



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การจัดการพลังงานอย่างฉลาดสำหรับอาคารพักอาศัย  
Intelligent energy management for residential buildings

นายวรวิรัตน์ นาคะวิโร

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปี พ.ศ. 2558  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH  
ว 276ก  
2558

สาขา.....  
เลขทะเบียน 142887  
วันเดือนปี - 6 ส.ย. 2559

b. 12782841  
i.

ชื่อโครงการ การจัดการพลังงานอย่างฉลาดสำหรับอาคารพักอาศัย

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ 2558

จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2557 ถึง 30 กันยายน 2558

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ

นายวรวรธรณ์ นาคะวีโร สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ศึกษาและพัฒนาเทคนิคการจัดการพลังงานอย่างฉลาดสำหรับอาคารบ้านพักอาศัย การวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการหาจุดการทำงานที่ดีที่สุดของเครื่องปรับอากาศที่ฉลาดเพื่อให้การทำความเย็นไปตามความต้องการและช่วยประหยัด นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาชุดควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านชุดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสามารถสั่งการอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านพักได้ ส่วนที่สองเป็นการจำลองการควบคุมเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์เพื่อให้สามารถจ่ายกำลังรีแอกทีฟคืนให้กับระบบไฟฟ้าได้ ทั้งนี้ภาระการจ่ายกำลังรีแอกทีฟนี้จะต้องไม่กระทบต่อความสามารถในการทำความเย็น ซึ่งเป็นหน้าที่หลักของเครื่องปรับอากาศ วิธีการควบคุมที่นำเสนอเป็นก้าวแรกของเทคโนโลยีไฟฟ้าอัจฉริยะที่เครื่องใช้ไฟฟ้ามีส่วนช่วยปรับปรุงความมั่นคงของระบบไฟฟ้ากำลัง

คำสำคัญ : การบริหารพลังงาน ระบบจำหน่ายไฟฟ้า การควบคุมแรงดันและกำลังรีแอกทีฟ

**Research Title:** Intelligent energy management for residential buildings

**Researcher:** Worawat Nakawiro

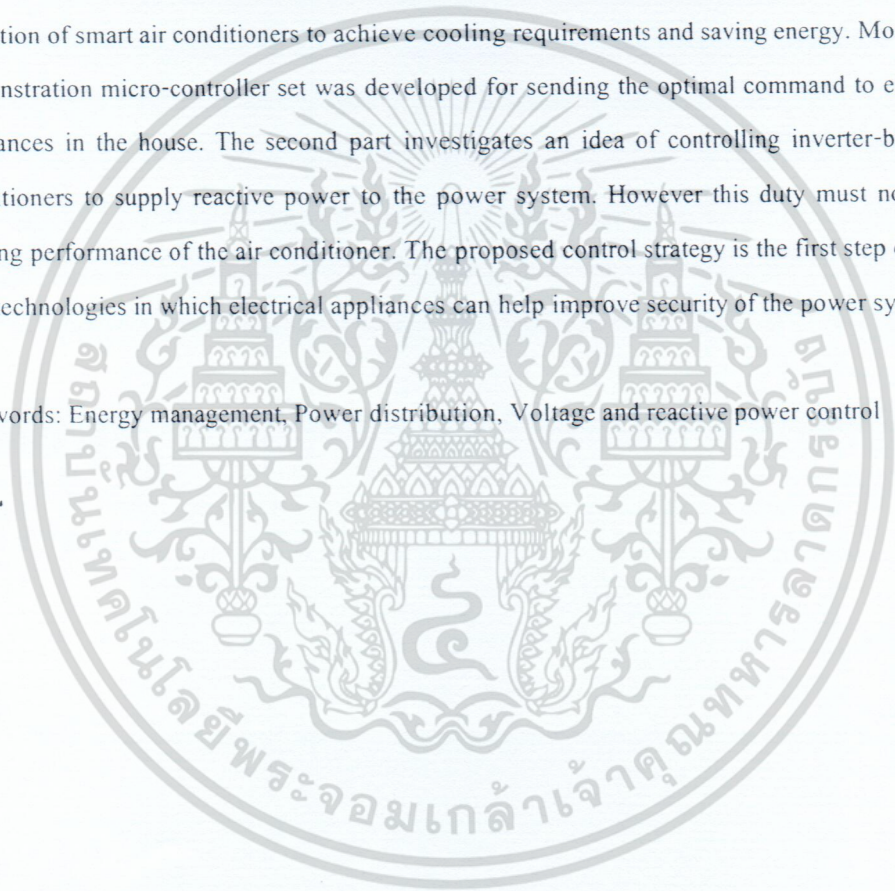
**Faculty:** Engineering

**Department:** Electrical Engineering

## ABSTRACT

This research project studies and develops an intelligent energy management for residential buildings. The project is divided into two parts. The first deals with determination of optimal operation of smart air conditioners to achieve cooling requirements and saving energy. Moreover a demonstration micro-controller set was developed for sending the optimal command to electrical appliances in the house. The second part investigates an idea of controlling inverter-based air conditioners to supply reactive power to the power system. However this duty must not affect cooling performance of the air conditioner. The proposed control strategy is the first step of smart grid technologies in which electrical appliances can help improve security of the power system.

