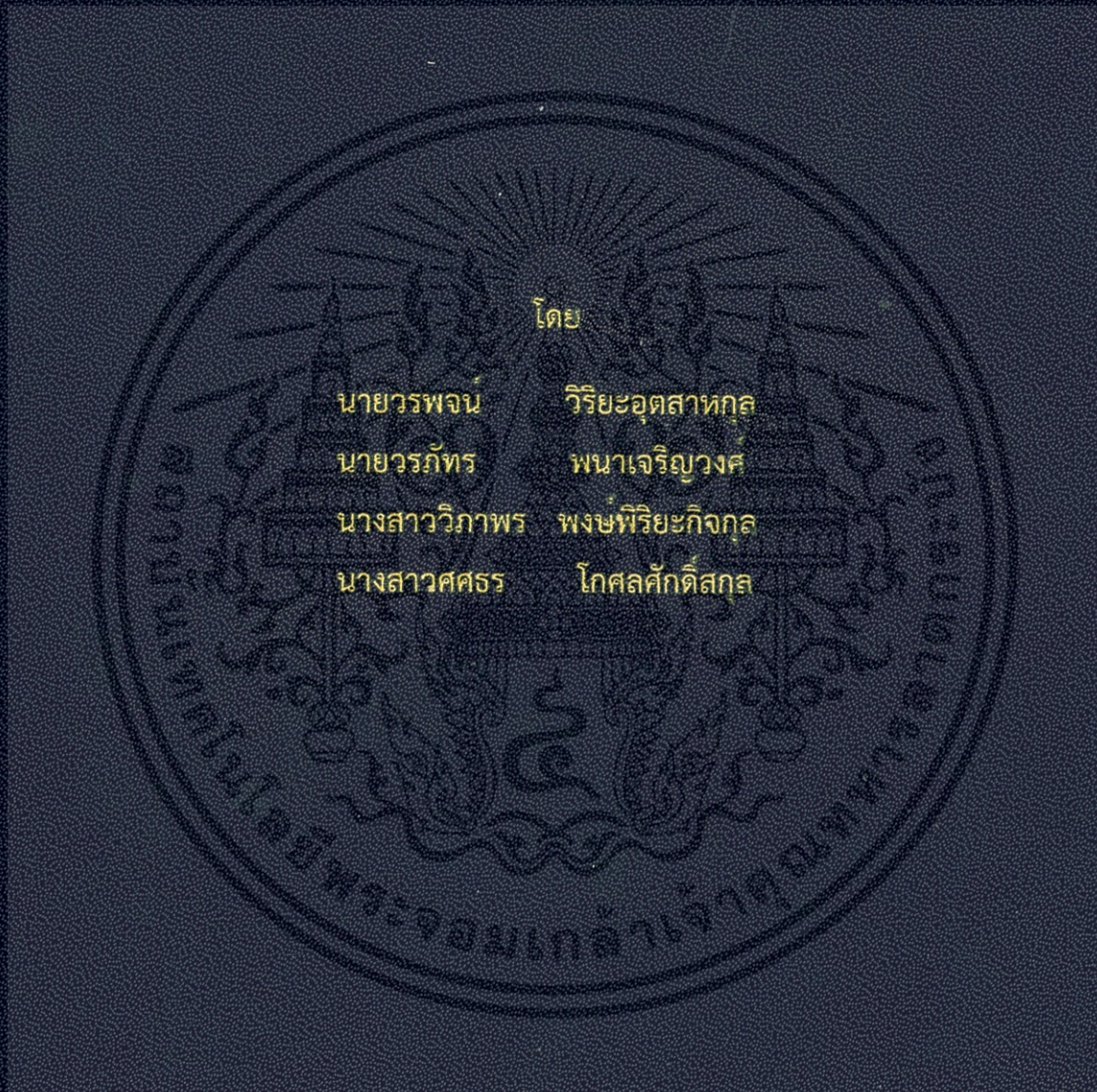


การจำลองการควบคุมเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมกำลังรีแอกทีฟ  
Simulation of Inverter Air Conditioner Control  
for Controlling Reactive Power



โดย

นายวรพจน์	วีริยะอดสาทกุล
นายวรภัทร	พนาเจริญวงศ์
นางสาววิภาพร	พงษ์พิริยะกิจกุล
นางสาวศศรร	โกศลศักดิ์สกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2557

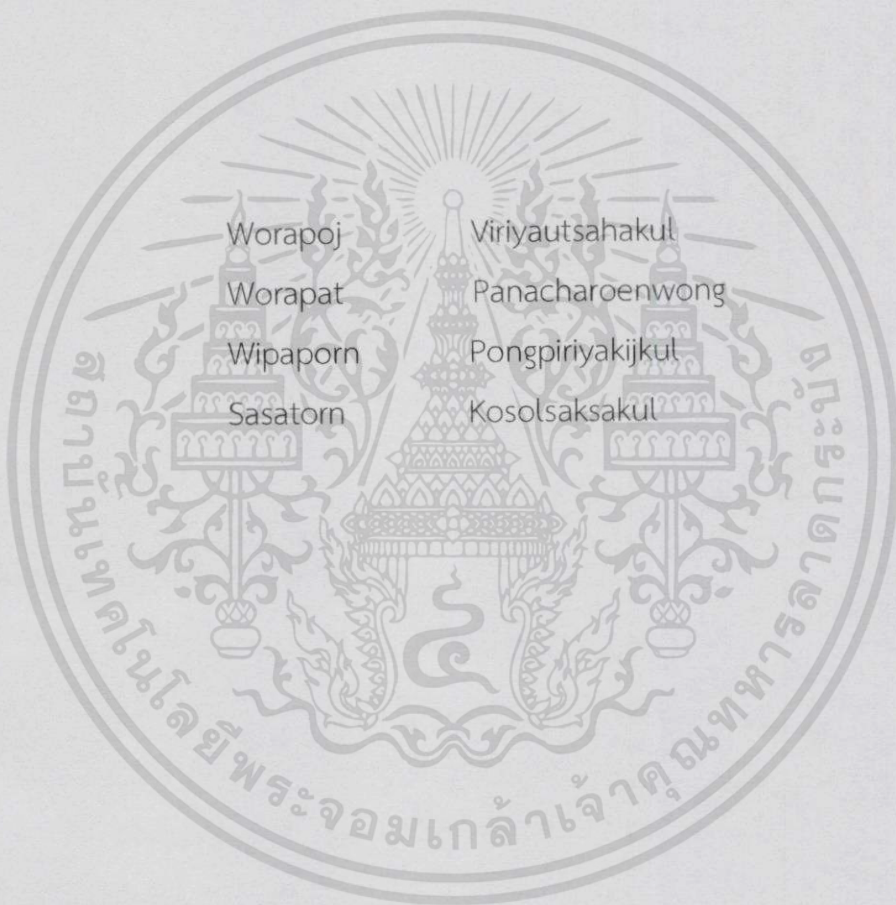
การจำลองการควบคุมเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมกำลังรีแอกทีฟ  
Simulation of Inverter Air Conditioner Control  
for Controlling Reactive Power



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Simulation of Inverter Air Conditioner Control  
for Controlling Reactive Power



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

2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2557

การสร้างแบบจำลองเครื่องปรับอากาศที่สามารถควบคุมกำลังรีแอกทีฟ

Simulation of Inverter Air Conditioner Control  
for Controlling Reactive Power



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.วรวรรณ นาคะวิโร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

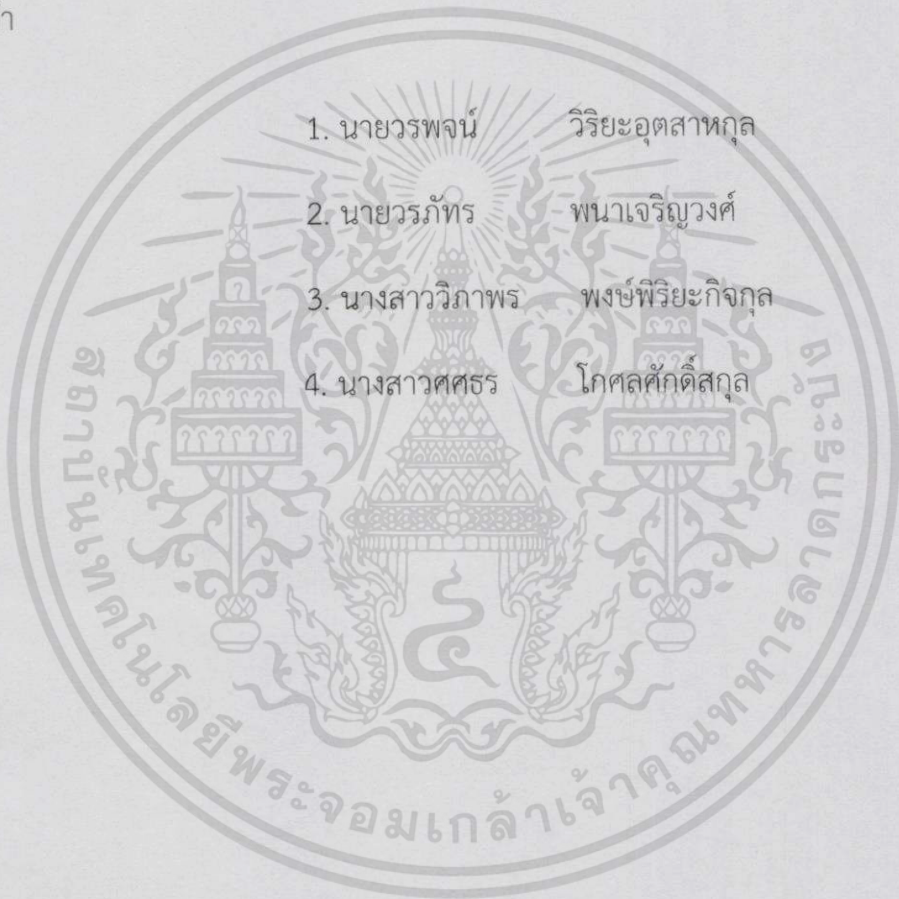
ปริญญาโทปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การสร้างแบบจำลองเครื่องปรับอากาศที่สามารถควบคุมกำลังรีแอกทีฟ

ผู้จัดทำ



1. นายวรพจน์ วิริยะอุตสาหกุล

2. นายวรภัทร พนาเจริญวงศ์

3. นางสาววิภาพร พงษ์พิริยะกิจกุล

4. นางสาวศศธร โทศลศักดิ์สกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.วรวรรณ นาคะวิโร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การจำลองการควบคุมเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมกำลังรีแอกทีฟ

นายวรพจน์ วิริยะอุตสาหกุล  
นายวรภัทร พนาเจริญวงศ์  
นางสาววิภาพร พงษ์พิริยะกิจกุล  
นางสาวศศธร โกศลศักดิ์กุล  
ดร.วรวรรณ นาคะวิโร อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2557

### บทคัดย่อ

เนื่องจากแนวโน้มยอดขายของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่มีจำนวนมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์กลายเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าพื้นฐานแทนที่เครื่องปรับอากาศแบบเก่า และนอกเหนือไปจากความสามารถในการประหยัดพลังงานแล้ว อุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ภายในเครื่องปรับอากาศยังมีศักยภาพในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ โดยการควบคุมกระแสแบบแยกส่วนในกรอบอ้างอิง  $dq$  จากความสามารถนี้ จะสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ในการรักษาอุณหภูมิ และกำลังรีแอกทีฟแยกกันได้

ปริญญานิพนธ์นี้ จึงทำการสร้างแบบจำลองและศึกษาการควบคุมเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ เพื่อที่สามารถรักษาความเย็นได้ตามที่ต้องการและในขณะเดียวกันสามารถควบคุมกำลังรีแอกทีฟเพื่อให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าที่ดีขึ้น เพื่อลดกำลังสูญเสียลงได้ หมายถึงการลดค่าไฟฟ้าในส่วนที่ไม่จำเป็น ลดกำลังสูญเสียของหม้อแปลงและสายไฟฟ้างลง ทำให้หม้อแปลงจะมีกำลังเหลือไปจ่ายโหลดอื่นเพิ่มเติมได้ ผลจากแบบจำลองที่ได้คือผลกระทบต่อความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายในขึ้นกับอุณหภูมิที่ต้องการรักษาในห้องและอุณหภูมิภายนอก โดยมีข้อจำกัดคือกระแสพิคก์ของอุปกรณ์

# Simulation of Inverter Air Conditioner Control for Controlling Reactive Power

Mr.Worapoj Viriyautsahakul  
Mr.Worapat Panacharoenwong  
Ms.Wipaporn Pongpiriyakijkul  
Ms.Sasatorn Kosolsaksakul  
Dr.Worawat Nakawiro Advisor  
Year 2014

## ABSTRACT

With significantly increasing selling volume, inverter air conditioners a basic electrical appliance in households. Besides energy saving capability, inverter can also control reactive power in area by using dq-axis theory. It separates current into 2 parts that enable simultaneous control of active power and reactive power at the same time. Active power is used for temperature maintenance in area and reactive power for power factor controlling.

This project designs a simulation of an inverter air conditioner to maintain comfortable temperature and control reactive power to improve power factor of area. Power factor improvement can reduce loss in transformer and line so power that be saved can be used for others load. Simulation results carried out by MATLAB/SIMULINK showed that reactive power controlled ability up to outside temperature, inside temperature and rated current of equipment.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำ คำปรึกษา ที่คอยชี้แนะแนวทางและเอาใจใส่ดูแลเป็นอย่างดีรวมถึงความช่วยเหลือสำหรับการ ปรับปรุง แก้ไขปริญญาานิพนธ์ จากดร.วรวรรณ นาคะวิโร และขอขอบพระคุณรศ.ดร.อิสระชัย งามทร สำหรับความช่วยเหลือทางด้านห้องสำหรับทำปริญญาานิพนธ์และเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับ การทำงาน จาก

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือ อบรม สั่งสอนให้ความรู้แก่ศิษย์ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน อีกทั้งให้ความช่วยเหลือทางด้านข้อมูล เพื่อนำ ความรู้ทั้งหมดมาทำการประยุกต์ใช้ในการทำปริญญาานิพนธ์ และขอขอบพระคุณคุณธนพนธ์ การัญญิม ที่เป็นที่ปรึกษาและให้คำแนะนำในการทำปริญญาานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดที่ทำให้มีชีวิตที่ดีในวันนี้ คือ บิดา มารดาที่เคารพรักอย่างยิ่ง ที่คอยเลี้ยงดู เกื้อหนุนและเป็นกำลังใจสำคัญที่ผลักดันมาจนถึงทุกวันนี้ พร้อมทั้งให้การศึกษามาจนถึงทุกวันนี้ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

คุณค่าและประโยชน์อันทั้งมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบแต่ผู้มี พระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการโครงการ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เครื่องปรับอากาศ (Air Conditioner)	4
2.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor)	6
2.3 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	7
2.3.1 IGBT (Insulated-Gate Bipolar Transistor)	7
2.3.2 Diode	8
2.4 ทฤษฎีทางไฟฟ้า	9
2.4.1 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า	9
2.4.2 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor)	10
2.5 การควบคุมกำลังไฟฟ้า	10
2.5.1 คอนเวอร์เตอร์ (Converter)	10

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.2 Vector Control	15
2.6 การควบคุมมอเตอร์	16
2.6.1 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)	16
2.6.2 Scalar Control หรือ v/f Control	17
<b>บทที่ 3 การออกแบบ</b>	<b>20</b>
3.1 ปัญหาทดสอบ	20
3.2 แบบจำลองเครื่องปรับอากาศ	21
3.2.1 Block diagram การควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายใน	21
3.2.2 Block diagram การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor)	23
3.2.3 Block Diagram ชุดควบคุม	25
3.3 การจำลองสภาพอุณหภูมิภายนอก	26
3.4 การจำลองสภาพพื้นที่	26
3.5 อุณหภูมิที่มนุษย์รู้สึกสบาย	27
3.6 การสร้างรูปแบบการทดลอง	28
3.6.1 รูปแบบเน้นการรักษาอุณหภูมิ	28
3.6.2 รูปแบบเน้นการควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายใน	28
3.6.3 รูปแบบที่ควบคุมทั้งการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและรักษาอุณหภูมิ	28
<b>บทที่ 4 ผลการศึกษา</b>	<b>29</b>
4.1 ผลจากการทดลองการทำงานของแบบจำลอง	29
4.1.1 กรณีที่ 1 ผลจากการจำลองการทำงานที่รักษาอุณหภูมิเป็นหลัก	29
4.1.2 กรณีที่ 2 ผลจากการจำลองการทำงานที่ควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายในเป็นหลัก	31
4.1.3 กรณีที่ 3 ผลจากการทำงานที่ควบคุมทั้งการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและรักษาอุณหภูมิ	32

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลจากการเปรียบเทียบการทำงานทั้ง 3 กรณี	34
4.3 ผลจากการเปรียบเทียบการกินกระแสของอุปกรณ์จากแหล่งจ่าย	35
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	<b>37</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง	37
5.2 ข้อเสนอแนะ	37
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>38</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>39</b>
ภาคผนวก ก บทความทางวิชาการ	39
ภาคผนวก ข ข้อมูลเครื่องปรับอากาศ	44
ภาคผนวก ค ข้อมูลอุณหภูมิ	46
ภาคผนวก ง ข้อมูลผลการทดลอง	49
<b>ประวัติผู้เขียน</b>	<b>55</b>

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของเครื่องทำความเย็น	5
2.2 การทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	6
2.3 Torque-Speed Curve และ Power-Speed Curve	7
2.4 IGBT	7
2.5 Diode	8
2.6 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า	10
2.7 คอนเวอร์เตอร์และวงจรควบคุมกำลังไฟฟ้า	10
2.8 การเรียงกระแสของคอนเวอร์เตอร์	11
2.9 วงจรสมมูลของแหล่งจ่าย	12
2.10 วงจรสมมูลของแหล่งจ่าย ในองค์ประกอบ dq	13
2.11 Phase Lock Loop inverse Park's transform	13
2.12 การแปลงแรงดันและกระแสให้อยู่ในองค์ประกอบในแกน dq	14
2.13 การควบคุมแบบ Vector Control	15
2.14 Phasor ของกระแสและแรงดันในองค์ประกอบ dq	15
2.15 อินเวอร์เตอร์และวงจรควบคุมมอเตอร์	17
2.16 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	17
3.1 แบบจำลองเครื่องปรับอากาศ	20
3.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์	21
3.3 ควบคุมแรงดัน DC-Link และกำลังรีแอคทีฟ	21
3.4 การหาขนาดของแรงดันในแกน d และมุมของแรงดัน	22
3.5 การแปลงกระแสให้เป็น 2 เฟส	22
3.6 การแปลงกระแสให้อยู่ในแกน d และแกน q	22
3.7 close loop control แบบ Vector Control	23
3.8 PWM Modulation สำหรับวงจรคอนเวอร์เตอร์	23
3.9 วงจรอินเวอร์เตอร์และมอเตอร์เหนี่ยวนำ	23
3.10 วงจรควบคุมอินเวอร์เตอร์	24
3.11 การควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามอุณหภูมิที่ชุดควบคุมสั่งงาน	24
3.12 การควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำ	25
3.13 PWM Modulation สำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์	25

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 ชุดควบคุมการจ่ายไฟฟ้ารีแอกทีฟและอุณหภูมิภายในบ้าน	26
3.15 อุณหภูมิภายนอก 24 ชม.	26
3.16 แบบจำลองพื้นที่	27
3.17 กราฟความสลายระหว่างอุณหภูมิและความชื้น	27
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการควบคุมกำลังรีแอกทีฟกับเวลาการณิรักษาอุณหภูมิ	29
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาการณิรักษาอุณหภูมิ	30
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังกับเวลาการณิรักษาอุณหภูมิ	30
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรีแอกทีฟกับเวลาการณิรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ	31
4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาการณิรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ	31
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังกับเวลาการณิรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ	32
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการควบคุมกำลังรีแอกทีฟกับเวลาการณิรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและอุณหภูมิ	33
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาการณิรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและอุณหภูมิ	33
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังกับเวลาการณิรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและอุณหภูมิ	34
4.10 กราฟเปรียบเทียบการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและอุณหภูมิในการควบคุมแบบต่างๆ	35
4.11 กราฟปริมาณกระแสจากแหล่งจ่ายที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส โดยปรับการควบคุมกำลังรีแอกทีฟเป็นค่าต่าง	35
ง.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสในแกน d และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง	50
ง.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสในแกน q และกำลังรีแอกทีฟที่ได้จากการทดลอง	50
ง.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในบ้าน, กระแสในแกน d และอุณหภูมิภายนอกที่ได้จากการทดลอง	51

