 ขนาดพิกัดของตัวสวิตช์	26
3.1.2.4 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง	26
3.1.3 วงจรควบคุม.....	28
3.1.3.1 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม.....	28
3.1.3.2 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (comparator)	28
3.1.3.3 วงจรตรวจจับสัญญาณแอมป์ชูลูทชันที่มีเฟสตรงกับการไฟฟ้า.....	29
3.1.3.4 วงจรขับเกต (gate driver circuit).....	29
3.1.3.5 วงจรประวิงเวลา (dead time circuit)	30
3.1.3.6 วงจรตรวจวัดจุดตัดศูนย์ของแรงดันการไฟฟ้า.....	31
บทที่ 4 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง.....	32
4.1 การจำลองการทำงานฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ด้วยโปรแกรม PSpice	32
4.1.1 ผลการจำลอง	32
4.1.1.1 สัญญาณกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า ความถี่สูง.....	33
4.1.1.2 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์	33
4.1.1.3 สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ เมื่อทำการเชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้า.....	34
4.2 ผลการทดลอง	35
4.2.1 สัญญาณกระแสต้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง.....	35
4.2.2 สัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจวัดจุดตัดศูนย์.....	35
4.2.3 สัญญาณนำขั้วสวิตช์ด้านปฐมภูมิ	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.4 สัญญาณนำขั้วสวิตช์ด้านทุติยภูมิ.....	37
4.2.5 สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรปลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการ เชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้า.....	37
4.2.6 สัญญาณแรงดันกริดการไฟฟ้าเปรียบเทียบกับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า หลังตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า.....	45
4.2.7 กราฟผลการเปรียบเทียบค่าดัชนีมอดดูเลขชี้กับกำลังไฟฟ้า และค่าดัชนีมอด ดูเลขชี้กับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า.....	46
4.2.8 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากวงจรปลายอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อ กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	47
บทที่ 5 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา.....	51
5.1 บทนำ.....	51
5.2 สรุปผลการทดลอง.....	51
5.3 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง.....	52
บรรณานุกรม.....	53
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริิญญาานิพนธ์.....	55
ภาคผนวก ข. รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริิญญาานิพนธ์.....	59
ภาคผนวก ค. มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในปริิญญาานิพนธ์.....	63
ภาคผนวก ง. ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในปริิญญาานิพนธ์.....	67
ภาคผนวก จ. บทความวิชาการ.....	69
ภาคผนวก ฉ. ไปสเตอร์นำเสนองผลงาน.....	74
ประวัติผู้เขียน.....	75

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ	8
2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดต่อเชื่อมระบบสายส่งพลังงานไฟฟ้า	8
2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว	9
2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ แบบผลึกโพลี	10
2.5 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน	10
2.6 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์	11
2.7 ก. ขั้นตอนการทำงานลำดับแรก	12
2.7 ข. ขั้นตอนการทำงานลำดับสอง	12
2.7 ค. ขั้นตอนการทำงานลำดับสาม	12
2.8 วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	15
2.9 ก. วงจรสมมูลของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงานที่เครื่องคาบด้านไฟบวก สวิตช์ S1 และ S2 ทำงาน	16
2.9 ข. วงจรสมมูลของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงานที่เครื่องคาบด้านไฟบวก สวิตช์ สวิตช์ S ₁ หยุดทำงาน สวิตช์ S ₂ ทำงาน	16
3.1 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	23
3.2 ก. วงจรสมมูลของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่เครื่องคาบด้านไฟบวก สวิตช์ S ₁ และ S ₂ ทำงาน	24
3.2 ข. วงจรสมมูลของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานที่เครื่องคาบด้านไฟ บวก สวิตช์ สวิตช์ S ₁ หยุดทำงาน สวิตช์ S ₂ ทำงาน	24
3.3 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม	28
3.4 ภาพวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ	29
3.5 ภาพวงจรตรวจจับสัญญาณแอมพลิจูดที่ผิดจากการไฟฟ้า	29
3.6 วงจรขั้วเกิดฝั่งปฐมภูมิ	30
3.7 วงจรขั้วเกิดฝั่งทุติยภูมิ	30
3.8 วงจรประวิงเวลา	31
3.9 วงจรตรวจวัดจุดตัดศูนย์ของแรงดันการไฟฟ้า	31
4.1 รูปวงจรจำลองการทำงานของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบริการกริด การไฟฟ้า	32
4.2 การจำลองสัญญาณกระแสต้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3	สัญญาณแรงดันจากฟลายแบคอินเวอร์เตอร์..... 33
4.4	การจำลองสัญญาณกระแสไฟฟ้าจากฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้า..... 34
4.5	สัญญาณกระแสต้านปฏิกิริยาของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าความถี่สูง..... 35
4.6	สัญญาณจากวงจรตรวจวัดจุดตัดศูนย์เปรียบเทียบกับสัญญาณไซน์..... 35
4.7	สัญญาณนำขั้วสวิตช์ด้านปฏิกิริยา..... 36
4.8	สัญญาณนำขั้วสวิตช์ด้านทุติยภูมิ..... 37
4.9	แสดงผลการทดลองเมื่อปรับค่าความถี่และค่าดัชนีมืออดดูเลขชั้น..... 38
4.10 ก.	สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าเปรียบเทียบกับแรงดันกริดการไฟฟ้า ที่ความถี่สวิตช์ซึ่ง 21 kHz เท่ากัน ค่า dp เท่ากับ 0.5..... 39
4.10 ข.	สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าเปรียบเทียบกับแรงดันกริดการไฟฟ้า ที่ความถี่สวิตช์ซึ่ง 21 kHz เท่ากันค่า dp เท่ากับ 0.6..... 39
4.10 ค.	สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าเปรียบเทียบกับแรงดันกริดการไฟฟ้า ที่ความถี่สวิตช์ซึ่ง 21 kHz เท่ากันค่า dp เท่ากับ 0.7..... 40
4.10 ง.	สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าเปรียบเทียบกับแรงดันกริดการไฟฟ้า ที่ความถี่สวิตช์ซึ่ง 21 kHz เท่ากันค่า dp เท่ากับ 0.8..... 40
4.11 ก.	สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าเปรียบเทียบกับแรงดันกริดการไฟฟ้า ที่ความถี่สวิตช์ซึ่ง 24 kHz เท่ากันค่า dp เท่ากับ 0.5..... 41
4.11 ข.	สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าเปรียบเทียบกับแรงดันกริดการไฟฟ้า ที่ความถี่สวิตช์ซึ่ง 24 kHz เท่ากันค่า dp เท่ากับ 0.6..... 41
4.11 ค.	สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าเปรียบเทียบกับแรงดันกริดการไฟฟ้า ที่ความถี่สวิตช์ซึ่ง 24 kHz เท่ากันค่า dp เท่ากับ 0.7..... 42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 ง. สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าเปรียบเทียบกับแรงดันกริดการไฟฟ้า ที่ความถี่สวิตซ์ซึ่ง 24 kHz เท่ากันค่า dp เท่ากับ 0.8	42
4.12 ก. สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าเปรียบเทียบกับแรงดันกริดการไฟฟ้า ที่ความถี่สวิตซ์ซึ่ง 27 kHz เท่ากันค่า dp เท่ากับ 0.5	43
4.12 ข. สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าเปรียบเทียบกับแรงดันกริดการไฟฟ้า ที่ความถี่สวิตซ์ซึ่ง 27 kHz เท่ากันค่า dp เท่ากับ 0.6	43
4.12 ค. สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าเปรียบเทียบกับแรงดันกริดการไฟฟ้า ที่ความถี่สวิตซ์ซึ่ง 27 kHz เท่ากันค่า dp เท่ากับ 0.7	44
4.12 ง. สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าเปรียบเทียบกับแรงดันกริดการไฟฟ้าที่ความถี่สวิตซ์ซึ่ง 27 kHz เท่ากันค่า dp เท่ากับ 0.8	44
4.13 การเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างสัญญาณแรงดันกริดการไฟฟ้ากับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าหลังตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า	45
4.14 กราฟกำลังไฟฟ้าด้านขาออกเมื่อปรับค่าดัชนีการมอดูเลชัน	46
4.15 กราฟความสัมพันธ์ของตัวประกอบกำลังเมื่อปรับค่าดัชนีการมอดูเลชัน	46
4.16 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์	47
4.17 สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อต่อตัวเก็บประจุ	48
4.18 สัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุช่วยจ่ายให้แก่วงจร	48
4.19 สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อไม่มีต่อตัวเก็บประจุต่อขนานกับเซลล์แสงอาทิตย์	49
4.20 แรงดันด้านออกของฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการต่อโหลดตัวต้านทานขณะไม่ได้เชื่อมต่อกับตัวเก็บประจุขนานกับเซลล์แสงอาทิตย์	50

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน	3
4.1 ผลการทดลอง.....	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การศึกษาและพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นการศึกษา ค้นคว้า ทดสอบ พัฒนา และสาธิต ตลอดจนส่งเสริมและเผยแพร่พลังงาน ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในท้องถิ่น เช่น พลังงานลม แสงอาทิตย์ ชีวมวล และอื่นๆ เพื่อให้มีการผลิต และการใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย มีประสิทธิภาพ และมีความเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิค เศรษฐกิจ และสังคม สำหรับผู้ใช้ในเมืองและชนบท ซึ่งในการศึกษา ค้นคว้า และพัฒนาพลังงานทดแทนดังกล่าว ยังรวมถึงการพัฒนาเครื่องมือ เครื่องใช้ และอุปกรณ์เพื่อการใช้งานมีประสิทธิภาพสูงสุดด้วย งานศึกษา และพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นส่วนหนึ่งของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนอีกด้วย พลังงานทดแทน หมายถึง พลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง สามารถแบ่งตามแหล่งที่ได้มาเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทน (alternative energy) จากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป อาจเรียกว่า พลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน (renewable energy) ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น โดยในโครงนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพของพลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานหมุนเวียน (renewable energy) สามารถนำมาใช้ได้โดยไม่สิ้นสุดและมีลักษณะกระจายไปถึงผู้ใช้โดยตรงอีกทั้งยังเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและตามปกติมนุษย์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ตามธรรมชาติในชีวิตประจำวันอยู่แล้ว ตลอดหลายปีมานี้เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับการพัฒนาจนถึงขั้นนำมาใช้งานได้จริง อย่างไรก็ตามการนำอุปกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์เหล่านี้มาใช้ต้องมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องทราบศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของบริเวณที่จะใช้งานด้วย โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น โดยบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์มากก็จะมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้สูง สำหรับการนำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้อุปกรณ์รวมแสงเราจำเป็นต้องทราบสัดส่วนของรังสีรวมต่อรังสีกระจายด้วย

ดังนั้นในปัจจุบันนี้จึงมีผู้ให้ความสนใจในพลังงานแสงอาทิตย์กันมากขึ้น โดยนักวิชาการ หรือผู้ที่มีความสนใจในการหาพลังงานทดแทนได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อเพิ่มความสามารถในการเก็บสะสมพลังงานเพื่อประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นอุปกรณ์แปรผันพลังงานจึงมีความสำคัญมากในการเพิ่มประสิทธิภาพ แต่ปัญหาหลักในการพัฒนาอุปกรณ์หรือเครื่องมือต่างๆ เมื่อมีการปรับปรุงประสิทธิภาพให้ดีขึ้นราคาของอุปกรณ์และการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ก็มีความสูงขึ้นด้วย โดยที่พลังงานแสงอาทิตย์ได้มีการพัฒนาและมีการประยุกต์ใช้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลายๆ รูปแบบซึ่งการเชื่อมต่อกับระบบการไฟฟ้านั้นเป็นส่วนหนึ่งในการประยุกต์ใช้งาน ซึ่ง เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผงสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 125 วัตต์ สำหรับระบบขนาดเล็กทำให้สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุดตามความเข้มของแสงอาทิตย์ (solar radiation), อุณหภูมิสภาพแวดล้อม (ambient temperature) และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (solar cell temperature) จากนั้นต้องมีอุปกรณ์แปลงกำลังไฟฟ้าโดยใช้วงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ซึ่งมีอุปกรณ์สวิตช์เพียง 3 ตัวเท่านั้น โดยจะทำการแปลงกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกำลังไฟฟ้ากระแสสลับและยกระดับแรงดันเพื่อให้สามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบกริดการไฟฟ้า ซึ่งในหลักการโดยทั่วไปจะมีราคาในกระบวนการผลิตและการติดตั้งที่สูงมาก ซึ่งในโครงการนี้ได้ประยุกต์ใช้วงจรเพื่อทำให้เป็นระบบที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำและง่ายต่อการติดตั้งตามอาคารบ้านเรือน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาเรื่องตัวแปรและปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของพลังงานแสงอาทิตย์
2. เพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้า ตลอดจนสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนกลับให้การไฟฟ้าได้ อย่างปลอดภัยและไม่อันตราย
3. เพื่อศึกษาด้านการประยุกต์ใช้วงจรแปรผันพลังงานสำหรับงานด้านพลังงานทดแทน
4. เพื่อสร้างต้นแบบอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้าสำหรับแผงโซลาร์เซลล์หนึ่งแผง สำหรับการนำไปใช้งานจริงต่อไป

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

โครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นต้นแบบของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ชุดแปรผันกำลังไฟฟ้าในการเชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้าสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผง โดยขอบเขตของโครงการนี้คือสร้างต้นแบบวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์และสามารถเชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้าได้โดยใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าแทนแผงโซลาร์เซลล์หนึ่งแผงโดยที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนกลับให้การไฟฟ้าได้และจำลองการทำงานของวงจรโดยใช้โปรแกรม Orcad PSpice

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวกับวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์
2. ศึกษาการผันหม้อแปลงฟลายแบค
3. ศึกษาโปรแกรมการจำลองวงจรโดยใช้โปรแกรม Orcad PSpice
4. จำลองวงจรสร้างสัญญาณ PWM และวงจรควบคุมในโปรแกรม Orcad PSpice
5. ทำการผันหม้อแปลงฟลายแบคและวัดค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก
6. สร้างวงจรกำลังของฟลายแบคอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เก็บผลการทดลองจากผลการ Simulation จากโปรแกรม Orcad PSpice
8. เก็บผลการทดลองจากผลการทดลองจริงจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์
9. ศึกษาการเชื่อมต่อบบบกริดการไฟฟ้า
10. ทดลองเชื่อมต่อบบบกริดการไฟฟ้า
11. เก็บผลการทดลองการเชื่อมต่อบบบกริดการไฟฟ้า
12. สรุปผลของโครงการการเชื่อมต่อบบบกริดการไฟฟ้า
13. นำเสนอผลการศึกษาและจัดทำปริญญานิพนธ์

1.5 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงานนั้นเริ่มต้นจากการศึกษาข้อมูลและทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจากงานวิจัย บทความทางอินเทอร์เน็ต ตลอดจนอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้มีความรู้ในทางที่เกี่ยวข้อง จากนั้นจึงจัดทำชิ้นงานและจำลองผลการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยแสดงรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1					ภาคเรียนที่ 2		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.
1.ศึกษาข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ วงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์								
2.ศึกษาการพันหม้อแปลงฟลายแบค								
3.ศึกษาโปรแกรมการจำลองวงจรโดยใช้โปรแกรม Orcad PSpice								
4.จำลองวงจรสร้างสัญญาณ PWM และวงจรควบคุมในโปรแกรม Orcad PSpice								
5.ทำการพันหม้อแปลงฟลายแบคและวัดค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก								
6.สร้างวงจรกำลังของฟลายแบคอินเวอร์เตอร์								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน (ต่อ)

7. เก็บผลการทดลองจากผลการ Simulation จากโปรแกรม Orcad PSpice								
8. เก็บผลการทดลองจากผลการทดลองจริงจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์								
9. ศึกษาการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้า								
10. ทดลองเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้า								
11. เก็บผลการทดลองการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้า								
12. สรุปผลของโครงการการศึกษาเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้า								
13. นำเสนอผลการศึกษาและจัดทำปฏิญานินทร์								

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. โครงการวิจัยนี้จะทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะการทำงานของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์
2. วงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ที่พัฒนาจัดทำขึ้นเป็นต้นแบบในการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการแปรผันกำลังไฟฟ้าในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้
3. วงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ที่จัดทำขึ้นสามารถสามารถเชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้าได้โดยสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนกลับให้การไฟฟ้า โดยใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าซึ่งสามารถเป็นต้นแบบในการพัฒนาสำหรับการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์
4. ชุดแปรผันกำลังไฟฟ้าสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้มีราคาสูงมาก แต่วงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ที่จัดทำขึ้นนั้นสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ทำให้มีราคาที่ถูกลงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. โครงการงานวิจัยนี้เป็นการบูรณาการระหว่างวิทยาการทางด้านต่าง ๆ เช่น อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ระบบไฟฟ้ากำลัง และระบบควบคุมเข้าด้วยกัน ซึ่งย่อมก่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้ศึกษาค้นคว้าวิจัยในสาขาดังกล่าว

6. โครงการนี้เป็นอีกหนทางเลือกของการพัฒนาในด้านพลังงานทดแทนและสามารถพัฒนาเพื่อนำไปใช้งานจริงได้

1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญญาพันธ

ปฏิญญาพันธฉบับนี้จะประกอบด้วยเนื้อหาสาระที่เกี่ยวข้องกับการจัดทำวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์สำหรับการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคโนโลยีโมดูลกระแสสลับ ซึ่งสามารถแบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ ในบทนี้จะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ของโครงการ ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ รวมถึงวิธีการดำเนินงาน และแผนการดำเนินโครงการ ตลอดจนประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีเซลล์แสงอาทิตย์ การประยุกต์ใช้งาน ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่าง ๆ หลักการทำงานโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ คุณสมบัติต่าง ๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อเซลล์แสงอาทิตย์ ทฤษฎีของชุดแปลงผันกำลังไฟฟ้าของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ และหลักการพื้นฐานของการมอดูเลชัน นิยามต่าง ๆ ของหลักการ และหลักการการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้ารวมทั้งมาตรฐานในการเชื่อมต่อ

บทที่ 3 การออกแบบวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและจัดสร้างชิ้นงานจริง การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์แบบควบคุมด้วยกระแส พิกัดต่าง ๆ ของอุปกรณ์ในวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ รวมถึงวิธีการคำนวณในการออกแบบวงจรกำลัง และอธิบายการทำงานในส่วนต่างของวงจรควบคุมได้แก่ วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ วงจรขั้วเบต วงจรประวิงเวลา และวงจรตรวจวัดจุดตัดศูนย์ของแรงดันการไฟฟ้า

บทที่ 4 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง ในบทนี้จะแสดงผลการจำลองการทำงานของด้วยโปรแกรม Orcad PSpice และผลการทดลองจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ที่ได้จัดทำขึ้นโดยจะแสดงผลดังนี้ สัญญาณกระแสต้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง สัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจวัดจุดตัดศูนย์ สัญญาณนำขั้วสวิตต์ด้านทุติยภูมิ สัญญาณจากวงจรขั้วเบต สัญญาณแรงดันจากอินเวอร์เตอร์ สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้า สัญญาณแรงดันกริดการไฟฟ้าซึ่งทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าหลังตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า สัญญาณแรงดันจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนาในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าและจากการดำเนินการจัดทำโครงการสรุปผลการทดลองที่ได้ ตลอดจนข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนาที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยนี้

ภาคผนวก สำหรับในส่วนของภาคผนวกนี้จะประกอบไปด้วยรูปถ่ายเครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริง รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง มาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิง ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดสร้างชิ้นงานต่างๆ ทั้งหมดตลอดจนบทความวิชาการและโปสเตอร์นำเสนอผลงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

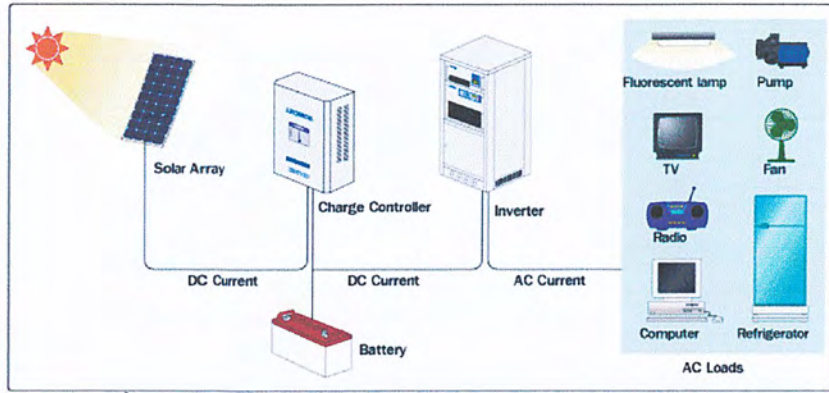
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (solar cell) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีหน้าที่แปลงโฟตอนจากแสงแดดให้เป็นกระแสไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีทั้งแหล่งแสงจากดวงอาทิตย์และจากแหล่งอื่น ล้วนเรียกรวมกันว่าเซลล์โฟโตโวลเทอิก (photovoltaic cell) ผู้ที่สร้างเซลล์แสงอาทิตย์เป็นคนแรก คือนักวิจัยที่ชื่อ Gerald Pearson แห่ง Bell Laboratories เมื่อปี ค.ศ.1954 ซึ่งเป็นช่วงเวลาของการค้นพบทรานซิสเตอร์ โดย William Shockley ในปี ค.ศ.1949 ไม่นานนัก หากเราพิจารณา ย้อนหลังกลับไปดูประวัติของการค้นพบปฏิกิริยาระหว่างแสงและวัตถุในแง่ของไฟฟ้า เราจะทราบว่า ค.ศ.1839 E.Bequerel นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสเป็นคนแรกที่ค้นพบว่าแสงตกกระทบวัตถุจะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เขาได้ทดลองโดยการใช้โลหะสองขั้วจุ่มลงในสารละลายไอออน แล้วให้แสงตกกระทบได้แค่ขั้วเดียวจะปรากฏกระแสไฟฟ้าไหลจากขั้วทั้งสอง แสดงให้เห็นถึงกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นในวัตถุ เมื่อมีแสงกระทบเขายังพบว่าเมื่อเปลี่ยนสีของแสง (ความยาวคลื่นและพลังงานเปลี่ยนแปลงตามสีของแสง) ปริมาณของกระแสไฟฟ้าก็เกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