Keywords: Energy management, Power distribution, Voltage and reactive power control



## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งงบประมาณเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ.ดร. อิศระชัย งามหรุ ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและช่วยเหลือการวิจัยมาด้วยดีโดยตลอด รวมทั้งนักศึกษาปริญญาโท และปริญญาตรีที่ช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัยอย่างดีมาตลอด

วรวรรณ นาคะวิโร



# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	i
ABSTRACT.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญรูป.....	vii
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 สมมุติฐานงานวิจัย.....	3
1.6 คำสำคัญของการวิจัย.....	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1.1 บ้านอัจฉริยะ (Smart home).....	4
2.1.2 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร.....	4
2.1.3 เครื่องปรับอากาศ.....	5
2.1.4 การควบคุมกำลังไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย.....	7
2.1.5 การควบคุมมอเตอร์ของเครื่องปรับอากาศ.....	11
2.1.6 การหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization).....	14
2.2 การทบทวนวรรณกรรม.....	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	17
3.1 ระบบการจัดการพลังงาน.....	17

3.1.1 การสร้างแบบจำลองของปัญหา (Problem formulation) .....	17
3.1.2 แบบจำลองของเครื่องปรับอากาศ.....	18
3.1.3 วิธีเชิงพันธุกรรม.....	20
3.1.4 ระบบทดสอบ.....	20
3.1.5 ขั้นตอนการทำงาน.....	21
3.2 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	22
3.2.1 การออกแบบชุดควบคุมบ้านอัจฉริยะ.....	22
3.2.2 การออกแบบแอฟพลิเคชั่นสำหรับควบคุมการทำงานอุปกรณ์ไฟฟ้า .....	27
3.2.3 การออกแบบชุดบ้านจำลอง.....	28
3.3 การควบคุมเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์เพื่อจ่ายกำลังรีแอกทีฟ.....	28
3.3.1 Black diagram ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมกำลังรีแอกทีฟภายในระบบ.....	29
3.3.2 การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor).....	31
3.3.3 Block Diagram ชุดควบคุม.....	33
3.3.4 การจำลองสภาพอุณหภูมิภายนอก.....	34
3.3.5 การจำลองสภาพบ้าน.....	34
3.3.6 อุณหภูมิที่มนุษย์รู้สึกสบาย.....	34
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	36
4.1 ระบบการจัดการพลังงาน.....	36
4.2 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	37
4.2.1 การทดสอบผ่านแอฟพลิเคชั่น.....	37
4.2.2 ผลการทดสอบ.....	39
การคำนวณค่าใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ.....	39
4.3 การควบคุมเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์เพื่อจ่ายกำลังรีแอกทีฟ.....	41
4.3.1 รูปแบบเน้นการรักษาอุณหภูมิ.....	41
4.3.2 รูปแบบเน้นการควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายใน.....	42

4.3.3 รูปแบบที่ควบคุมทั้งการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและรักษาอุณหภูมิ.....	44
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	46
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	46
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	46
เอกสารอ้างอิง.....	47
ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยที่ได้มีการเผยแพร่.....	50
ประวัตินักวิจัย.....	59



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1 การถ่ายเทความร้อน.....	5
รูปที่ 2-2 ส่วนประกอบของเครื่องทำความเย็น.....	7
รูปที่ 2-3 คอนเวอร์เตอร์และวงจรควบคุมกำลังไฟฟ้า.....	7
รูปที่ 2-4 วงจรสมมูลของแหล่งจ่าย.....	8
รูปที่ 2-5 วงจรสมมูลของแหล่งจ่าย ในองค์ประกอบ dq.....	9
รูปที่ 2-6 การแปลงแรงดันและกระแสให้อยู่ในองค์ประกอบในแกน dq.....	9
รูปที่ 2-7 การควบคุมแบบ Vector Control.....	10
รูปที่ 2-8 เฟสเซอร์ของกระแสและแรงดันในกรอบ dq.....	10
รูปที่ 2-9 อินเวอร์เตอร์และวงจรควบคุมมอเตอร์.....	12
รูปที่ 2-10 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	12
รูปที่ 2-11 แผนผังการทำงานของวิธีการเชิงวิวัฒนาการ.....	15
รูปที่ 3-1 แบบจำลองของเครื่องปรับอากาศในโปรแกรม Simulink.....	18
รูปที่ 3-2 แบบจำลองของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในกล่อง AC.....	19
รูปที่ 3-3 แบบจำลองการถ่ายเทความร้อนที่อยู่ภายในกล่อง House.....	19
รูปที่ 3-4 อุณหภูมิภายนอกบ้าน (องศาเซลเซียส).....	21
รูปที่ 3-5 ผังการทำงานของวิวัฒนาการ.....	21
รูปที่ 3-6 วงจรควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน.....	22
รูปที่ 3-7 วงจรส่วนขยายอินพุต.....	24
รูปที่ 3-8 วงจรส่วนขยายเอาต์พุต.....	24
รูปที่ 3-9 วงจรตรวจสอบกระแส.....	25
รูปที่ 3-10 วงจรรีโมท.....	25
รูปที่ 3-11 หน้าต่างในการ Login ในการเข้าสู่ Application.....	27
รูปที่ 3-12 แบบจำลองบ้าน.....	28
รูปที่ 3-13 แบบจำลองเครื่องปรับอากาศ.....	29
รูปที่ 3-14 วงจรคอนเวอร์เตอร์.....	29
รูปที่ 3-15 บล็อกการสร้างสัญญาณ PWM.....	29
รูปที่ 3-16 การหาขนาดของแรงดันในแกน d และมุมของแรงดัน.....	30