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินการ	3
ข.1 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศที่ใช้พลังงานในการทำความเย็นประมาณ 3,000 W	45
ค.1 อุณหภูมิ ณ เวลาต่างๆใน 1 วันของวันที่ 14 เมษายน 2558 ที่สถานีตรวจวัดสภาพอากาศพัฒนาการ	47
ง.1 ผลการทดลองการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ 528 Var	51
ง.2 ผลการทดลองการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ 1,056 Var	51
ง.3 ผลการทดลองการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ 1,584 Var	52
ง.4 ผลการทดลองการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ 2,112 Var	52
ง.5 ผลการทดลองการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ 2,640 Var	52
ง.6 ผลการทดลองเมื่อตั้งอุณหภูมิ 16 องศาเซลเซียสและการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ 2,400Var	53
ง.7 ผลการทดลองเมื่อตั้งอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสและการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ 2,400Var	53
ง.8 ผลการทดลองเมื่อตั้งอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสและการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ 2,400Var	53
ง.9 ผลการทดลองเมื่อตั้งอุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียสและการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ 2,400Var	54
ง.10 ผลการทดลองเมื่อตั้งอุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียสและการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ 2,400Var	54
ง.11 ผลการทดลองเมื่อตั้งอุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียสและการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ 2,400Var	54

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าของประเทศเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ จากการเติบโตทางเศรษฐกิจ และจากการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม หรือก็คือเครื่องจักรขนาดใหญ่ ซึ่งส่วนใหญ่ในภาคอุตสาหกรรมมีการใช้มอเตอร์เป็นโหลดหลัก เครื่องจักรเหล่านี้มีความต้องการใช้กำลังรีแอกทีฟสูง ทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนกำลังรีแอกทีฟในระบบแรงดันปานกลาง อีกทั้งการเพิ่มขึ้นของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว (Distributed Generator) หรือก็คือแหล่งกำเนิดไฟฟ้าประเภทพลังงานทดแทนเข้าสู่โครงข่ายไฟฟ้าเช่น เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ กังหันลม เชื้อน เป็นต้น แหล่งกำเนิดไฟฟ้าเหล่านี้ เป็นแหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้าที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าคงที่ แต่การจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบที่ตำแหน่งใด ทำให้แรงดันที่ตำแหน่งนั้นสูงขึ้นได้ ถ้าแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำจะดึงกำลังรีแอกทีฟออกจากระบบในขณะที่จ่ายกำลังไฟฟ้า จึงนำไปสู่ปัญหาภายในระบบส่งกำลังไฟฟ้าเช่น เกิดความสูญเสียในระบบจำหน่ายที่มากขึ้น ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ เกิดความ ไม่เสถียรของแรงดัน และความไม่มีเสถียรภาพของระบบ เป็นต้น

เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์เป็นเทคโนโลยีที่ได้พัฒนาขึ้นมา ซึ่งมีแนวโน้มการใช้เพิ่มมากขึ้นในอนาคต เนื่องจากราคาของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์มีค่าลดลงมากเมื่อเทียบกับสมัยก่อน และค่าไฟฟ้ามียูราคาที่สูงขึ้น จึงทำให้เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์เป็นหนึ่งในทางเลือกที่ดีสำหรับผู้บริโภค เพราะประหยัด เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์มีคุณสมบัติเด่น คือมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นสมองกลควบคุมความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ โดยเมื่อทำงานจนลดอุณหภูมิลงถึงค่าที่ต้องการ เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์จะไม่ทำการตัดการทำงาน แต่จะใช้การควบคุมความถี่โดยอินเวอร์เตอร์เพื่อลดการทำงานของมอเตอร์ลงแทน จากคุณสมบัติการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ โดยการควบคุมความถี่ของไฟฟ้านั้น ทำให้เครื่องปรับอากาศสามารถควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายในได้

จากปริมาณการใช้เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่เพิ่มมากขึ้นนี้เอง ปรวิญญาณินท์ นี้ได้นำเสนอเทคโนโลยีเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ซึ่งสามารถควบคุมกำลังรีแอกทีฟได้ จึงนับเป็นเทคโนโลยีทางเลือกซึ่งไม่ใช่เพียงแค่ประหยัดพลังงานเท่านั้น แต่ทำให้เราสามารถควบคุมตัวประกอบกำลังได้

โดยในปฏิญญาพันธบัตรประกอบด้วย ส่วนที่ 1 ศึกษาแบบจำลองการทำงานของเครื่องปรับอากาศและวงจรอินเวอร์เตอร์ ส่วนที่ 2 ออกแบบแบบจำลองเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่สามารถควบคุมกำลังรีแอกทีฟได้ ส่วนที่ 3 ศึกษาผลของการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ และความสัมพันธ์ของกำลังรีแอกทีฟต่ออุณหภูมิภายในและภายนอกบ้าน

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาและออกแบบแบบจำลองเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่สามารถควบคุมกำลังรีแอกทีฟเพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลังได้
2. เพื่อหาความสามารถจากการควบคุมกำลังรีแอกทีฟเพื่อควบคุมตัวประกอบกำลังที่สภาพแวดล้อมและจุดการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่แตกต่างกัน

### 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. แบบจำลองนี้ออกแบบเพื่อใช้สำหรับห้องขนาด 300 ลูกบาศก์เมตร
2. พิจารณาความสามารถในการรักษาอุณหภูมิในขณะที่ควบคุมกำลังรีแอกทีฟ
3. บังคับภายนอกที่ส่งผลต่อการทดลอง คือ อุณหภูมิภายนอกเพียงอย่างเดียว

### 1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ศึกษาเวกเตอร์คอนโทรล (Vector Control) เพื่อควบคุมกำลังรีแอกทีฟ
2. ศึกษาการควบคุมแรงดันต่อความถี่ที่คงที่ (v/f control) เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการ
3. ศึกษาผลกระทบของการควบคุมกำลังรีแอกทีฟต่ออุณหภูมิที่เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์สามารถทำได้

## 1.5 แผนการดำเนินงาน

### ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย	พ.ค.
1. ศึกษาการทำงานของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์และโมเดล Matlab Simulink ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ										
2. ศึกษา Scalar Control และ Vector Control										
3. ออกแบบแบบจำลองวงจรคอนเวอเตอร์ วงจรอินเวอร์เตอร์และโมเดลบ้าน										
4. ประกอบแบบจำลอง (Matlab Simulink)										
5. ศึกษาผลการทดลองการควบคุมกำลังรีแอคทีฟและอุณหภูมิภายในบ้านขณะใช้ฟังก์ชันอุณหภูมิภายนอกคงที่										
6. หาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายนอกที่ส่งผลต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์										
7. ทดลองเปลี่ยนฟังก์ชันของอุณหภูมิภายนอกให้สอดคล้องกับภูมิอากาศประเทศไทยใน 1 วัน										
8. เก็บผลการทดลองและทำรายงาน										
9. สรุปและนำเสนอผลการทดลอง										

### 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการโครงการ

1. สามารถควบคุมกำลังรีแอคทีฟของระบบภายในจากผู้ใช้ไฟรายย่อยได้
2. สามารถรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า เมื่อแรงดันไฟฟ้าในระบบลดลง
3. ศึกษาผลการทดลองการควบคุมกำลังรีแอคทีฟเพื่อใช้เป็นแนวทางการทฮาร์ดแวร์

ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะเป็นการกล่าวถึงทฤษฎีที่ต้องใช้สำหรับการประกอบแบบจำลองเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ซึ่งต้องอาศัยหลายทฤษฎีร่วมกัน อธิบายได้ดังนี้

### 2.1 เครื่องปรับอากาศ (Air Conditioner)

เครื่องปรับอากาศเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ทำงานโดยใช้หลักการถ่ายเทความร้อน กล่าวคือ เมื่อมีการถ่ายเทความร้อนออกไปข้างนอกอากาศในห้องย่อมจะมีอุณหภูมิลดลง โดยที่อยู่อาศัยทั่วไปมักเป็นเครื่องปรับอากาศแบบ Split type ขนาดของเครื่องปรับอากาศมีหน่วยเป็น Btu ต่อ ชั่วโมง (Btu/hr) โดย Btu คือหน่วยที่ใช้วัดปริมาณความร้อน โดยที่ความร้อน 1 Btu คือปริมาณความร้อนที่ทำให้ น้ำ 1 ปอนด์ มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 องศาฟาเรนไฮต์ เช่นเครื่องปรับอากาศขนาด 18000 Btu/hr หมายความว่า สามารถดึงความร้อนออกจากห้องปรับอากาศได้ 18000 Btu ใน 1 ชั่วโมง ส่วนประกอบของเครื่องปรับอากาศ [1] มีดังนี้

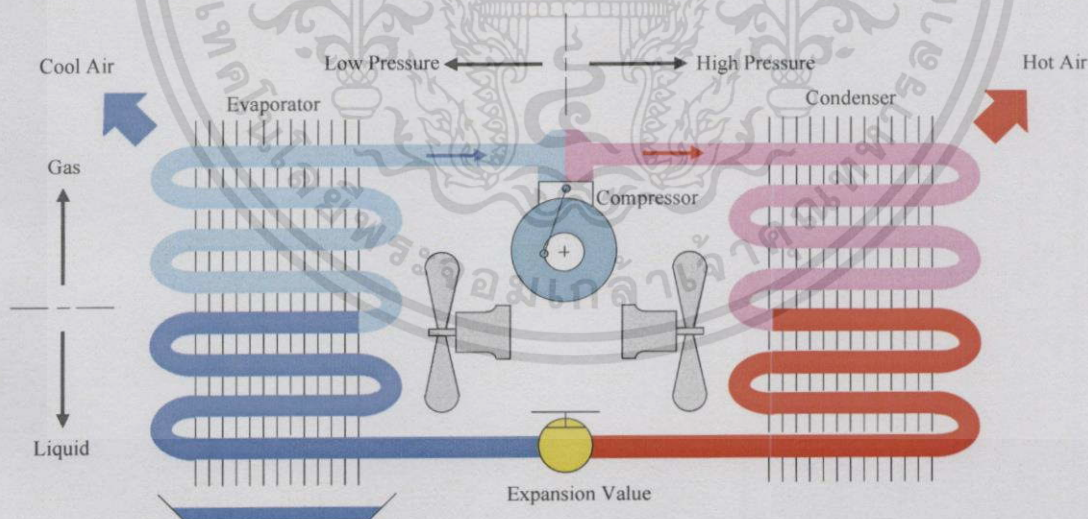
1. คอนเดนเซอร์ (Condenser) ทำหน้าที่ดึงความร้อนออกจากแก๊สที่มีแรงดันสูงและอุณหภูมิสูง และระบายออกไปสู่ภายนอก เพื่อให้ไอของสารทำความเย็นควบแน่นกลายเป็นของเหลวที่มีความดันสูงและอุณหภูมิสูง
2. ท่อพักน้ำยาเหลว (Receiver) ทำหน้าที่พักสารทำความเย็นที่เป็นของเหลวอุณหภูมิสูงและความดันสูงจากคอนเดนเซอร์ ก่อนที่จะถูกส่งไปยัง เอกซ์แพนชันวาล์ว
3. เอกซ์แพนชันวาล์ว (Expansion Valve) ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นก่อนเข้า อีวาพอเรเตอร์ ซึ่งทำงานโดยการลดพื้นที่หน้าตัดลง ทำให้มีความดันลดต่ำลงจนสามารถระเหยเป็นไอได้ที่อุณหภูมิต่ำ ก่อนจะส่งผ่านไปสู่อีวาพอเรเตอร์
4. อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) ทำหน้าที่โดยรับสารทำความเย็นจากเอกซ์แพนชันวาล์ว และดึงความร้อนจากอากาศภายในห้อง เมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่านบริเวณแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้อุณหภูมิจากอากาศรอบๆ ลดลง และสารทำความเย็นจะอยู่ในรูปแก๊สอุณหภูมิต่ำและความดันต่ำ
5. คอมเพรสเซอร์ (Compressor) คืออุปกรณ์เพิ่มความดันของสารทำความเย็นที่อยู่ในรูปของไอ จะดูดสารทำความเย็นอุณหภูมิต่ำและความดันต่ำจากอีวาพอเรเตอร์อัดให้มีอุณหภูมิสูงและความดันสูงพร้อมจะควบแน่นเป็นของเหลวเมื่อมีการถ่ายเทความร้อน
6. ท่อลิกวิด (Liquid Line) เป็นท่อทางเดินของสารทำความเย็น อยู่ระหว่างท่อพักน้ำยาเหลวและเอกซ์แพนชันวาล์ว สารทำความเย็นจะอยู่ในรูปของเหลวความดันสูงและอุณหภูมิสูง
7. ท่อซักชั่น (Suction Line) เป็นท่อเดินของสารทำความเย็น อยู่ระหว่างอีวาพอเรเตอร์กับทางดูดของคอมเพรสเซอร์ น้ำยาสถานะแก๊ส อุณหภูมิต่ำและความดันต่ำจากอีวาพอเรเตอร์จะถูกดูดผ่านท่อซักชั่นไปยังคอมเพรสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ท่อดิสชาร์จ (Discharge Line) เป็นท่อเดินของสารทำความเย็น อยู่ระหว่างท่อทางอัดของคอมเพรสเซอร์กับคอนเดนเซอร์ น้ำยาในสถานะแก๊สจะถูกคอมเพรสเซอร์อัดให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น กลายเป็นของเหลวที่มีความดันและอุณหภูมิสูง

หลักการการทำงานของเครื่องปรับอากาศ เริ่มต้นจากเอกซ์แพนชันวาล์ว สารทำความเย็นสถานะเหลวเคลื่อนไปสู่อีวาพอเรเตอร์ ซึ่งเอกซ์แพนชันวาล์วจะลดความดันของสารทำความเย็นเหลวให้มีความดันต่ำลงจนสามารถระเหยเปลี่ยนสถานะกลายเป็นแก๊สโดยการดึงปริมาณความร้อนในอุณหภูมิต่างๆสารทำความเย็นจะอยู่ในรูปแก๊สอุณหภูมิต่ำและความดันต่ำ ในขณะที่สารทำความเย็นเหลวภายในอีวาพอเรเตอร์ระเหยตัวเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊ส จะดึงปริมาณความร้อนจากอากาศโดยรอบ ทำให้อากาศโดยรอบมีอุณหภูมิต่ำลง และมีการนำฉนวนกันความร้อน ห่อหุ้มบริเวณแลกเปลี่ยนความร้อนที่อีวาพอเรเตอร์ไว้ การหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนส่งผลให้ความร้อนภายในและภายนอกไม่ส่งผลถึงกัน อากาศในบริเวณแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำการแลกเปลี่ยนความร้อนได้อย่างเต็มที่

หลังจากนั้น สารทำความเย็นสถานะแก๊สอุณหภูมิต่ำและความดันต่ำจะเคลื่อนผ่านท่อซิกแซกเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ คอมเพรสเซอร์จะทำการอัดสารทำความเย็นเพื่อเพิ่มความดันและเพิ่มอุณหภูมิ หลังจากนั้นสารทำความเย็นจะอยู่ในรูปแก๊สความดันสูงและอุณหภูมิสูงออกจากคอมเพรสเซอร์ผ่านท่อดิสชาร์จแล้วเข้าสู่คอนเดนเซอร์ โดยคอนเดนเซอร์จะดึงอุณหภูมิออกจากสารทำความเย็นและเปลี่ยนเป็นสถานะของเหลวอีกครั้ง และนำไปพักที่ท่อพักน้ำยาเหลว ก่อนที่จะส่งวนไปที่เอกซ์แพนชันวาล์วโดยผ่านท่อลิควิดอีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของเครื่องทำความเย็น

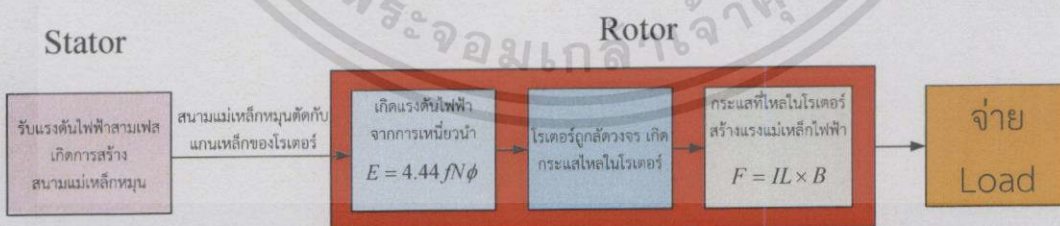
## 2.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor)

มอเตอร์เหนี่ยวนำ [2] เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลโดยอาศัยทฤษฎีการหมุนของสนามแม่เหล็ก โดยแบ่งโครงสร้างเป็น 2 ส่วนหลักคือส่วนที่หยุดนิ่ง (Stator) และส่วนที่หมุน (Rotor) เป็นอุปกรณ์หลักตัวหนึ่งในเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์

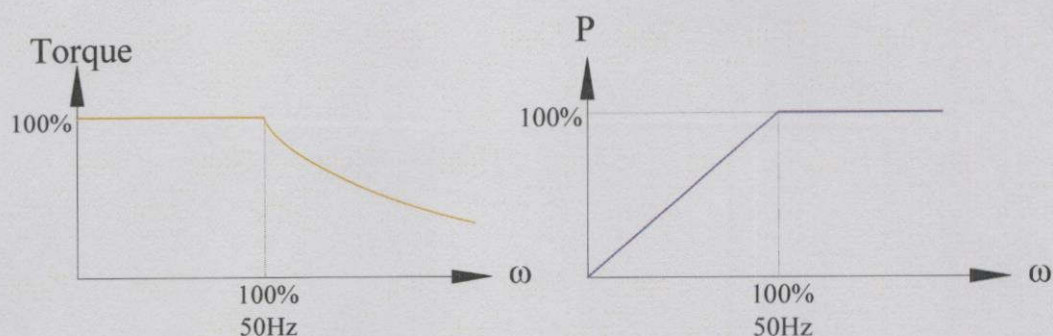
โครงสร้างของสเตเตอร์ ประกอบด้วยขดลวดอาร์เมเจอร์แบบสามเฟส เมื่อมีการรับกระแสสามเฟสจากแหล่งจ่ายภายนอกจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนด้วยความเร็วเชิงโคโรนัส ความเร็วนี้ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าและจำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์

โครงสร้างโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสจะมีลักษณะแท่งตัวนำวางเรียงอยู่ในแนวตามความยาวของโรเตอร์และแท่งตัวนำ แล้วมีการเชื่อมแท่งตัวนำแท่งเข้าด้วยกันด้วยแท่งตัวนำรูปวงแหวนบริเวณหัวท้ายของปลายทั้งสองข้าง โรเตอร์ลักษณะนี้เรียกว่าโรเตอร์ชนิดกรงกระรอก (Squirrel-Cage Rotor) และ หากตัวนำในโรเตอร์เป็นขดลวดพันกันและมีการลัดวงจรถึงกัน จะเรียกโรเตอร์ชนิดนี้ว่าโรเตอร์ชนิดพันขดลวด (Wound Rotor)

แท่งตัวนำในโรเตอร์จะตัดผ่านกับสนามแม่เหล็กหมุนที่สร้างจากอาร์เมเจอร์ จะเหนี่ยวนำให้แท่งตัวนำเกิดแรงดันไฟฟ้า และเนื่องจากแท่งตัวนำมีการลัดวงจรจึงเกิดกระแสไหลในแท่งตัวนำ กระแสนี้จะทำให้เกิดแรงขึ้นในโรเตอร์ ทำให้โรเตอร์หมุนด้วยความเร็วโรเตอร์ ซึ่งความเร็วโรเตอร์นี้จะไม่เท่ากับความเร็วเชิงโคโรนัสเพราะเนื่องจากความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างโรเตอร์และสนามแม่เหล็กเป็น 0 จะไม่เกิดการเหนี่ยวนำขึ้น ในขณะที่โรเตอร์เริ่มหมุนเป็นช่วงที่มีการเหนี่ยวนำมากที่สุด หลังจากนั้น ค่าการเหนี่ยวนำของโรเตอร์จะเปลี่ยนไปตามความเร็วโรเตอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับภาระทางกลอีกทีหนึ่ง หากมอเตอร์รับภาระทางกลมาก จะทำให้ความเร็วโรเตอร์ตกลง ทำให้โรเตอร์ต้องมีการเหนี่ยวนำมากขึ้นเพื่อที่จะให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และ 2.3



รูปที่ 2.2 การทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ



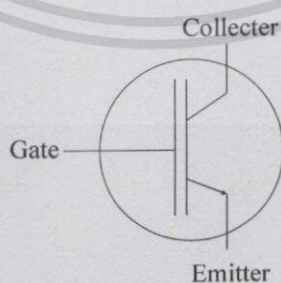
รูปที่ 2.3 Torque-Speed Curve และ Power-Speed Curve