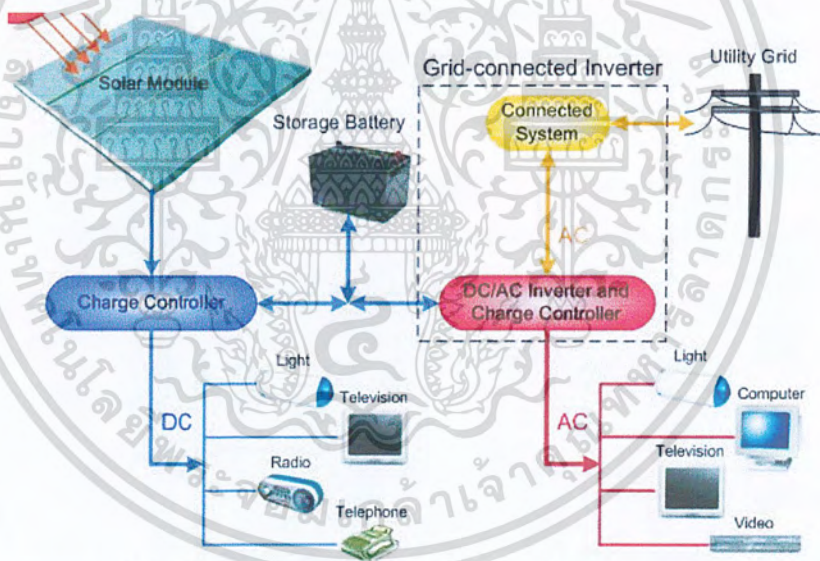
2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์และการประยุกต์ใช้งาน

ในปัจจุบันนั้นเซลล์แสงอาทิตย์มีการประยุกต์ใช้งานในหลาย ๆ ด้านโดยแบ่งเป็น 2 ประเภทดังนี้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (stand alone solar systems) และระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดต่อเชื่อมระบบสายส่ง (grid-connected solar systems) โดยระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระในระบบประเภทนี้สามารถพบเห็นได้ตามสถานที่ต่างๆ เช่น สัญญาณไฟจราจรพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องบำบัดน้ำเสียพลังงานแสงอาทิตย์ หรือให้เซลล์แสงอาทิตย์ชาร์จไฟฟ้าเก็บไว้ในแบตเตอรี่แล้วจ่ายไฟฟ้าให้เก็บเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ซึ่งจะมีข้อดีคือไม่ต้องจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์นั้นๆ เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้าใช้ได้เอง



รูปที่ 2.1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ [1]

ในส่วนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดต่อเชื่อมระบบสายส่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกนำมาแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับด้วยอินเวอร์เตอร์เพื่อจ่ายให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า และหากระบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าที่เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ต้องการ พลังงานไฟฟ้าที่เหลือก็จะถูกขายคืนให้กับกริดไฟฟ้า



รูปที่ 2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดต่อเชื่อมระบบสายส่งพลังงานไฟฟ้า [1]

2.1.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาและใช้งานในปัจจุบันนั้น แทบทั้งหมดทำจาก ธาตุ silicon ซึ่งเป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับสองบนโลก รองจากออกซิเจน ทราบตามชายหาด ท้องทะเล หินต่างๆ ที่เห็นรอบตัวเรา ก็มีซิลิคอนเป็นส่วนประกอบหลักๆ นั่นคือ เป็นธาตุที่มีมากมายเหลือใช้ (แต่การนำมาทำให้บริสุทธิ์ใช้งานได้ ต้องมี เทคนิคและใช้พลังงาน นั่นคือต้องมีค่าใช้จ่าย) ซิลิคอนเป็นวัสดุที่นำมาใช้มากในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำในปัจจุบัน โดยแทบจะเรียกได้ว่าเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมล็ดข้าวสารของอุตสาหกรรมนี้เลยที่เดียว ทรานซิสเตอร์, IC และ LSI ทั้งหลายแทบทั้งหมดสร้างโดยใช้ซิลิคอน นั่นก็คือ การจะนำซิลิคอน มาใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ในแง่ของวัตถุดิบ ได้มีอุตสาหกรรมรองรับอยู่แล้ว โดยเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ทำจากซิลิคอนแบ่งตามโครงสร้างได้ 3 แบบคือ

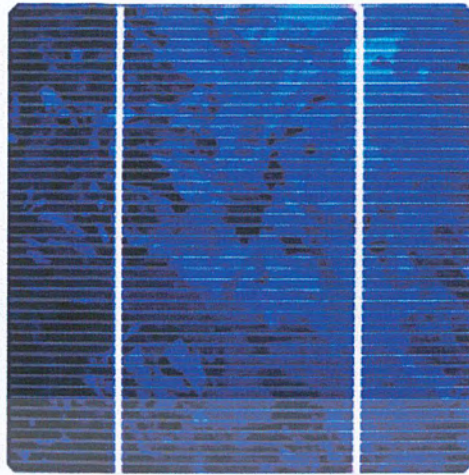
เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว (single crystalline silicon solar cell) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar Cell ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก ซิลิคอนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในโลกชนิดหนึ่ง สามารถถลุงได้จากหินและทราย เรายินยอมใช้ธาตุซิลิคอนในงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้ทำทรานซิสเตอร์และไอซีและเซลล์แสงอาทิตย์ เทคโนโลยี c-Si ได้รับความนิยมและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย นิยมใช้งานในพื้นที่เฉพาะได้แก่ ในชนบทที่ไม่มีไฟฟ้าใช้เป็นหลัก



รูปที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว [2]

เซลล์แสงอาทิตย์ แบบผลึกโพลี (polycrystalline) เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกโพลีได้ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของแบบผลึกเดี่ยวซิลิคอนแบบผลึกโพลีหรือโพลีซิลิคอน ก็คือก้อนซิลิคอนที่เกิดจากการรวมตัวกันของชิ้นเล็กๆ (ขนาดระดับ ไมโครเมตร - มิลลิเมตร) ของผลึกเดี่ยวของซิลิคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ แบบผลึกโพลี [2]

เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน (amorphous silicon solar cell) ลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน (0.0005 มม.) น้ำหนักเบา และประสิทธิภาพเพียง 5-10% เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ธาตุซิลิคอนเช่นกัน แต่จะไม่ใช่ผลึก แต่ผลของสารอะมอร์ฟัสจะทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางของซิลิคอน ซึ่งมีความบางประมาณ 300 นาโนเมตร ทำให้ไม่สิ้นเปลืองเนื้อวัสดุ น้ำหนักเบา การผลิตทำได้ง่าย และข้อดีของ a-Si ไม่เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม จึงเหมาะที่จะประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กินไฟฟ้าน้อย เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ วิทยุ โทรานซิสเตอร์ เป็นต้น

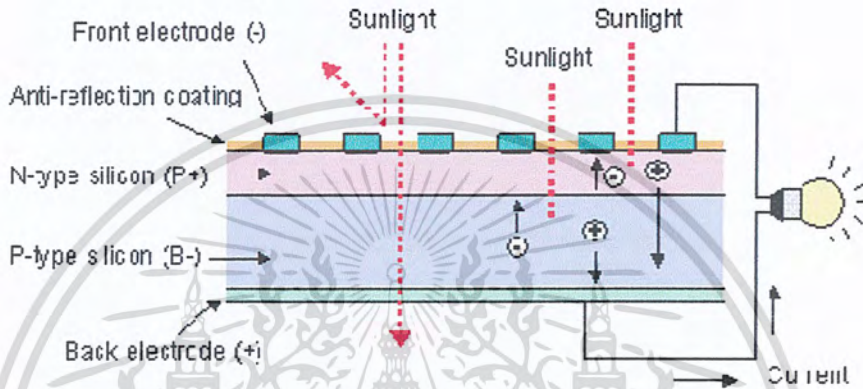


รูปที่ 2.5 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 หลักการทำงานโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งานได้ ดังรูป 2.6

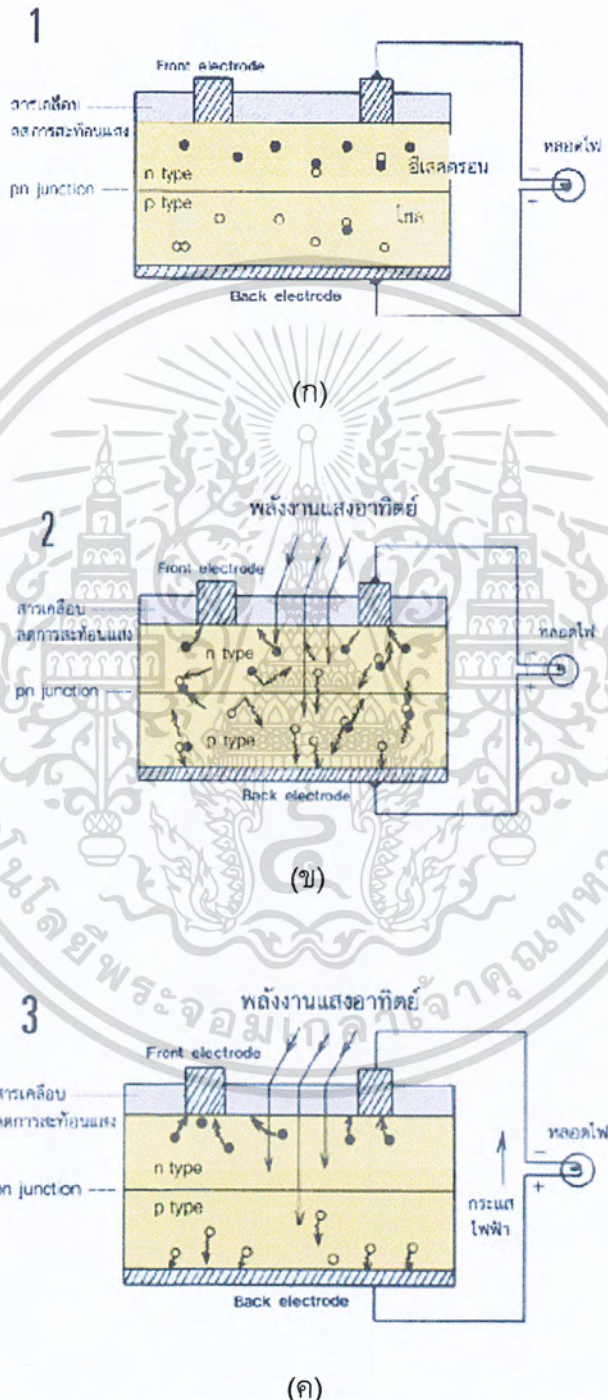


รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ [3]

หลักการทำงานแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ n - type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปกับด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ p - type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปกับด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงาน จากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วย p - n junction จึงทำให้เกิดเป็น เซลล์แสงอาทิตย์ ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด n - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮล ปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n - type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ p - type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล

ขั้นที่ 2 เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n - type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p type

ชั้นที่ 3 อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจร ก็ จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน



รูปที่ 2.7 (ก) ขั้นตอนการทำงานลำดับแรก (ข) ขั้นตอนการทำงานลำดับสอง (ค) ขั้นตอนการทำงานลำดับสาม [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 คุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

โดยทั่วไป เซลล์แสงอาทิตย์ (solar cell) หนึ่งแผ่นมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลม (มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว) หรือ แผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส (มีความยาวด้านละ 5 นิ้ว) และมีความหนา 200 – 400 เมตร (0.2 – 0.4 มิลลิเมตร) เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าชนิดประจุลบและประจุบวกขึ้นซึ่งได้แก่ อิเล็กตรอน และโฮลโครงสร้างรอยต่อ p – n จะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อแยกอิเล็กตรอนให้ไหลไปที่ขั้วลบและแยกโฮลไหลไปที่ขั้วบวก ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสอง เมื่อเราต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดกระแสตรง ก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิดกระแสตรง ดังนั้นถ้าผู้ใช้ต้องการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดกระแสสลับ ต้องต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับอินเวอร์เตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้าจากกระแสตรงให้เป็นกระแสสลับก่อนที่จะมีการใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ ดังกล่าวค่ากระแสและค่าแรงดันของแผงเซลล์เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ ถ้าเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้ถูกต่อใช้งานหรืออยู่ในสภาพวงจรเปิด แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ เรียกว่า แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{oc}) ถ้าเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในสภาพลัดวงจร เราเรียกกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรว่า กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) และที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด เราจะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_{max}) และกระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_{max}) ของแผงเซลล์ โดยค่าพารามิเตอร์ทั้ง 4 ค่า เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับคุณลักษณะของแผงเซลล์ซึ่งจะเป็นค่าที่ได้จากข้อมูลผู้ผลิต โดยมีความสัมพันธ์เป็นไปตามกราฟของคุณลักษณะของแผงเซลล์ (I – V curve) ดังนั้น ค่าแรงดันและค่ากระแสจะเป็นค่าที่ได้จากข้อมูลผู้ผลิตและถ้าเราต้องการที่จะทราบค่าแรงดันและค่ากระแสทำงานของแผงเซลล์ขณะที่ต่อใช้งานอยู่เราสามารถใช้อุปกรณ์วัดทางไฟฟ้าเพื่อวัดและอ่านค่าเหล่านั้นได้โดยตรง ขนาดของระบบจะขึ้นกับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่นำมาใช้งาน ในกรณีที่ต้องการให้แรงดันไฟฟ้าของระบบ มีค่าสูงขึ้นก็ให้นำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาต่ออนุกรมกันและหากต้องการให้กระแสไฟฟ้ามากขึ้นก็จะนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อขนานกัน ทั้งนี้จะต้องมีความสอดคล้องกับค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ประกอบระบบ ที่นำมาต่อเพื่อใช้งานด้วย

2.1.5 ตัวแปรสำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

ความเข้มของแสงกระแสไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่เข้าวัดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆ หมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรหรือ 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

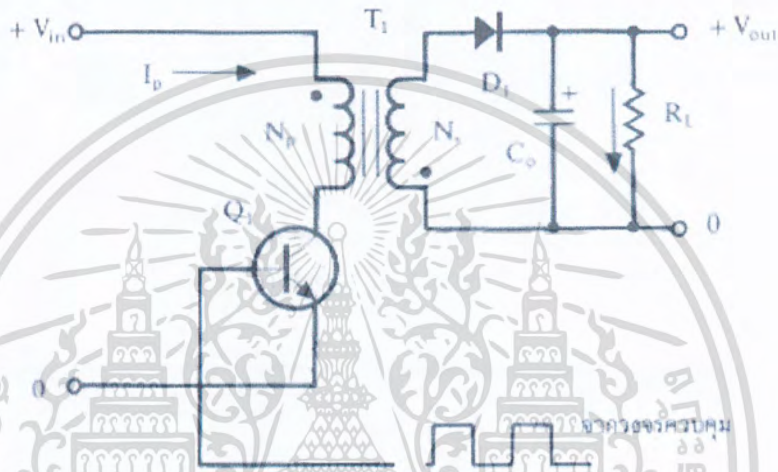
อุณหภูมิกระแสไฟฟ้าจะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (open circuit voltage หรือ Voc) ที่ 21 โวลต์ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสจะเท่ากับ 21 โวลต์ ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส เช่น อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% (0.5% x 5 องศาเซลเซียส) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ V_{oc} จะลดลง 0.525 โวลต์ (21 โวลต์ x 2.5%) เหลือเพียง 20.475 โวลต์ (21 โวลต์ - 0.525 โวลต์) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

จากข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้น ก่อนที่ผู้ใช้จะเลือกใช้แผงแสงอาทิตย์ จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแผงที่ระบุไว้ในแผงแต่ละชนิดด้วยว่า ใช้มาตรฐานอะไร หรือมาตรฐานที่ใช้วัดแตกต่างกันหรือไม่ เช่นแผงชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 80 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,200 วัตต์ต่อตารางเมตร ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสขณะที่อีกชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 75 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร และอุณหภูมิมาตรฐาน 25 องศาเซลเซียส แล้ว จะพบว่าแผงที่ระบุว่าให้กำลังไฟฟ้า 80 วัตต์ จะให้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่าจากสาเหตุดังกล่าว ผู้ที่จะใช้แผงจึงต้องคำนึงถึงข้อกำหนดเหล่านี้ในการเลือกใช้แผงแต่ละชนิดด้วย

2.2 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

จากรูป 2.8 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 ในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จะทำงานในลักษณะเป็นสวิตช์ และจะนำกระแสตามคำสั่งของพัลส์สี่เหลี่ยมที่ป้อนให้ทางขาเบส เนื่องจากหม้อแปลง T_1 จะกำหนดขดไฟรมาเรียและขดเซคันดารีให้มีลักษณะกลับเฟสกันอยู่ ดังนั้นเมื่อ Q_1 นำกระแส ไดโอด D_1 จึงอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่นำกระแส จึงมีการสะสมพลังงานที่ขดไฟรมาเรียของหม้อแปลง T_1 แทน เมื่อ Q_1 หยุดนำกระแส สหามแม่เหล็ก T_1 ยุบตัวทำให้เกิดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกลับขั้วแรงดันที่ขดปฐมภูมิและทุติยภูมิ D_1 ก็จะถูกโยกไปแอสตรง พลังงานที่สะสมในขดปฐมภูมิของหม้อแปลงก็จะถูกถ่ายเทออกไปยังขดทุติยภูมิ และมีกระแสไหลผ่านไดโอด D_1 ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต C_o และโหลดได้ ค่าของแรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่การทำงานของ Q_1 ช่วงเวลานำกระแสของ Q_1 อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลง และค่าของแรงดันที่อินพุต วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ให้งานได้ไม่สูงนัก โดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 วัตต์ และให้ค่าสัญญาณรบกวน RFI/EMI ค่อนข้างสูง แต่ใช้อุปกรณ์น้อยและมีราคาถูก

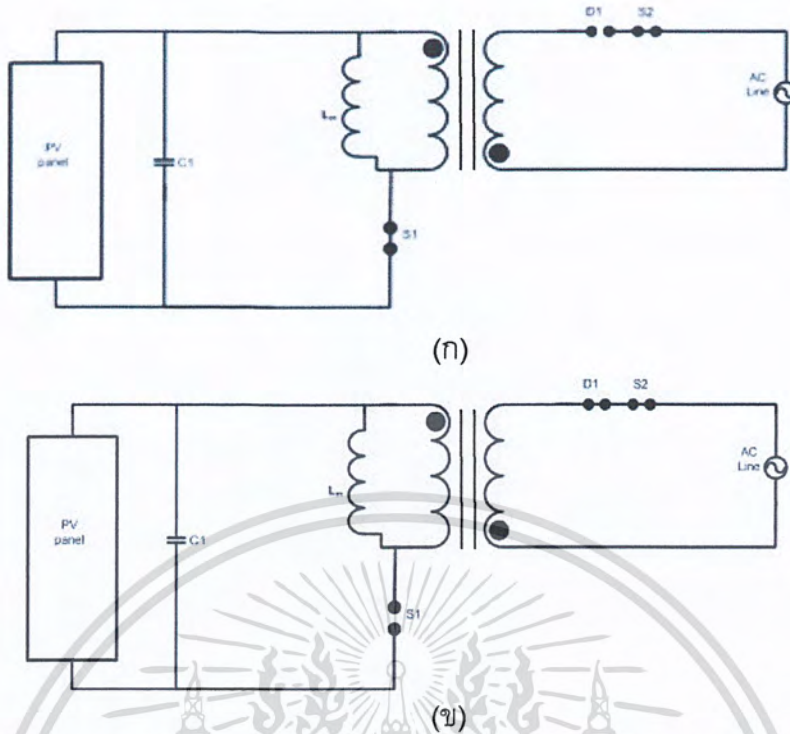


รูปที่ 2.8 วงจรพื้นฐานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ [4]