รูปที่ 3-17 การแปลงกระแสให้เป็น 2 เฟส .....	30
รูปที่ 3-18 การแปลงกระแสให้อยู่ในแกน d และแกน q .....	30
รูปที่ 3-19 การควบคุมเวกเตอร์ .....	31
รูปที่ 3-20 การสร้าง PWM Modulation .....	31
รูปที่ 3-21 วงจรอินเวอร์เตอร์และมอเตอร์เหนี่ยวนำ .....	31
รูปที่ 3-22 วงจรควบคุมอินเวอร์เตอร์ .....	32
รูปที่ 3-23 การควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามค่าที่ต้องการ .....	32
รูปที่ 3-24 การควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำ .....	33
รูปที่ 3-25 PWM Modulation สำหรับวงจรมอเตอร์เหนี่ยวนำ .....	33
รูปที่ 3-26 ชุดควบคุมกำลังรีแอกทีฟและอุณหภูมิภายในบ้าน .....	33
รูปที่ 3-27 อุณหภูมิภายนอก 24 ชม. ....	34
รูปที่ 3-28 กราฟความสบายระหว่างอุณหภูมิและความชื้น .....	35
รูปที่ 4-1 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องกรณีปรับตั้งอุณหภูมิด้วยมือและกรณีที่ใช้ GA .....	36
รูปที่ 4-2 พลังงานที่ถูกใช้โดยเครื่องปรับอากาศกรณีปรับตั้งอุณหภูมิด้วยมือและกรณีที่ใช้ GA .....	36
รูปที่ 4-3 สถานะการทำงานของแอปพลิเคชันแอนดรอยด์ .....	37
รูปที่ 4-4 หน้าต่างแสดงการควบคุมการทำงานแบบตั้งเวลา .....	38
รูปที่ 4-5 หน้าต่างแสดงการควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ .....	38
รูปที่ 4-6 กำลังรีแอกทีฟที่สามารถจ่ายคืนให้ระบบได้ กรณีรักษาอุณหภูมิ .....	41
รูปที่ 4-7 อุณหภูมิภายในห้อง กรณีรักษาอุณหภูมิ .....	41
รูปที่ 4-8 ค่าตัวประกอบกำลัง ณ จุดเชื่อมต่อ กรณีการรักษาอุณหภูมิ .....	42
รูปที่ 4-9 กำลังรีแอกทีฟที่สามารถจ่ายคืนให้ระบบได้ กรณีรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ .....	43
รูปที่ 4-10 อุณหภูมิภายในห้อง กรณีรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ .....	43
รูปที่ 4-11 ค่าตัวประกอบกำลัง ณ จุดเชื่อมต่อ กรณีรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ .....	43
รูปที่ 4-12 กำลังรีแอกทีฟที่สามารถจ่ายคืนให้ระบบได้ กรณีรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและ อุณหภูมิ .....	44
รูปที่ 4-13 อุณหภูมิภายในห้อง กรณีรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและอุณหภูมิ .....	45
รูปที่ 4-14 ค่าตัวประกอบกำลัง ณ จุดเชื่อมต่อ กรณีรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและอุณหภูมิ .....	45

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี ในขณะที่การผลิตและการส่งจำหน่ายไฟฟ้ามีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ด้านการลงทุน และด้านการยอมรับจากสังคม [1] ด้วยเหตุดังกล่าวเทคโนโลยีระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart grid) [2] จึงได้รับความสนใจจาก ในฐานะที่เป็นเทคโนโลยีแห่งอนาคตเพื่อสร้างความยั่งยืนของพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

บ้านอัจฉริยะ (Smart home) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งใน Smart grid คือ บ้านที่มีสมองกลอัตโนมัติที่ทำหน้าที่ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น เครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น และเครื่องซักผ้า และแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องจักรกังหันก๊าซ และรถไฟฟ้า (Electric vehicle) เป็นต้น [3] การควบคุมโดยสมองกลดังกล่าวเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ได้ถูกกำหนดไว้ เช่น ให้สมองกลควบคุมพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากภายในบ้าน ใกล้เคียงกับความต้องการพลังงานไฟฟ้ารวมภายในบ้าน ซึ่งหมายความว่าบ้านหลังดังกล่าว ลดการพึ่งพิงการใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้า ซึ่งมีส่วนช่วยให้ชะลอการสร้างโครงสร้างพื้นฐานเพื่อรองรับการขยายตัวของความต้องการพลังงานไฟฟ้าในระดับภูมิภาค นอกจากนี้ยังเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านให้เกิดประสิทธิภาพอย่างสูงสุด ด้วยเหตุดังกล่าวการพัฒนาสมองกลเพื่อการบริหารพลังงานในบ้านอัจฉริยะจึงเป็นย่างก้าวแรกที่สำคัญในการพัฒนา Smart grid อีกด้วย