## 2.3 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

คุณลักษณะและการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการสร้างแบบจำลองเครื่องปรับอากาศ ประกอบด้วย IGBT และ Diode

### 2.3.1 IGBT (Insulated-Gate Bipolar Transistor)

IGBT คืออุปกรณ์ทางไฟฟ้ากำลังที่มีประสิทธิภาพและความเร็วในการ switching สูงเป็นส่วนหนึ่งของวงจรรันอินเวอร์เตอร์และคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการควบคุมกำลังไฟฟ้าและกำลังรีแอกทีฟ พัฒนามาจากเทคโนโลยีของทรานซิสเตอร์และมอสเฟต ซึ่งอุปกรณ์ทั้งสองชนิดก็มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป กล่าวคือทรานซิสเตอร์กำลังขณะอยู่ในสภาวะนำกระแสจะมีอัตราการสูญเสียกำลังงานต่ำ มีอัตราแรงดันและขยายกระแสได้สูง แต่ความเร็วในการสวิตซ์ทำงานยังต่ำอยู่ โดยเฉพาะช่วงหยุดนำกระแส จะมีช่วงเวลาที่ยาวกว่า ซึ่งจะเป็นคุณสมบัติที่ตรงข้ามกับเพาเวอร์มอสเฟต จากเหตุผลที่กล่าวมาของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์และเพาเวอร์มอสเฟตจึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ประเภทนี้ จนสามารถได้เปรียบของทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์และมอสเฟตเข้ามารวมไว้ในอุปกรณ์ชนิดใหม่นี้ โดยมีการตั้งชื่อหรือเรียกชื่ออย่างเป็นทางการว่า ไอจีบีที (Insulate-Gate Bipolar Transistor : IGBT) ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 IGBT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1.1 การทำงานของ IGBT

เมื่อชาอคอลเลกเตอร์ได้รับแรงดันเป็นบวกเมื่อเทียบกับชาอิมิตเตอร์ และแรงดันระหว่างขาเกตและชาอิมิตเตอร์มีค่าเกินกว่า  $V_{gs}$  จะทำให้กระแสสามารถไหลผ่านจากชาอคอลเลกเตอร์ไปสู่ชาอิมิตเตอร์ได้ และผลจากความต้านทานของอุปกรณ์ที่ลดลงทำให้แรงดันตกคร่อมขณะทำการนำกระแสมีค่าลดต่ำลงด้วย จึงมีพลังงานที่สูญเสียที่อุปกรณ์ลดลง และยังสามารถทำงานที่ความถี่สูงได้อีกด้วย

### 2.3.2 Diode

ไดโอดเป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวงจรรีเลย์เตอร์และคอนเวอร์เตอร์ ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภท P และสารกึ่งตัวนำประเภท N โดยด้าน P เป็นแอนโนด (Anode) ด้าน N เป็นแคโทด (Cathode) ดังนั้นไดโอดจึงมีขาใช้งาน 2 ขา คือ แอนโนด ใช้ตัวย่อว่า A และแคโทด ใช้ตัวย่อว่า K ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 Diode

#### 2.3.2.1 การทำงานของไดโอด

ไดโอดจะทำงานได้ต้องต่อแรงดันไฟให้กับขาของไดโอด การต่อแรงดันไฟให้กับไดโอด เรียกว่า การให้ไบแอส (Bias) การไบแอสไดโอดมีอยู่ 2 วิธี คือ

1. การไบแอสตรงหรือเรียกว่า ฟอว์เวิร์ดไบแอส (Forward Bias) การให้ไบแอสแบบนี้คือ ต่อขั้วบวกของแรงดันไฟตรงเข้ากับแอนโนดและต่อขั้วลบของแรงดันเข้ากับแคโทด การต่อไบแอสตรงให้กับไดโอดจะทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวไดโอดได้ง่าย

2. การไบแอสกลับหรือเรียกว่า รีเวิร์สไบแอส (Reverse Bias) การให้ไบแอสแบบนี้คือ ต่อขั้วบวกของแรงดันไฟตรงเข้ากับแคโทดและต่อขั้วลบของแรงดันเข้ากับแอนโนด การไบแอสชนิดนี้จะทำให้กระแสไหลผ่านไดโอดได้ยาก

#### 2.3.2.2 การนำไดโอดไปใช้งาน

จากคุณสมบัติของไดโอดคือ ยอมให้กระแสไฟไหลผ่านได้ทางเดียว ไดโอดจึงใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้หลายอย่างเช่นใช้เปลี่ยนกระแสไฟสลับให้เป็นกระแสไฟตรง ใช้ในวงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟของเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ (Power supply) นอกจากนี้ไดโอดยังทำหน้าที่ป้องกัน

การป้อนแรงดันผิดขั้วและใช้งานต่างๆ ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ การเลือกไดโอดใช้งานต้องเลือกตามคุณสมบัติประจำตัวของไดโอด

## 2.4 ทฤษฎีทางไฟฟ้า

เนื่องจากต้องการจำลองการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ ดังนั้นจึงต้องอาศัยทฤษฎีของกำลังไฟฟ้า ซึ่งว่าด้วยเรื่องของสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า ดังนี้

### 2.4.1 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากระแสสลับนั้น สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ

1. กำลังไฟฟ้า (Real Power) มีหน่วยเป็นวัตต์ (W) หรือ กิโลวัตต์ (kW) กำลังงานในส่วนนี้เกิดจากกระแสไฟฟ้าใช้งาน (Active Current) เป็นกำลังงานที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูปแบบอื่นได้ เช่น เปลี่ยนเป็นความร้อน, แสงสว่างและกำลังทางกล เป็นต้น

$$p = i v \cos \phi \quad (2.1)$$

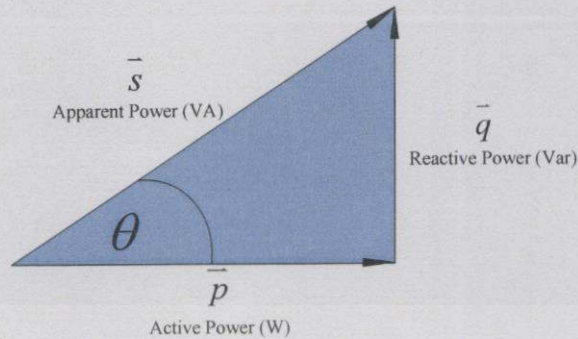
2. กำลังรีแอกทีฟ (Reactive Power) มีหน่วยเป็นวาร์ (Var) หรือ กิโลวาร์ (kVar) กำลังงานในส่วนนี้เกิดจากกระแสไฟฟารีแอกทีฟ (Reactive Current) กำลังรีแอกทีฟนั้นจะมีมุมในลักษณะนำหน้า (Leading) หรือล่าหลัง (Lagging) ขึ้นอยู่กับลักษณะการวางตัวของเวกเตอร์แรงดันและกระแส กำลังงานในส่วนนี้เป็นกำลังงานที่ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูปแบบอื่นได้ แต่อุปกรณ์ที่ทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็กทุกชนิด เช่น หม้อแปลง มอเตอร์และบัลลาสต์ จำเป็นต้องใช้กำลังงานในส่วนนี้สร้างสนามแม่เหล็ก ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะทำให้มุมของกระแสนั้นล่าหลังแรงดัน แต่อุปกรณ์จำพวกตัวเก็บประจุจะทำให้มุมของกระแสนำหน้าแรงดัน

$$q = i v \sin \phi \quad (2.2)$$

3. กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) เป็นผลรวมทางเวกเตอร์ของกำลังงานสองกำลังก่อนหน้านี้นี้ มีหน่วยเป็น โวลต์-แอมป์ (VA) เป็นกำลังงานที่แหล่งจ่าย จ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า มีค่าเท่ากับผลคูณของแรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้าและกระแสในวงจร

$$\vec{S} = \vec{i} \times \vec{v} \quad (2.3)$$

จากที่กล่าวมาข้างต้นนี้ เราสามารถนำมาเขียนสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าได้ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

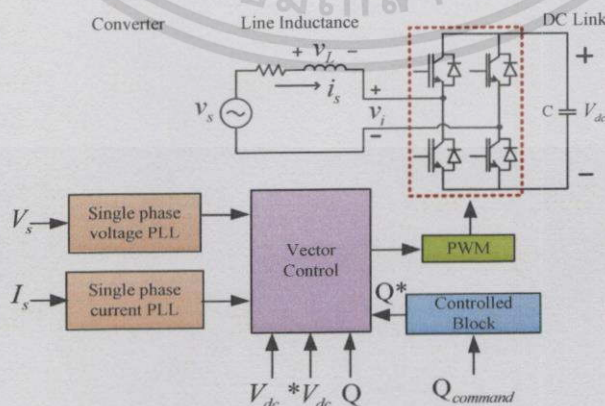
#### 2.4.2 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor)

ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าหรือตัวประกอบกำลัง (Power Factor : pf) คืออัตราส่วนของกำลังงานจริง ต่อ กำลังงานปรากฏในวงจรไฟฟ้าใดๆ มีค่าเท่ากับ  $\cos\theta$  โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 0-1 ค่าตัวประกอบกำลังนี้ยังมีค่าสูงยิ่งดี เนื่องจากถ้าหากตัวประกอบกำลังมีค่าต่ำมากเกินไปจะทำให้เกิดผลกระทบหลายอย่าง เช่น ความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าของหม้อแปลงมีค่าลดลงแม้ว่าค่ากำลังที่ใช้อยู่ในขณะนั้นจะยังไม่เต็มพิกัดก็ตาม และทำให้เกิดความสูญเสียขึ้นตามระบบไฟฟ้า จึงควรทำการปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้มีค่าตัวประกอบกำลังอยู่ในช่วง 0.85 ขึ้นไป

### 2.5 การควบคุมกำลังไฟฟ้า

การควบคุมกำลังไฟฟ้าอาศัยทฤษฎี Vector Control แปลงกระแสและแรงดันให้อยู่ในแกน dq เพื่อควบคุมแรงดันที่ DC-Link กำลังไฟฟ้าและกำลังรีแอกทีฟที่คอนเวอร์เตอร์ โดยการสร้างสัญญาณ PWM ดังแสดงในรูปที่ 2.7

#### 2.5.1 คอนเวอร์เตอร์ (Converter)



รูปที่ 2.7 คอนเวอร์เตอร์และวงจรควบคุมกำลังไฟฟ้า

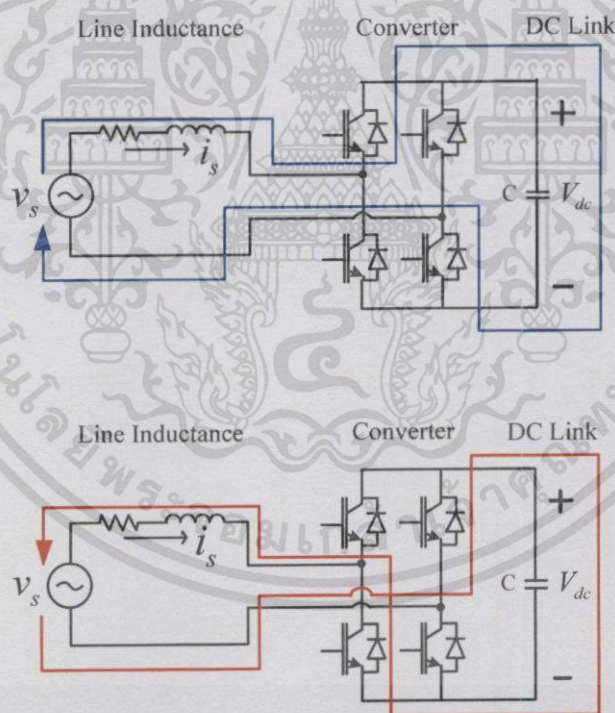
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนเวอร์เตอร์ มีหน้าที่หลัก 2 ประการ คือ

1. ทำหน้าที่เป็นวงจรเรียงกระแส (Rectifier)

วงจรเรียงกระแสคือวงจรที่ทำการเปลี่ยนไฟกระแสสลับ (AC) เป็นไฟกระแสตรง (DC) ซึ่งได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการแปลงความถี่ของไฟกระแสสลับ เนื่องจากเราไม่สามารถแปลงความถี่ค่าหนึ่งของไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นอีกค่าหนึ่งในไฟฟ้ากระแสสลับได้ เราจึงทำการเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรงก่อน ซึ่งไฟฟ้ากระแสตรงนี้ต้องมีค่าที่คงที่สม่ำเสมอ หลังจากนั้นจึงทำการเปลี่ยนความถี่ โดยการสร้างไฟฟ้ากระแสสลับขึ้นมาใหม่ โดยใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งวงจรเรกติไฟเออร์นี้ประกอบด้วย IGBT และ Diode ซึ่งมีการเรียงตัวในรูปแบบวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์เต็มคลื่น

วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์เต็มคลื่นประกอบด้วย IGBT/Diode 4 ตัว ต่อกันดังรูป โดยจะมีการทำงานโดยนำกระแสและหยุดนำกระแสเป็นคู่ๆ ในแต่ละครึ่งคาบเวลา Q1 และ Q4 จะนำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลา และเมื่อหยุดนำกระแส Q2 และ Q3 จะนำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลาที่เหลือ สลับกันไปเรื่อยๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.8

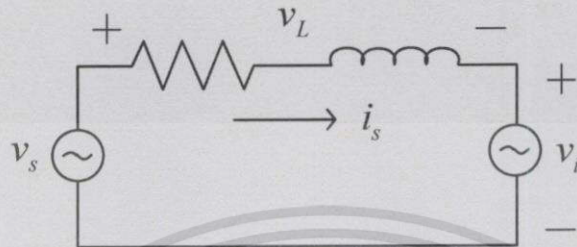


รูปที่ 2.8 การเรียงกระแสของคอนเวอร์เตอร์

## 2. ทำหน้าที่ควบคุมตัวประกอบกำลัง

การควบคุมตัวประกอบกำลังทำได้โดยการควบคุมกำลังไฟฟ้าและกำลังรีแอกทีฟโดยอาศัยทฤษฎี Phase Lock Loop Inverse Park's Transform [3]

จากการวิเคราะห์วงจรสมมูลดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 วงจรสมมูลของแหล่งจ่าย

สมการแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟ

$$v_i = -Ri_s - L \frac{di_s}{dt} + v_s \quad (2.4)$$

แยกองค์ประกอบ  $\alpha\beta$

$$\vec{v}_i = v_{i\alpha} + jv_{i\beta} \quad (2.5)$$

$$\begin{bmatrix} v_{i\alpha} \\ v_{i\beta} \end{bmatrix} = -R \begin{bmatrix} i_{i\alpha} \\ i_{i\beta} \end{bmatrix} - L \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{i\alpha} \\ i_{i\beta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{s\alpha} \\ v_{s\beta} \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

แปลง Park's transform

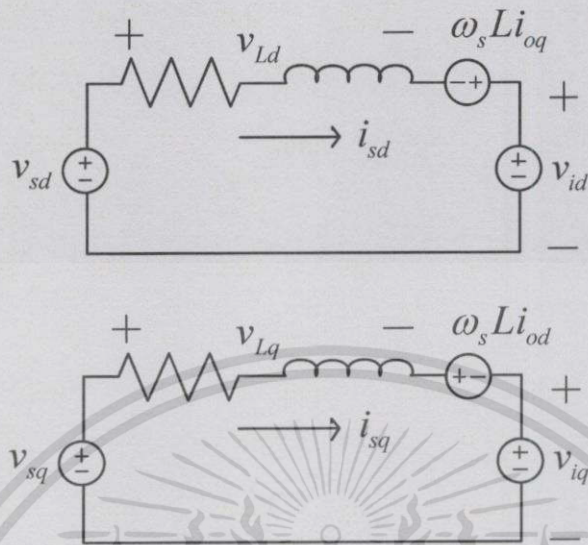
$$\begin{bmatrix} v_{id} \\ v_{iq} \end{bmatrix} = -R \begin{bmatrix} i_{id} \\ i_{iq} \end{bmatrix} - L \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{id} \\ i_{iq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \omega L \\ -\omega L & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{id} \\ i_{iq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{sd} \\ v_{sq} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

$$v_{id} = v_{sd} - v_{Ld} + i_{iq}\omega L \quad (2.8)$$

$$v_{iq} = -v_{Lq} + i_{d}\omega L \quad (2.9)$$

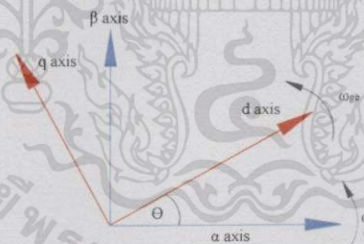
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาเขียนวงจรสมมูลดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 วงจรสมมูลของแหล่งจ่าย ในองค์ประกอบ dq

Phase Lock Loop Inverse Park's Transform ดังแสดงในรูปที่ 2.11

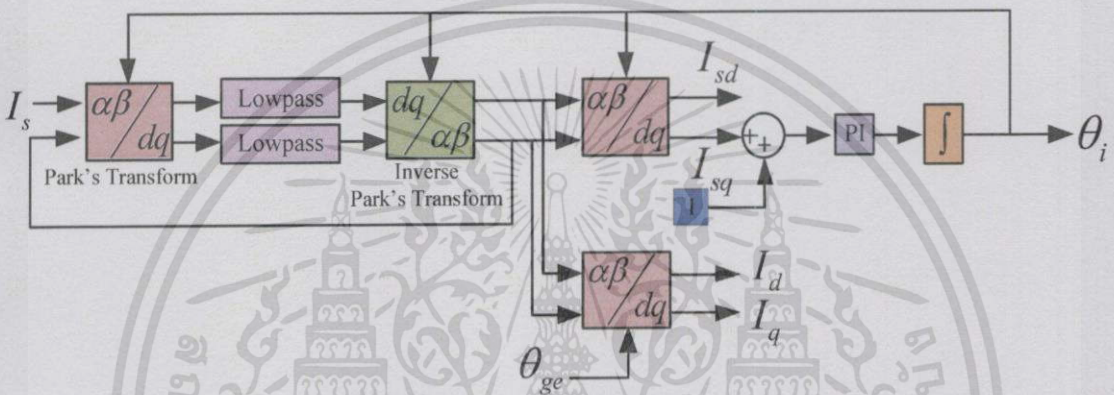
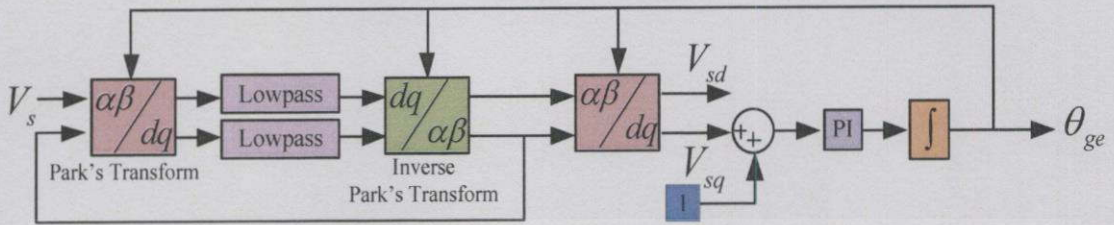


รูปที่ 2.11 Phase Lock Loop Inverse Park's Transform

ทำเพื่อสร้างองค์ประกอบในแกน  $\alpha\beta$  จากองค์ประกอบใดๆ และทำการแปลงให้อยู่ในองค์ประกอบในแกน dq เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การแปลงแรงดันและกระแสให้อยู่ในองค์ประกอบในแกน dq

สมการการสร้างกรอบอ้างอิง  $\alpha\beta$  โดย F แทนองค์ประกอบใดๆ

$$F_\alpha = F_s \sin \theta \tag{2.10}$$

$$F_\beta = F_s \sin \left( \theta - \frac{\pi}{2} \right) \tag{2.11}$$

เมื่อเรามีสมการของตัวแปรใดๆในกรอบอ้างอิง  $\alpha\beta$  แล้ว เราสามารถแปลงกรอบอ้างอิงนี้ ไปสู่กรอบอ้างอิง dq เราเรียกกระบวนการนี้ว่า Park's Transform โดยความเร็วในการหมุนของทั้ง 2 กรอบอ้างอิงนั้น อ้างอิงจากความเร็วเชิงมุมขององค์ประกอบในแกน q

Park's transform equation

$$\begin{bmatrix} Fd \\ Fq \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F\alpha \\ F\beta \end{bmatrix} \tag{2.12}$$