2.3 วงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์

การทำงานของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์จะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 สถานะการทำงาน ดังนี้ สถานะที่ 1 เมื่อสวิตช์ของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ S_1 นำกระแสไฟฟ้าดังรูปที่ 2.9 (ก) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ตัวเหนี่ยวนำ L_m ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกับที่ไดโอด D_1 และ D_2 ถูกไบแอสย้อนกลับและตัวเก็บประจุด้านนอกทำการจ่ายพลังงานออกให้กับระบบกริดการไฟฟ้าโดยมี S_2, S_3 ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งเปลี่ยนไฟฟ้าตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ สถานะที่ 2 เมื่อสวิตช์ของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ S_1 ไม่นำกระแสดังรูปที่ 2.9 (ข) ตัวเหนี่ยวนำ L_m จะคายพลังงานออกไปทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงฟลายแบคมีผลทำให้ไดโอด D_1 ถูกไบแอสตรงมีผลทำให้สัญญาณแรงดันด้านบวกและไอโอด D_2 ถูกไบแอสตรงเมื่อสัญญาณแรงดันด้านลบ ทำให้มีการสะสมพลังงานที่ตัวเก็บประจุด้านขาออกและมีการถ่ายเทพลังงานไปยังระบบกริดการไฟฟ้าโดยมี S_2, S_3 ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งเปลี่ยนไฟฟ้าตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 วงจรสมมูลของวงจรฟลายแบคขณะทำงานที่ครึ่งคาบต้านไฟบวก (ก) สวิตช์ S_1 และ S_2 ทำงาน (ข) สวิตช์ S_1 หยุดทำงาน สวิตช์ S_2 ทำงาน

2.4 การมอดดูเลชัน

2.4.1 การมอดดูเลชันความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation: PWM)

Pulse Width Modulation ซึ่งถ้าจะแปลให้เข้าใจง่ายๆ ก็คือ การมอดดูเลตความกว้างของพัลส์โดยการนำเอาสองสัญญาณมาเปรียบเทียบกันและสองสัญญาณที่ว่าเป็นก็คือสัญญาณ "สามเหลี่ยม" กับสัญญาณที่ต้องการปรับความกว้างของพัลส์ ยกตัวอย่างเช่น ถ้านำสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงมาเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม อย่างในโครงการนี้นำสัญญาณแอมพลิจูดไซน์มาเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม

2.5 การเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้า

ด้วยการพัฒนาด้านเทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (power electronics) ทำให้เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก เปิดโอกาสในการนำเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียน ซึ่งมักจะเป็นระบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรงและมีลักษณะการผลิตที่ไม่สม่ำเสมอขึ้นกับแหล่งกำเนิดพลังงาน ให้สามารถเชื่อมต่อกับระบบกริดไฟฟ้าแบบกระแสสลับได้ การผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีที่ใช้พลังงานหมุนเวียนมีข้อได้เปรียบเหนือการผลิตไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในเชิงการลดสภาวะโลกร้อนและการปลดปล่อยก๊าซมลภาวะ เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากเหล่านี้สามารถทำให้เกิดไมโครกริด (micro grid) ซึ่งหมายถึงการเชื่อมต่อระหว่างกลุ่มผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กกับกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ไม่ไกลจากกัน หลักการสำคัญของการผลิตไฟฟ้าด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ไมโครกริดคือการสร้างสมดุลระหว่างการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากดังกล่าวข้างต้น ให้พอดีกับภาระทางไฟฟ้าภายในไมโครกริด โดยขนาดของระบบผลิตไฟฟ้ามีขนาดใกล้เคียงกับภาระทางไฟฟ้าของไมโครกริดนั้นๆ แนวคิดดังกล่าว จะอนุญาตให้ผู้ใช้และผู้ผลิตไฟฟ้าภายในไมโครกริดใดๆ สามารถผลิตและใช้ไฟฟ้า ในขณะที่มีการเชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้าขนาดใหญ่ หรือไมโครกริดอื่นๆ ได้ ซึ่งไมโครกริดจะมองเห็นการเชื่อมต่อนั้นๆ เป็นแหล่งกำเนิดภาระไฟฟ้าอีกแหล่งหนึ่งที่เพิ่มเข้ามา หรือจ่ายออกไปนั่นเอง

ในการเชื่อมต่อนระบบกริดการไฟฟ้าจำเป็นที่จะต้องมีความมาตรฐานเป็นข้อกำหนดในการเชื่อมต่อดังนี้ จากข้อกำหนดของการเกิดสภาวะ **Islanding** ระบบต้องหยุดการเชื่อมต่อภายใน 2 วินาที ตามมาตรฐาน **UL1741/IEEE1547** ตามมาตรฐานของ **IEEE 519 – 1992** ค่า THD_v ต้องไม่เกิน 5% ค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์ต้องไม่ต่ำกว่า 0.85

2.6 การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กของหม้อแปลงความถี่สูง [5]

กำหนดพิกัดกำลังของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์คือ 100 วัตต์ เมื่อมองด้านปฐมภูมิจะได้สมการแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำคือ

$$V_{dc} = L_m \frac{di_{dc}(t)}{dt} \quad (2.1)$$

เมื่อ L_m คือ ค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (μH) หรือเขียนเป็นฟังก์ชันของกระแสได้คือ

$$i_{dc,p} = \frac{V_{dc}}{L_m} t_{on} \quad (2.2)$$

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

$$i_{dc,p} = \frac{V_{dc}}{L_m f_s} d \quad (2.3)$$

เมื่อ $d = \frac{t_{on}}{T_s}$ เมื่อ d คือค่า Duty Cycle, T_s คือคาบเวลาในการสวิตช์ และ f_s คือความถี่สวิตช์

เมื่อเขียนสมการ $i_{dc,p}$ ในฟังก์ชันรูปคลื่นไซน์

$$i_{dc,p} = I_{dc,p} \sin \omega t, \omega t \in [0, \pi] \quad (2.4)$$

โดยที่ค่า duty cycle เปลี่ยนแปลงตามเวลา

$$d(t) = d_p \sin \omega t \quad (2.5)$$

โดยที่ค่า d_p เป็นค่า duty cycle ที่เวลา $\omega t = \frac{\pi}{2}$

เนื่องจากการทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

$$t_{off} \leq T_s - t_{on,p} \quad (2.6)$$

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

จากวงจรสมมูลในรูปที่ 2.9

$$u_{ac}(t) = \frac{dn_{dc}(t) L_m}{dt n^2} \quad (2.7)$$

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

จาก Appendix A จะได้สมการ t_{off} คือ

$$\frac{t_{off}}{T_s} = \frac{\lambda}{n} d_p = \text{constant} \quad (2.8)$$

เมื่อ

$$\lambda = \frac{V_{dc}}{V_{ac,p}} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ V_{dc} คือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และ $V_{ac,p}$ คือ ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสูงสุด ดังนั้นค่า dp จะต้องมามีค่าตามสมการที่ 2.10 เพื่อจะทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง

$$dp \leq \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{n}} \quad (2.10)$$

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

$$P = V_{dc} I_{dc,avg} \quad (2.11)$$

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

$$I_{dc,avg} = \frac{1}{T_{hl}} \int_0^{T_{hl}} i_{dc}(t) dt \quad (2.12)$$

หรือเขียนเป็นสมการใหม่ได้คือ

$$I_{dc,avg} = \frac{1}{T_{hl}} \left[\int_0^{T_s} i_{dc}(t) dt + \dots + \int_{(w-1)T_s}^{wT_s} i_{dc}(t) dt + Q \right] \quad (2.13)$$

เมื่อ W คือ $\frac{T_{hl}}{T_s}$ โดยที่ Q เป็นส่วนที่เหลือจากการอินทิเกรต เนื่องจากในเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดของลูกคลื่นเราจึงสามารถละทิ้งในส่วนนี้ได้จากสมการ 2.1, 2.5 และ 2.13 เมื่อ

$$\omega t = \left(\frac{\pi}{T_{hl}} \right) (iT_s) \approx \frac{\pi}{\omega} i \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก Appendix B

$$I_{dc,avg} = \frac{d_p^2 V_{dc}}{2 f_s L_m} \left[\frac{1}{\omega} \sum_{i=1}^{\omega} \sin^2 \left(\frac{\pi}{\omega} i \right) \right] = \frac{d_p^2 V_{dc}}{4 f_s L_m} = \frac{1}{4} g_L d_p^2 V_{dc} \quad (2.15)$$

กำหนดให้

$$g_L = \frac{1}{f_s L_m} \quad (2.16)$$

เมื่อนำไปแทนค่าในสมการกำลังไฟฟ้า

$$P = \frac{1}{4} d_p^2 g_L V_{dc}^2 \quad (2.17)$$

จากสมการที่ 2.9

$$P = \frac{1}{2} \lambda^2 d_p^2 g_L V_{ac,rms}^2 \quad (2.18)$$

หรือ

$$P = g_s V_{ac,rms}^2 \quad (2.19)$$

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

$$\frac{g_s}{g_L} = \frac{1}{2} \lambda^2 d_p^2 \quad (2.20)$$

จากสมการที่ 2.10

$$\left(\frac{g_s}{g_L} \right)_{\max} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{n} \right)^{-2} \quad (2.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2.21 เมื่อค่าจำนวนรอบของหม้อแปลงเพิ่มขึ้นถึง Infinite ค่า $\left(\frac{g_s}{g_L}\right)_{\max}$ จะได้ตามสมการคือ

$$\left(\frac{g_s}{g_L}\right)_{\max} \Big|_{n \rightarrow \infty} = \frac{\lambda^2}{2} \quad (2.22)$$

ซึ่งหมายความว่าถึงแม้ค่าจำนวนรอบหม้อแปลงจะเพิ่มขึ้นมากเพียงใด ค่ากำลังไฟฟ้าก็จะคงที่

2.7 ฮาร์โมนิกและตัวประกอบกำลัง

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่นิยม ที่ใช้คำว่าที่นิยม เนื่องจากว่ารูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากอินเวอร์เตอร์นั้นจะไม่เรียบเหมือนกับสัญญาณไซน์จริงๆ เพราะการทำงานของอินเวอร์เตอร์จะใช้วิธีการ เปิด/ปิด ค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้มาปรากฏที่ด้านขาออกด้วยช่วงเวลาสั้นๆ และมีความไวสูง เพื่อทำการปรับระดับของแรงดันขาออกให้ใกล้เคียงกับไฟฟ้ากระแสสลับรูปไซน์ให้มากที่สุด ซึ่งในกระบวนการสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับด้านขาออกนี้จะมีฮาร์โมนิกปะปนมาด้วย ซึ่งเป็นผลให้รูปคลื่นกระแสระบบไฟฟ้าผิดเพี้ยนด้วยดังนั้นให้หัวข้อนี้จะทำการศึกษาฮาร์โมนิกและผลกระทบของฮาร์โมนิก

2.7.1 ฮาร์โมนิกและความเพี้ยนฮาร์โมนิกรวม

ฮาร์โมนิก หมายถึง ส่วนประกอบในรูปคลื่นสัญญาณไซน์หรือปริมาณเป็นคาบใดๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล ตัวอย่างเช่นส่วนประกอบที่ความถี่เป็น 2 เท่าของความถี่หลักมูลจะเรียกว่า ฮาร์โมนิกลำดับที่ 2 (second harmonics) เป็นต้นดังนั้นเราสามารถสรุปได้ว่ารูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าที่เป็นรูปสัญญาณไซน์โดยสมบูรณ์จะไม่มีฮาร์โมนิกรวมอยู่ด้วยในขณะที่คลื่นของกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าที่ผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณไซน์จะมีฮาร์โมนิกรวมอยู่ด้วยเสมอ การที่จะบอกว่ารูปคลื่นสัญญาณนั้นๆ ผิดเพี้ยนมากหรือน้อยไปจากรูปคลื่นสัญญาณไซน์จะต้องพิจารณาจากค่า ความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกรวม (Total harmonic distortion: THD)

ความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกรวม (total harmonic distortion: THD) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างค่ารากที่สองของผลบวกกำลังสองของค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (rms) ของส่วนประกอบฮาร์โมนิก กับค่ากำลังสองเฉลี่ยของส่วนประกอบความถี่หลักมูล ดังแสดงในสมการที่ 2.22 และ 2.23 ค่า THD มีค่าน้อยจะหมายถึง สัญญาณฮาร์โมนิกรวมขนาดไม่มากปนอยู่กับความถี่หลักมูล [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$THD_v = \left[\left(\frac{V_{rms}}{V_1} \right)^2 - 1 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.23)$$

$$THD_i = \left[\left(\frac{I_{rms}}{I_1} \right)^2 - 1 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.24)$$

2.7.2 ผลกระทบของฮาร์มอนิกต่อระบบจ่ายไฟฟ้ากำลังหรือการไฟฟ้า

ผลกระทบที่เกิดจากฮาร์มอนิกต่อการไฟฟ้า สามารถแบ่งออกได้สองแบบด้วยกันคือ แบบระยะสั้นและแบบระยะยาว โดยแบบระยะสั้นผลกระทบจะสามารถเห็นได้ชัดและโดยมากมักจะอยู่ในรูปของความเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่วนแบบระยะยาวจะตรวจสอบไม่ค่อยพบและมักจะอยู่ในรูปของความสูญเสียตัวต้านทานหรือแรงดันตก

ผลกระทบแบบระยะสั้นสามารถทำให้โหลดที่มีความไวสูงเกิดการทริปขึ้นได้เช่น โหลดที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์จะไวต่อค่าความเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้าเป็นต้น

ในขณะที่ผลของฮาร์มอนิก จะทำให้ความเที่ยงตรงของเครื่องวัดไฟฟ้าลดลงและนอกจากนั้นยังทำให้ฟิวส์ขาดและอาจจะทำให้ตัวเก็บประจุทำงานผิดพลาดเพราะแรงดันไฟฟ้าฮาร์มอนิกจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกเกินที่ตัวเก็บประจุ ซึ่งค่าความเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้าประมาณ 5 – 10% อาจมีผลทำให้ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสเพิ่มขึ้น 10 – 50% และนอกจากนั้นยังอาจเกิดค่าแรงดันตกที่ไดอิเล็กทริก (dielectric) ของตัวเก็บประจุอีกด้วย

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

บทที่ 3

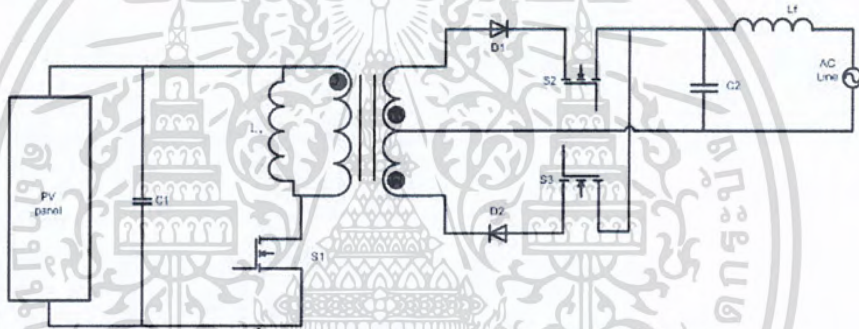
การออกแบบวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์

3.1 การออกแบบวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์แบบควบคุมด้วยกระแส

3.1.1 หลักการพื้นฐานของการมอดดูเลชันความกว้างพัลส์

การศึกษาหลักการพื้นฐานจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM) ซึ่งก็คือ การปรับความกว้างพัลส์โดยการนำสัญญาณ 2 สัญญาณมาเปรียบเทียบกัน โดยที่สัญญาณทั้ง 2 คือ สัญญาณสามเหลี่ยมและสัญญาณแอมป์ซูลูทไซน์

3.1.1.1 แผนผังการทำงานของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบรรยากาศกริดการไฟฟ้าแบบแหล่งจ่ายกระแส



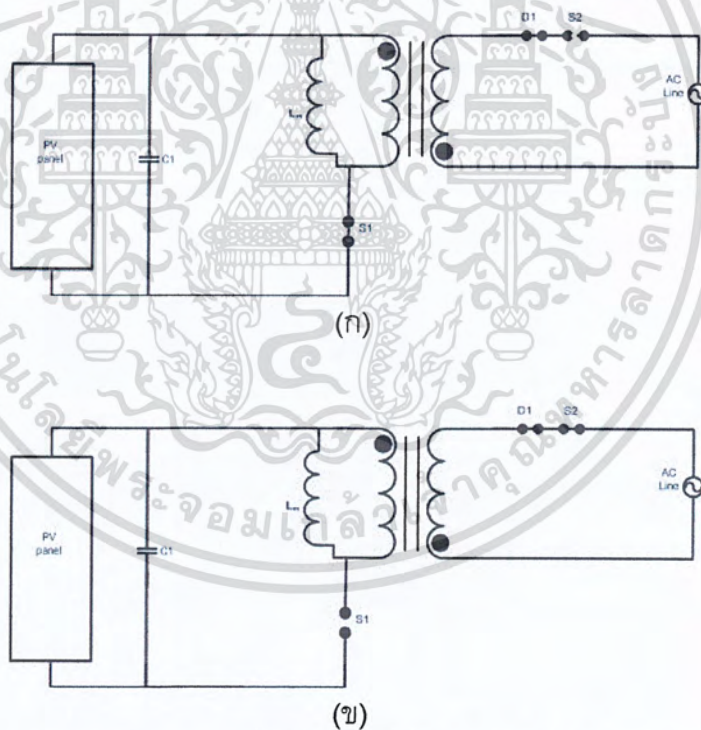
รูปที่ 3.1 วงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์

รูปที่ 3.1 แสดงรูปวงจรถ่ายแปลงอินเวอร์เตอร์ โดยมีส่วนประกอบดังนี้ ส่วนแรกคือ หม้อแปลงฟลายแบคที่มีหน้าที่สร้างกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ และช่วยเป็นตัวแยก ระหว่าง แผงเซลล์แสงอาทิตย์กับ ระบบกริดการไฟฟ้าอีกด้วยเพื่อช่วยป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับ อุปกรณ์กรณีเกิดข้อผิดพลาดหรือลัดวงจร และหม้อแปลงจะต้องมีการคายกระแสที่สมบูรณ์ เพื่อให้หม้อแปลงทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง (DCM) ซึ่งเหมาะสำหรับระบบต้องการ กำลังไฟฟ้าไม่มาก

ในส่วนต่อมาคืออุปกรณ์สวิตช์ซึ่งมีทั้งหมด 3 ตัวด้วยกันในโครงงานนี้เลือกใช้ MOSFET เนื่องจากราคาถูกและสามารถสวิตช์ในย่านความถี่สูงได้ โดยมีการกำหนดสัญญาณลักษณะตาม รูปที่ 3.1 โดยที่ S_1 จะรับสัญญาณขับเคลื่อนในรูปของสัญญาณ PWM ซึ่งเกิดจากการมอดดูเลชัน ระหว่างแอมป์ซูลูทไซน์กับรูปคลื่นสามเหลี่ยมซึ่งมีการสวิตช์ที่ความถี่ 27 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งจะได้ กำลังไฟฟ้าออกมาอยู่ในรูปสัญญาณแอมป์ซูลูทไซน์ส่งเข้าไปยังหม้อแปลงฟลายแบคส่วน S_2 และ S_3 จะมีวงจรตรวจจับผ่านศูนย์ส่งสัญญาณขับเคลื่อนเพื่อที่แปลงสัญญาณแอมป์ซูลูทไซน์ให้เป็น สัญญาณไซน์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์จะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 สถานะการทำงานดังนี้ สถานะที่ 1 เมื่อสวิตช์ของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ S_1 นำกระแสดังรูปที่ 3.2 (ก) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ตัวเหนี่ยวนำ L_m ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกันกับที่ ไดโอด D_1 และ D_2 ถูกไบแอสย้อนกลับและตัวเก็บประจุด้านออกทำการจ่ายพลังงานออกให้กับระบบกริดการไฟฟ้าโดยมี S_2 , S_3 ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งเปลี่ยนไฟฟ้าตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ สถานะที่ 2 เมื่อสวิตช์ของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ S_1 ไม่นำกระแสดังรูปที่ 3.2 (ข) ตัวเหนี่ยวนำ L_m จะคายพลังงานออกไปทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงฟลายแบคมีผลทำให้ไดโอด D_1 ถูกไบแอสตรงมีผลทำให้สัญญาณแรงดันด้านบวกและไอโอด D_2 ถูกไบแอสตรงเมื่อสัญญาณแรงดันด้านลบ ทำให้มีการสะสมพลังงานที่ตัวเก็บประจุด้านขาออกและมีการถ่ายเทพลังงานไปยังระบบกริดการไฟฟ้าโดยมี S_2 , S_3 ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งเปลี่ยนไฟฟ้าตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเช่นกัน และจากรูปที่ 3.1 L_r ที่ต่ออนุกรมอยู่ทางด้านหลังของวงจรทางด้านทุติยภูมิจะทำหน้าที่เปลี่ยนให้เป็นแหล่งจ่ายกระแสสำหรับการเชื่อมต่อการไฟฟ้า



รูปที่ 3.2 วงจรสมมูลของวงจรฟลายแบคขณะทำงานที่ครึ่งคาบด้านไฟบวก (ก) สวิตช์ S_1 และ S_2 ทำงาน (ข) สวิตช์ S_1 หยุดทำงาน สวิตช์ S_2 ทำงาน

3.1.2 พิกัดอุปกรณ์ของอินเวอร์เตอร์

3.1.2.1 พิกัดกำลังของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์

จากหัวข้อที่ 2.6 การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กของหม้อแปลงความถี่สูง [7] เมื่อ $P = 100$ วัตต์ และ $V_{ac,rms}^2 = 220^2$ แทนลงในสมการที่ 2.19 จะคำนวณหาค่า

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

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

เมื่อแทนลงในสมการที่ 2.21 จะได้ค่าความสัมพันธ์คือ

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

นำค่า g_s ไปแทนสมการที่ 3.1 จะได้ค่า

$$g_L = 1.701869$$

จากสมการที่ 2.16 แทนค่า $g_L = 1.701869$ และ $f_s = 27 \text{ kHz}$

$$L_m = 21.76 \mu\text{H}$$

ดังนั้นถ้าต้องการพิกัดกำลังของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ 100 วัตต์ จะต้องใช้ค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก 21.76 ไมโครเฮนรี่