ในอนาคตการเชื่อมต่อแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนในระบบจำหน่าย เช่น Solar roof top อาจส่งผลต่อแรงดันในระบบจำหน่ายเนื่องจากระบบไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อให้รองรับสถานการณ์ดังกล่าว [4] ทำให้การควบคุมแหล่งจ่ายกำลังรีแอกทีฟใน Smart grid จำเป็นต้องได้รับการพัฒนา โดยทั่วไปแหล่งจ่ายกำลังรีแอกทีฟในระบบจำหน่ายประกอบด้วย ตัวเก็บประจุที่ต่อขนาน (Shunt capacitor) ตัวชดเชย Static Var Compensator: SVC และ Static synchronous compensator: STATCOM [5] หรืออุปกรณ์ควบคุมแรงดัน เช่น หม้อแปลงที่มีอุปกรณ์เปลี่ยนแทปขณะจ่ายไฟ (On-load tap changing transformer) นอกจากนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว (Distributed generator: DG) ยังเข้ามามีบทบาทในการรักษาระดับแรงดันในระบบในฐานะผู้ให้บริการเสริม (Ancillary service provider) [6]

เนื่องจากปริมาณการใช้เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในอาคารที่พักอาศัย จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาการควบคุมอินเวอร์เตอร์ที่อยู่ภายในเครื่องปรับอากาศให้สามารถจ่ายกำลังรีแอกทีฟคืนให้แก่ระบบไฟฟ้ากำลัง เนื่องจากอินเวอร์เตอร์สามารถตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่ไม่คาดการณ์ล่วงหน้า (Contingency) ได้รวดเร็วกว่าตัวชดเชยแบบสถิตย์ (Static compensator) และตำแหน่งของเครื่องปรับอากาศก็ยังคงกระจายตัวอยู่ทั่วไปในระบบไฟฟ้า

เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ข้างต้น โครงการวิจัยนี้จึงได้พัฒนาระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน โดยหาจุดการเดินเครื่องที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องปรับอากาศในส่วนที่ 1 และได้พัฒนากลไกการควบคุมให้เครื่องปรับอากาศสามารถช่วยจ่ายกำลังรีแอกทีฟให้แก่ระบบไฟฟ้าได้ในงานวิจัยส่วนที่ 2 เมื่อสิ้นสุดโครงการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้แนวทางเบื้องต้นในการพัฒนากลไกการควบคุมเครื่องปรับอากาศให้มีหน้าที่การทำงานที่ฉลาดมากยิ่งขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้น

- 1) ศึกษากระบวนการจัดการพลังงานภายในบ้านอัจฉริยะ
- 2) พัฒนาชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ต้นแบบเพื่อการส่งคำสั่งไปยังเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ
- 3) นำเสนอวิธีการควบคุมเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์เพื่อให้จ่ายกำลังรีแอกทีฟกลับสู่ระบบไฟฟ้า

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตและกิจกรรมในโครงการวิจัยนี้ประกอบด้วย

- 1) เครื่องปรับอากาศใช้ทำความเย็นภายในบ้านพักอาศัย
- 2) การควบคุมกำลังรีแอกทีฟเพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง ณ จุดเชื่อมต่อ
- 3) ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านโดยผ่านแอปพลิเคชันทางมือถือ

## 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้การจำลองบนคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อหาจุดการเดินเครื่องที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ และควบคุมให้สามารถจ่ายกำลังรีแอกทีฟเพื่อรักษาค่าตัวประกอบกำลัง ณ จุดเชื่อมต่อได้ นอกจากนี้ยังมีการสร้างชุดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านได้ด้วย

ขั้นตอนการวิจัย ประกอบด้วย

- สร้างแบบจำลองของระบบทดสอบ และอุปกรณ์ต่างๆ

สร้างแบบจำลองทางความร้อนของบ้าน และเครื่องปรับอากาศในโปรแกรม

- พัฒนาอัลกอริทึมการควบคุม  
เขียนอัลกอริทึมลงในโปรแกรม MATLAB M-File และ Simulink
- ทดลอง ตรวจสอบ และปรับแก้ข้อบกพร่อง  
ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพ ข้อดี ข้อด้อย ของวิธีการควบคุมที่ได้พัฒนามา พร้อม  
ปรับแก้ข้อบกพร่อง

### 1.5 สมมุติฐานงานวิจัย

งานวิจัยนี้ตั้งอยู่บนสมมุติฐานต่อไปนี้

- บ้านมีระบบการสื่อสารพื้นฐานเพื่อรองรับคำสั่งจากหน่วยประมวลผลกลาง
- ระบบไฟฟ้ามีโครงสร้างค่าไฟแปร เพื่อเป็นการส่งสัญญาณให้ผู้ใช้ไฟลดการใช้พลังงานลง

### 1.6 คำสำคัญของการวิจัย

การบริหารพลังงาน ระบบจำหน่ายไฟฟ้า การควบคุมแรงดันและกำลังรีแอกทีฟ

### 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เมื่อสิ้นสุดโครงการนี้ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับประกอบด้วย

- ได้แนวทางพัฒนาระบบควบคุมแบบลูปปิดที่สามารถการใช้พลังงานภายในบ้านให้มีประสิทธิภาพ และสามารถให้บริการเสริมในการจ่ายกำลังรีแอกทีฟให้กับระบบไฟฟ้าได้
- ได้ชุดการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าต้นแบบเพื่อการพัฒนาต่อยอดต่อไป

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1 บ้านอัจฉริยะ (Smart home)