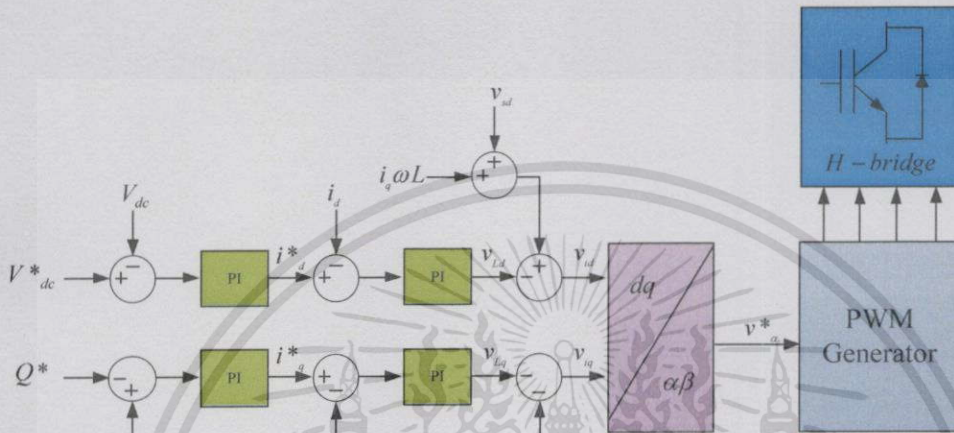
Inverse Park's transform equation

$$\begin{bmatrix} F\alpha \\ F\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Fd \\ Fq \end{bmatrix} \tag{2.13}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 Vector Control

จากการทำ Park's transform ทำให้เราต้องประกอบในแกน dq หลังจากนั้น จะทำการควบคุมแรงดัน ณ DC-Link โดยใช้ข้อประกอบของกระแสในแกน dq ซึ่งเป็นหลักการแบบ Vector Control [4] ดังแสดงในรูปที่ 2.13



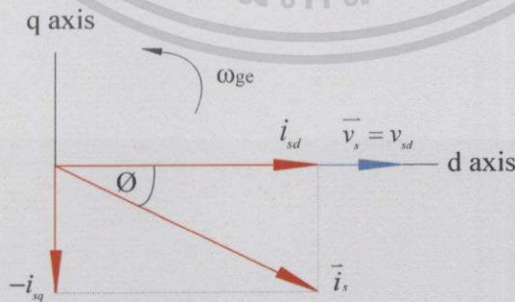
รูปที่ 2.13 การควบคุมแบบ Vector Control

สมการ Vector Control

$$v_{id} = v_{sd} - v_{Ld} + i_q \omega L \tag{2.14}$$

$$v_{iq} = -v_{Lq} + i_d \omega L \tag{2.15}$$

จากการควบคุมกระแสในแกน dq ทำให้เราสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าและกำลังรีแอกทีฟได้ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 Phasor ของกระแสและแรงดันในองค์ประกอบ dq

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการแรงดันจากแหล่งจ่าย และ กระแสที่ไหลเข้าอินเวอร์เตอร์

$$\vec{v}_s = \hat{V}_s \cos(\omega_s t) \quad (2.16)$$

$$\vec{i}_s = \hat{I}_s \cos(\omega_s t - \phi) = \hat{I}_{sd} \cos(\omega_s t) - j\hat{I}_{sq} \sin(\omega_s t) \quad (2.17)$$

พิจารณากระแสที่อยู่ในองค์ประกอบ dq

$$i_{sd} = \hat{I}_s \cos(-\phi) = \hat{I}_s \cos(\phi) \quad (2.18)$$

$$i_{sq} = \hat{I}_s \sin(-\phi) = -\hat{I}_s \sin(\phi) \quad (2.19)$$

เมื่อ  $\hat{V}_s$ ,  $\hat{I}_s$  คือค่าสูงสุดของแรงดันและกระแสที่ออกจากแหล่งจ่าย และ  $\hat{I}_{sd}$ ,  $\hat{I}_{sq}$  คือค่าสูงสุดขององค์ประกอบ dq นำมาพิจารณาสมการกำลังไฟฟ้า

$$p = \hat{V}_s \cos(\omega_s t) \cdot \hat{I}_{sd} \cos(\omega_s t) = \frac{\hat{V}_s}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\hat{I}_s}{\sqrt{2}} \cos \phi \quad (2.20)$$

$$p = \frac{1}{2} v_{sd} i_{sd} \quad (2.21)$$

$$q = -\hat{V}_s \cos(\omega_s t) \cdot \hat{I}_{sq} \sin \omega_s t = -\frac{\hat{V}_s}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\hat{I}_s}{\sqrt{2}} \sin \phi \quad (2.22)$$

$$q = -\frac{1}{2} v_{sd} i_{sq} \quad (2.23)$$

จากสมการจะเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้าและกำลังรีแอกทีฟนั้น สามารถควบคุมได้ผ่านการควบคุมกระแสในองค์ประกอบ dq

## 2.6 การควบคุมมอเตอร์

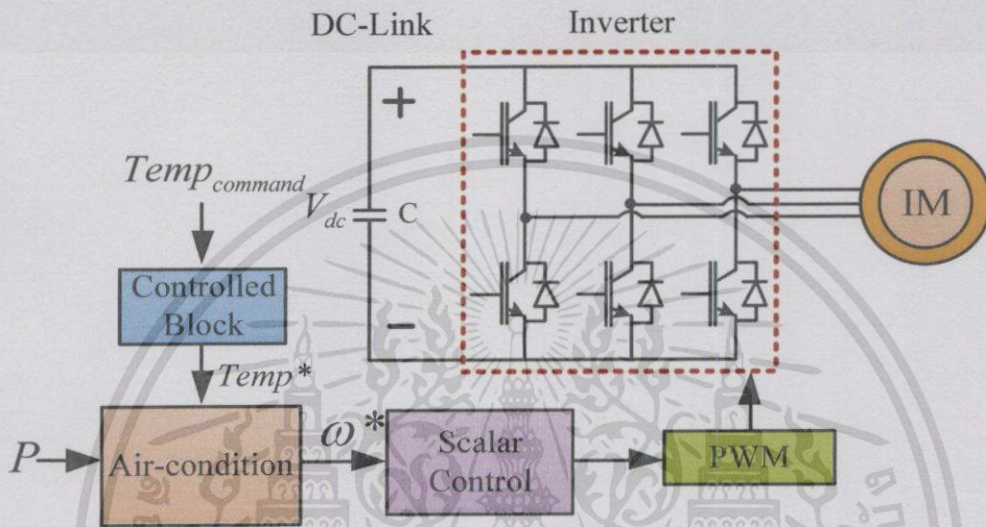
หลักการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำจำเป็นต้องใช้อินเวอร์เตอร์และการควบคุมแบบ Scalar Control หรือ v/f Control เพื่อการรักษาทorque

### 2.6.1 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ คือ อินเวอร์เตอร์จะแปลงไฟกระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับที่สามารถปรับขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยมีชุดวงจรควบคุม (Control Circuit) ที่สร้างจากหลักการ v/f Control ดังแสดงในรูปที่ 2.15

อินเวอร์เตอร์ถูกนำมาใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เช่น เครื่องปรับอากาศ การทำงานของเครื่องปรับอากาศ ระบบเดิมนั้นจะทำงานติดๆ ดับๆ อยู่บ่อยครั้ง ซึ่งสร้างปัญหาเกี่ยวกับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ อีกทั้งยังกินไฟสูงเนื่องจากการสตาร์ทมอเตอร์ จึงได้มีการนำเอาระบบอินเวอร์เตอร์เข้ามาแก้ไข เปลี่ยนจากการ on-off ของมอเตอร์เป็นการเปลี่ยนแปลงความถี่เพื่อรักษาระดับการทำงานของมอเตอร์แทน ทำให้มอเตอร์เครื่องปรับอากาศทำงานต่อเนื่องไม่มีการติด-ดับ เหมือนในระบบเดิม ซึ่ง

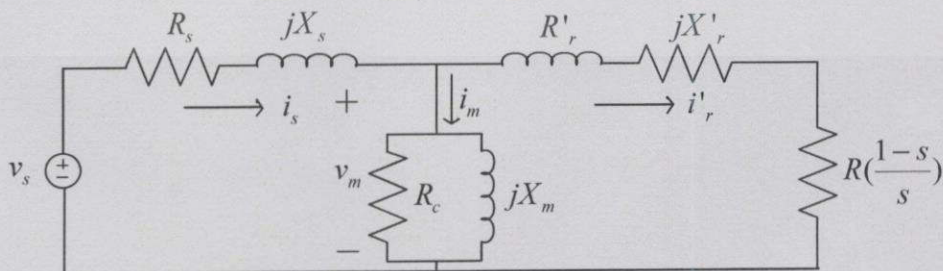
การที่ทำให้มอเตอร์ทำงานต่อเนื่องที่รอบต่ำๆ แทนการตัด จะช่วยประหยัดพลังงาน และค่าไฟฟ้าได้มากกว่าการหยุด และเริ่มเดินใหม่ ซึ่งก็มีหลักการการทำงาน ดังนี้ ขณะที่เข้าสู่สถานะการทำงานแล้ว ชุดอินเวอร์เตอร์จะสั่งให้มอเตอร์ทำงานมากขึ้น (หมุนเร็วขึ้น) โดยการเพิ่มความถี่หรือปรับเปลี่ยน Duty Cycle และขณะสแตนด์บาย หรืออุณหภูมิกังที่ ระบบอินเวอร์เตอร์จะลดการทำงานของมอเตอร์ลง (หมุนช้าลง) แต่ไม่หยุดการทำงานของมอเตอร์ ซึ่งจะช่วยลดกำลังงานที่ใช้นั่นเอง



รูปที่ 2.15 อินเวอร์เตอร์และวงจรควบคุมมอเตอร์

### 2.6.2 Scalar Control หรือ v/f Control

v/f Control เกิดขึ้นเนื่องจาก เมื่อเรานำมอเตอร์ไปขับโหลดใดๆ เราต้องการทำการควบคุมแรงบิด (Torque) ของมอเตอร์ให้สามารถทำการขับโหลดได้ด้วยความเร็วใดๆ ของโรเตอร์ เนื่องจากมอเตอร์จะทำการจ่ายโหลดได้ ณ จุดตัดของ Torque Speed Curve ของมอเตอร์ และ Load Curve เท่านั้น ซึ่งหากจุดตัดนั้นไม่อยู่ในช่วงการทำงานที่เหมาะสมของมอเตอร์ จะทำให้มอเตอร์ทำงานได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เพราะมอเตอร์ควรทำงานที่ใกล้ความเร็วซิงโครนัส จึงจะได้ค่าแรงบิดที่สูง ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำเราสามารถควบคุมแรงบิด (Torque) ได้โดยการควบคุมฟลักซ์แม่เหล็กที่เกี่ยวข้องกับโรเตอร์ ตามสมการดังนี้

$$Torque = k\phi I \quad (2.24)$$

จากสมการแสดงให้เห็นว่า ถ้าหากเราสามารถควบคุมแรงดัน  $v_m$  ให้คงที่ได้ กระแส  $i_m$  จะคงที่เช่นกัน ทำให้แรงบิดนั้นแปรผันตรงกับฟลักซ์แม่เหล็ก และเราสามารถควบคุมฟลักซ์แม่เหล็กได้ตามสมการดังนี้

$$\frac{E}{f} = 4.44 N\phi \quad (2.25)$$

จะเห็นได้ว่า เมื่อ 4.44 และ N เป็นค่าคงที่ เราจะสามารถควบคุมค่าฟลักซ์แม่เหล็ก ( $\phi$ ) ได้โดยการควบคุมแรงดัน (E) หรือก็คือแรงดัน  $v_m$  แต่เนื่องจากหากมีการกระตุ้นสร้างฟลักซ์แม่เหล็กน้อยไป จะทำให้มอเตอร์มีแรงบิดน้อย ทำให้ไม่สามารถทำการขับโหลดได้ แต่ถึงแม้ว่าจะมีการกระตุ้นการสร้างฟลักซ์แม่เหล็กเข้าไปมาก มอเตอร์ก็สามารถสร้างแรงบิดได้ ถึงแม้ค่าๆหนึ่งเท่านั้น และพลังงานที่ใช้ไปในการกระตุ้นฟลักซ์แม่เหล็กนั้นจะกลายเป็นพลังงานสูญเสีย (Loss) เราจึงต้องทำ v/f Control เพื่อให้มีการกระตุ้นสร้างฟลักซ์แม่เหล็กให้คงที่ตลอดเวลา และยังสามารถทำการขับโหลดได้ด้วยความเร็วใดๆของโรเตอร์

สมการ v/f ณ rated frequency

$$\frac{v_s}{\omega} = \frac{v_m}{\omega} \left( \frac{\sqrt{(R_s + X_s + 2X_r')^2 + (X_s - R_s)^2}}{2X_r'} \right) \quad (2.26)$$

สมการ v/f ณ frequency ใดๆ โดย  $k_f = \frac{f}{f_{rated}}$

$$\frac{v_{s,k_f}}{\omega k_f} = \frac{v_{m,k_f}}{\omega k_f} \left( \frac{\sqrt{(R_s + k_f X_s + 2k_f X_r')^2 + (k_f X_s - R_s)^2}}{2k_f X_r'} \right) \quad (2.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ อัตราส่วนของแรงดัน  $v_s$  ณ  $f_{rated}$  ต่อ  $f$  ใดๆ

$$\frac{v_{s,kf}}{v_s} = \left( \frac{\sqrt{(R_s + k_f X'_s + 2k_f X'_r)^2 + (k_f X_s - R_s)^2}}{\sqrt{(R_s + X_s + 2X'_r)^2 + (X_s - R_s)^2}} \right) \quad (2.28)$$

จากสมการนี้ เมื่อเราทำการเปลี่ยนความถี่เพื่อปรับปริมาณการสร้างฟลักซ์แม่เหล็ก เราก็จะได้ค่าแรงดัน  $v_s$  ณ ความถี่ใดๆ ( $v_{s,kf}$ ) จากการทำเช่นนี้ มอเตอร์จะสามารถทำการขับโหลดได้ ที่ความเร็วใดๆ โดยคงค่าแรงบิดที่เหมาะสมไว้ได้ หลังจากนั้นจึงนำแรงดันนี้ ไปทำการสร้าง PWM เพื่อควบคุมการทำงานของ IGBT/Diode เพื่อสร้างแรงดันกระแสสลับสำหรับจ่ายให้กลับมอเตอร์ในที่สุด แต่การควบคุมชนิดนี้ มีข้อเสียที่เราไม่สามารถควบคุม Torque ได้อย่างที่เราต้องการ เนื่องจากมอเตอร์จะทำการสร้าง Torque ที่เหมาะสมกับโหลดนั่นเอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

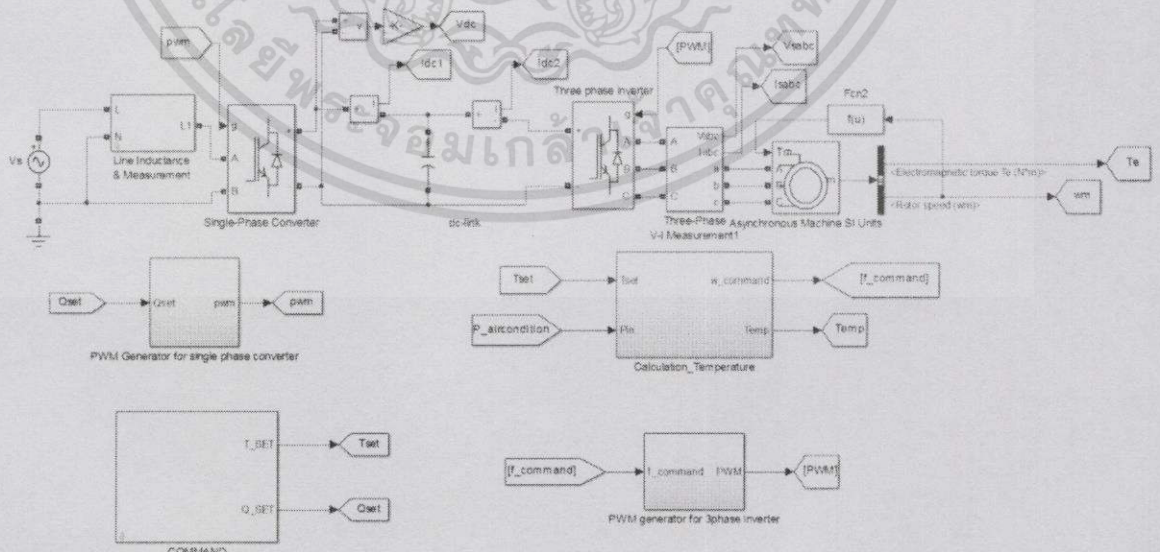
## บทที่ 3 การออกแบบ

ปริญญาบัตรฉบับนี้ได้ออกแบบจำลองเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ซึ่งสามารถควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายในและรักษาอุณหภูมิในขอบเขตความสบายที่มนุษย์รับได้ โดยมีการทดลองการทำงาน 3 รูปแบบ และกำหนดขอบเขตการทดลองโดยใช้ฟังก์ชันอุณหภูมิภายนอกตามลักษณะภูมิอากาศของประเทศไทย

### 3.1 ปัญหาทดสอบ

ในปัจจุบันมีการใช้โหลตมอเตอร์ภายในบ้านและอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้น เพราะประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนา โหลตมอเตอร์ต้องการกำลังรีแอกทีฟไปใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็ก ทำให้กำลังรีแอกทีฟในระบบไฟฟ้าลดลง เป็นผลทำให้สูญเสียพลังงานในระบบไฟฟ้าและเสียค่าใช้จ่ายมาก จึงต้องการรักษาให้ระบบไฟฟ้ามีความเสถียร มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่สูง เพื่อลดการสูญเสียพลังงานในระบบ อีกทั้งมอเตอร์ยังสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพที่ยังคงอยู่ โดยทำให้ระบบที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศไม่รบกวนระบบภายนอก

รูปที่ 3.1 แสดงแบบจำลองเครื่องปรับอากาศที่สามารถควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายในโดยการใช้คอนเวอร์เตอร์ เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งควบคุมการทำงานโดยการใช้ Vector Control และใช้อินเวอร์เตอร์ในการสร้างไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งทำหน้าที่เป็นคอมเพรสเซอร์ในเครื่องปรับอากาศ ทั้งนี้ทำการควบคุมการทำความเย็นของคอมเพรสเซอร์โดยใช้ v/f control



รูปที่ 3.1 แบบจำลองเครื่องปรับอากาศ

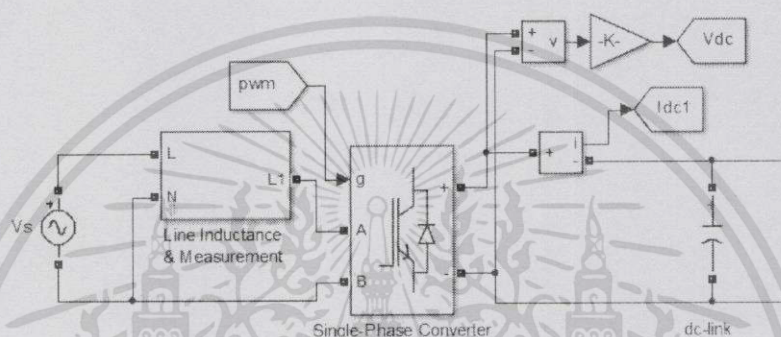
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 แบบจำลองเครื่องปรับอากาศ

จากที่กล่าวข้างต้นแบบจำลองจะประกอบไปด้วย Block diagram ซึ่งทำหน้าที่ต่าง ๆ กัน เพื่อควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายในและรักษาประสิทธิภาพการทำความเย็น

#### 3.2.1 Block diagram การควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายใน

วงจรคอนเวอร์เตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.2 เป็นส่วนที่อยู่ติดกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันที่ตัวเก็บประจุ (DC-Link) ให้มีค่าคงที่ตามที่ตั้งไว้ และมีหน้าที่ในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟในระบบภายในอีกด้วย



รูปที่ 3.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์

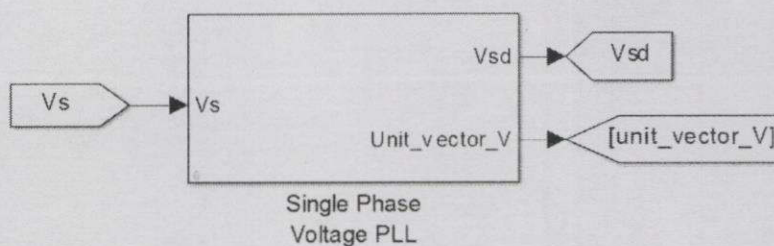
รูปที่ 3.3 แสดงการรับค่าแรงดันที่ตัวเก็บประจุและค่ากำลังรีแอกทีฟ แล้วนำไปสร้างสัญญาณ PWM เพื่อควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งส่วนประกอบภายในสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4 ถึง 3.8