3.1.2.2 พิกัดกระแสไฟฟ้าของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์

จากหัวข้อที่ 2.6 การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กของหม้อแปลงความถี่สูง จากสมการที่ 2.15

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

$$\text{เมื่อแทนค่า } g_L = 1.701869, \quad dp \leq \frac{1}{1 + \frac{0.0546623}{0.5}} \leq 0.901449 \quad \text{และ } V_{dc} = 17V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

และรวมสมการที่ 2.3, 2.10 และ 2.15 จะได้ความสัมพันธ์คือ

$$\frac{I_{dc,peak}}{I_{dc,avg}} = 4 \left(1 + \frac{\lambda}{n} \right) \quad (3.2)$$

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

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

3.1.2.3 ขนาดพิกัดของตัวสวิตช์

จากค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่คำนวณได้คือ 26.08049 แอมแปร์ ดังนั้นเราจึงเลือกใช้ อุปกรณ์สวิตช์ในด้านปฐมภูมิดังนี้ อุปกรณ์สวิตช์ปฐมภูมิ มอสเฟต เบอร์ IRFP260 พิกัดแรงดัน 200 โวลต์ พิกัดกระแส 50 แอมแปร์ อุปกรณ์สวิตช์ด้านทุติยภูมิ ไอจีบีที เบอร์ GW30NC80W พิกัดแรงดัน 800 โวลต์ พิกัดกระแส 30 แอมแปร์ หลักการที่เลือกใช้อุปกรณ์ตามนี้เนื่องจาก เพื่อให้อุปกรณ์มีความทนทานสามารถรองรับกระแสไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดได้

3.1.2.4 การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

ขั้นตอนการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงโดยวิธีผลคูณพื้นที่ [7] ในโครงการนี้ เลือกใช้แกนเหล็กชนิดแกนเฟอร์ไรต์ซึ่งเป็นแกนแม่เหล็กสำหรับคอนเวอร์เตอร์สวิตซ์ซึ่งความถี่สูง ซึ่งมีค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กอิ่มมีค่าประมาณ 0.3 เทสลา จากสมการผลคูณพื้นที่ของ วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จะได้ค่า A_p ดังสมการที่ 3.3

$$A_p = \frac{P_o \left(\frac{1}{\eta} \sqrt{\frac{4d_p}{3}} + \sqrt{\frac{4(1-d_p)}{3}} \right)}{JK_w B_m f_s} \quad (3.3)$$

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 แอมแปร์ต่อ

ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K_w หมายถึง window utilization factor โดยทั่วไปมีค่าอยู่ที่ 0.3-0.4

B_m หมายถึง ค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กสูงสุดโดยทั่วไปมีค่าอยู่ที่ 0.2 เทสลา

F_s หมายถึง ความถี่สวิตชิง

ดังนั้นจะคำนวณหาค่า

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

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

จากค่า A_p ข้างต้นจะนำไปพิจารณาในการเลือกแกน โดยเลือกแกนที่มีค่า A_p มากกว่าที่คำนวณได้จากตารางภาคผนวก ง. 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

$$N_1 = \frac{d_p V_{dc}}{A_c B_m f_s} \quad (3.4)$$

โดย N_1 คือ จำนวนรอบของขดลวดที่พันอยู่บนแกนแม่เหล็กซึ่งได้ค่า

$$N_1 = \frac{(0.9)(0.7)}{(1.82 \times 10^{-4})(0.2)(27 \times 10^3)}$$

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

$$l_g = \frac{\mu_0 N_1^2 A_c}{L_m} \quad (3.5)$$

โดย l_g คือ ความยาวช่องว่างอากาศ

$$l_g = \frac{(4\pi \times 10^{-7})(15^2)(1.82 \times 10^{-4})}{21.76 \times 10^{-6}}$$

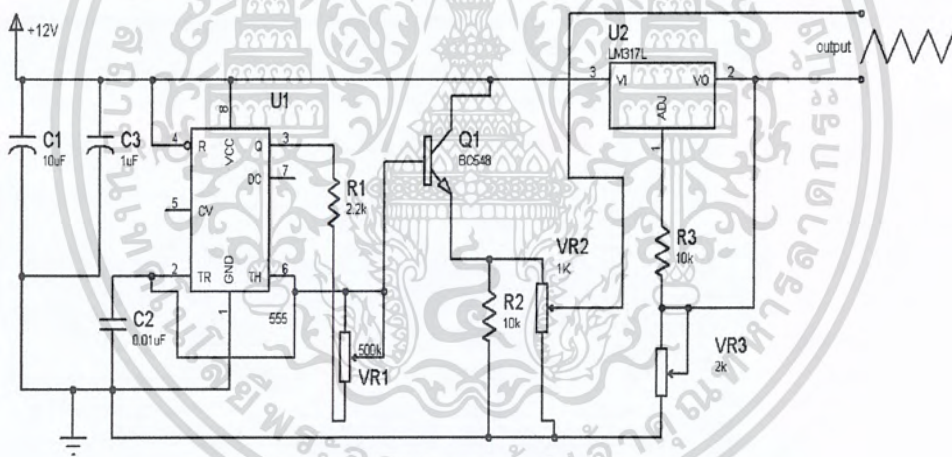
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$l_g = 2.4504 \times 10^{-3} m = 2.4504 mm$$

3.1.3 วงจรควบคุม

3.1.3.1 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม

การสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมนั้นจะใช้ IC เบอร์ NE555P ซึ่งต่อวงจรให้เป็นวงจรผลิตความถี่แบบอะอสเตเบิล (astable oscillator) โดย C2 จะเป็นไทม์เมอร์ที่จะชาร์จและดีสชาร์จผ่านความต้านทานของ VR1 ซึ่งทำหน้าที่ในการปรับความถี่ โดยที่ทรานซิสเตอร์ Q1 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากออสซิลเลเตอร์และส่งสัญญาณไปยังตัวต้านทาน VR2 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรแบ่งแรงดัน (voltage divider) เพื่อปรับขนาดของสัญญาณสามเหลี่ยมหลังจากนั้นสัญญาณสามเหลี่ยมจะถูกส่งเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบสัญญาณและมี VR3 ทำหน้าที่ปรับค่า DC offset ของสัญญาณสามเหลี่ยม

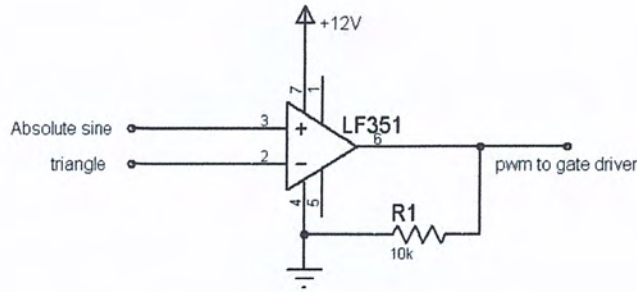


รูปที่ 3.3 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม

3.1.3.2 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator)

ในการเปรียบเทียบสัญญาณจะใช้สัญญาณสามเหลี่ยมและสัญญาณแอมพลิจูดไซน์ในการเปรียบเทียบ โดยที่สัญญาณแอมพลิจูดไซน์นำมาจากสัญญาณไซน์ของการไฟฟ้านำมาลดระดับแรงดันและเรียงกระแสให้กลายเป็นแอมพลิจูดไซน์ จากนั้นนำทั้ง 2 สัญญาณมาเปรียบเทียบสัญญาณโดยใช้ IC คือ LF351

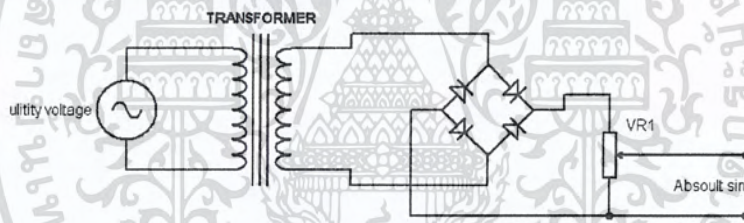
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ภาพวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ

3.1.3.3 วงจรตรวจจับสัญญาณแอมพลิจูดไซน์ที่มีเฟสตรงกับการไฟฟ้า

วงจรตรวจจับสัญญาณแอมพลิจูดไซน์ เป็นวงจรที่สร้างสัญญาณแอมพลิจูดไซน์ที่มีเฟสตรงกับการไฟฟ้าโดยมีหม้อแปลงแรงดันลดระดับแรงดันจากการไฟฟ้าและเข้าสู่ไดโอดบริดจ์ทำหน้าที่เรียงกระแสทำให้เกิดสัญญาณแอมพลิจูดไซน์และซึ่งมี VR1 จากรูปที่ 3.5 ทำหน้าที่แบ่งแรงดันเพื่อเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ

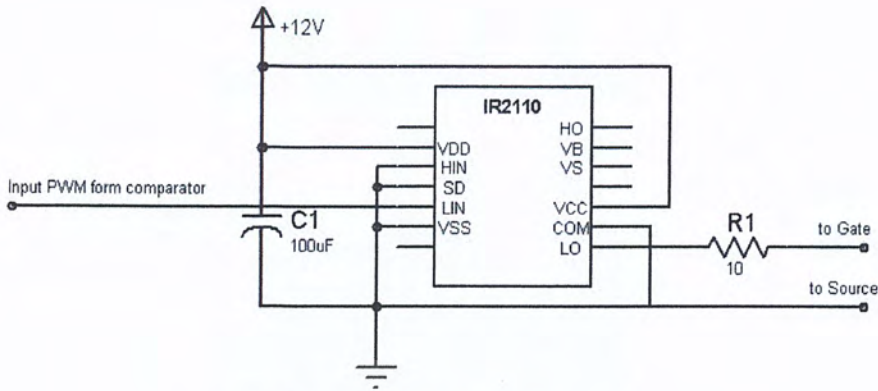


รูปที่ 3.5 ภาพวงจรตรวจจับสัญญาณ Absolute sine จากการไฟฟ้า

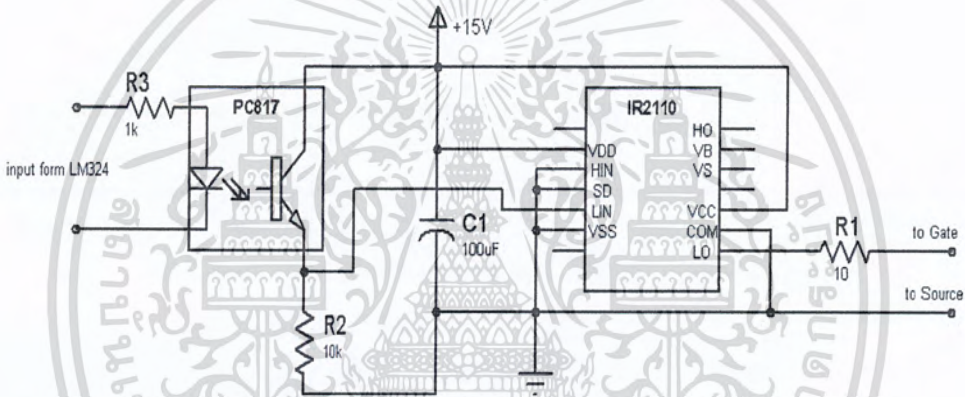
3.1.3.4 วงจรขับเกต (Gate Drive Control)

วงจรขับเกตแบ่งออกเป็นสองชุดด้วยกันคือ วงจรขับเกตด้านปฐมภูมิและวงจรขับเกตด้านทุติยภูมิ ซึ่งวงจรขับเกตด้านปฐมภูมิจะรับสัญญาณ PWM จากวงจรเปรียบเทียบสัญญาณและจะส่งสัญญาณ PWM ไปขับขาเกตของมอสเฟตดังรูปที่ 3.6 ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าการใช้วงจรขับเกตเฉพาะด้าน Low side เท่านั้นเนื่องจากมีสวิตช์เพียงตัวเดียว ด้านทุติยภูมิจะแตกต่างกับด้านปฐมภูมิเล็กน้อยเนื่องจากสวิตช์ด้านทุติยภูมิต่ออยู่กับแรงดันของการไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องมีการแยกโดดกันทางไฟฟ้าซึ่งใช้ Opto isolate เบอร์ PC817 ทำหน้าที่ในการแยกกราวด์ ดังรูปที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าวงจรกำลังและวงจรควบคุมมีการแยกโดดทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจรขับเกตด้านปฏุมภูมิ



รูปที่ 3.7 วงจรขับเกตด้านทุติยภูมิ

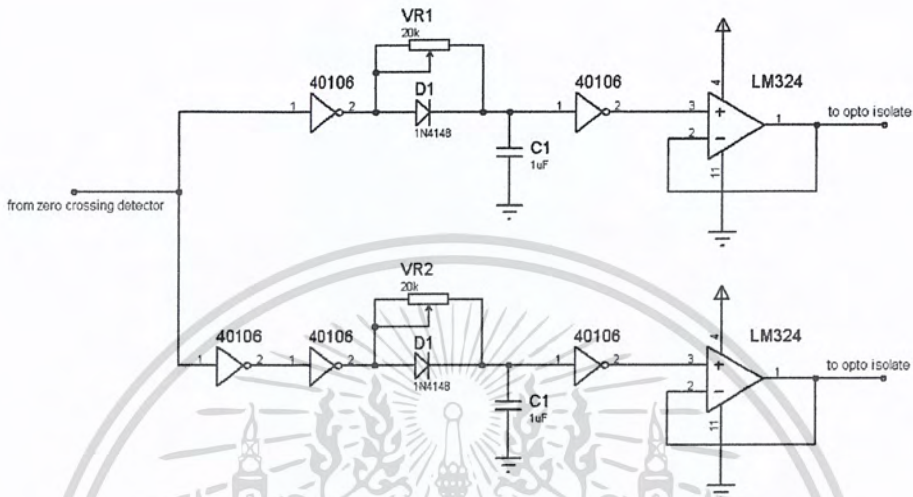
3.1.3.5 วงจรประวิงเวลา (Dead Time Circuit)

ในทางอุดมคติสัญญาณควบคุมอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งกำลังทางไฟฟ้านั้นจะมีช่วงเวลาในการทำงาน และหยุดทำงาน ช่วงหนึ่ง โดยช่วงเวลาเริ่มการทำงานของสวิตช์จะมีค่าน้อยกว่าช่วงเวลาที่ทำให้หยุดทำงาน ถ้าหากให้สัญญาณควบคุม สวิตช์หนึ่งหยุดทำงาน และอีกสวิตช์เริ่มทำงานที่เวลาเดียวกัน ในทางปฏิบัติจะทำให้มีช่วงเวลาที่ยังคงทำงานอยู่ จะทำให้เกิดการลัดวงจรของแหล่งจ่ายกำลังงานได้จะทำให้เกิดความเสียหายกับสวิตช์ หรือแหล่งจ่ายได้ ดังนั้นเราจึงต้องป้องกันการลัดวงจรดังกล่าวด้วยการหน่วงเวลา ของสัญญาณเพื่อให้สวิตช์ตัวแรกหยุดทำงาน และเริ่มให้สวิตช์อีกตัวเริ่มทำงานหลังจากที่หน่วงเวลา โดยที่วงจรประวิงเวลาจะใช้กับมอสเฟตฝั่งทุติยภูมิเพื่อป้องกันการลัดวงจร

ซึ่งการทำงานของวงจรประวิงเวลาอาศัยหลักการ ชาร์จ ดิสชาร์จของวงจร RC ทำงานร่วมกับไอซี Hex inverse ซึ่งการหน่วงเวลาจะขึ้นอยู่กับค่าเวลาคงตัว (time constant) ของวงจร RC โดยมี VR1 และ VR2 เป็นตัวปรับเวลาที่หน่วงสำหรับสวิตช์ด้านทุติยภูมิซึ่งสัญญาณก่อนจะส่งไปขับเกตจะผ่านออปแอมป์เบอร์ LM324 เพื่อทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ของเอกสารนี้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

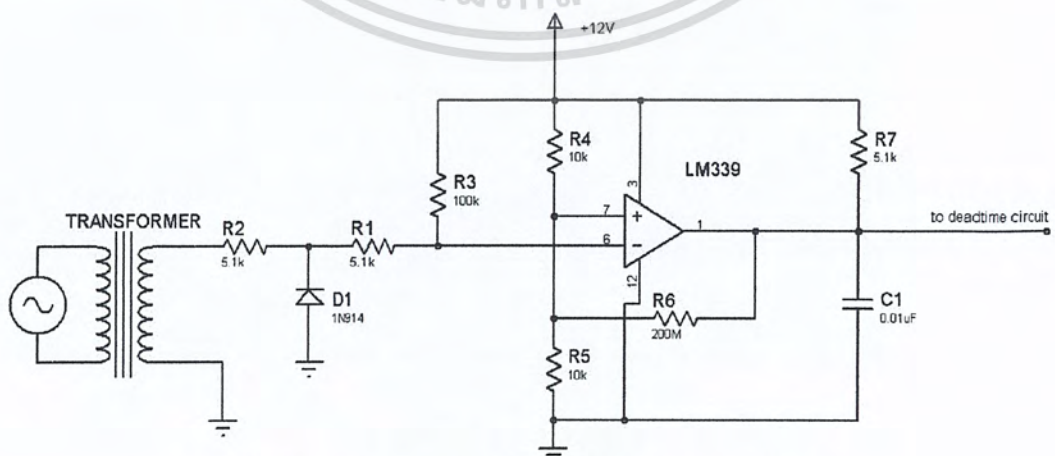
แรงดันเอาพุตที่ไม่ลดลงเมื่อผ่าน Opto isolate สัญญาณที่ออกจากอปแอมป์แต่ละตัวจะเป็นสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ มีดิวตี้ไซเคิล 50% ซึ่งจะมีสัญญาณหนึ่งที่มีมุมเฟสตรงกับแรงดันการไฟฟ้าและอีกสัญญาณหนึ่งที่มีมุมเฟสตรงข้ามกับแรงดันการไฟฟ้า



รูปที่ 3.8 วงจรประวิงเวลา

3.1.3.6 วงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์ของแรงดันการไฟฟ้า (Zero Crossing)

การสร้างสัญญาณตรวจจับจุดตัดศูนย์ของแรงดันการไฟฟ้าคือการจับสัญญาณไซน์ให้เป็นสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่เท่ากับสัญญาณไซน์การไฟฟ้านั้นเพื่อนำไปเป็นสัญญาณที่ไปขับเคลื่อนของสวิตซ์กำลังทางด้านทฤษฎีปฏิบัติการของวงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์ออกแบบโดยใช้ไอซีเบอร์ LM339N เป็นตัวเปรียบเทียบแรงดันโดยสัญญาณที่เข้าไอซี LM339N เป็นสัญญาณที่ได้จากหม้อแปลงลดระดับแรงดัน



รูปที่ 3.9 วงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์ของแรงดันการไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

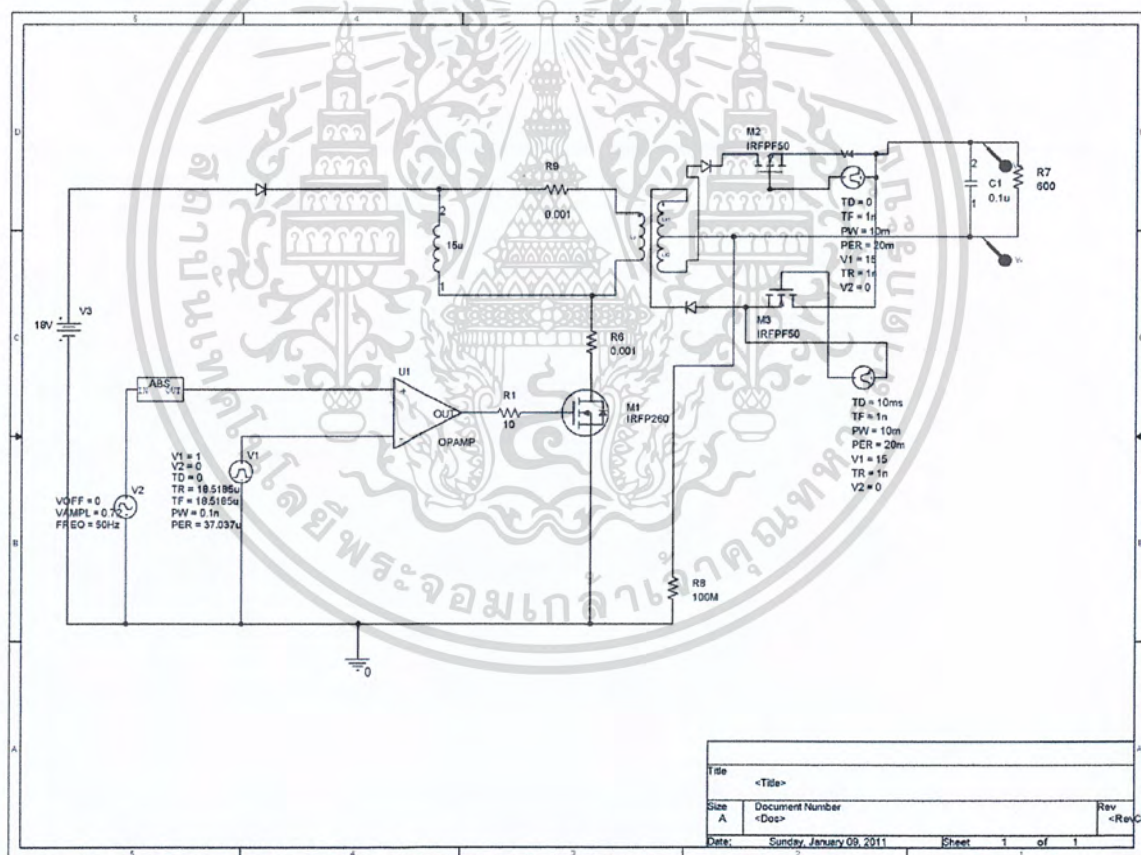
บทที่ 4

ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง

4.1 การจำลองการทำงานวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ด้วยโปรแกรม Orcad PSpice