บ้านอัจฉริยะ (Smart Home) เป็นบ้านที่มีเครื่องใช้ไฟฟ้าที่สามารถหลากหลายชนิดที่มีสมองกลฝังตัว (Embedded System) ซึ่งจะใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อย ไม่ก่อปัญหาภาวะ สามารถควบคุมการใช้งานได้จากระยะไกลผ่านอุปกรณ์สื่อสาร ไร้สายแบบพกพา หรือผ่านระบบอินเทอร์เน็ต เช่น มือถือ, PDA, Smart Phone, Tablet, ระบบอินเทอร์เน็ตในที่ทำงาน, ใช้อินเทอร์เน็ตทั่วไป เป็นต้น รองรับรถยนต์ไฟฟ้าติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก เช่น Rooftop PV, Small Wind Turbine เป็นต้น [4] ลักษณะดังกล่าวที่เกิดขึ้นทำให้ ผู้ใช้ไฟเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าพร้อมกันในเวลาเดียวกัน การไฟฟ้าจะติดตั้งมิเตอร์อัจฉริยะ (Smart Meter) และอุปกรณ์เก็บรวบรวมข้อมูล (Data Concentrator Unit, DCU) สามารถส่งและรับข้อมูลต่างๆ จากบ้านเรือนที่อยู่อาศัย [7] ทำให้เจ้าของบ้านสามารถทราบข้อมูลการใช้ไฟฟ้า ค่าไฟที่เกิดขึ้นจากการใช้ในขณะนั้น ทำให้การไฟฟ้าและเจ้าของบ้านสามารถร่วมกันจัดการการใช้ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ เจ้าของบ้านสามารถลดการใช้ไฟฟ้าที่ไม่จำเป็น ปรับเปลี่ยนช่วงเวลาการใช้ไฟไปใช้ไฟในช่วงที่ค่าไฟถูก

การจำแนกความสามารถและความซับซ้อนของบ้านอัจฉริยะอาศัยระดับของความซับซ้อนของเทคโนโลยีที่ใช้โดยขึ้นอยู่กับงบประมาณของผู้อยู่อาศัยว่าจะเลือกใช้อัตโนมัติขนาดไหน และจะมีอะไรอัจฉริยะบ้าง บางคนอาจจะต้องการเพียงแค่ สามารถสั่งเปิดปิด อุปกรณ์ต่างๆ จาก Tablet เช่น iPad หรือจากมือถือ หรือให้อุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้าน โคมไฟ เครื่องปรับอากาศ ทีวี เปิดปิดเองอัตโนมัติจากการวัดด้วยเซนเซอร์หรือประมวลผลชุดคำสั่งจากผู้ใช้งานว่าต้องการให้ระบบควบคุมปฏิบัติเช่นไร

##### 2.1.2 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

ค่าพลังงานของรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่งมาถึงชั้นบรรยากาศของโลกที่ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ จะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1,367 วัตต์ต่อตารางเมตร สำหรับประเทศไทยจากรายงานของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานที่ได้ทำการศึกษาถึงค่าพลังงานของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบประเทศไทย พบว่า ค่าความเข้มรังสีรวมรายชั่วโมงในเวลากลางวัน 10.30 – 14.30 น. ของทุกเดือนทั่วประเทศส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่า 1.5 MJ/m<sup>2</sup>-day ทั่วไปแล้วจากกล่าวได้ว่าความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารสามารถแยกออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ [8]

1. ความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์แสงสว่าง และคนที่อยู่ภายในอาคาร

2. ความร้อนที่เข้าสู่อาคารจากแหล่งความร้อนภายนอก เช่น ความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์นี้จะถ่ายเทเข้าสู่อาคารได้ 3 ลักษณะ คือ

- การนำความร้อน (Conduction) เป็นการส่งผ่านความร้อนระหว่างโมเลกุลของมวลวัตถุ
- การพาความร้อน (Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการเคลื่อนตัวของอากาศเป็นสื่อกลาง
- การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เป็นการส่งผ่านความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน โดยไม่ต้องใช้ตัวกลาง

โดยที่การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมเข้าสู่อาคารจะพิจารณาองค์ประกอบของความร้อนที่เข้าสู่อาคาร จากการนำความร้อนผ่านผนังทึบ การนำความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และการแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง



รูปที่ 2-1 การถ่ายเทความร้อน

### 2.1.3 เครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อน คือ เมื่อมีการถ่ายเทความร้อนออกไปข้างนอกอากาศในห้องย่อมจะมีอุณหภูมิลดลง โดยที่อยู่อาศัยทั่วไปมักเป็นเครื่องปรับอากาศแบบ Split type ขนาดของเครื่องปรับอากาศมีหน่วยเป็น Btu ต่อ ชั่วโมง (Btu/hr) ส่วนประกอบของเครื่องปรับอากาศ มีดังนี้ [9]

1. คอนเดนเซอร์ (Condenser) ทำหน้าที่ดึงความร้อนออกจากแก๊สที่มีแรงดันสูงและอุณหภูมิสูง และระบายออกไปสู่ภายนอก เพื่อให้ไอของสารทำความเย็นควบแน่นกลายเป็นของเหลวที่มีความดันสูงและอุณหภูมิสูง

2. ท่อพักน้ำยาเหลว (Receiver) ทำหน้าที่พักสารทำความเย็นที่เป็นของเหลวอุณหภูมิสูงและความดันสูงจากคอนเดนเซอร์ ก่อนที่จะถูกส่งไปยัง เอกซ์แพนชันวาล์ว

3. เอกซ์แพนชันวาล์ว (Expansion valve) ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นก่อนเข้า อีวาพอเรเตอร์ ซึ่งทำงาน โดยการลดพื้นที่หน้าตัดลง ทำให้มีความดันลดต่ำลง จนสามารถระเหยเป็นไอได้ที่อุณหภูมิต่ำ ก่อนจะส่งผ่านไปสู่อีวาพอเรเตอร์

4. อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) ทำหน้าที่โดยรับสารทำความเย็นจากเอกซ์แพนชันวาล์ว และดึงความร้อนจากอากาศภายในห้อง เมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่านบริเวณแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้อุณหภูมิจากอากาศรอบๆลดลง และสารทำความเย็นจะอยู่ในรูปแก๊สอุณหภูมิต่ำและความดันต่ำ

5. คอมเพรสเซอร์ (Compressor) คืออุปกรณ์เพิ่มความดันของสารทำความเย็นที่อยู่ในรูปของไอ จะดูดสารทำความเย็นอุณหภูมิต่ำและความดันต่ำจากอีวาพอเรเตอร์ อีกให้มีความดันสูงและความดันสูงพร้อมจะควบแน่นเป็นของเหลวเมื่อมีการถ่ายเทความร้อน

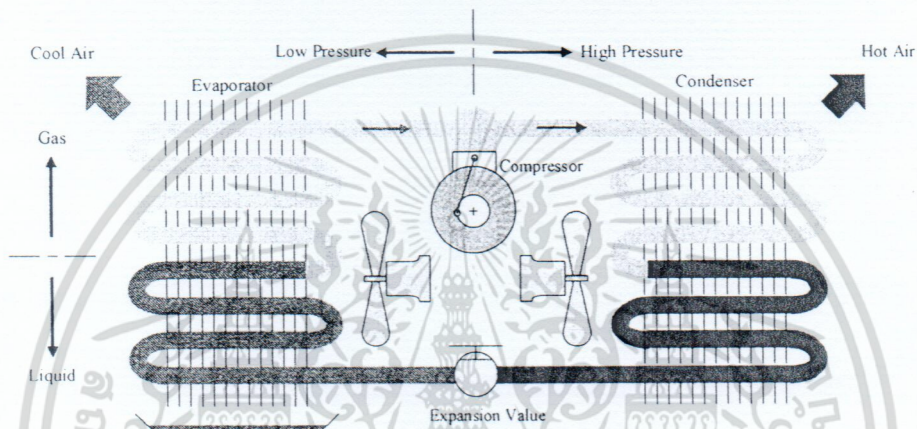
6. ท่อลิกวิด (Liquid line) เป็นท่อทางเดินของสารทำความเย็น อยู่ระหว่างท่อพักน้ำยาเหลวและเอกซ์แพนชันวาล์ว สารทำความเย็นจะอยู่ในรูปของเหลวความดันสูงและอุณหภูมิสูง

7. ท่อซักชั่น (Suction line) เป็นท่อเดินของสารทำความเย็น อยู่ระหว่างอีวาพอเรเตอร์กับทางดูดของคอมเพรสเซอร์ น้ำยาสถานะแก๊ส อุณหภูมิต่ำและความดันต่ำจากอีวาพอเรเตอร์จะถูกดูดผ่านท่อซักชั่นไปยังคอมเพรสเซอร์

8. ท่อดิสชาร์จ (Discharge line) เป็นท่อเดินของสารทำความเย็น อยู่ระหว่างท่อทางอัดของคอมเพรสเซอร์กับคอนเดนเซอร์ น้ำยาในสถานะแก๊สจะถูกคอมเพรสเซอร์อัดให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น กลายเป็นของเหลวที่มีความดันและอุณหภูมิสูง

หลักการการทำงานของเครื่องปรับอากาศ เริ่มต้นจากเอกซ์แพนชันวาล์ว สารทำความเย็นสถานะเหลวเคลื่อนไปสู่อีวาพอเรเตอร์ ซึ่งเอกซ์แพนชันวาล์วจะลดความดันของสารทำความเย็นเหลวให้มีความดันต่ำลงจนสามารถระเหยเปลี่ยนสถานะกลายเป็นแก๊สโดยการดึงปริมาณความร้อนในอุณหภูมิต่ำๆสารทำความเย็นจะอยู่ในรูปแก๊สอุณหภูมิต่ำและความดันต่ำ ในขณะที่สารทำความเย็นเหลวภายในอีวาพอเรเตอร์ระเหยตัวเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊ส จะดึงปริมาณความร้อนจากอากาศโดยรอบ ทำให้อากาศโดยรอบมีอุณหภูมิลดต่ำลง และมีการนำฉนวนกันความร้อน ห่อหุ้มบริเวณแลกเปลี่ยนความร้อนที่อีวาพอเรเตอร์ไว้ การหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนส่งผลให้ความร้อนภายในและภายนอกไม่ส่งผลถึงกัน อากาศในบริเวณแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำการแลกเปลี่ยนความร้อนได้อย่างเต็มที่