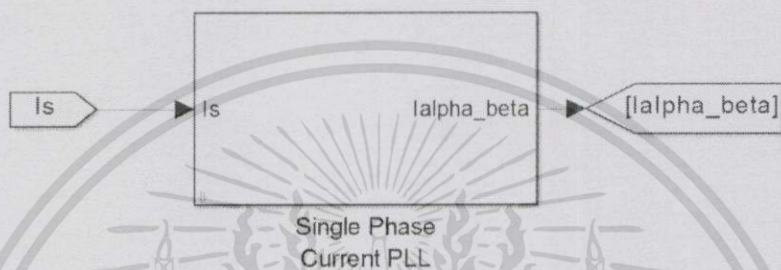
PWM Generator for single phase converter

รูปที่ 3.3 ควบคุมแรงดัน DC-Link และกำลังรีแอกทีฟ

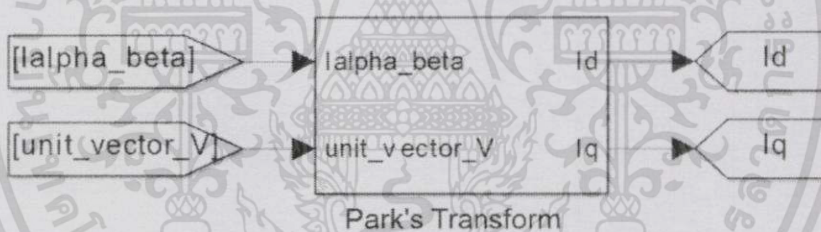
ในการทำ Park's Transform ของแรงดันและกระแสทางด้านแหล่งจ่าย ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ถึง 3.6 เป็นการแปลงกระแสให้อยู่ในแกน dq โดยกระแสในแกน d นำไปควบคุมแรงดันที่ DC-Link และกำลังไฟฟ้า ส่วนกระแสในแกน q นำไปควบคุมกำลังรีแอกทีฟ



รูปที่ 3.4 การหาขนาดของแรงดันในแกน d และมุมของแรงดัน

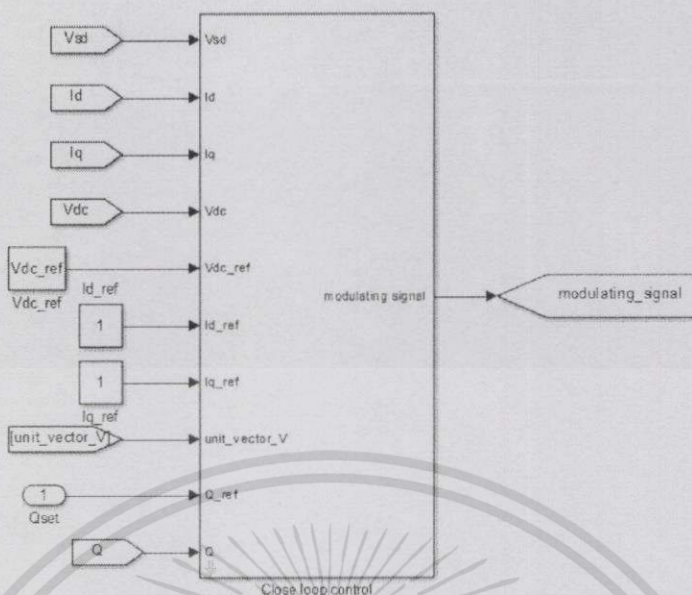


รูปที่ 3.5 การแปลงกระแสให้เป็น 2 เฟส

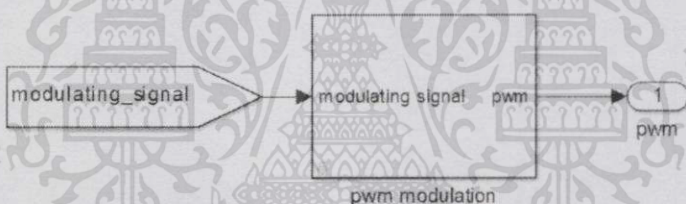


รูปที่ 3.6 การแปลงกระแสให้อยู่ในแกน d และแกน q

กระแสในแกน dq ที่ได้จากการทำ Park's Transform ถูกนำมาสร้างสัญญาณ Modulating Signal เพื่อนำมาสร้างสัญญาณ PWM เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 และ 3.8



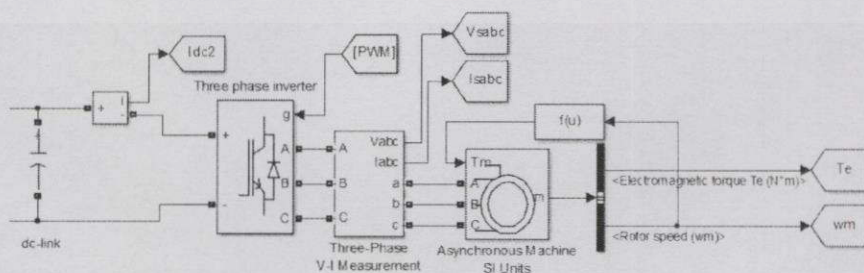
รูปที่ 3.7 close loop control แบบ Vector Control



รูปที่ 3.8 PWM Modulation สำหรับวงจรคอนเวอร์เตอร์

### 3.2.2 Block diagram การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor)

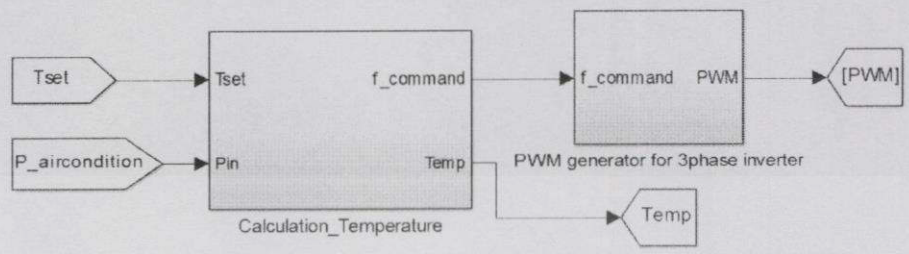
การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำดังแสดงในรูปที่ 3.9 จะทำงานโดยรับแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับซึ่งแปลงโดยวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งความถี่ของไฟฟ้านี้ จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามภาระ ทางกลที่มอเตอร์ได้รับ



รูปที่ 3.9 วงจรอินเวอร์เตอร์และมอเตอร์เหนี่ยวนำ

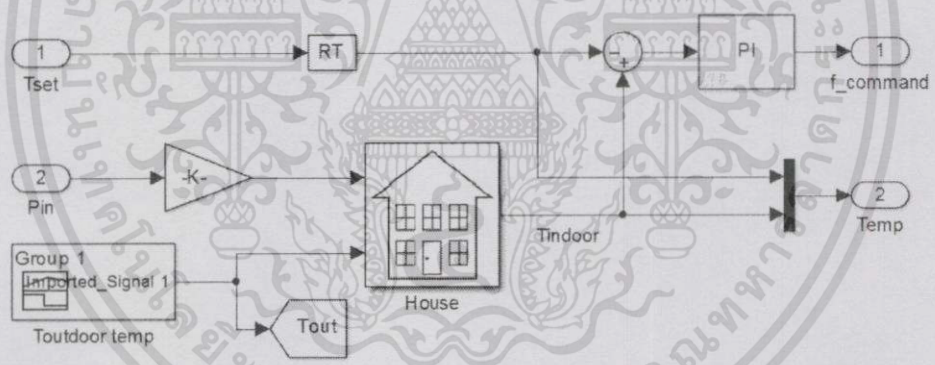
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 แสดงการรับค่าอุณหภูมิที่ได้จากชุดควบคุมและพลังงานที่มอเตอร์ใช้ในการทำความเย็นเป็นข้อมูลที่ป้อนเข้าสู่วงจร เพื่อสร้างสัญญาณ PWM ไปทำการควบคุมการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งส่วนประกอบภายในสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.11 ถึง 3.13



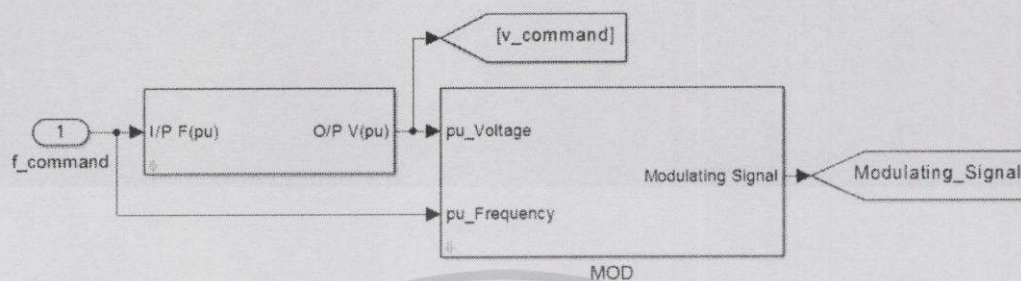
รูปที่ 3.10 วงจรควบคุมอินเวอร์เตอร์

รูปที่ 3.11 แสดงการปรับความถี่การทำงานของมอเตอร์เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิตามที่ได้จากชุดควบคุมไปสั่งงานให้เครื่องปรับอากาศทำงานและรับค่าพลังงานที่มอเตอร์ใช้ไปมาทำการคำนวณการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในบ้าน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ต้องการกับอุณหภูมิภายในบ้านที่ทำได้

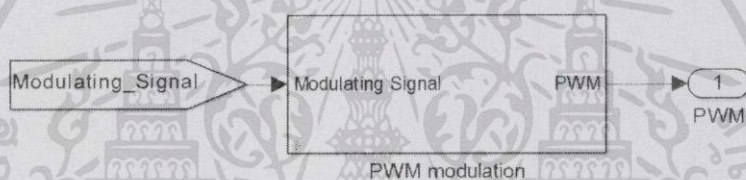


รูปที่ 3.11 การควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามอุณหภูมิที่ชุดควบคุมสั่งงาน

รูปที่ 3.12 และ 3.13 เป็นการควบคุมแบบคงแรงดันต่อความถี่คงที่ เพื่อหาค่าแรงดันที่ความถี่ใดๆ แล้วนำไปสร้างสัญญาณ PWM เพื่อนำไปควบคุมการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์



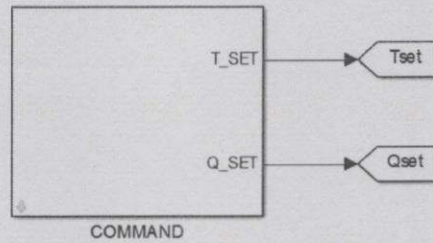
รูปที่ 3.12 การควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.13 PWM Modulation สำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์

### 3.2.3 Block Diagram ชุดควบคุม

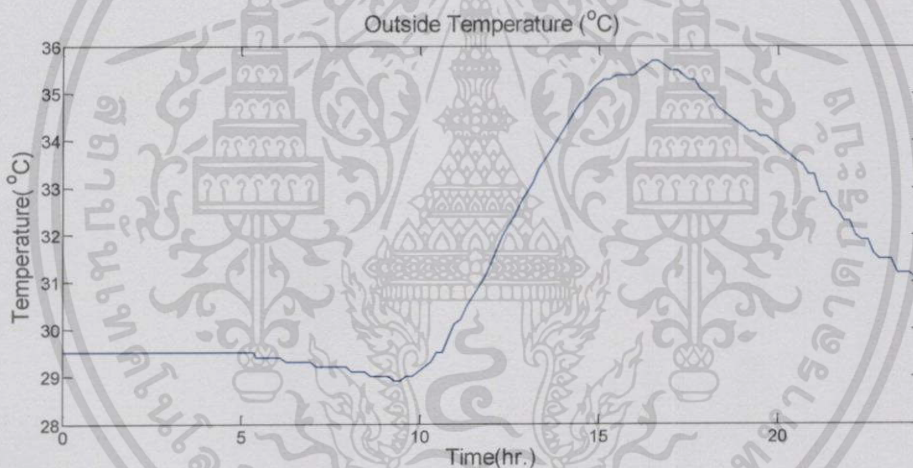
ชุดควบคุมกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟและอุณหภูมิภายในบ้านดังแสดงในรูปที่ 3.14 เป็นการรับค่าอุณหภูมิและกำลังรีแอกทีฟที่หมุนวนในระบบตามที่ต้องการ จากทฤษฎีที่  $I_s = \sqrt{I_d^2 + I_q^2}$  โดยจำกัดกระแสรวมไม่เกิน 12A หรือ 1pu กระแส  $I_d$  และ  $I_q$  จะแปรผกผันกัน ถ้า  $I_d$  สูงขึ้นแล้ว  $I_q$  จะลดลง ดังนั้นชุดควบคุมนี้จะทำการควบคุมการสั่งอุณหภูมิและกำลังรีแอกทีฟให้เหมาะสม หากต้องการเน้นการควบคุมกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟจะส่งผลให้อุณหภูมิภายในบ้านไม่เป็นไปตามที่ต้องการ หากต้องการเน้นควบคุมอุณหภูมิภายในบ้าน จะส่งผลให้ความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟไม่เป็นไปตามที่ต้องการและหากต้องการควบคุมกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟให้มีค่ามากขึ้นก็สามารถทำได้ โดยยอมให้อุณหภูมิที่อุณหภูมิภายในบ้านสูงขึ้นแต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่มนุษย์ยังรับได้และรู้สึกสบาย



รูปที่ 3.14 ชุดควบคุมกำลังรีแอกทีฟและอุณหภูมิภายในบ้าน

### 3.3 การจำลองสภาพอุณหภูมิภายนอก

จากรูปที่ 3.15 เป็นสภาพอุณหภูมิภายนอกที่นำมาเป็นแบบจำลอง ณ เวลาต่างๆ ใน 1 วันของวันที่ 14 เมษายน 2558 ที่สถานีตรวจวัดสภาพอากาศพัฒนาการ [5] ซึ่งจะสนใจเพียงแค่อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปในแต่ละวันเท่านั้น ไม่ได้พิจารณาปัจจัยอื่นๆ เช่น ความเร็วลมหรือความชื้น



รูปที่ 3.15 อุณหภูมิภายนอก 24 ชม.

### 3.4 การจำลองสภาพพื้นที่

จากรูปที่ 3.16 แสดงแบบจำลองพื้นที่ที่ใช้ในการทดลองโดยพิจารณาห้อง 1 ห้อง ดังนี้

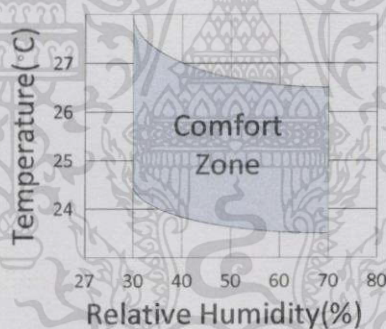
- มิติห้อง กว้าง x ยาว x สูง = 10m x 10m x 3m
- วัสดุบ้าน เป็น อิฐและปูนซีเมนต์



รูปที่ 3.16 แบบจำลองพื้นที่

### 3.5 อุณหภูมิที่มนุษย์รู้สึกสบาย

จากการศึกษา พบว่ามนุษย์นั้นจะมีความสุขสบาย [6] อยู่ในช่วงอุณหภูมิและความชื้นค่าหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.17 ซึ่งในการทดลองนี้ จะทำการสนใจเพียงแค่วงอุณหภูมิที่มนุษย์รู้สึกสบายเท่านั้น



รูปที่ 3.17 กราฟความสบายระหว่างอุณหภูมิและความชื้น

ทั้งนี้เราจะให้ความชื้นเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งเท่านั้น และช่วงอุณหภูมิที่จะนำมาพิจารณาว่าอยู่ในความสบาย คือ อุณหภูมิในช่วง 24 ถึง 27 องศาเซลเซียส

### 3.6 การสร้างรูปแบบการทดลอง

จากแบบจำลองเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ ทำการทดลองโหมดการทำงาน 3 รูปแบบดังนี้

#### 3.6.1 รูปแบบเน้นการรักษาอุณหภูมิ

ในรูปแบบนี้ เราจะเน้นความสามารถในการทำงานของเครื่องปรับอากาศไปที่ความสามารถในการรักษาอุณหภูมิที่อุปกรณ์ทำได้เป็นหลัก ดังนั้นในการทำงานรูปแบบนี้ ความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟจะเป็นตัวแปรตาม โดยเราจะลองสั่งให้อุปกรณ์ทำงานที่อุณหภูมิต่างๆกันไป และสังเกตว่า ความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟนั้น เปลี่ยนแปลงไปอย่างไรบ้าง

#### 3.6.2 รูปแบบเน้นการควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายใน

ในรูปแบบนี้ เราจะเน้นไปที่ความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟเป็นหลัก โดยมองอุณหภูมิเป็นตัวแปรตาม โดยเราจะทำการสั่งให้อุปกรณ์ทำการควบคุมกำลังรีแอกทีฟที่ค่าต่างๆ และสังเกตว่า ความเย็นที่เย็นที่สุดที่อุปกรณ์ยังรักษาได้เป็นอย่างไร

#### 3.6.3 รูปแบบที่ควบคุมทั้งการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและรักษาอุณหภูมิ

ในรูปแบบนี้ เราจะนำผลจาก 2 รูปแบบก่อนหน้านี้ มาทำการสร้างชุดควบคุมขึ้นมาอีกหนึ่งตัว รูปแบบจะเป็นการหาจุดที่เหมาะสมสำหรับการทำงานโดยที่ให้ความสำคัญทั้งอุณหภูมิและการควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายในทั้งคู่ กล่าวก็คือ อุปกรณ์จะยอมทำการเสียความสามารถในการทำความเย็นไปเล็กน้อย แต่ต้องอยู่ในช่วงที่มนุษย์ยังรู้สึกสบาย การทำเช่นนี้ จะทำให้อุปกรณ์มีความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายในได้มากขึ้น

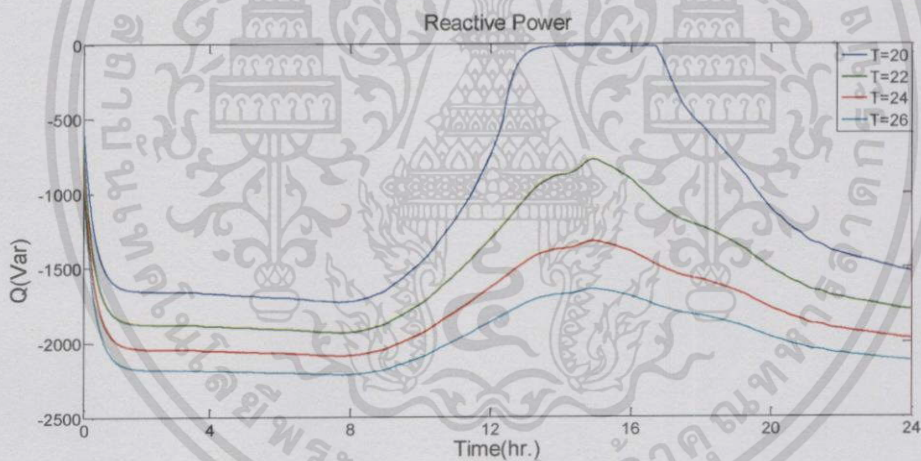
## บทที่ 4 ผลการศึกษา

### 4.1 ผลจากการทดลองการทำงานของแบบจำลอง

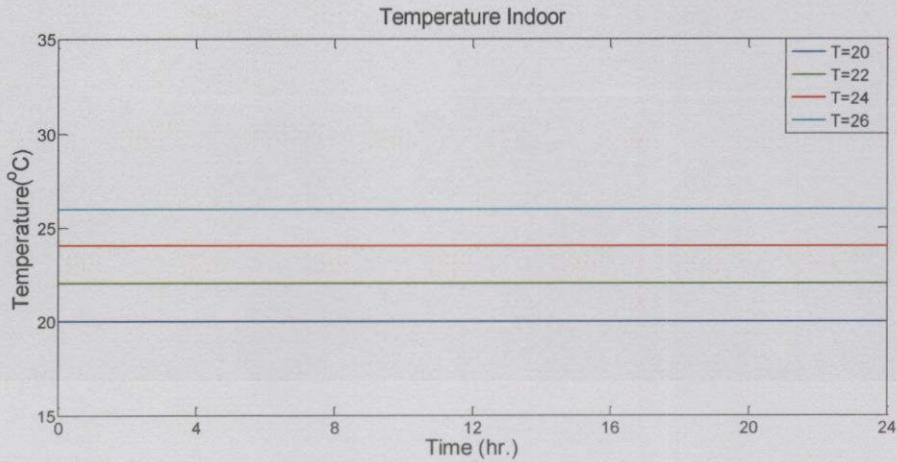
แบบจำลองที่นำเสนอในปฏิญานีพนธ์นี้ถูกสร้างขึ้นบนโปรแกรม MATLAB โดยใช้หลักการ Vector Control และ v/f control ในการสร้างสัญญาณ PWM ควบคุมคอนเวอร์เตอร์ เพื่อควบคุมการรักษาอุณหภูมิภายในบ้านและการควบคุมกำลังรีแอกทีฟโดยแบ่งกรณีศึกษาดังนี้