4.1.1 ผลการจำลอง

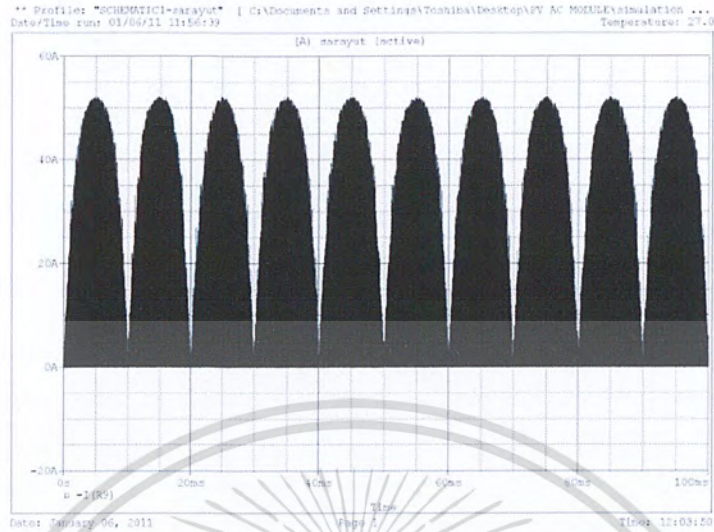
ผลการจำลองการทำงานของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ด้วยโปรแกรม Orcad PSpice เหตุผลที่จำเป็นต้องมีการจำลองการทำงานเพื่อให้ผู้จัดทำทราบแนวโน้มของผลทดลองที่เกิดขึ้นก่อนการทดลองจริง และสามารถวิเคราะห์ผลที่จะสามารถเกิดขึ้นได้ในการทดลองว่าถูกต้องและเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่ สาเหตุที่เลือกใช้โปรแกรม Orcad Pspice นั้นเนื่องจากเป็นโปรแกรมที่ง่ายต่อการใช้งานสามารถวิเคราะห์อีกทั้งยังประมวลผลได้อย่างละเอียดและแม่นยำ โดยมีรูปวงจรจากโปรแกรม Orcad Pspice ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 รูปวงจรจำลองการทำงานของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบริการไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

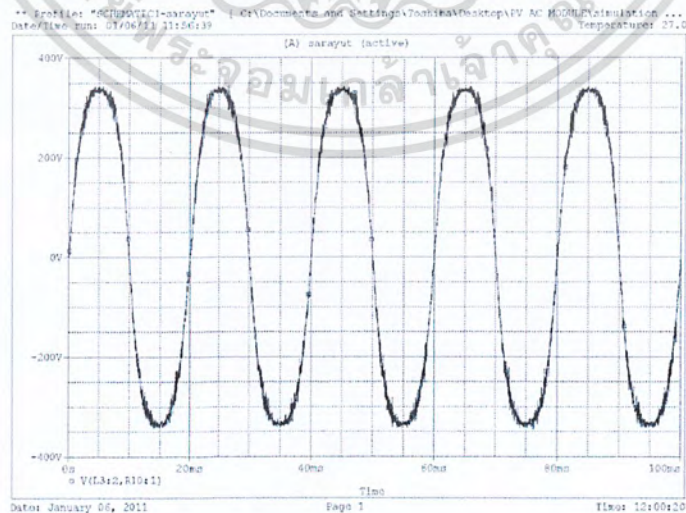
4.1.1.1 สัญญาณกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง



รูปที่ 4.2 การจำลองสัญญาณกระแสด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง (5 A/div)

ผลการจำลองสัญญาณกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงด้วยโปรแกรม Orcad PSpice จะเห็นได้ว่ามีลักษณะเป็นรูปสัญญาณแอมป์ชูลูทไซน์ถูกต้องตามหลักการและทฤษฎีซึ่งเกิดจากการนำสัญญาณ PWM ที่เกิดจากการมอดูเลชันระหว่างสัญญาณแอมป์ชูลูทไซน์และสัญญาณสามเหลี่ยม จึงทำให้สัญญาณกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ เป็นดังรูป 4.2

4.1.1.2 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์

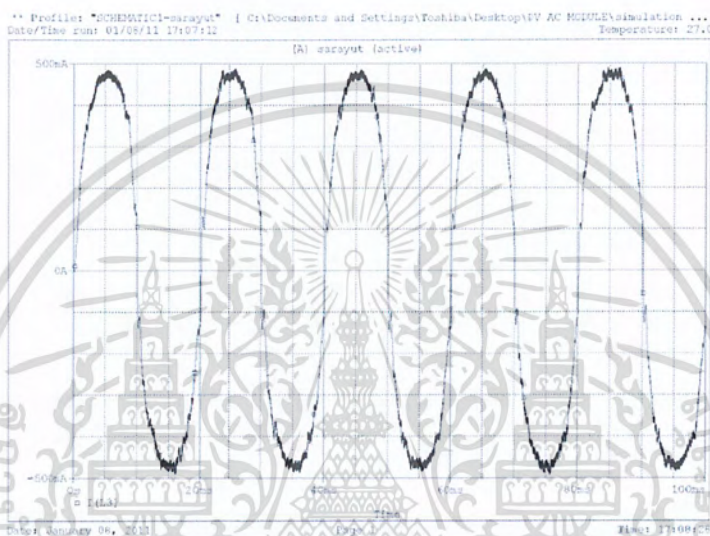


รูปที่ 4.3 สัญญาณแรงดันจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการต่อโหลดความต้านทาน

(50 V/div)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการจำลองสัญญาณแรงดันจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการต่อกับโหลดที่เป็นความต้านทานสัญญาณมีลักษณะเป็นสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 50 เฮิรตซ์ มีแอมพลิจูดอยู่ที่ 320 โวลต์

4.1.1.3 สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้า

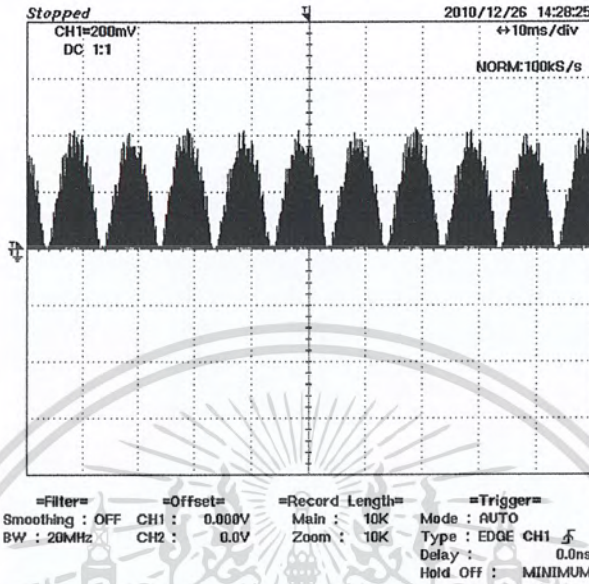


รูปที่ 4.4 การจำลองสัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้า (0.1 A/div)

ผลการจำลองสัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้ามีลักษณะคลื่นที่เป็นสัญญาณเข้าใกล้ไซน์แต่จะมีลักษณะผิดเพี้ยนจากไซน์เล็กน้อยในช่วงขณะที่แรงดันเพิ่มขึ้นและลดลงซึ่งเป็นผลที่เกิดจากการที่ไดโอดทำงานผิดจังหวะในบางช่วงที่แรงดันการไฟฟ้าอยู่ในช่วงใกล้ศูนย์

4.2 ผลการทดลอง

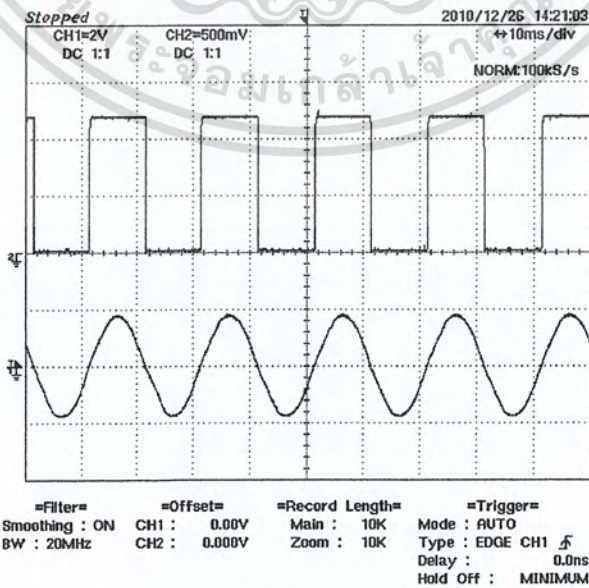
4.2.1 สัญญาณกระแสต้านปฏิกิริยาของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง



รูปที่ 4.5 สัญญาณกระแสต้านปฏิกิริยาของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าความถี่สูง (20 A/div)

จากการทดลองวัดสัญญาณกระแสต้านปฏิกิริยาของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าความถี่สูง มีลักษณะสัญญาณเป็นรูปแบบสัญญาณแอมป์ชูลูทไซน์เช่นเดียวกับผลที่ได้จากผลการจำลองโดยใช้โปรแกรม Orcad PSpice ซึ่งถูกต้องตรงตามทฤษฎีที่ศึกษามาข้างต้น ดังรูปที่ 4.5

4.2.2 สัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจวัดจุดตัดศูนย์

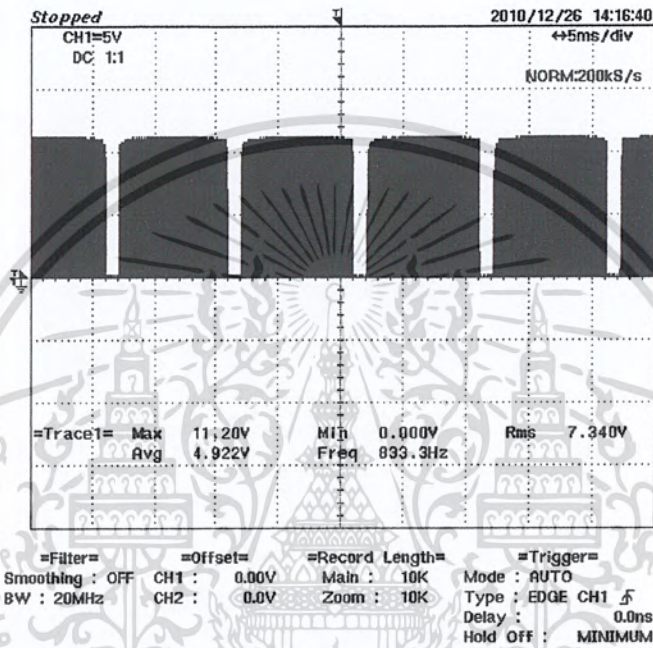


รูปที่ 4.6 สัญญาณจากวงจรตรวจวัดจุดตัดศูนย์เปรียบเทียบกับสัญญาณไซน์ (10 V/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองวัดสัญญาณจากวงจรตรวจวัดจุดตัดศูนย์ซึ่งสัญญาณที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์ขึ้นลงตามสัญญาณไซน์ด้วยความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ซึ่งตรงตามสัญญาณที่เครื่องตรวจวัดจุดตัดศูนย์จับสัญญาณได้ โดยที่สัญญาณไซน์ที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับนั้นมาจากสัญญาณไซน์ของการไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.6

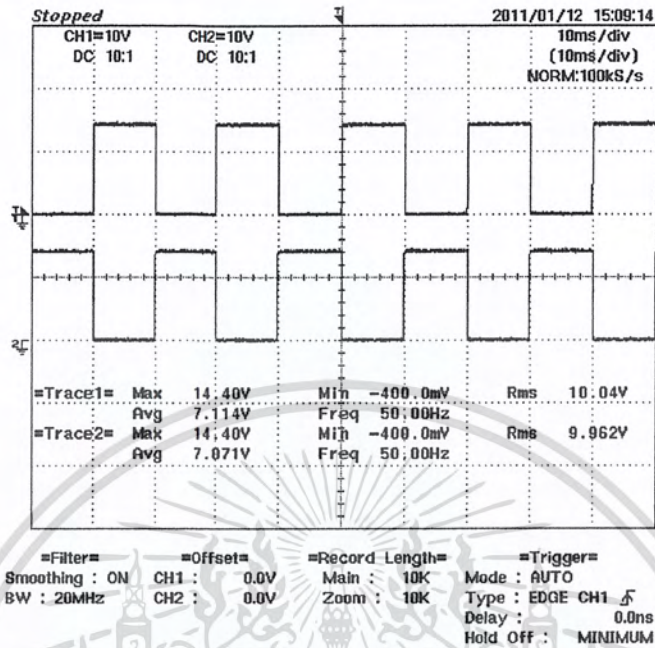
4.2.3 สัญญาณหน้าขับสวิตช์ด้านปฐมภูมิ



รูปที่ 4.7 สัญญาณหน้าขับสวิตช์ด้านปฐมภูมิ (10 V/div)

จากการทดลองวัดสัญญาณขับสวิตช์ด้านปฐมภูมิรูปมีลักษณะเป็นสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่สวิตช์ซึ่งด้วยความถี่ 27 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งเกิดจากการมีอดดูล์ชันของสัญญาณสามเหลี่ยมและสัญญาณแอมพลิจูดไซน์ ดังนั้นจากการเปรียบเทียบของทั้ง 2 สัญญาณนั้น ถ้าออสซิลโลสโคปมีการปรับ Time/Div ต่ำจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าสัญญาณในแต่ละช่วงเวลานั้นจะมีความกว้างของพัลส์ที่ไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 4.7

4.2.4 สัญญาณนำขั้วสวิตซ์ด้านทุติยภูมิ



รูปที่ 4.8 สัญญาณนำขั้วสวิตซ์ด้านทุติยภูมิ (10 V/div)

จากการทดลองวัดสัญญาณนำขั้วสวิตซ์ด้านทุติยภูมิมีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ โดยที่รูปสัญญาณนั้นคือสัญญาณที่ได้จากวงจรเครื่องตรวจวัดจุดตัดศูนย์ที่ไม่กลับเฟสและกลับเฟสกับสัญญาณพัลส์ ดังรูปที่ 4.8

4.2.5 สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อบรรยากาศการไฟฟ้า

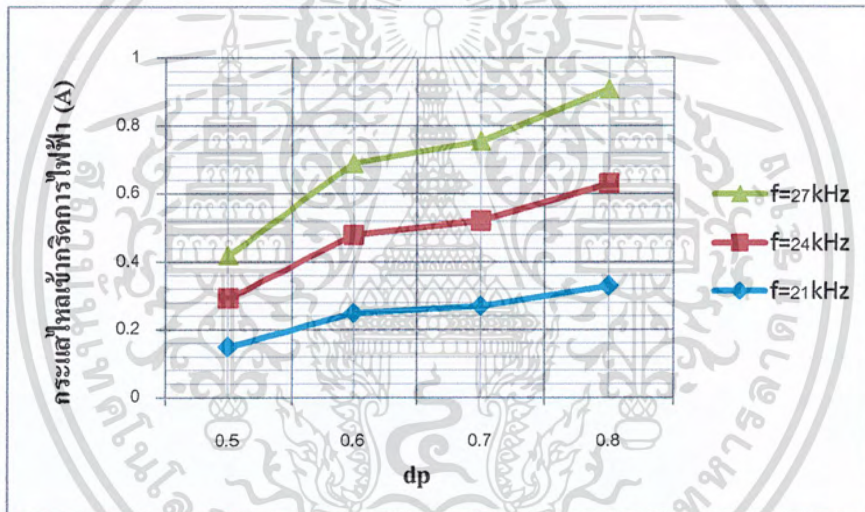
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลอง

d_p	ความถี่ (kHz)	กระแสไหลเข้ากริดการไฟฟ้า (A)
0.5	21	0.15
0.6		0.25
0.7		0.27
0.8		0.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

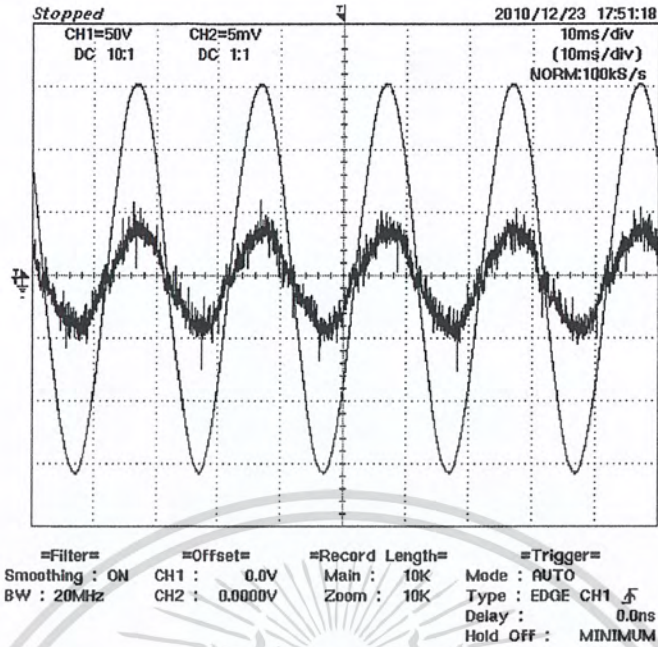
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลอง (ต่อ)

0.5	24	0.143
0.6		0.230
0.7		0.251
0.8		0.300
0.5	27	0.127
0.6		0.210
0.7		0.234
0.8		0.279

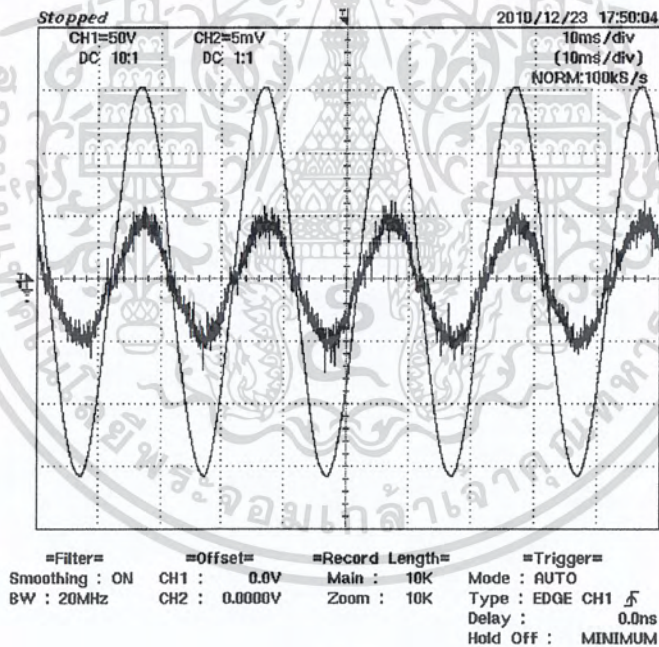


รูปที่ 4.9 กราฟผลการทดลองเมื่อปรับค่าความถี่และค่าดัชนีการมีอดดูเลขันต่าง ๆ

จากการทดลองมีการเก็บผลการทดลองสัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าและเปรียบเทียบกับสัญญาณแรงดันกริดการไฟฟ้าที่ความถี่สวิทช์และค่ามีอดดูเลขันอินเดกที่ค่าต่าง ๆ เพื่อทำการวิเคราะห์แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ความถี่สวิทช์ซึ่งเท่ากัน เมื่อปรับค่ามีอดดูเลขันลดลงแล้วขนาดของสัญญาณกระแสไฟฟ้าของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ลดลง



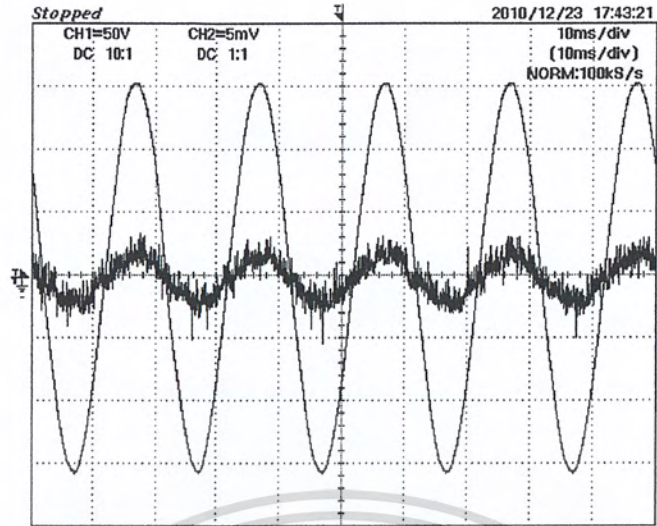
(ค)



(ง)