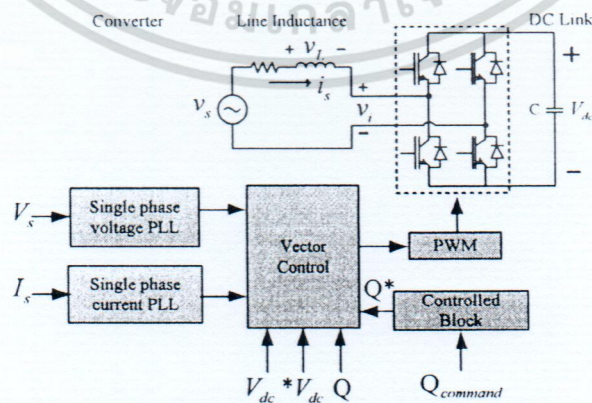
หลังจากนั้น สารทำความเย็นสถานะแก๊สอุณหภูมิต่ำและความดันต่ำจะเคลื่อนผ่านท่อซิกแซกเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ คอมเพรสเซอร์จะทำการอัดสารทำความเย็นเพื่อเพิ่มความดันและเพิ่มอุณหภูมิ หลังจากนั้นสารทำความเย็นจะอยู่ในรูปแก๊สความดันสูงและอุณหภูมิสูงออกจากคอมเพรสเซอร์ผ่านท่อดีสชาร์จแล้วเข้าสู่คอนเดนเซอร์ โดยคอนเดนเซอร์จะดึงอุณหภูมิจากสารทำความเย็นและเปลี่ยนเป็นสถานะของเหลวอีกครั้ง และนำไปพักที่ท่อพักน้ำยาเหลว ก่อนจะส่งวนไปที่เอกซ์เพนชันวาล์วโดยผ่านท่อลิควิดอีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 ส่วนประกอบของเครื่องทำความเย็น

#### 2.1.4 การควบคุมกำลังไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย

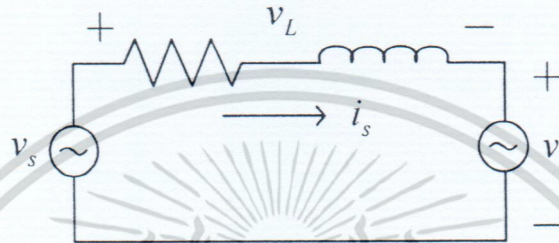
การควบคุมกำลังไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายอาศัยทฤษฎีการควบคุมเวกเตอร์ (Vector Control) [10] แปลงกระแสและแรงดันให้อยู่ในแกน d และแกน q เพื่อควบคุมแรงดันที่ DC-Link กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังรีแอกทีฟที่คอนเวอร์เตอร์ โดยการสร้างสัญญาณ PWM เพื่อไปขับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังดังแสดงในรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 คอนเวอร์เตอร์และวงจรควบคุมกำลังไฟฟ้า

คอนเวอร์เตอร์ มีหน้าที่หลัก 2 ประการ คือ การเป็นวงจรเรียงกระแสและการควบคุมตัวประกอบกำลัง ในที่นี้จะอธิบายหน้าที่อย่างหลัง กล่าวคือ การควบคุมตัวประกอบกำลังทำได้โดยการควบคุมกำลังไฟฟ้และกำลังรีแอกทีฟโดยอาศัยทฤษฎี Phase Lock Loop Inverse Park's Transform [3]

จากการวิเคราะห์วงจรสมมูลดังแสดงในรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 วงจรสมมูลของแหล่งจ่ายไฟ

สมการแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟ

$$v_i = -Ri_s - L \frac{di_s}{dt} + v_s \quad (2.1)$$

แยกองค์ประกอบเป็นส่วนจริงและส่วนจินตภาพ

$$\bar{v}_i = v_{i\alpha} + jv_{i\beta} \quad (2.2)$$

$$\begin{bmatrix} v_{i\alpha} \\ v_{i\beta} \end{bmatrix} = -R \begin{bmatrix} i_{i\alpha} \\ i_{i\beta} \end{bmatrix} - L \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{i\alpha} \\ i_{i\beta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{s\alpha} \\ v_{s\beta} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

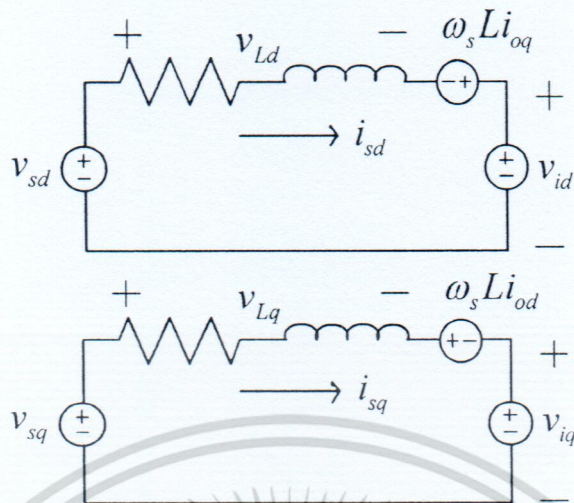
เมื่อใช้การแปลง Park

$$\begin{bmatrix} v_{id} \\ v_{iq} \end{bmatrix} = -R \begin{bmatrix} i_{id} \\ i_{iq} \end{bmatrix} - L \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{id} \\ i_{iq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \omega L \\ -\omega L & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{id} \\ i_{iq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{sd} \\ v_{sq} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$$v_{id} = v_{sd} - v_{Ld} + i_q \omega L \quad (2.5)$$