#### 4.1.1 กรณีที่ 1 ผลจากการจำลองการทำงานที่รักษาอุณหภูมิเป็นหลัก

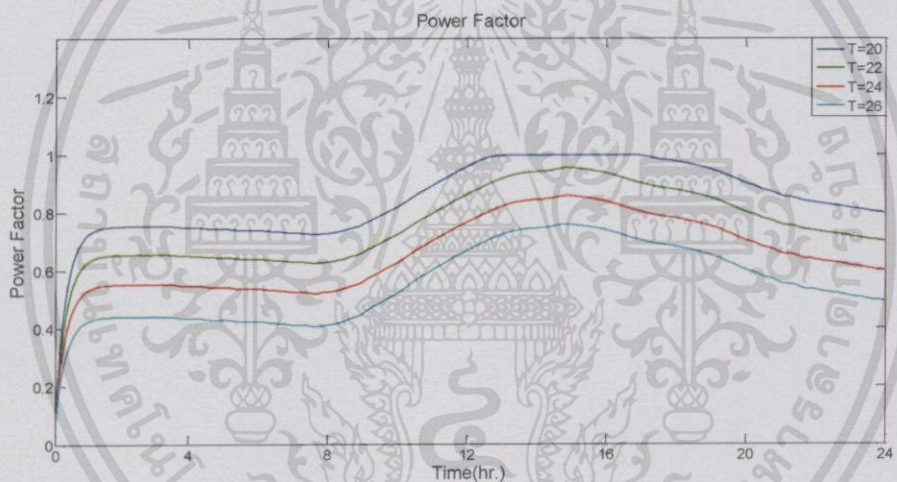
การทำงานของแบบจำลองในรูปแบบนี้ เป็นการทำงานที่รักษาอุณหภูมิเป็นหลัก กล่าวคือ มองว่ากำลังรีแอกทีฟของเครื่องปรับอากาศที่ในระบบภายในนั้น เป็นตัวแปรตามจากการรักษาอุณหภูมิภายในบ้าน โดยทำการสั่งให้เครื่องปรับอากาศทำงานที่อุณหภูมิ 20 22 24 และ 26 องศาเซลเซียสตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึง ความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟที่ต่างกัน ณ อุณหภูมิต่างๆ และ ตัวประกอบกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ถึง 4.3



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการควบคุมกำลังรีแอกทีฟกับเวลากรณีรักษาอุณหภูมิ



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลากรณีรักษาอุณหภูมิ

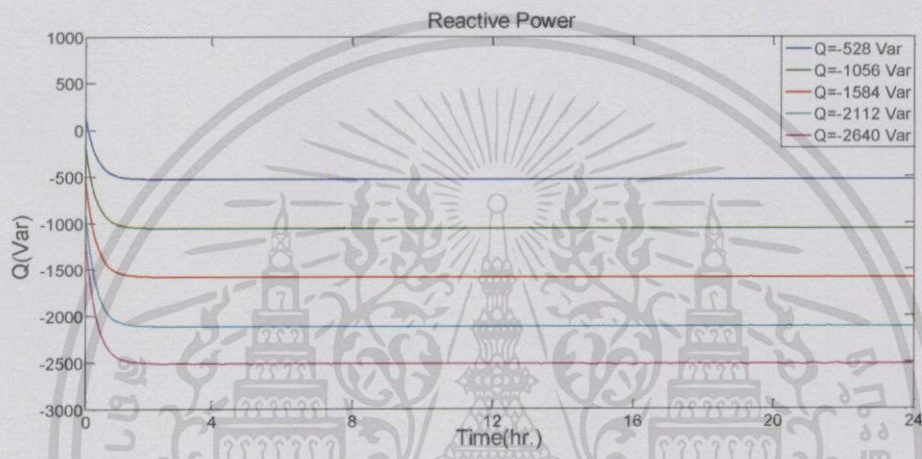


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังกับเวลากรณีรักษาอุณหภูมิ

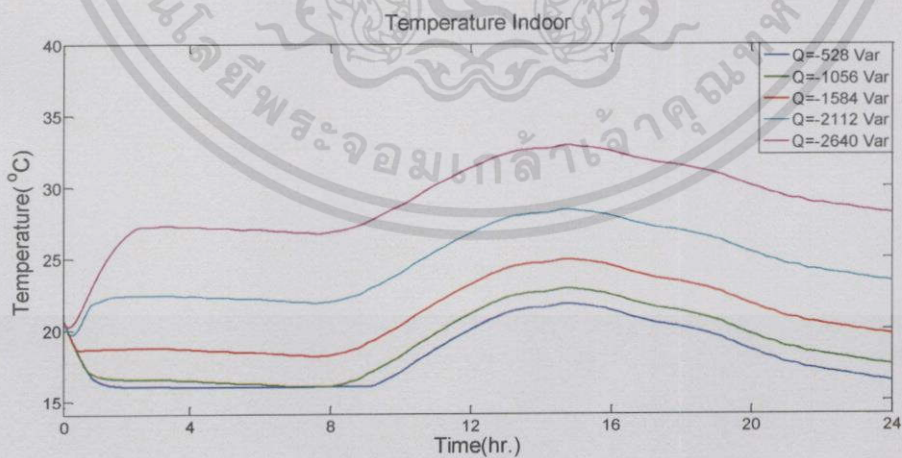
จะเห็นได้ว่าการตั้งค่าให้เครื่องปรับอากาศรักษาอุณหภูมิภายในบ้านให้เย็นขึ้นและอุณหภูมิภายนอกที่ร้อนขึ้นส่งผลให้เครื่องปรับอากาศใช้กำลังไฟในการรักษาอุณหภูมิให้คงที่มากขึ้น ทำให้อุปกรณ์มีความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายในได้น้อยลง

4.1.2 กรณีที่ 2 ผลจากการจำลองการทำงานที่ควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายในเป็นหลัก

การทำงานของแบบจำลองในรูปแบบนี้ เป็นการทำงานที่ควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายในเป็นหลักกล่าวคือ มองว่าการรักษาอุณหภูมิภายในบ้านนั้น เป็นตัวแปรตามจากการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ โดยทำการสั่งให้เครื่องปรับอากาศทำการควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายใน ที่ 528 1056 1584 2112 และ 2640 Var ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรักษาอุณหภูมิภายในบ้านที่ต่างกัน ณ การควบคุมกำลังรีแอกทีฟต่างๆ และ ตัวประกอบกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.6

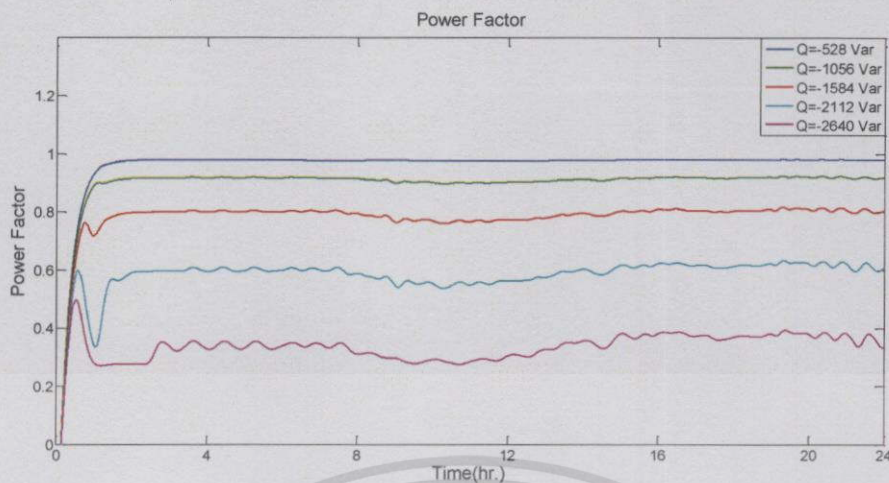


รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการควบคุมกำลังรีแอกทีฟกับเวลากรณีรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลากรณีรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

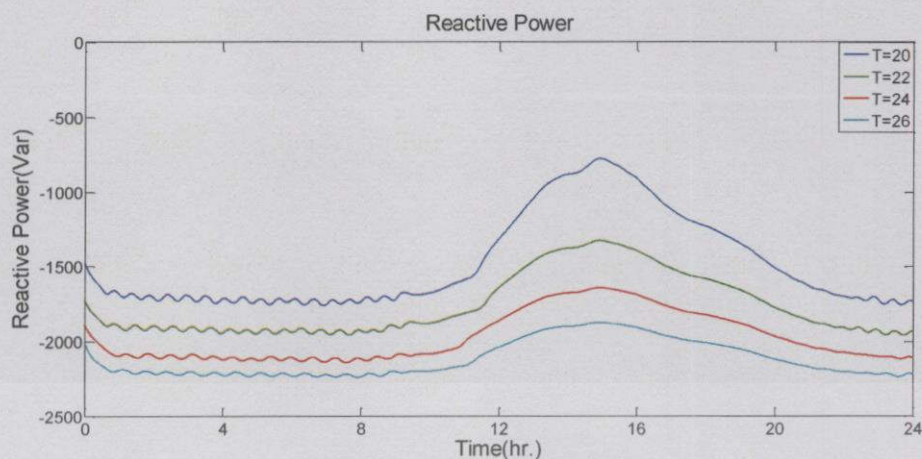


รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังกับเวลากรณีรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ

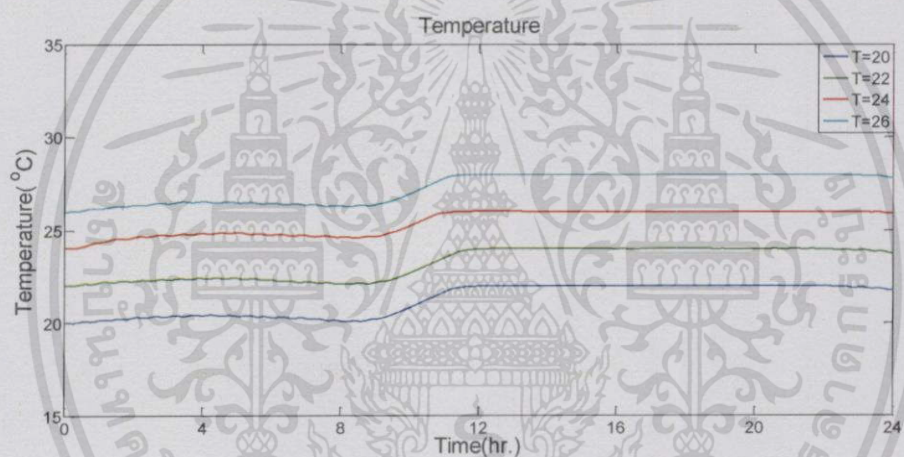
จะเห็นได้ว่าการตั้งค่าให้เครื่องปรับอากาศควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายในมากขึ้นส่งผลให้เครื่องปรับอากาศใช้กำลังไฟฟ้าได้น้อยลง ทำให้ความสามารถในการรักษาอุณหภูมิภายในบ้านให้เย็นทำได้ลดลง และอุณหภูมิภายนอกที่ร้อนขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิภายในบ้านสูงขึ้น

#### 4.1.3 กรณีที่ 3 ผลจากการทำงานที่ควบคุมทั้งการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและรักษาอุณหภูมิ

การทำงานในรูปแบบนี้ จะคำนึงถึงทั้งการควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายใน และรักษาอุณหภูมิ การใช้ชุดควบคุมที่พัฒนามาจาก กรณีที่ 1 และ กรณีที่ 2 มาใช้ร่วมกัน โดยพัฒนาให้เครื่องปรับอากาศสามารถปรับอุณหภูมิภายในบ้านและการควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายในให้เหมาะสมโดยทำการสั่งให้เครื่องปรับอากาศทำงานที่อุณหภูมิ 20 22 24 และ 26 องศาเซลเซียสตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึง ความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟที่ต่างกัน ณ อุณหภูมิต่างๆหลังจากมีการปรับการรักษาอุณหภูมิภายในบ้าน และ ตัวประกอบกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ถึง 4.9

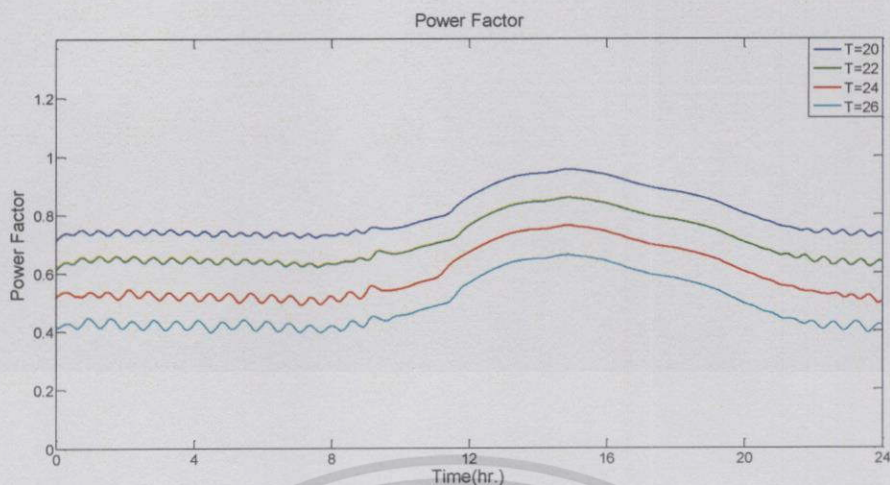


รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการควบคุมกำลังรีแอกทีฟกับเวลา  
กรณีการรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและอุณหภูมิ



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลากรณีการรักษา  
การควบคุมกำลังรีแอกทีฟและอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

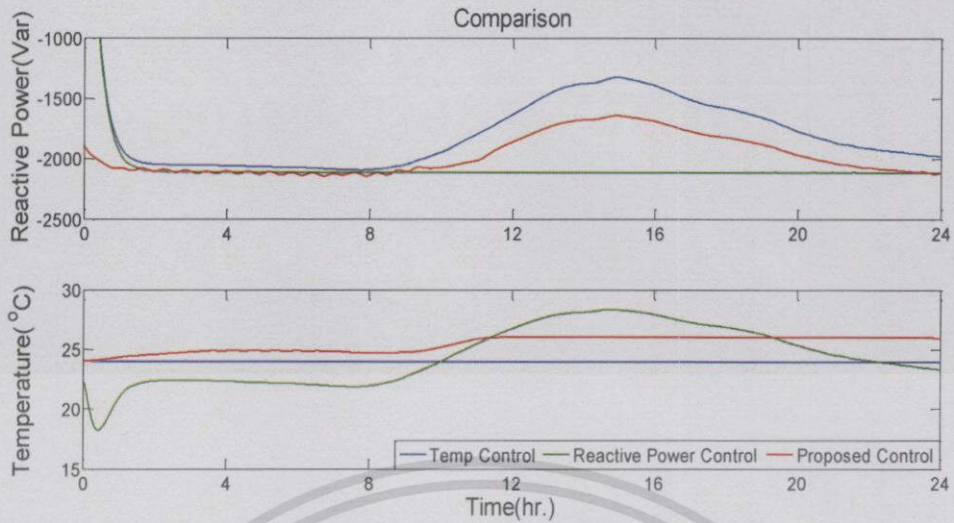


รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังกับเวลากรณีที่รักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและอุณหภูมิ

จากผลการทดลอง หากนำการทดลองที่สั่งทำความเย็นที่อุณหภูมิที่ 24 องศาเซลเซียสมาพิจารณาจะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิภายนอกเริ่มสูงขึ้นที่เวลา 8.00น. เป็นต้นไป ส่งผลให้อุปกรณ์ต้องรับภาระจากการรักษาความเย็นที่มากขึ้น อุปกรณ์จะยอมเสียความสามารถในการทำความเย็นไปเล็กน้อย ดังที่เห็นจากการทดลองว่า จากอุณหภูมิที่ 24 องศาเซลเซียส กลายเป็น 26 องศาเซลเซียส และ 26 องศาเซลเซียส ยังคงอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่มนุษย์รู้สึกสบาย เพื่อให้สามารถควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายในได้มากขึ้น

#### 4.2 ผลจากการเปรียบเทียบการทำงานทั้ง 3 กรณี

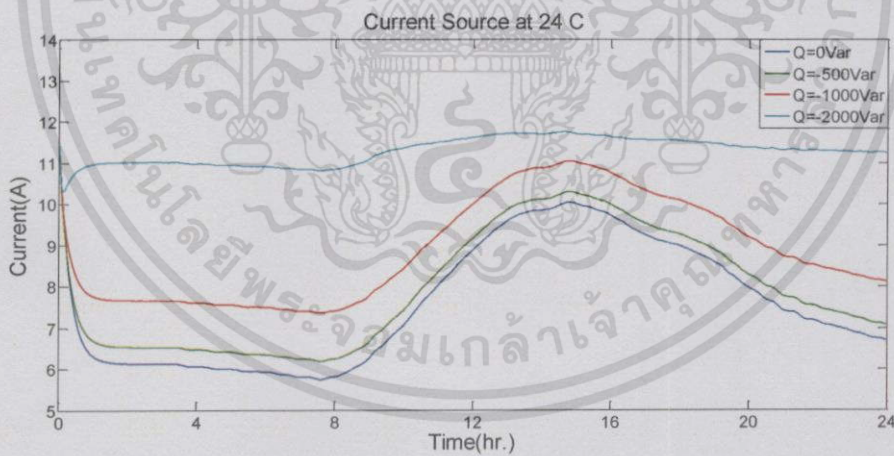
ในรูปแบบที่มีการควบคุมทั้งอุณหภูมิภายในบ้านและการควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายใน ดังแสดงในรูปที่ 4.10 มีการลดความสามารถในการทำความเย็นภายในห้องลง เนื่องจากอุณหภูมิภายนอกมีการปรับตัวสูงขึ้น ทำให้สามารถควบคุมกำลังรีแอกทีฟได้มากขึ้นจะเห็นได้ว่าในกรณีที่ 3 (กราฟสีแดง) สามารถควบคุมกำลังรีแอกทีฟได้มากกว่ากรณีที่ 1 (กราฟสีน้ำเงิน) แต่น้อยกว่ากรณีที่ 2 (กราฟสีเขียว) ส่วนการรักษาอุณหภูมิภายในบ้าน ในกรณีที่ 3 (กราฟสีแดง) มีการปรับอุณหภูมิภายในบ้านร้อนขึ้นกว่ากรณีที่ 1 (กราฟสีน้ำเงิน) แต่เย็นกว่ากรณีที่ 2 (กราฟสีเขียว)



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและอุณหภูมิในการควบคุมแบบต่างๆ

#### 4.3 ผลจากการเปรียบเทียบการกินกระแสของอุปกรณ์จากแหล่งจ่าย

ทำการทดลอง ให้อุปกรณ์ทำการรักษาอุณหภูมิภายในบ้านที่ 24 องศาเซลเซียส และทำการควบคุมกำลังรีแอกทีฟที่ 0 500 1000 และ 2000 Var แล้วทำการเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่อุปกรณ์ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟปริมาณกระแสจากแหล่งจ่ายที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส โดยปรับการควบคุมกำลังรีแอกทีฟเป็นค่าต่างๆ

จากผลการทดลองเห็นได้ว่า กระแสไฟฟ้าที่ใช้มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิภายนอก และการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ เมื่อทำการควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายในมากขึ้นกระแสในองค์ประกอบแกน  $q$  จะมากขึ้น และสัมพันธ์กับอุณหภูมิภายนอกคือหากอุณหภูมิภายนอกสูงขึ้นจะทำให้กระแสที่ในองค์ประกอบแกน  $d$  เพิ่มขึ้น กระแสรวมซึ่งเกิดจากการรวมองค์ประกอบในแกน  $d$  และแกน  $q$  ( $I_s = \sqrt{I_d^2 + I_q^2}$ ) มากขึ้นหรือก็คือกระแสที่เครื่องปรับอากาศใช้มากขึ้นนั่นเอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอวิธีการสร้างแบบจำลองของเครื่องปรับอากาศ อินเวอร์เตอร์โดยอาศัยทฤษฎีการแปลงกระแสและแรงดันให้อยู่ในแกน dq เพื่อการควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายใน และ ทฤษฎีควบคุมมอเตอร์โดยทำการปรับแรงดันไฟฟ้าและความถี่ไฟฟ้า ด้วยแบบจำลองโปรแกรม MATLAB Simulink โดยพบว่าความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ นั้นสามารถทำได้มากขึ้น แต่จะต้องมีการส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิ หรือความเสถียรสบายในระดับที่สามารถยอมรับได้