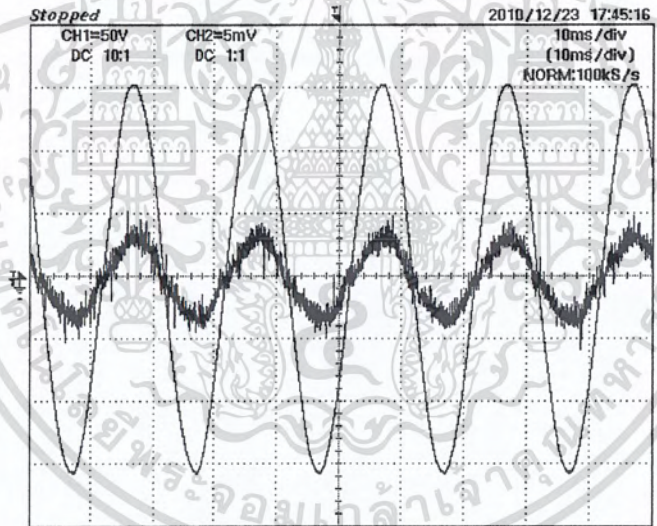
รูปที่ 4.10 สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อบริการกริดการไฟฟ้าเปรียบเทียบกับแรงดันกริดการไฟฟ้า ที่ความถี่สวิตซ์ซึ่ง 21 kHz เท่ากัน (ก) ค่า d_p เท่ากับ 0.5 (ข) ค่า d_p เท่ากับ 0.6 (ค) ค่า d_p เท่ากับ 0.7 (ง) ค่า d_p เท่ากับ 0.8 (100 V/div, 1 A/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz
 =Offset= CH1 : 0.0V CH2 : 0.0000V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

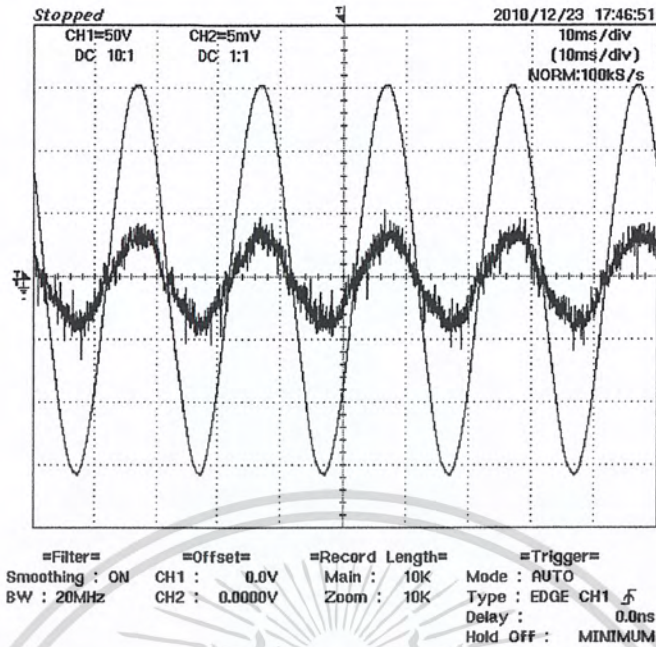
(ก)



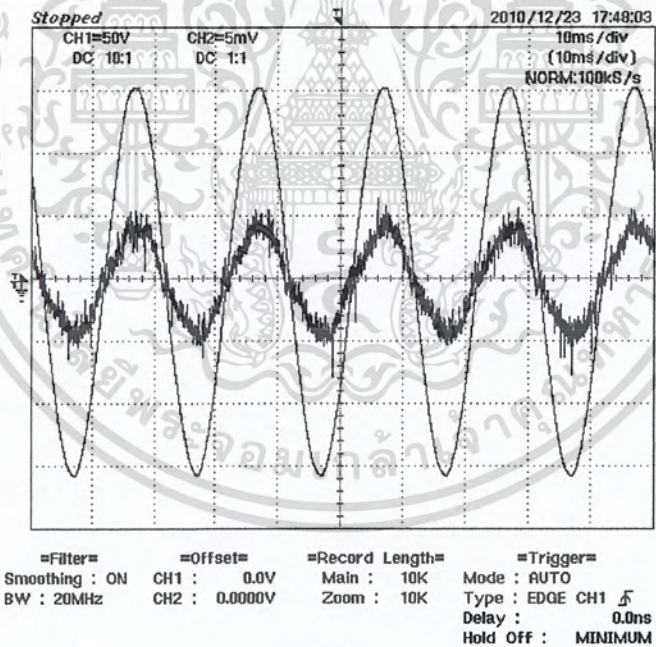
=Filter= Smoothing : ON BW : 20MHz
 =Offset= CH1 : 0.0V CH2 : 0.0000V
 =Record Length= Main : 10K Zoom : 10K
 =Trigger= Mode : AUTO Type : EDGE CH1 Delay : 0.0ns Hold Off : MINIMUM

(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



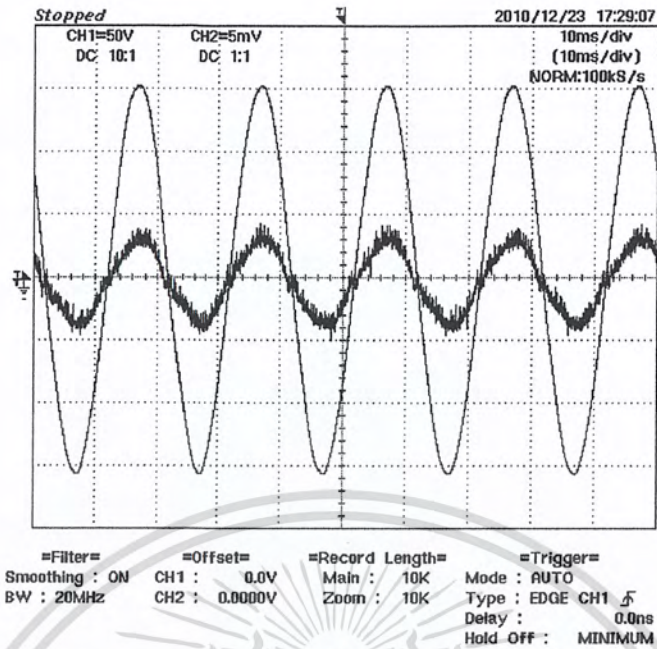
(ค)



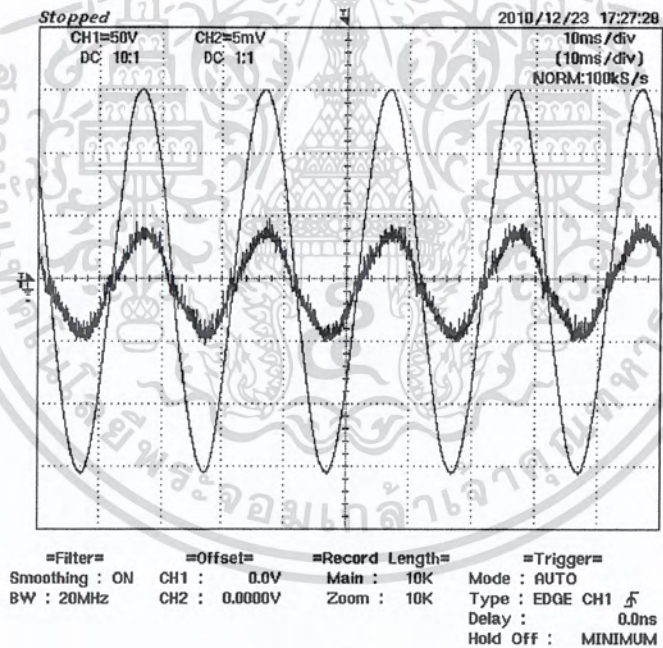
(ง)

รูปที่ 4.11 สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าเปรียบเทียบกับแรงดันกริดการไฟฟ้า ที่ความถี่สวิตซ์ซึ่ง 24 kHz เท่ากัน (ก) ค่า dp เท่ากับ 0.5 (ข) ค่า dp เท่ากับ 0.6 (ค) ค่า dp เท่ากับ 0.7 (ง) ค่า dp เท่ากับ 0.8 (100 V/div, 1 A/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

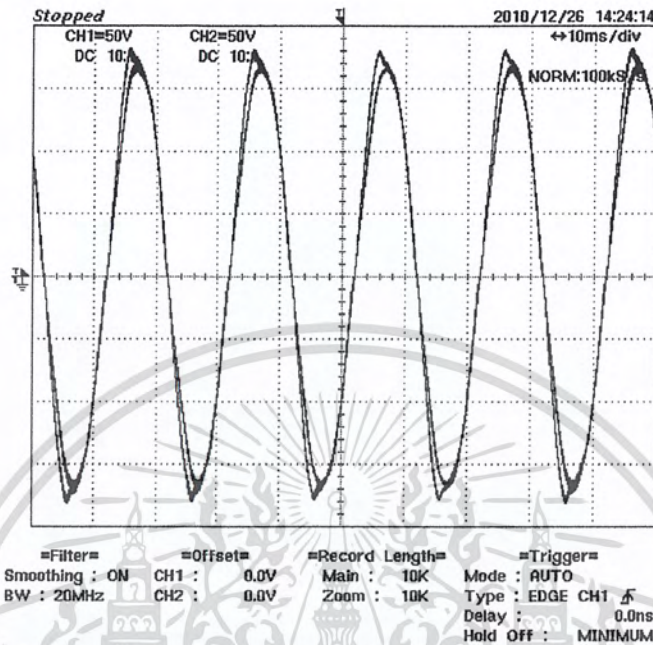


(ง)

รูปที่ 4.12 สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าเปรียบเทียบกับแรงดันกริดการไฟฟ้า ที่ความถี่สวิตซ์ซึ่ง 27 kHz เท่ากัน (ก) ค่า dp เท่ากับ 0.5 (ข) ค่า dp เท่ากับ 0.6 (ค) ค่า dp เท่ากับ 0.7 (ง) ค่า dp เท่ากับ 0.8 (100 V/div, 1 A/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

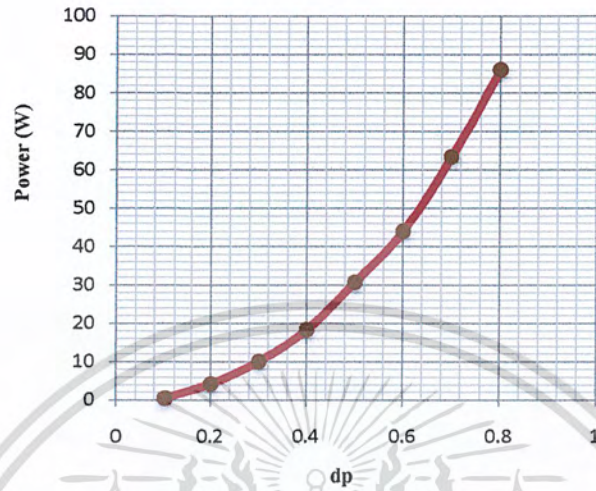
4.2.6 สัญญาณแรงดันกริดการไฟฟ้าเปรียบเทียบกับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าหลังตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า



รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบสัญญาณระหว่าง สัญญาณแรงดันกริดการไฟฟ้ากับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าหลังตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า (100 V/div)

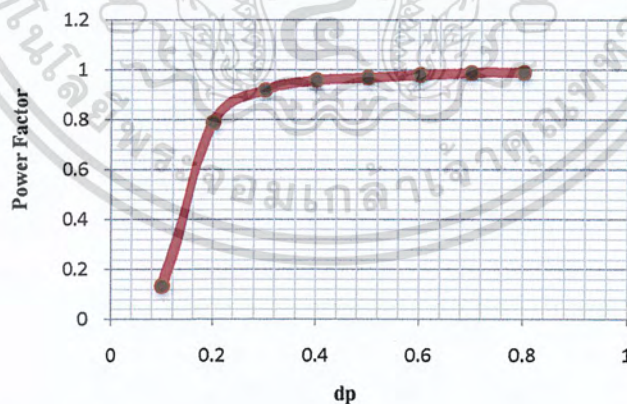
จากการทดลองการเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างสัญญาณระหว่างสัญญาณแรงดันด้านวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์และสัญญาณแรงดันของการไฟฟ้าพบว่าแรงดันด้านอินเวอร์เตอร์มีความผิดเพี้ยนจากรูปสัญญาณไซน์ไปเล็กน้อยและมีมุมเฟสหน้าแรงดันการไฟฟ้าอยู่เล็กน้อยเนื่องจากผลของตัวเหนี่ยวนำที่ต่อระหว่างวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์กับระบบของการไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.13

4.2.7 กราฟผลการเปรียบเทียบค่าดัชนีมีอดดูเลขันกับกำลังไฟฟ้าและค่าดัชนีมีอดดูเลขันกับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 4.14 กราฟกำลังไฟฟ้านำออกเมื่อปรับค่าดัชนีการมีอดดูเลขัน

จากรูปที่ 4.14 เป็นผลการทดลองโดยแสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้านำออกเมื่อปรับเพิ่มค่าดัชนีมีอดดูเลขันจะมีผลทำให้กำลังไฟฟ้านำออกเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อปรับเพิ่มค่าดัชนีการมีอดดูเลขันจะมีผลทำให้มีกระแสไหลเข้าระบบกริดการไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

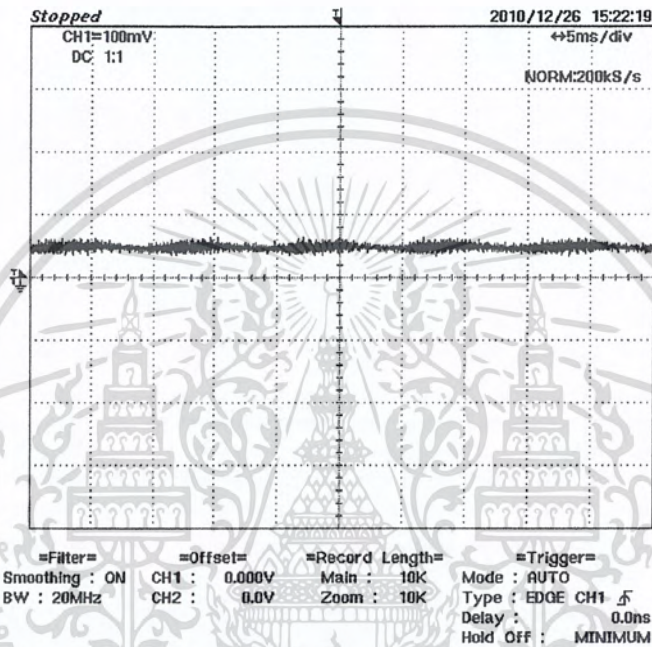


รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ของตัวประกอบกำลัง เมื่อปรับค่าดัชนีการมีอดดูเลขัน

จากผลการทดลองเมื่อปรับค่าดัชนีมีอดดูเลขันลดลงจะมีผลทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (power factor) ลดลง ดังแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.15 จนถึงค่าดัชนีมีอดดูเลขัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

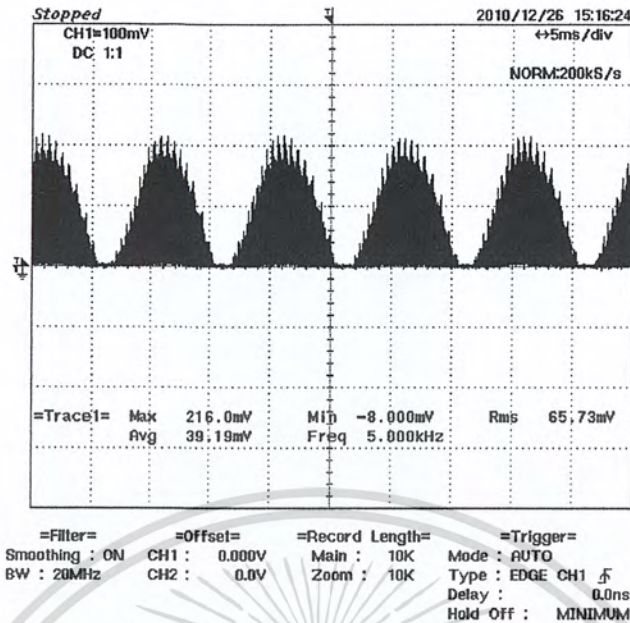
ระหว่าง 0.1 - 0.2 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (power factor) ลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลมาจากกระแสของฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ที่ไหลเข้าระบบกริดการไฟฟ้ามีความผิดเพี้ยนสูงและมีการเลื่อนเฟสไปจากแรงดันอ้างอิงมากขึ้นทำให้ตัวประกอบกำลังต่ำลง

4.2.8 สัญญาณกระแสไฟฟ้าและแรงดันของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์



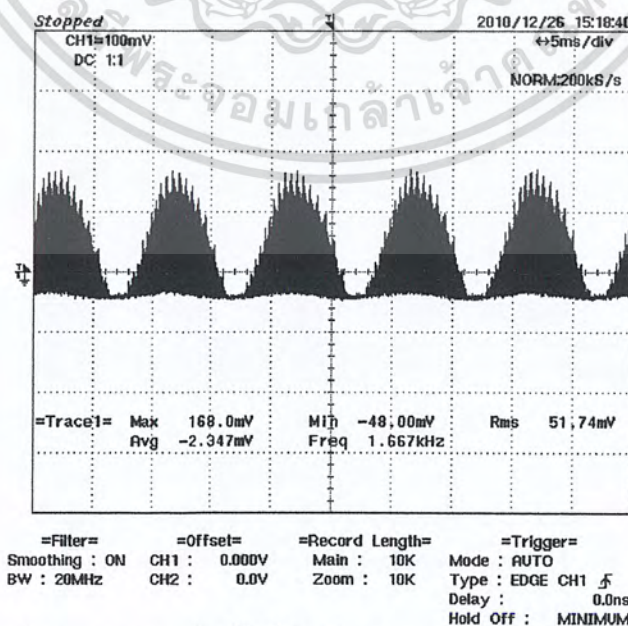
รูปที่ 4.16 สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อทำการเชื่อมต่อกับวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะต่อตัวเก็บประจุชุนานกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (10 A/div)

จากรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าเมื่อต่อตัวเก็บประจุชุนานกับเซลล์แสงอาทิตย์กระแสจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง



รูปที่ 4.17 สัญญาณกระแสไฟฟ้าต้านปฐมภูมิของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อต่อตัวเก็บประจุ (20 A/div)

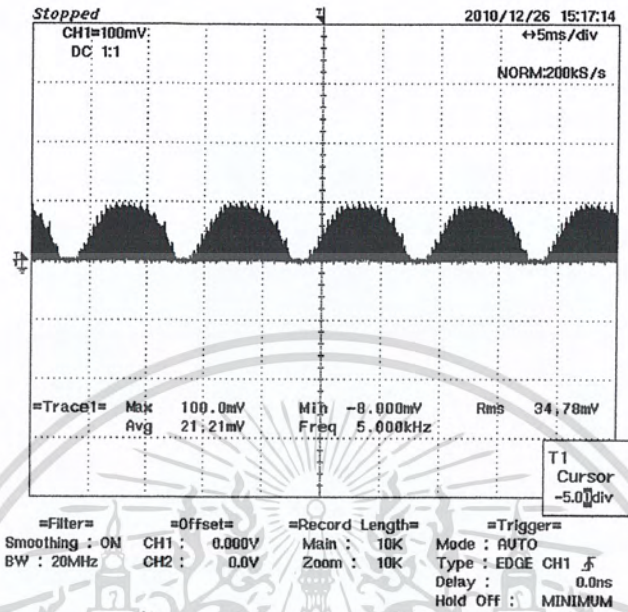
จากรูปที่ 4.17 เมื่อใส่ตัวเก็บประจุต่อขานานกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่ช่วยจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ในช่วงที่กระแสมีค่าสูงเนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายกระแสสูงสุดได้เพียง 7.5 แอมแปร์แต่ค่ากระแสสูงสุดที่อินเวอร์เตอร์ต้องการมีค่าสูงซึ่งจากการคำนวณมีค่าอยู่ที่ 21 แอมแปร์ทำให้วงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ไม่สามารถสร้างสัญญาณไซน์ทางต้านเอาต์พุตได้ จากรูปที่ 4.16 แสดงให้เห็นค่าสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุ



รูปที่ 4.18 สัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุช่วยจ่ายให้แก่วงจร (20 A/div)

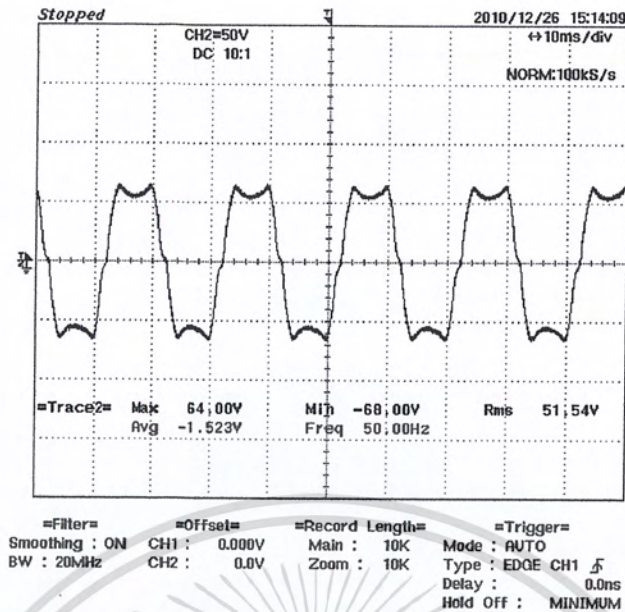
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.18 จะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุจะมีซีกลบและซีกบวก เนื่องจากมีการชาร์จ-ดีสชาร์จจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 4.19 สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อไม่มีตัวเก็บประจุต่อขนานกับเซลล์แสงอาทิตย์ (10 A/div)

จากรูปที่ 4.19 รูปสัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ที่ทำการเชื่อมต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยที่ไม่ได้ใส่ตัวเก็บประจุ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับ รูปที่ 4.15 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าขนาดของกระแสไฟฟ้าลดลงโดยเห็นได้อย่างชัดเจนเนื่องจากไม่มีตัวเก็บประจุช่วยจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่วงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 4.20 แรงดันด้านนอกของฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการต่อโหลดตัวต้านทานขณะ
ไม่ได้เชื่อมต่อตัวเก็บประจุขนานกับเซลล์แสงอาทิตย์ (50 V/div)

จากรูปที่ 4.20 จะเห็นได้ว่าแรงดันขาออกของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์มีลักษณะ
ยอดตัดเนื่องจากกระแสต้านปฏิกิริยาของอินเวอร์เตอร์มีค่ายอดต่ำเนื่องจากไม่มีการต่อตัวเก็บ
ประจุขนานกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงไม่สามารถสร้างแรงดันขาออกให้มีลักษณะเป็นสัญญาณ
ไซน์

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้นำเสนอทฤษฎีและทำการออกแบบอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแสหนึ่งเฟสที่ใช้ในการเชื่อมต่อบรรบบกริดการไฟฟ้า โดยอินเวอร์เตอร์ที่ทำการออกแบบเป็นอินเวอร์เตอร์ที่ประยุกต์มาจากวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบฟลายแบค ซึ่งมีพิกัดกำลังของฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ขนาด 100 วัตต์ เชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้า 1 เฟส 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ รวมไปถึงการจำลองวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ด้วยโปรแกรม Orcad PSpice เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์และพัฒนาอินเวอร์เตอร์ต่อไป

5.2 สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบและสร้างวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแสเชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้า สามารถสรุปได้ว่า ในส่วนของวงจรควบคุมและวงจรถูกำลังสามารถใช้ในการเชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้าได้จริงและจากการวัดมุมเฟสพบว่ากระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ที่ไหลเข้าระบบการไฟฟ้าและแรงดันของการไฟฟ้ามีมุมเฟสที่ตรงกัน อีกทั้งแรงดันของฟลายแบคอินเวอร์เตอร์มีมุมเฟสหน้าหน้าแรงดันของการไฟฟ้าอยู่เล็กน้อย โดยกระแสที่ไหลเข้าระบบการไฟฟ้ามีลักษณะเข้าใกล้รูปคลื่นไซน์และค่าตัวประกอบกำลังมีค่าเข้าใกล้ 1

ข้อดีของอินเวอร์เตอร์ที่ออกแบบได้

- สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้ากับระบบการไฟฟ้าได้โดยที่กระแสมีลักษณะเข้าใกล้รูปคลื่นไซน์
- ค่าตัวประกอบกำลังของฟลายแบคอินเวอร์เตอร์มีค่าเข้าใกล้ 1
- มีการแยกโดดกันทางไฟฟ้า (isolate) ระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์และระบบของการไฟฟ้า
- อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างวงจรหาได้ง่ายและมีราคาถูก

ข้อเสียของอินเวอร์เตอร์ที่ออกแบบได้

- มอสเฟตที่ใช้ด้านปฏิกิริยามีอุณหภูมิสูงมากทำให้มีโอกาสเสียหายสูง
- ในการเชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้าต้องมีการตรวจสอบลำดับเฟสก่อนเสมอ และอินเวอร์เตอร์ไม่สามารถเชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้าได้อย่างอัตโนมัติ
- เนื่องจากวงจรขับเคลื่อนของสวิตช์กำลังแต่ละตัวมีการแยกโดดกันทางไฟฟ้าทำให้ในส่วนการจ่ายกระแสไฟฟ้าของวงจรมีหม้อแปลงหลายตัว

จากผลการจำลองการทำงานของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแสด้วยโปรแกรม Orcad PSpice พบว่ากระแสที่ไหลเข้าระบบการไฟฟ้ามีลักษณะเข้าใกล้รูปคลื่นไซน์มาก และแรงดันของอินเวอร์เตอร์มีมมเฟสต่างกับแรงดันการไฟฟ้าน้อยมาก

5.3 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

1. ในการออกแบบวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ควรมีเทคนิคใหม่ ๆ เช่น เทคนิคการสวิตช์แบบนุ่มนวล (soft-switching) เพื่อลดค่าการสูญเสียที่เกิดจากการสวิตช์ (switching loss)
2. ในการเลือกใช้แกนของหม้อแปลงควรเลือกแกนชนิดที่มีคุณภาพสูง เพื่อลดค่าการสูญเสียจากแกน (core loss)
3. ควรพัฒนารูปคลื่นไซน์ของกระแสทางด้านขาออกของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ให้มีค่าฮาร์มอนิกน้อยกว่าที่การไฟฟ้ากำหนดหรือต่ำกว่า 5%
4. ควรเพิ่มความถี่ในการสวิตช์ของสัญญาณ PWM ให้มากขึ้นเพื่อลดขนาดและน้ำหนักของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์
5. ในส่วนของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าให้วงจร ควรสร้างเป็นแบบสวิตช์ชิ่งเพื่อลดจำนวนและขนาดหม้อแปลง เพื่อให้ขนาดของวงจรเล็กลง
6. ขณะทำการทดลองควรทำการทดลองอย่างรอบคอบ เนื่องจากขณะทำการทดลองวงจรเชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้าอาจทำให้เกิดอันตรายแก่ผู้ทำการทดลองได้

บรรณานุกรม

- [1] Leonics. ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อบ้านพักอาศัย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.leonics.co.th/html/th/pd_ecs/pd_ecs_ses.php
- [2] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://peane2.pea.co.th/ne/BERM/Feb2_50.html
- [3] กรมพลังงานทหาร ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหาร. หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www1.mod.go.th/opsd/dedweb/km%20web/Solar%20working/KM%20solar%20working.htm>
- [4] รศ.ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน, ดร. วุฒิพล ชาราธิ์เศรษฐ์, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (*Power Electronics*) คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พิมพ์ครั้งที่ 7, 2550.
- [5] 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.
- [6] ศักดิ์ชัย. ฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้า. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.9engineer.com/ee_main/Article/Harmonic.htm
- [7] Nobuyuki Kasa, Takahiko Iida, Liang 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



ภาคผนวก ก.
เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญานิพนธ์

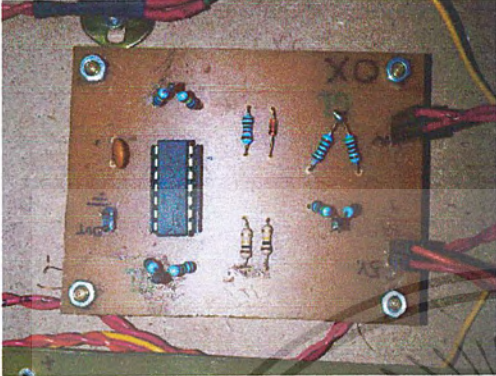
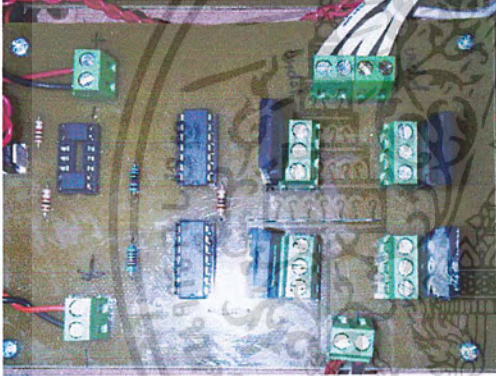
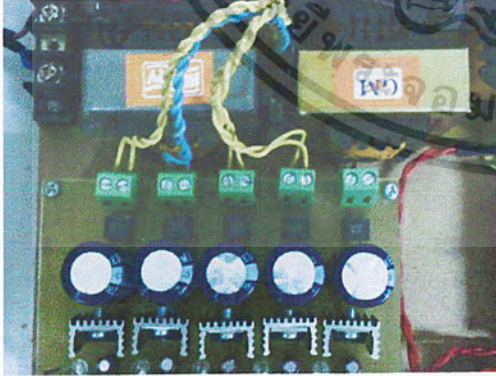
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญาโท

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>วงจรถ่านปฐมภูมิ</p>
	<p>วงจรถ่านทุติยภูมิ</p>
	<p>วงจรถ่านสัญญาณแอมพลิจูดไซน์, สัญญาณตามเหลี่ยมและวงจรถ่ายเทียบสัญญาณ</p>

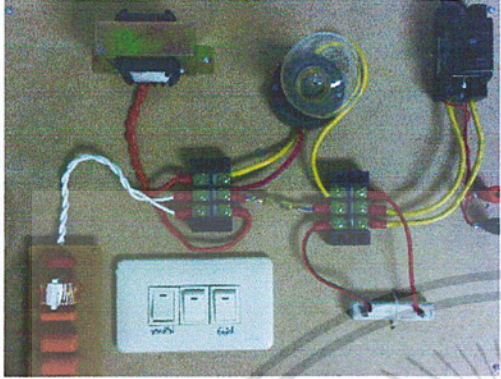
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญานิพนธ์ (ต่อ)

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>วงจรตรวจวัดจุดศูนย์กลางของแรงดันไฟฟ้า</p>
	<p>วงจรประวิงเวลา</p>
	<p>แหล่งจ่ายไฟตรง 5 โวลต์</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญานิพนธ์ (ต่อ)

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>วงจรเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้า</p>




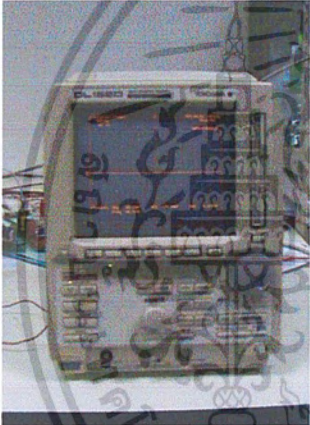

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.
รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริยญานิพนธ์

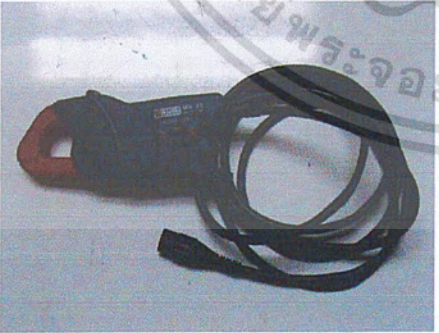
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>Multi Meter</p>
	<p>Digital Oscilloscope</p>
	<p>Power Meter</p>

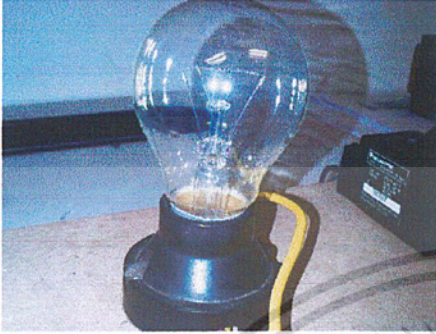
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์ (ต่อ)

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>Variac 1 phase</p>
	<p>ตัวเหนี่ยวนำ 10 mH</p>
	<p>Clamp Meter</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์ (ต่อ)

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>ชุดโหลด R</p>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix A

จากรูปที่ 29(ข) เมื่อสวิตช์ S_1 หยุดทำงาน สวิตช์ S_2 ทำงาน

$$t_{off} = \frac{ni_{dc,p} L_m}{u_{ac}(t) n^2} = \frac{I_{dc,p} \sin \omega t L_m}{V_{ac,p} \sin \omega t n} = \frac{I_{dc,p} L_m}{V_{ac,p} n} \quad (A1)$$

$$t_{on} = T_s d(t) = T_s d_p \sin \omega t \quad (A2)$$

$$I_{dc,p} = \frac{V_{dc}}{L_m} t_{on,p} = \frac{V_{dc}}{L_m f_s} d_p \quad (A3)$$

เมื่อแทนสมการที่ A3 ลงในสมการ A1

$$t_{off} = \frac{V_{dc} d_p L_m}{L_m f_s V_{ac,p} n} = \frac{\lambda}{n} d_p T_s \quad (A4)$$

หรือเขียนเป็นสมการใหม่ได้คือ

$$\frac{t_{off}}{T_s} = \frac{\lambda}{n} d_p = \text{constant} \quad (A5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Appendix B

$$i_{dc}(t_x) = \frac{i_{dc}}{t_{on}} t_x = \frac{I_{dc,p} \sin \omega t}{t_{on}} t_x = \frac{V_{dc}}{L_1 f_s} \frac{d_p \sin \omega t}{L_1 f_s \sin \omega t} t_x = \frac{V_{dc}}{L_1 f_s T_s} t_x \quad (\text{B1})$$

เมื่อ $t_x = t - (i-1)T_s, i=1,2,3,\dots$

$$\int_{(i-1)T_s}^{T_s} i_{dc}(t) dt = \int_0^{t_{on}} i_{dc}(t_x) dt_x = \frac{V_{dc}}{L_1} \frac{t_{on}^2}{2} \quad (\text{B2})$$

$$t_{on} = T_s d_p \sin \omega t = T_s d_p \sin \omega i T_s \approx T_s d_p \sin \frac{\pi}{w} i \quad (\text{B3})$$

จากสมการที่ 13 ข้างต้น

$$I_{dc,avg} = \frac{T_s}{T_{hl}} \frac{d_p^2 V_{dc}}{2 f_s L_1} \sum_{i=1}^w \sin^2 \left(\frac{\pi}{w} i \right) \quad (\text{B4})$$

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

$$\text{จาก } \sin^2 x = \frac{1 - \cos 2x}{2}$$

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

เมื่อกระจายพจน์ของอนุกรม Cosine จะได้สมการคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

(B5)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง.

ตารางผลคูณพื้นที่แกนเฟอไรต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลคูณพื้นที่แกนเฟอร์ไรต์ [4]

Cores without air gap	mean length per turn l_e (mm)	Mean magnetic length l_m (mm)	Core cross section area $A_c \cdot 100$ (mm ²)	Window area $A_w \cdot 100$ (mm ²)	Area product $A_p \cdot 10^4$ (mm ⁴)	μ_r	A_L (nH/tum ²)
POT CORES-CELHP₃C grade (*Philip 3B7 grade)							
P 18/11	35.6	26	0.43	0.266	0.114	1480	3122
P 26/16	52	37.5	0.94	0.53	0.498	1670	5247
P 30/19	60	45.2	1.36	0.747	1.016	1760	6703
P 36/22	73	53.2	2.01	1.01	2.010	2030*	9500*
P 42/29	86	68.6	2.64	1.81	4.778	2120*	10250*
P 66/56	130	123	7.15	5.18	37.03		
EE-CORES-CELHP₃C grade							
E 20/10/5	38	42.8	0.31	0.478	0.149	1770	1624
E 25/9/6	51.2	48.8	0.40	0.78	0.312	1840	1895
E 25/13/7	52	57.5	0.55	0.87	0.478	1900	2285
E 30/15/7	56	66.9	0.597	1.19	0.71		
E 36/18/11	70.6	78.0	1.31	1.41	1.847	2000	4200
E 42/21/9	77.6	108.5	1.07	2.56	2.739	2100	2613
E 42/21/15	93	97.2	1.82	2.56	4.659	2030	4778
E 42/21/20	99	98.0	2.35	2.56	6.016	2058	6231
E 65/32/13	150	146.3	2.66	5.37	14.284	2115	4833

* L. UMANAND and S.R. BHAT, "Design of Magnetic Components for Switched Mode Power Converters", Wiley Eastern Limited, 1992.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ.
บทความวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเวอร์เตอร์สำหรับเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคโนโลยีโมดูลกระแสสลับ

PV grid – Connected Inverter using AC Module Technology

นาย ศราวุธ สร้อยสลัม นาย สิทธิกร ศรีแก้วนวล นาย สุรพล ภู่อกลิ่น

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคโนโลยีโมดูลกระแสสลับ ซึ่งในเทคนิคเดิมนั้นวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง (DC - DC Converter) จะเพิ่มแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Voltage) ให้มีขนาดสูงขึ้นโดยใช้การสวิตช์ความถี่สูง จากนั้นวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Inverter) จะสร้างกระแสในรูปแบบของสัญญาณไซน์และจ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้า ซึ่งเทคนิคเดิมนั้นสิ้นเปลืองอุปกรณ์และต้องการการควบคุมมาก ในส่วนของโครงการนี้จะใช้วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับแบบ ฟลายแบค (Flyback Inverter) ทำหน้าที่ขยายขนาดแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Voltage) และมีการควบคุมแรงดันให้อยู่ในรูปแบบของแอมพลิจูดไซน์ (Absolute Sine) โดยใช้วิธีสวิตช์ซึ่งความถี่สูงแบบกระแสไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous conduction mode) นอกจากนี้วงจรยังทำหน้าที่กลับสัญญาณแอมพลิจูดไซน์ (Absolute Sine) ให้กลายเป็นสัญญาณไซน์ (Sine Wave) ความถี่ 50 Hz โดยข้อดีของเทคนิคนี้จะให้วงจรมีขนาดเล็ก ง่ายต่อการติดตั้งและมีความทนทานต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคแบบเดิม

คำสำคัญ: การทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง, ฟลายแบคอินเวอร์เตอร์

Abstract

This project presents a grid-connected technology using AC module. The conventional technique of grid-connected photovoltaic power system uses a DC-DC converter to boost the PV voltage at high switching frequency ,and then uses an inverter to generate the sinusoidal current and feeds the current into the utility grid. Consequently, in the conventional technique, complex controller and large control circuit are needed. This project uses a flyback inverter circuit, which boosts and controls PV voltage to be an absolute sine current by switching at high frequency in DCM (discontinuous conduction mode). Moreover, the flyback inverter is also used to unfold the absolute sinusoidal current to be the sinusoidal waveform at the exact grid frequency 50 Hz. The advantages of this circuit are a small circuit, easy installation and low cost when compared with the conventional technique.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

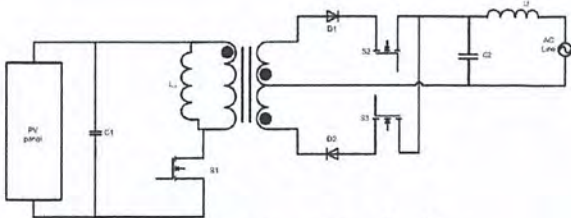
ปัจจุบันพลังงานแสงอาทิตย์ได้ถูกประยุกต์ใช้ในหลายรูปแบบ ซึ่งการเชื่อมต่อกับระบบการไฟฟ้านั้นเป็นส่วนหนึ่งในการประยุกต์ใช้งาน โครงการนี้ได้จัดทำชุดคอนเวอร์เตอร์ในการแปลงผันพลังงานไฟฟ้าให้ร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผงซึ่งเหมาะสำหรับระบบขนาดเล็ก เช่น บ้านเรือน อาคารทั่วไป โดยกำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้นั้นมีประสิทธิภาพสูงสุดตามปัจจัยต่างๆ ดังนี้ ความเข้มของแสงอาทิตย์ (Solar Radiation) อุณหภูมิสภาพแวดล้อม (Ambient Temperature) และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell Temperature) ในโครงการนี้ใช้อุปกรณ์แปลงกำลังไฟฟ้าแบบวงจรฟลายแบค อินเวอร์เตอร์เป็นชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีจุดเด่นต่างจากชุดคอนเวอร์เตอร์ที่มีอยู่ในปัจจุบันคือมีอุปกรณ์สวิตช์เพียง 3 ตัวเท่านั้น โดยจะทำการแปลงกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกำลังไฟฟ้ากระแสสลับและยกระดับแรงดันเพื่อให้สามารถเชื่อมต่อเข้าระบบกริดการไฟฟ้าได้ ซึ่งในโครงการนี้ได้ประยุกต์ใช้วงจรนี้เพื่อทำให้เป็นระบบมีต้นทุนในการผลิตต่ำและง่ายต่อการติดตั้ง

บทความนี้แสดงถึงการออกแบบและการทำงานของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ที่มีการประยุกต์โดยการใช้หม้อแปลงแบบฟลายแบคซึ่งมีขดลวดด้านทุติยภูมิ 2 ขด ซึ่งในวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์สามารถยกระดับแรงดันไฟฟ้าและสามารถแปลงจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับได้ภายในตัวเอง และมีอุปกรณ์สวิตช์จำนวนน้อยซึ่งที่กล่าวไว้ข้างต้นซึ่งจะส่งผลให้เกิดการลดความสูญเสียจากการสวิตช์ได้และประหยัดต้นทุนในการผลิต

รายละเอียดของบทความนี้ได้แบ่งการอธิบายออกเป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ วงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์โดยอธิบายรายละเอียดการทำงานของวงจร ในสถานะต่างๆ รวมไปถึงการออกแบบค่าตัวเหนี่ยวนำในหม้อแปลงฟลายแบคอินเวอร์เตอร์หลักการและวงจรสำหรับการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้า การจำลองผลการทดลองสำหรับอธิบายการทำงานของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์โดยใช้โปรแกรม Orcad PSpice ผลการทดลองของชุดวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผง

2. ทฤษฎี

2.1 การทำงานวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์แบบห้อยแปลง
ขดลวดด้านทุติยภูมิ 2 ขด