นอกจากนั้นปริญญานิพนธ์ฉบับนี้พบว่า ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายใน มีหลายปัจจัยคือ อุณหภูมิภายนอก อุณหภูมิที่สั่งให้อุปกรณ์ ทำการรักษาความเย็น วัสดุที่นำมาใช้สร้างพื้นที่ติดตั้งอุปกรณ์ มิติของพื้นที่ที่ติดตั้งอุปกรณ์ และ ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่อุปกรณ์ใช้ เป็นที่สังเกตได้ว่า ยิ่งอุณหภูมิอากาศภายนอกมีอุณหภูมิสูงขึ้นเท่าไร อุปกรณ์จำเป็นต้องใช้พลังงานหรือก็คือกระแสไฟฟ้าที่มากขึ้น และจะยิ่งมากขึ้นถ้าหากมีการสั่งให้อุปกรณ์ทำการควบคุมกำลังรีแอกทีฟที่มากขึ้นด้วย ดังนั้นในช่วงที่อุณหภูมิภายนอกสูง อุปกรณ์จะทำการลดความสามารถในการทำความเย็นลงอัตโนมัติ และผลที่ได้คือ ความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟที่สูงขึ้น

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทำปริญญานิพนธ์นี้ ได้ทำการจำลองสภาพพื้นที่ติดตั้งอุปกรณ์เป็นเพียงแค่ว่าพื้นที่ขนาด 100 ตารางเมตร มีเพดานสูง 3 เมตรเท่านั้น และได้ทำการประเมินขนาด BTU ของเครื่องปรับอากาศจากกำลังไฟฟ้าที่อุปกรณ์ต้องนำไปใช้ และสำหรับการพัฒนาต่อยอด ควรทำการประเมินเงื่อนไขของการทำแบบจำลองให้มีความละเอียดมากขึ้น เช่นสภาพการใช้งานของห้อง ทิศทางของแสงแดดที่ส่อง หรือแม้แต่ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ในห้อง และเพื่อเพิ่มความใกล้เคียงกับความเป็นจริงให้มากขึ้น อาจมีการประกอบอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับการทดสอบการใช้งานจริง

เพิ่มการจำลองเป็นแบบจำลองสำหรับอาคารประเภทต่างๆรวมถึงการพิจารณาพฤติกรรมการใช้งานเครื่องปรับอากาศของอาคารแต่ละประเภทซึ่งแตกต่างกัน และปรับปรุงให้สามารถเชื่อมต่อกำลังรีแอกทีฟกับระบบภายนอก เพื่อนำมาจำลองในระบบที่มีขนาดใหญ่ซึ่งการที่เครื่องปรับอากาศควบคุมกำลังรีแอกทีฟเปรียบเสมือนการมีแหล่งควบคุมกำลังรีแอกทีฟต่อกระจายอยู่ในระบบและพร้อมที่จะควบคุมกำลังรีแอกทีฟให้แก่ระบบ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] G.F.Hundy, A.R. Trott, T.C.Welch. **Refrigeration and Air Conditioning**. BH
- [2] Bimal K. Bose. **Modern Power Electronics and AC Drive**. Prentice-Hall,Inc. 2001.
- [3] Atul Gupta, Anurag Porippireddi, Venu Uppuluri Srinivasa, Akash Sharma, Mangesh Kadam, "Comparative Study of Single Phase PLL Algorithms for Grid Synchronization Applications," **IJECT**, Vol. 3, 2012, pp. 237-245.
- [4] Y. Kumsuwun, and K. Higuchi, "Power Control of Single-Phase Voltage Source Inverter for Grid-Connected Photovoltaic Systems," **IEEE Conference Publication** ,2011.
- [5] Weather Underground. "Weather History for Bangkok."  
[online]: <http://www.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=IBANGKOK34#history/s20150422/e20150422/mdaily>
- [6] Michel Boduch and Warren Fincher, **Standard of Humen Comfort**, Austin; csd, 2009.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การจำลองการควบคุมเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมกำลังรีแอกทีฟ

## Simulation of Inverter Air Conditioner Control for Controlling Reactive Power

วรพจน์ วิริยะอุตสาหกุล วรภัทร พนาเจริญวงศ์ วิภาพร พงษ์พิริยะกิจกุลและศศธร โกศลศักดิ์สกุล  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925

### บทคัดย่อ

เนื่องจากแนวโน้มยอดขายของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่มีจำนวนมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์กลายเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าพื้นฐานแทนที่เครื่องปรับอากาศแบบเก่าและนอกเหนือไปจากความสามารถในการประหยัดพลังงานแล้ว อุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ภายในเครื่องปรับอากาศยังมีศักยภาพในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ โดยการควบคุมกระแสแบบแยกส่วนในกรอบอ้างอิง dq จากความสามารถนี้ จะสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ในการรักษาอุณหภูมิ และกำลังรีแอกทีฟแยกกันได้

ปัญญานิพนธ์นี้ จึงทำการสร้างแบบจำลองและศึกษาการควบคุมเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ เพื่อที่สามารถรักษาความเย็นได้ตามที่ต้องการและในขณะเดียวกันสามารถควบคุมกำลังรีแอกทีฟเพื่อให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าที่ดีขึ้น เพื่อลดกำลังสูญเสียลงได้ หมายถึงการลดค่าไฟฟ้าในส่วนที่ไม่จำเป็น ลดกำลังสูญเสียของหม้อแปลงและสายไฟฟ้าลง ทำให้หม้อแปลงจะมีกำลังเหลือไปจ่ายโหลดอื่นเพิ่มเติมได้ ผลจากแบบจำลองที่ได้คือผลกระทบต่อความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายในชั้นลับอุณหภูมิที่ต้องการรักษาในห้องและอุณหภูมิภายนอก โดยมีข้อจำกัดคือกระแสที่กักของอุปกรณ์

**คำสำคัญ:** เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ กำลังรีแอกทีฟ เวกเตอร์คอนโทรล สเการ์คอนโทรลและคอนเวอร์เตอร์

### Abstract

With significantly increasing selling volume, inverter air conditioners a basic electrical appliance in households. Besides energy saving capability, inverter can also control reactive power in area by using dq-axis theory. It separates current into 2 parts that enable simultaneous control of active power and reactive power at the same time. Active power is used for temperature maintenance in area and reactive power for power factor controlling.

A paper designs a simulation of an inverter air conditioner to maintain comfortable temperature and control reactive power to

improve power factor of area. Power factor improvement can reduce loss in transformer and line so power that be saved can be used for others load. Simulation results carried out by MATLAB/SIMULINK showed that reactive power controlled ability up to outside temperature, inside temperature and rated current of equipment.

**Keywords:** Inverter, Air conditioner, Reactive Power, Vector Control, Scalar Control and Converter

### 1. บทนำ

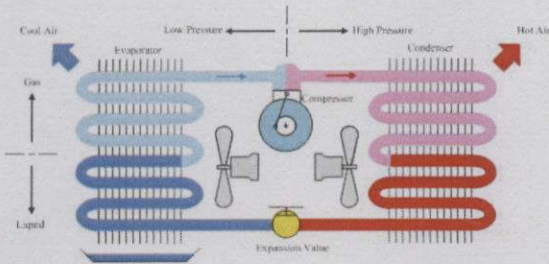
เนื่องจากในปัจจุบันความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าของประเทศเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อาทิเช่น ภาคอุตสาหกรรมมีการใช้มอเตอร์เป็นหลัก ซึ่งมีความต้องการใช้กำลังรีแอกทีฟสูง ทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนกำลังรีแอกทีฟในระบบแรงดันปานกลางจากปริมาณการใช้เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่เพิ่มมากขึ้น ปัญญานิพนธ์นี้ได้นำเสนอเทคโนโลยีเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ซึ่งสามารถควบคุมกำลังรีแอกทีฟเพื่อแก้ปัญหาแรงดันตกในระบบ จึงนับเป็นเทคโนโลยีทางเลือกซึ่งไม่ใช่เพียงแค่ประหยัดพลังงานเท่านั้น แต่ทำให้สามารถทำการควบคุมกำลังรีแอกทีฟได้

โดยในปัญญานิพนธ์ประกอบด้วยประกอบด้วยส่วนที่ 1 ศึกษาแบบจำลองการทำงานของเครื่องปรับอากาศและวงจรมอเตอร์อินเวอร์เตอร์ ส่วนที่ 2 ออกแบบแบบจำลองเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่สามารถควบคุมกำลังรีแอกทีฟได้ ส่วนที่ 3 ศึกษาผลของการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ ความสัมพันธ์ของกำลังรีแอกทีฟต่ออุณหภูมิภายในและภายนอกบ้าน

### 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 หลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

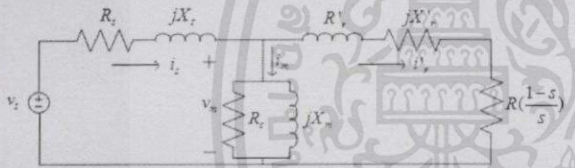


รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเครื่องทำความเย็น

หลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศ [1] อาศัยเอ็กซ์แพนชั่น วาล์วในการลดความดันลง โดยมีวาล์วคอมเพรสเซอร์ทำให้อากาศโดยรอบมี อุณหภูมิลดต่ำลงและอาศัยคอมเพรสเซอร์อัดสารทำความเย็นเพื่อเพิ่มความดันและเพิ่มอุณหภูมิ เมื่อสารทำความเย็นเข้าสู่คอนเดนเซอร์ คอนเดนเซอร์จะดึงอุณหภูมิจากสารทำความเย็นทำให้อากาศโดยรอบมีอุณหภูมิสูงขึ้น

2.2 การควบคุมแบบ v/f control

v/f control [2] เกิดขึ้นเนื่องมาจาก เมื่อเรานำมอเตอร์ ไปขับ โหลดใดๆ เราต้องการทำการควบคุมแรงบิด ของมอเตอร์ให้สามารถทำการขับ โหลดได้ด้วยความเร็วใดๆของโรเตอร์



รูปที่ 2 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

สมการอัตราส่วนของแรงดัน  $v_s$  ณ  $f_{rated}$  ต่อ  $f$  ใดๆ

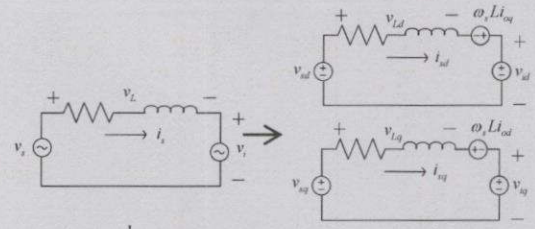
$$\frac{v_s k_f}{v_s} = \left( \frac{\sqrt{(R_s + k_f X_s + 2k_f X_r')^2 + (k_f X_s - R_s)^2}}{\sqrt{(R_s + X_s + 2X_r')^2 + (X_s - R_s)^2}} \right) \quad (1)$$

จากสมการ (1) เมื่อเราทำการเปลี่ยนความถี่เพื่อปรับปริมาณการ สร้างฟลักซ์แม่เหล็ก เราก็จะได้ค่าแรงดัน  $v_s$  ณ ความถี่ใดๆ ( $v_{s,k_f}$ ) หลังจากนั้นจึงนำแรงดันนี้ไปทำการสร้าง PWM เพื่อควบคุมการทำงานของ IGBT/Diode เพื่อสร้างแรงดันกระแสสลับสำหรับจ่ายให้กลับ มอเตอร์

2.3 การควบคุมแบบ Vector Control

เวกเตอร์คอนโทรล (Vector Control) [3] คือวิธีการและระบบ การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ที่พัฒนามาจากการ ควบคุมจากแบบเดิมซึ่งเป็น v/f โดยอาศัยวิธีผสมผสาน และหลักการ เลียนแบบการควบคุมความเร็วรอบจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิด ขดลวดกระตุ้นแยก (Separated Exciting) เพื่อให้ได้กราฟของแรงบิด และ

กำลังต่อความเร็วรอบให้มีความใกล้เคียงกันมากที่สุด



รูปที่ 3 วงจรสมมูลของแหล่งจ่ายแบบของค์ประกอบ dq

จากรูปที่ 3 แสดงวงจรสมมูลแหล่งจ่ายแบบของค์ประกอบ dq ซึ่ง เกิดจากการแปลง Park's transform ทำให้ได้ของค์ประกอบของกระแสใน แกน dq ที่สามารถควบคุมแรงดัน ณ DC-Link กำลังไฟฟ้าและกำลังรี แอคทีฟที่แสดงในสมการที่ (2) ถึง (5) [3]

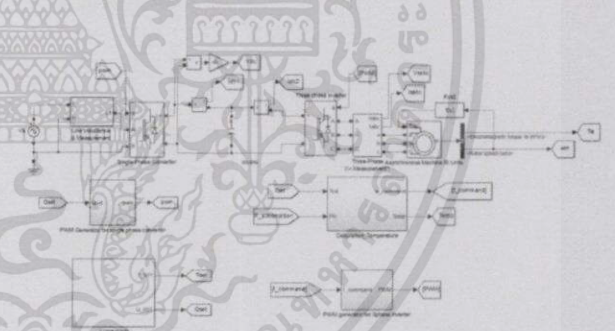
$$v_{id} = v_{sd} - v_{Ld} + i_q \omega L \quad (2)$$

$$v_{iq} = -v_{Lq} + i_d \omega L \quad (3)$$

$$p = \frac{1}{2} v_{sd} i_{sd} \quad (4)$$

$$q = -\frac{1}{2} v_{sd} i_{sq} \quad (5)$$

3.การออกแบบ



รูปที่ 4 แบบจำลอง Air Conditioner

จากรูปที่ 4 แสดงวงจรออกแบบที่ประกอบไปด้วยวงจร คอนเวอร์เตอร์ที่อยู่ติดกับแหล่งจ่าย ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันที่ตัวเก็บ ประจุ(DC-Link) ให้มีค่าคงที่ และมีหน้าที่ในการควบคุมกำลังรีแอคทีฟที่ฟ กลับสู่ระบบ โดยรับค่าแรงดันที่ตัวเก็บประจุและค่ากำลังรีแอคทีฟ แล้ว นำไปสร้างสัญญาณ PWM เพื่อควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์

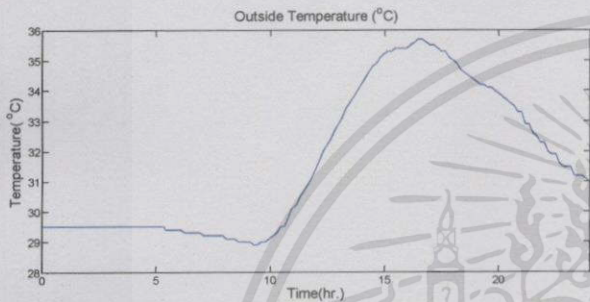
มอเตอร์ทำงาน โดยรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งแปลงโดย วงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่ของไฟฟ้า มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามภาระทางกล ที่มอเตอร์ควบคุม โดยรับค่าอุณหภูมิที่ต้องการและกำลังที่มอเตอร์ใช้ มาปรับความถี่การทำงานของมอเตอร์เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิตามที่ต้องการ เป็นการควบคุมแบบคงแรงดันต่อความถี่คงที่ โดยการนำแรงดันและ ความถี่ไปสร้างสัญญาณมอดูเลต ควบคุมกระแสฟลักซ์ทำการรับค่า

อุณหภูมิและกำลังรีแอกทีฟตามที่ต้องการ จากทฤษฎีที่  $I_s = \sqrt{I_d^2 + I_q^2}$  เราต้องการจำกัดกระแสรวมไม่ให้เกิน 12A หรือ 1pu กระแส  $I_d$  และ  $I_q$  จะแปรผกผันกัน ดังนั้นชุดควบคุมนี้จะทำการควบคุมการสั่งอุณหภูมิและกำลังรีแอกทีฟให้เหมาะสม

กำหนดข้อมูลพื้นที่ของแบบจำลองดังนี้

- มิติพื้นที่ กว้าง x ยาว x สูง = 10m x 10m x 3m
- วัสดุ เป็น อิฐและปูนซีเมนต์

กำหนดฟังก์ชันอุณหภูมิภายนอกภายใน 24 ชม.[4] ดังแสดงในรูปที่ 4

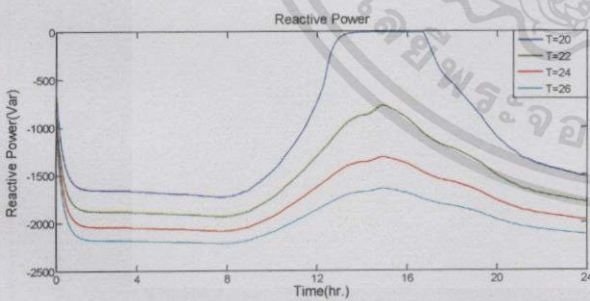


รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับเวลา

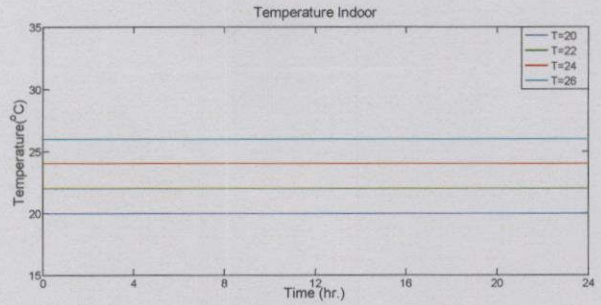
4. ผลจากการทดลอง

4.1 ผลการทดลองการทำงานเน้นการรักษาอุณหภูมิ

การทำงานนี้จะรักษาอุณหภูมิอุณหภูมิเป็นหลัก กำหนดให้เครื่องปรับอากาศทำงานที่อุณหภูมิ 20 22 24 และ 26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยที่ความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟนั้นเป็นตัวแปรตามและได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5 และ รูปที่ 6



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการควบคุมกำลังรีแอกทีฟกับเวลากรณีรักษาอุณหภูมิ

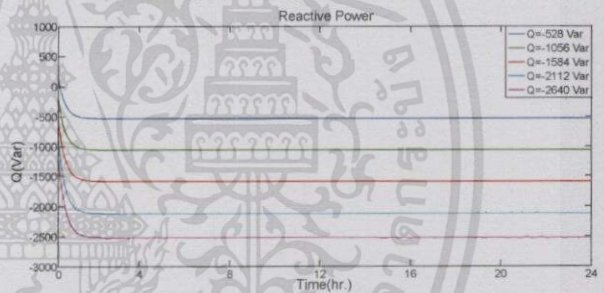


รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลากรณีรักษาอุณหภูมิ

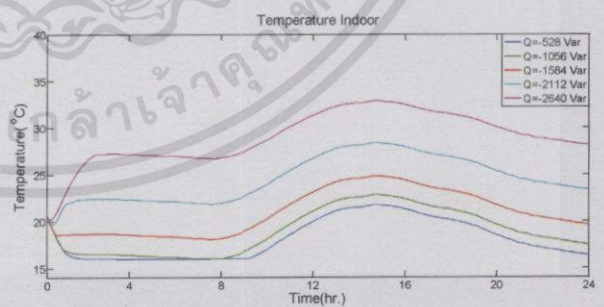
จะเห็นได้ว่าการตั้งค่าอุณหภูมิที่สูง ย่อมทำให้อุปกรณ์มีความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟได้มากขึ้น

4.2 ผลการทดลองการทำงานเน้นการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ

การทำงานนี้จะเน้นการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ กำหนดการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ 528 1056 1584 2112 และ 2640 Var ตามลำดับ โดยที่ความสามารถในการรักษาอุณหภูมินั้นเป็นตัวแปรตาม และได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 7 และ รูปที่ 8



รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการควบคุมกำลังรีแอกทีฟกับเวลากรณีรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ



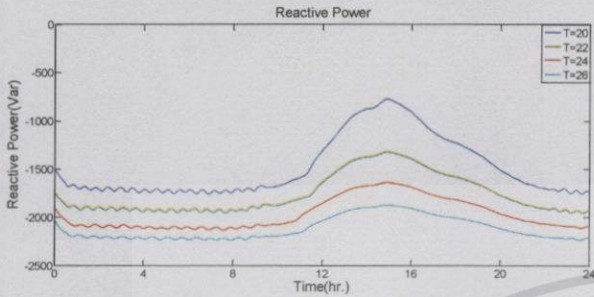
รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลากรณีรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ

จะเห็นได้ว่าเมื่อควบคุมกำลังรีแอกทีฟให้มีค่ามากขึ้น เครื่องปรับอากาศจะยิ่งเสียความสามารถในการทำความร้อน