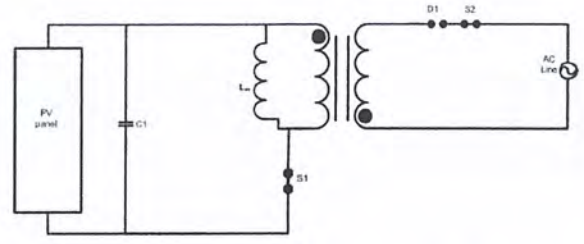


รูปที่ 1. ฟลายแบคอินเวอร์เตอร์

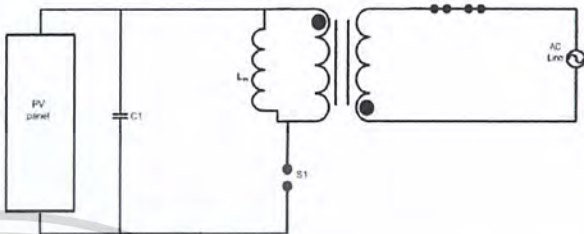
รูปที่ 1 แสดงรูปวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์[1] โดยมี ส่วนประกอบดังนี้ ส่วนแรกคือ หม้อแปลงฟลายแบค (Flyback Transformer)[2] มีหน้าที่สร้างกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ และช่วยเป็นตัวแยกแหว่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับกริดการไฟฟ้าเพื่อช่วยป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ที่ผลิตหรือติดตั้ง และ หม้อแปลงจะต้องมีการคายกระแสที่สมบูรณ์เพื่อให้หม้อแปลงทำงานใน โหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง(DCM) ซึ่งเหมาะสำหรับระบบต้องการ กำลังไฟฟ้าไม่มาก

ในส่วนต่อมาคืออุปกรณ์สวิทซ์ซึ่งมีทั้งหมด 3 ตัวด้วยกันใน โครงงานนี้เลือกใช้มอสเฟตเนื่องจากราคาถูกและสามารถสวิทซ์ในย่าน ความถี่สูงได้ โดยมีการกำหนดสัญลักษณ์ตามรูปที่ 1 โดยที่ S1 จะรับ สัญญาณขับเคลื่อนในรูปแบบของสัญญาณ PWM ซึ่งเกิดจากการมอดูเลชั่น ระหว่างแอมพลิจูดไซน์ กับ รูปคลื่นสามเหลี่ยมซึ่งมีการสวิทซ์ที่มีความถี่ 27 kHz ซึ่งจะได้กำลังไฟฟ้าออกมาอยู่ในรูป Absolute Sinusoid ส่งเข้าไป ยังหม้อแปลงฟลายแบค ส่วน S2 และ S3 จะมีวงจรตรวจจับศูนย์ (Zero crossing) ส่งสัญญาณขับเคลื่อนเพื่อที่แปลงสัญญาณ Absolute Sinusoid ให้ แปลงเป็นรูปคลื่นไซน์ความถี่ 50 Hz

การทำงานของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์จะแบ่งการ ทำงานออกเป็น 2 สถานะการทำงานดังนี้ สถานะที่ 1 เมื่อสวิทซ์ของ วงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ S1 นำกระแสแสดงรูปที่ 2 (ก) ทำให้เกิด แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ตัวเหนี่ยวนำแมกเนติกซึ่งอินดักแตนซ์ในหม้อ แปลง (Lm) ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกับที่ไดโอด D1 และ D2 ถูกไบแอส ย้อนกลับและตัวเก็บประจุด้านออกทำการจ่ายพลังงานออกให้กับระบบ กริดการไฟฟ้าโดยมี S2, S3 ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิทซ์เปลี่ยนไฟฟ้า ตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ สถานะที่ 2 เมื่อสวิทซ์ของวงจร ฟลายแบค อินเวอร์เตอร์ S1 ไม่นำกระแสแสดงรูปที่ 2 (ข) ตัวเหนี่ยวนำ Lm จะคาย พลังงานออกไปทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงฟลายแบคมีผลทำให้ ไดโอด D1 ถูกไบแอสตรงมีผลทำให้สัญญาณแรงดันด้านบวกและ ไดโอด D2 ถูกไบแอสตรงเมื่อสัญญาณแรงดันด้านลบ ทำให้มีการสะสม พลังงานที่ตัวเก็บประจุด้านขาออกและมีการถ่ายเทพลังงานไปยังกริดการ ไฟฟ้าโดยมี S2, S3 ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิทซ์เปลี่ยนไฟฟ้าตรงเป็น ไฟฟ้ากระแสสลับเช่นกัน



(ก)



(ข)

รูปที่ 2. วงจรสมมูลของวงจร Flyback Inverter ขณะทำงานที่ครึ่งคาบ ด้านไฟบวก (ก) สวิตซ์ S1 และ S2 ทำงาน (ข) สวิตซ์ S1 หยุดทำงาน สวิตซ์ S2 ทำงาน

หลักการออกแบบค่าตัวเหนี่ยวนำในหม้อแปลงฟลายแบค[3] ค่ากำลังไฟฟ้าในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง $P_{ac} = P_{dc} = P$

$$P = V_{dc} I_{dc,avg} \tag{1}$$

เมื่อ P คือ กำลังที่ใช้ในการส่งผ่าน, P_{ac} คือ กำลังไฟฟ้าในการ ส่งผ่านไปกริดการไฟฟ้า, P_{dc} คือ กำลังไฟฟ้ากระแสตรง และ $I_{dc,avg}$ คือ ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง (A) แทนค่า $I_{dc,avg}$ จากสมการ

$$I_{dc,avg} = \frac{1}{T_{hl}} \int_0^{T_{hl}} i_{dc}(t) dt = \frac{d_s^2 V_{dc}}{4 f_s L_m} = \frac{1}{4} g_L d_p^2 V_{dc} \tag{2}$$

กำหนดให้

$$g_L = \frac{1}{f_s L_m} \tag{3}$$

นำสมการที่ 2 แทนในสมการที่ 1

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

กำหนดให้

$$\lambda = \frac{V_{dc}}{V_{ac,p}} \tag{5}$$

ดังนั้นเมื่อแทนสมการที่ 5 ลงในสมการที่ 4

$$P = \frac{1}{2} \lambda^2 d_p^2 g_L V_{ac,rms}^2 \tag{6}$$

จาก

$$P = g_s V_{ac,rms}^2 \tag{7}$$

โดยที่ g_s คือ ค่าความนำไฟฟ้า

ดังนั้นจะหาความสัมพันธ์ของ g_s/g_L คือ

$$\frac{g_s}{g_L} = \frac{1}{2} \lambda^2 d_p^2 \tag{8}$$

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการเมื่อ $P = 100 \text{ watt}$ และ $V_{ac,rms} = 220 \text{ volt}$ บนด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแทนลงในสมการที่ 7 จะคำนวณหาค่า g_s ได้คือ

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

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

จะได้ค่าความสัมพันธ์คือ

$$\frac{g_s}{g_L} = 1.21403 \times 10^{-3} \quad (9)$$

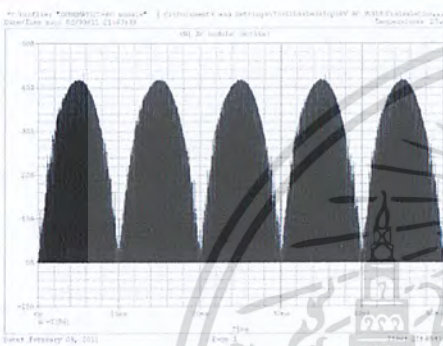
นำค่า g_s ไปแทนในสมการที่ 9

$$g_L = 1.701869$$

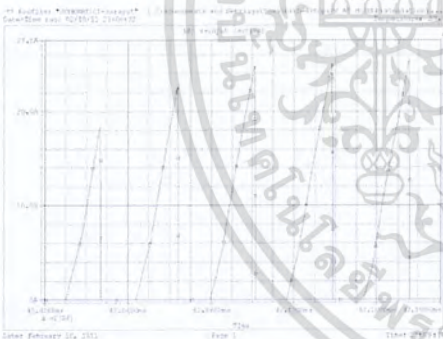
จากค่า $g_L = 1.701869$ และ $f_s = 27 \text{ kHz}$ แทนลงในสมการที่ 3

$$L_m = 21.76 \mu\text{H}$$

3. ผลการจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Orcad PSpice)



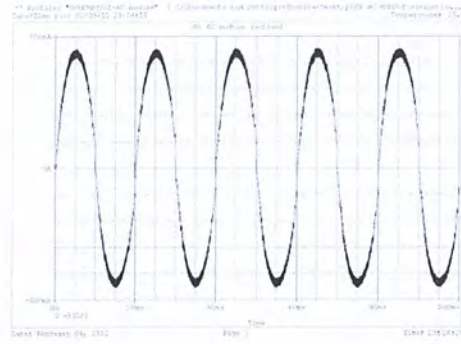
(ก)



(ข)

รูปที่ 3 การจำลองสัญญาณกระแสด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า ความถี่สูง

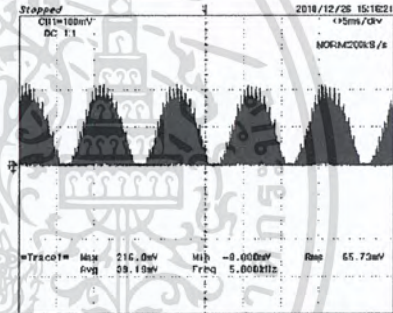
ผลการจำลองสัญญาณกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงด้วยโปรแกรม Orcad PSpice จะเห็นได้ว่ามีลักษณะเป็นรูปสัญญาณแอมป์ชวลท์ไซน์ถูกต้องตามหลักการและทฤษฎีซึ่งเกิดจากการนำสัญญาณ PWM ที่เกิดจากการมอดดูเลชั่นระหว่างสัญญาณแอมป์ชวลท์ไซน์และสัญญาณสามเหลี่ยม จึงทำให้สัญญาณกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ เป็นดังรูปที่ 3



รูปที่ 4 การจำลองสัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบค อินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้า

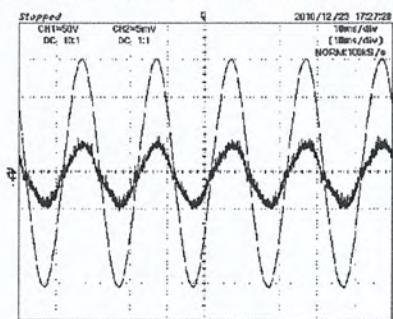
ผลการจำลองสัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบค อินเวอร์เตอร์เมื่อทำการเชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้ามีลักษณะคลื่นที่เป็นสัญญาณไซน์กอสี่เหลี่ยมแต่จะมีลักษณะผิดเพี้ยนจากไซน์เล็กน้อยเนื่องจากไดโอดทำงานผิดจังหวะในบางช่วงที่แรงดันการไฟฟ้าอยู่ในช่วงใกล้ศูนย์

4. ผลการทดลอง



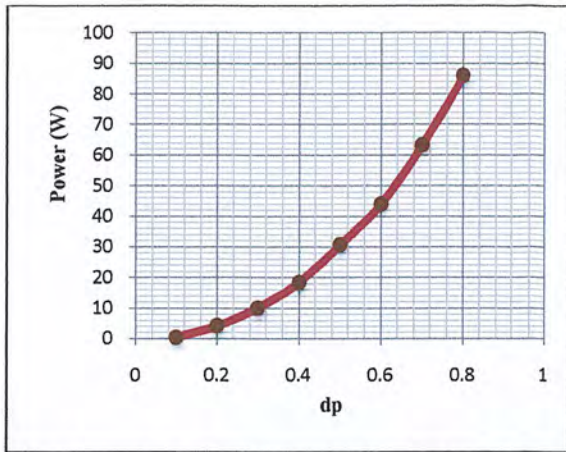
รูปที่ 5 สัญญาณกระแสด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง จากการทดลองวัดสัญญาณกระแสด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าความถี่สูง มีลักษณะสัญญาณเป็นรูปแอมป์ชวลท์ไซน์เช่นเดียวกับผลที่ได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรม

Orcad PSpice ซึ่งถูกต้องตรงตามทฤษฎีที่ศึกษามาข้างต้น ดังรูปที่ 5



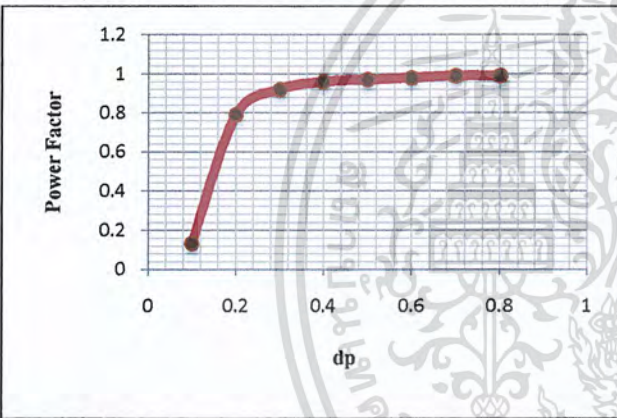
รูปที่ 6 สัญญาณกระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์เมื่อทำ

การเชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้าเปรียบเทียบกับแรงดันกริด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต การไฟฟ้า ที่ความถี่สวิตซ์ซิ่ง 21 kHz เท่ากัน ค่า d_p เท่ากับ 0.8 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 กราฟกำลังไฟฟ้าด้านขาออกเมื่อปรับค่าดัชนีการมอดูเลชัน

จากรูปที่ 7 เป็นผลการทดลองโดยแสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าด้านขาออกเมื่อปรับเพิ่มค่าดัชนีมอดูเลชันจะมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าด้านขาออกเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อปรับเพิ่มค่าดัชนีการมอดูเลชันจะมีผลทำให้กระแสไหลเข้าระบบกริดการไฟฟ้าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ของตัวประกอบกำลัง เมื่อปรับค่าดัชนีการมอดูเลชัน

จากผลการทดลองเมื่อปรับค่าดัชนีมอดูเลชันลดลงจะมีผลทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) ลดลง ดังแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 9 จนถึงค่าดัชนีมอดูเลชันระหว่าง 0.1 - 0.2 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) ลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลมาจากกระแสของฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ที่ไหลเข้าระบบกริดการไฟฟ้าที่มีความคิดเห็นสูงและมีการเลื่อนเฟสไปจากแรงดันอ้างอิงมากขึ้นทำให้ตัวประกอบกำลังต่ำลง

5 สรุปผลการทดลอง

จากการผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่า ในส่วนของวงจรควบคุมและวงจรกำลังสามารถใช้ในการเชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้าได้จริงและจากการวัดมุมเฟสพบว่ากระแสไฟฟ้าจากวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์ที่ไหลเข้าระบบการไฟฟ้าและแรงดันของการไฟฟ้ามีมุมเฟสที่ตรงกัน อีกทั้งแรงดันของฟลายแบคอินเวอร์เตอร์มีมุมเฟสหน้าแรงดันของการไฟฟ้าอยู่เล็กน้อย โดยกระแสที่ไหลเข้าระบบการไฟฟ้ามีลักษณะเข้าใกล้รูปคลื่นไซน์และค่าตัวประกอบกำลังมีค่าเข้าใกล้ 1.0 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า อย่างไรก็ตามหากปรับ d_p ต่ำกว่า 0.3 พบว่าค่าตัวประกอบกำลังจะลดลง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าระบบกริดการไฟฟ้ามีค่าน้อยจึงทำให้มีความคิดเห็นค่อนข้างมาก

เอกสารอ้างอิง

[1] Leonics. ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อบ้านพักอาศัย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

http://www.leonics.co.th/html/th/pd_ecs/pd_ecs_ses.php

[2] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

http://peane2.pea.co.th/ne/BERM/Feb2_50.html

[3] กรมพลังงานทหาร ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ และพลังงานทหาร. หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.

[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

<http://www1.mod.go.th/opsd/dedweb/km%20web/Solar%20working/KM%20solar%20working.htm>

[4] รศ.ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน, ดร. วุฒิพล ชารินทร์เศรษฐ์,

อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics) คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พิมพ์ครั้งที่ 7, 2550.

[5] 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.

[6] สักดิชัย. ฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

http://www.9engineer.com/ee_main/Article/Harmonic.htm

[7] Nobuyuki Kasa, Takahiko Iida, Liang 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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

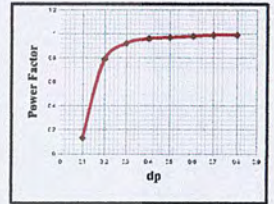
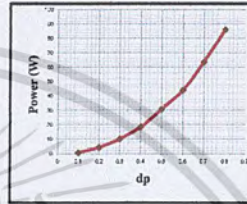
โปสเตอร์นำเสนอผลงาน

อินเวอร์เตอร์สำหรับการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคโนโลยีโมดูลกระแสสลับ PV grid – Connected Inverter Using AC Module Technology

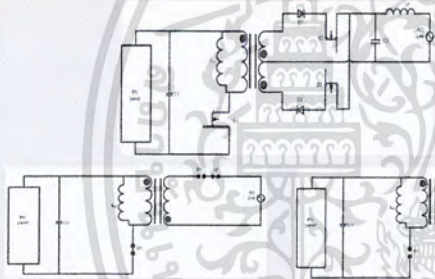
นาย ศราวุธ ฉวีอธัมภ์, นาย อธิษฏา ศรีแก้วนวล และนาย สุรศักดิ์ กุ่มถ้ำ อาจารย์ที่ปรึกษา คร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล, อ. วรก้อง อิมเจริญ
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วัตถุประสงค์

- เพื่อสร้างต้นแบบอินเวอร์เตอร์แบบโมดูลกระแสสลับ
- เพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของวงจรฟลายแบคอินเวอร์เตอร์
เชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้า
- เพื่อลดต้นทุนในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์



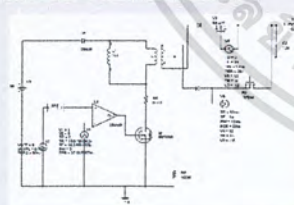
วงจร Flyback Inverter



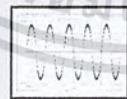
d_p	THD (%) เมื่อทำการเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้า	THD (%) เมื่อจ่ายโหลด
0.8	7.67	3.85
0.7	10.68	4.28
0.6	14.59	4.90
0.5	20.77	5.77
0.4	23.24	7.63
0.3	32.16	11.78
0.2	32.58	22.93
0.1	21.12	27.86

ผลการทดลอง

ผลการจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

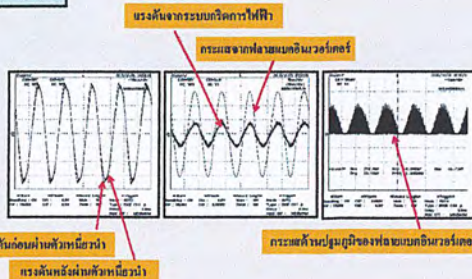


รูปสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ปรับรูปให้สอดคล้อง



รูปสัญญาณกระแสไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์

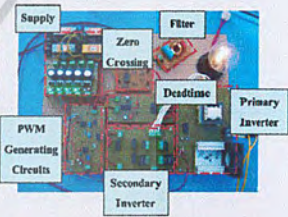
ผลการทดลอง



แรงดันก่อนเข้าตัวหม้อแปลง
แรงดันหลังผ่านตัวหม้อแปลง

กระแสขาออกของอินเวอร์เตอร์

ชิ้นงานจริง



สรุปผลการทดลอง

ข้อดีของอินเวอร์เตอร์ที่ออกแบบได้

- สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้ากับระบบกริดการไฟฟ้าได้
- ค่าตัวประกอบกำลังของฟลายแบคอินเวอร์เตอร์มีค่าเข้าใกล้ 1
- มีการแยกโดดกันทางไฟฟ้า (Isolate) ระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์และระบบของการไฟฟ้า
- อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างวงจรมีได้ง่ายและราคาถูก

ข้อเสียของอินเวอร์เตอร์ที่ออกแบบได้

- มีการสูญเสียเกิดขึ้นที่มอสเฟตจำนวนมากทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง
- ในการเชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้าต้องมีการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์กำลังงาน และอินเวอร์เตอร์ไม่สามารถเชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้าได้อย่างอัตโนมัติ

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ประวัติการศึกษา

- ชื่อ - นามสกุล นายศรายุทธ สร้อยสลัป
 วัน เดือน ปีเกิด 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2532
 ที่อยู่ 3/6 ม.1 ตำบลลคูคต อำเภอลำลูกกา
 จังหวัดปทุมธานี 12130
- ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย รังสิต จังหวัด ปทุมธานี
- ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ฝึกงานภาคฤดูร้อนที่ บริษัท ยูไนเต็ด ไอเอส เอ็นจิเนียริง จำกัด ระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2553 ถึง วันที่ 31 พฤษภาคม 2553



ประวัติการศึกษา

- ชื่อ - นามสกุล นายสิทธิกร ศรีแก้วนวล
 วัน เดือน ปีเกิด 19 พฤศจิกายน พ.ศ.2531
 ที่อยู่ 2457 ม.1 ตำบลสำโรงเหนือ อำเภอเมือง
 จังหวัดสมุทรปราการ 10270
- ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนราชวินิตบางแก้ว จังหวัดสมุทรปราการ
- ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ฝึกงานภาคฤดูร้อนที่ โรงไฟฟ้าพระนครใต้ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2553 ถึง 31 พฤษภาคม 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน (ต่อ)



ประวัติการศึกษา

ชื่อ - นามสกุล นายสุรตล ภู่อกลิ่น
วัน เดือน ปีเกิด 24 ตุลาคม พ.ศ.2531
ที่อยู่ 179 ม.5 ตำบลถนนใหญ่ อำเภอเมืองลพบุรี
จังหวัดลพบุรี 15000

- ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนพิบูลวิทยาลัยจังหวัดลพบุรี
- ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ฝึกงานภาคฤดูร้อนที่ บริษัท การท่าอากาศยานไทย จำกัด(มหาชน) ระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2553 ถึง 31 พฤษภาคม 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้