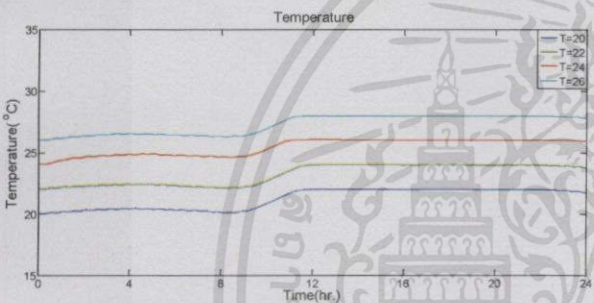
4.3 ผลการการทำงานที่ควบคุมทั้งการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและรักษาอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานในรูปแบบนี้ จะนำชุดการทำงานที่พัฒนามาจากชุดการทำงาน 2 แบบดังกล่าวข้างต้นในหัวข้อที่ 4.1 และ 4.2 มาใช้ร่วมกัน กำหนดเครื่องปรับอากาศทำความเย็นที่อุณหภูมิ 20 22 24 และ 26 องศาเซลเซียสตามลำดับ และได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 9 และรูปที่ 10



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการควบคุมกำลังรีแอกทีฟกับเวลา กรณีที่รักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและอุณหภูมิ

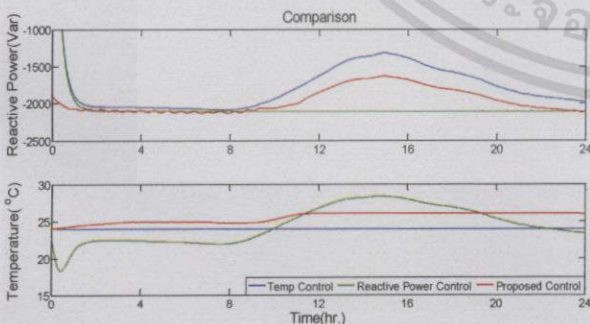


รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลากรณีการรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและอุณหภูมิ

จะเห็นได้ว่าเมื่อเราขอเพิ่มอุณหภูมิที่ต้องการ โดยยังอยู่ในขอบเขตความสบาย ทำให้สามารถควบคุมกำลังรีแอกทีฟได้เพิ่มมากขึ้น

#### 4.4 ผลการทำลองเปรียบเทียบการทำงาน 3 แบบ

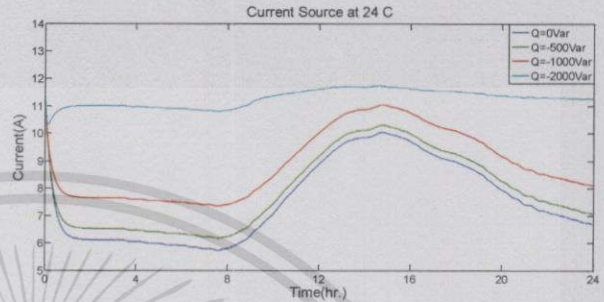
ผลการทดลองเปรียบเทียบการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ และอุณหภูมิในการทำงานจากหัวข้อที่ 4.1 ถึง 4.3 แสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 กราฟเปรียบเทียบการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและอุณหภูมิในการควบคุมแบบต่างๆ

#### 4.5 ผลการทดลองผลการเปรียบเทียบการกินกระแสของอุปกรณ์จากแหล่งจ่าย

เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณกระแสจากแหล่งจ่ายซึ่งใช้ควบคุมกำลังรีแอกทีฟค่าต่างๆ ในขณะอุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 กราฟปริมาณกระแสจากแหล่งจ่ายที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส โดยปรับการควบคุมกำลังรีแอกทีฟที่เป็นค่าต่างๆ

#### 5 สรุปผลการทดลอง

บทความวิชาการฉบับนี้นำเสนอวิธีการสร้างแบบจำลองของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink โดยอาศัยทฤษฎี Vector Control แปลงกระแสและแรงดันให้อยู่ในแกน dq เพื่อควบคุมการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ และอาศัยทฤษฎี v/f control ควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยการควบคุมความถี่ โดยพบว่าความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟนั้นจะแปรผกผันกับประสิทธิภาพการทำความเย็นและอุณหภูมิภายนอก

#### 6 เอกสารอ้างอิง

- [1] G.F.Hundy, A.R. Trott, T.C.Welch. **Refrigeration and Air Conditioning**. BH
- [2] Bimal K. Bose. **Modern Power Electronics and AC Drive**. Prentice-Hall, Inc. 2001
- [3] Y. Kumsuwun, and K. Higuchi, "Power Control of Single-Phase Voltage Source Inverter for Grid-Connected Photovoltaic Systems," **IEEE Conference Publication** ,2011
- [4] Weather Underground. "Weather History for Bangkok." [online]:<http://www.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=IBANGKOK34#history/s20150422/e20150422/mdaily>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศที่ใช้พลังงานในการทำความเย็นประมาณ 3,000 W

Manufacturer ID	MS-D36VC
BTU/h	34,120
Power Consumption W	3300
Power Supply V	220
Running Current A	15.6
EER (BTU/Watt)	10.34

Manufacturer ID	PC-3KAKLT
BTU/h	33,000
Power Consumption W	2950
Power Supply V	220
Running Current A	14
EER (BTU/Watt)	10.2

Manufacturer ID	ASY30A
BTU/h	28,000
Power Consumption W	3080
Power Supply V	220
Running Current A	13.7
EER (KW/KW)	2.72

Manufacturer ID	ABY30A
BTU/h	30,000
Power Consumption W	3200
Power Supply V	220
Running Current A	14.5
EER (KW/KW)	2.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิ ณ เวลาต่างๆใน 1 วันของวันที่ 14 เมษายน 2558 ที่สถานีตรวจวัด  
สภาพอากาศพัฒนาการ

Time	Temperature	Time	Temperature	Time	Temperature
12:02AM	30.1 °C	4:53 AM	28.6 °C	9:44 AM	29.4 °C
12:12AM	30 °C	5:03 AM	28.6 °C	9:54 AM	29.6 °C
12:22AM	30 °C	5:13 AM	28.5 °C	10:04AM	29.8 °C
12:32AM	29.9 °C	5:23 AM	28.5 °C	10:14AM	29.9 °C
12:42AM	29.9 °C	5:33 AM	28.4 °C	10:24AM	30.1 °C
12:52AM	29.8 °C	5:43 AM	28.3 °C	10:34AM	30.3 °C
1:02 AM	29.8 °C	5:53 AM	28.3 °C	10:44AM	30.6 °C
1:12 AM	29.7 °C	6:03 AM	28.2 °C	10:54AM	30.8 °C
1:22 AM	29.6 °C	6:13 AM	28.2 °C	11:04AM	31 °C
1:32 AM	29.5 °C	6:23 AM	28.1 °C	11:14AM	31.1 °C
1:42 AM	29.5 °C	6:33 AM	28 °C	11:24AM	31.3 °C
1:52 AM	29.4 °C	6:43 AM	28 °C	11:34AM	31.5 °C
2:02 AM	29.4 °C	6:53 AM	28 °C	11:44AM	31.7 °C
2:12 AM	29.4 °C	7:03 AM	27.9 °C	11:54AM	31.8 °C
2:22 AM	29.3 °C	7:13 AM	27.9 °C	12:04PM	32 °C
2:33 AM	29.3 °C	7:23 AM	27.8 °C	12:14PM	32.1 °C
2:43 AM	29.3 °C	7:34 AM	27.9 °C	12:24PM	32.1 °C
2:53 AM	29.2 °C	7:44 AM	27.9 °C	12:34PM	32.1 °C
3:03 AM	29.2 °C	7:54 AM	27.9 °C	12:44PM	32.2 °C
3:13 AM	29.2 °C	8:04 AM	28 °C	12:55PM	32.2 °C
3:23 AM	29.1 °C	8:14 AM	28.1 °C	1:05 PM	32.3 °C
3:33 AM	29.1 °C	8:24 AM	28.2 °C	1:15 PM	32.4 °C
3:43 AM	29 °C	8:34 AM	28.3 °C	1:25 PM	32.4 °C
3:53 AM	29 °C	8:44 AM	28.4 °C	1:35 PM	32.5 °C
4:03 AM	28.9 °C	8:54 AM	28.6 °C	1:45 PM	32.6 °C
4:13 AM	28.9 °C	9:04 AM	28.7 °C	1:55 PM	32.6 °C
4:23 AM	28.8 °C	9:14 AM	28.9 °C	2:05 PM	32.6 °C
4:33 AM	28.8 °C	9:24 AM	29.1 °C	2:15 PM	32.7 °C
4:43 AM	28.7 °C	9:34 AM	29.2 °C	2:35 PM	32.7 °C

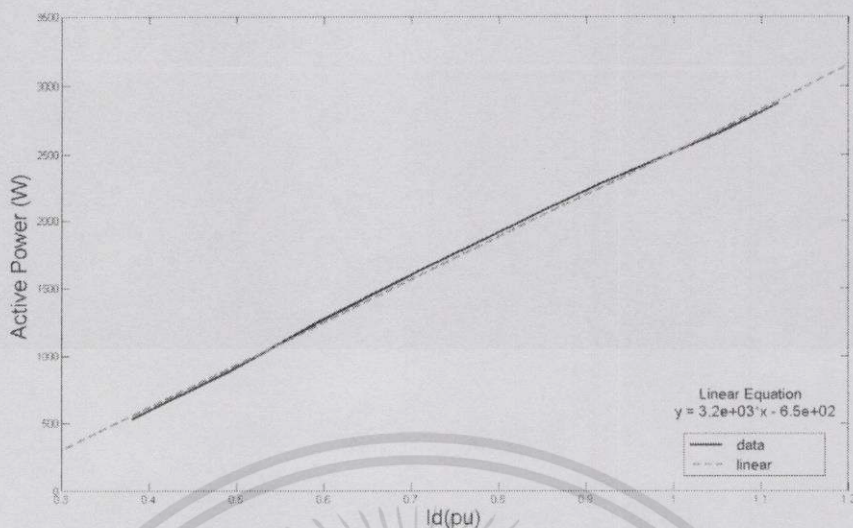
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time	Temperature	Time	Temperature	Time	Temperature
2:45 PM	32.8 °C	7:06 PM	31.9 °C	11:15PM	30.2 °C
2:55 PM	32.8 °C	7:15 PM	31.9 °C	11:17PM	30.1 °C
3:05 PM	32.8 °C	7:16 PM	31.8 °C	11:27PM	30 °C
3:15 PM	32.8 °C	7:35 PM	31.7 °C	11:37PM	29.9 °C
3:25 PM	32.8 °C	7:36 PM	31.7 °C	11:46PM	29.9 °C
3:35 PM	32.7 °C	7:45 PM	31.7 °C	11:47PM	29.8 °C
3:45 PM	32.7 °C	7:55 PM	31.6 °C	11:57PM	29.7 °C
3:55 PM	32.6 °C	8:05 PM	31.6 °C		
4:15 PM	32.6 °C	8:06 PM	31.5 °C		
4:25 PM	32.5 °C	8:15 PM	31.5 °C		
4:35 PM	32.5 °C	8:26 PM	31.5 °C		
4:45 PM	32.5 °C	8:36 PM	31.5 °C		
4:55 PM	32.4 °C	8:46 PM	31.4 °C		
5:05 PM	32.4 °C	8:55 PM	31.4 °C		
5:15 PM	32.3 °C	9:06 PM	31.2 °C		
5:25 PM	32.3 °C	9:16 PM	31.1 °C		
5:26 PM	32.3 °C	9:26 PM	31.1 °C		
5:36 PM	32.3 °C	9:36 PM	31.1 °C		
5:46 PM	32.3 °C	9:46 PM	31.1 °C		
5:55 PM	32.3 °C	10:06PM	31 °C		
5:56 PM	32.3 °C	10:16PM	30.8 °C		
6:06 PM	32.2 °C	10:26PM	30.7 °C		
6:15 PM	32.2 °C	10:27PM	30.6 °C		
6:16 PM	32.2 °C	10:37PM	30.4 °C		
6:25 PM	32.2 °C	10:45PM	30.4 °C		
6:35 PM	32.1 °C	10:56PM	30.4 °C		
6:45 PM	32 °C	10:57PM	30.3 °C		
6:55 PM	32 °C	11:05PM	30.3 °C		
7:05 PM	32 °C	11:07PM	30.2 °C		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

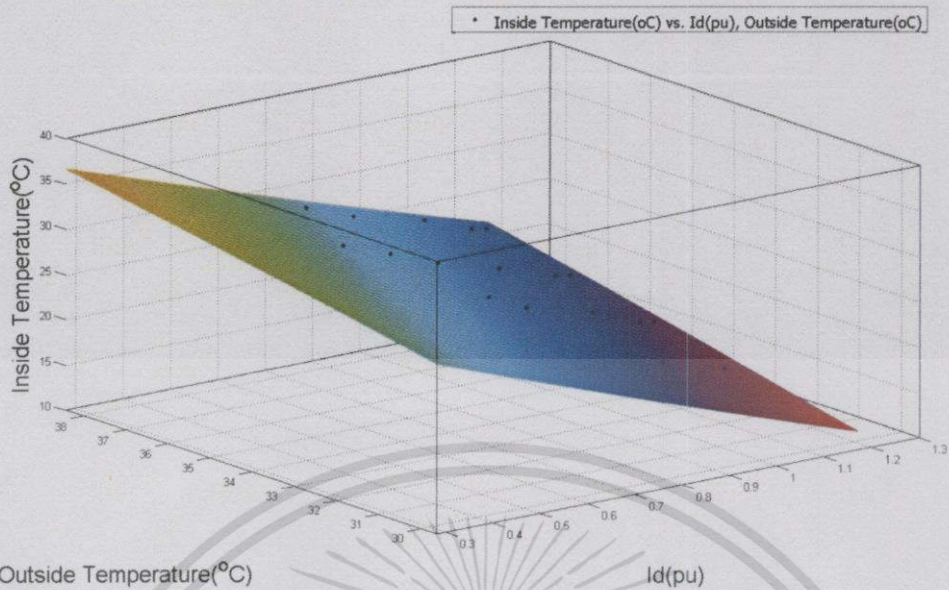


รูปที่ ง.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสในแกน d และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ ง.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสในแกน q และกำลังรีแอกทีฟที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในบ้าน,กระแสในแกน d และอุณหภูมิภายนอก  
ที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ ง.1 ผลการทดลองการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ 528 Var

Temperature(°C)		Current(pu)			Power	
Outside	Inside	Id	Iq	Is	Active(W)	Reactive(Var)
28	16.0	0.85	0.23	0.87	2,250	530
32	18.1	0.97	0.23	0.98	2,540	530
36	22.2	0.96	0.23	0.98	2,530	530
40	26.1	0.97	0.23	0.98	2,550	530

ตารางที่ ง.2 ผลการทดลองการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ 1,056 Var

Temperature(°C)		Current(pu)			Power	
Outside	Inside	Id	Iq	Is	Active(W)	Reactive(Var)
28	16.0	0.85	0.43	0.95	2,250	1,100
32	19.5	0.88	0.43	0.98	2,350	1,100
36	23.55	0.88	0.43	0.98	2,330	1,100
40	27.35	0.89	0.43	0.98	2,350	1,100

ตารางที่ ง.3 ผลการทดลองการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ 1,584 Var

Temperature(°C)		Current(pu)			Power	
Outside	Inside	Id	Iq	Is	Active(W)	Reactive(Var)
28	18.1	0.75	0.66	1.00	1,970	1,600
32	22.2	0.73	0.66	1.00	1,950	1,600
36	26.1	0.74	0.66	1.00	1,970	1,600
40	29.78	0.76	0.66	1.00	2,000	1,600

ตารางที่ ง.4 ผลการทดลองการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ 2,112 Var

Temperature(°C)		Current(pu)			Power	
Outside	Inside	Id	Iq	Is	Active(W)	Reactive(Var)
28	23.5	0.45	0.87	1.00	1,220	2,150
32	27.4	0.46	0.87	1.00	1,230	2,150
36	31.1	0.48	0.87	1.00	1,275	2,150
40	34.55	0.51	0.87	1.00	1,350	2,150

ตารางที่ ง.5 ผลการทดลองการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ 2,640 Var

Temperature(°C)		Current(pu)			Power	
Outside	Inside	Id	Iq	Is	Active(W)	Reactive(Var)
28	25.7	0.35	1.1	1.10	900	2,700
32	29.6	0.36	1.1	1.10	950	2,700
36	33.2	0.37	1.1	1.10	970	2,700
40	36.52	0.51	1.1	1.10	1,100	2,700

ตารางที่ ง.6 ผลการทดลองเมื่อตั้งอุณหภูมิ 16 องศาเซลเซียสและการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ 2,400Var

Temperature(°C)		Current(pu)			Power	
Outside	Inside	Id	Iq	Is	Active(W)	Reactive(Var)
30	16.0	0.98	0.9	1.33	2,580	2,400
32	16.0	1.10	0.9	1.42	2,920	2,400
34	17.7	1.13	0.9	1.44	2,970	2,400
36	19.7	1.13	0.9	1.44	3,000	2,400
38	21.7	1.13	0.9	1.44	3,000	2,400

ตารางที่ ง.7 ผลการทดลองเมื่อตั้งอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสและการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ 2,400Var

Temperature(°C)		Current(pu)			Power	
Outside	Inside	Id	Iq	Is	Active(W)	Reactive(Var)
30	18.0	0.85	0.9	1.24	2,250	2,400
32	18.0	0.97	0.9	1.32	2,600	2,400
34	18.0	1.10	0.9	1.42	2,920	2,400
36	19.7	1.13	0.9	1.44	2,990	2,400
38	21.7	1.13	0.9	1.44	2,990	2,400

ตารางที่ ง.8 ผลการทดลองเมื่อตั้งอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสและการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ 2,400Var

Temperature(°C)		Current(pu)			Power	
Outside	Inside	Id	Iq	Is	Active(W)	Reactive(Var)
30	20	0.75	0.9	1.17	2,000	2,400
32	20	0.85	0.9	1.24	2,300	2,400
34	20	1.00	0.9	1.35	2,600	2,400
36	20	1.10	0.9	1.42	2,900	2,400
38	20	1.13	0.9	1.44	3,000	2,400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.9 ผลการทดลองเมื่อตั้งอุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียสและการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ 2,400Var

Temperature(°C)		Current(pu)			Power	
Outside	Inside	Id	Iq	Is	Active(W)	Reactive(Var)
30	22	0.65	0.9	1.11	1,800	2,400
32	22	0.75	0.9	1.17	2,000	2,400
34	22	0.86	0.9	1.24	2,300	2,400
36	22	0.98	0.9	1.33	2,600	2,400
38	22	1.10	0.9	1.42	2,900	2,400

ตารางที่ ง.10 ผลการทดลองเมื่อตั้งอุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียสและการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ 2,400Var

Temperature(°C)		Current(pu)			Power	
Outside	Inside	Id	Iq	Is	Active(W)	Reactive(Var)
30	24	0.58	0.9	1.07	1500	2400
32	24	0.65	0.9	1.11	1750	2400
34	24	0.78	0.9	1.19	2000	2400
36	24	0.85	0.9	1.24	2300	2400
38	24	1.00	0.9	1.35	2600	2400

ตารางที่ ง.11 ผลการทดลองเมื่อตั้งอุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียสและการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ 2,400Var

Temperature(°C)		Current(pu)			Power	
Outside	Inside	Id	Iq	Is	Active(W)	Reactive(Var)
30	26	0.44	0.9	1.00	1180	2400
32	26	0.54	0.9	1.05	1420	2400
34	26	0.65	0.9	1.11	1700	2400
36	26	0.75	0.9	1.17	2000	2400
38	26	0.85	0.9	1.24	2280	2400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



นายวรพจน์ วิริยะอดสาหกุล

ที่อยู่: 6/9 ถ.ศรีนครินทร์ 10540 ต.บางแก้ว อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ

Email : worapoj1121@gmail.com

เบอร์โทรศัพท์ : 084-769-7707



นายวรภัทร พนาเจริญวงศ์

ที่อยู่: 118 ถ.เสรีไทย63 แขวงรามอินทรา เขตคันนายาว จ.กรุงเทพฯ

Email : worapat.power@gmail.com

เบอร์โทรศัพท์ : 095-739-3392



นางสาววิภากร พงษ์พิริยะกิจกุล

ที่อยู่: 45/62 ถ.เพชรเกษม 81 เขตหนองแขม จ.กรุงเทพฯ

Email : pongpiriya\_w@hotmail.com

เบอร์โทรศัพท์ : 084-670-7440



นางสาวศศธร โทศลศักดิ์สกุล

ที่อยู่: 99/72 หมู่บ้านปาริชาติ เขตลาดกระบัง จ.กรุงเทพฯ

Email : Sasatorn.K@gmail.com

เบอร์โทรศัพท์ : 084-910-2508