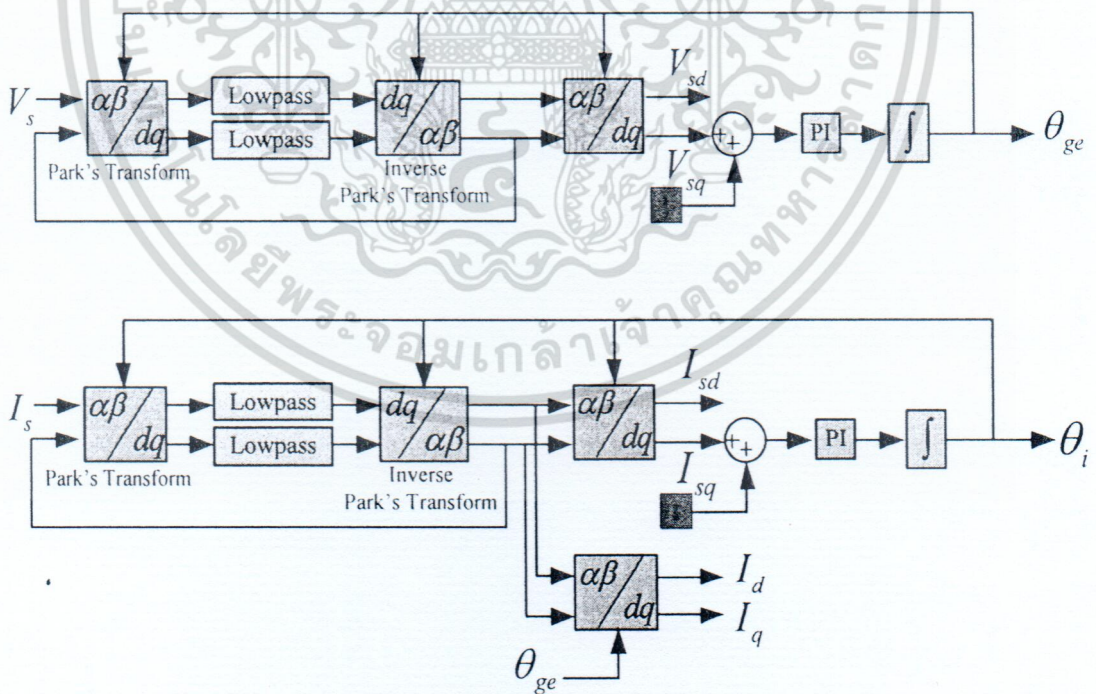
$$v_{iq} = -v_{Lq} + i_d \omega L \quad (2.6)$$

นำมา (2.5)-(2.6) เขียนวงจรสมมูลดังแสดงในรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 วงจรสมมูลของแหล่งจ่าย ในองค์ประกอบ dq

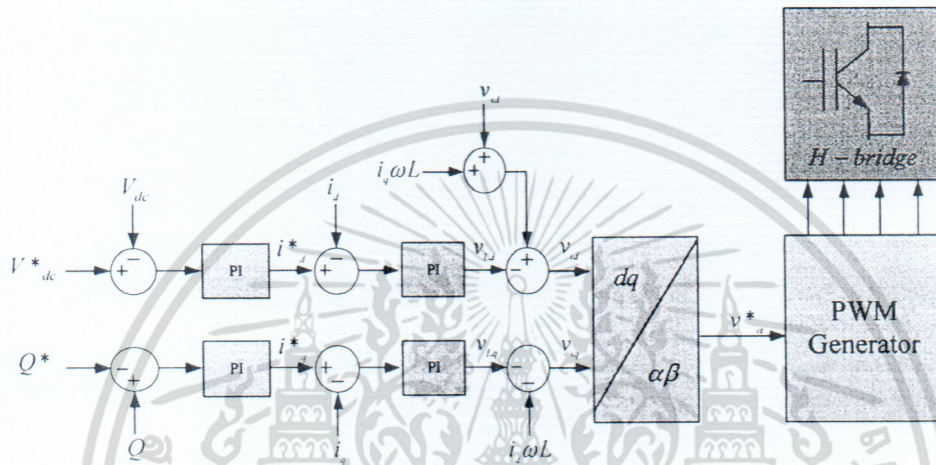
เมื่อใช้ Phase Lock Loop (PLL) [11] Inverse Park's Transform เพื่อเปลี่ยนองค์ประกอบในแกน  $\alpha\beta$  ให้อยู่ในองค์ประกอบในแกน dq เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมโดยอาศัยชุดควบคุมดังแสดงในรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 การแปลงแรงดันและกระแสให้อยู่ในองค์ประกอบในแกน dq

จะเห็นได้ว่าจากชุดการควบคุมข้างต้นทำให้ทราบค่ามุม  $\theta$  ทำให้สามารถแปลงองค์ประกอบจากแกนอ้างอิงใดๆ ไปเป็นแกน dq และสามารถแปลงกลับได้

หลังจากแปลงกระแสและแรงดันที่แหล่งจ่ายให้อยู่ในแกน dq แล้ว เราสามารถควบคุมแรงดัน ณ DC-Link โดยใช้องค์ประกอบของกระแสในแกน dq ตามหลักการ Vector Control [4] ดังแสดงในรูปที่ 2-7



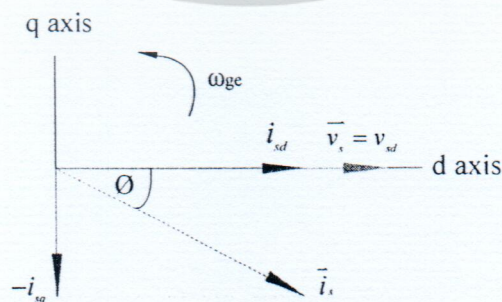
รูปที่ 2-7 การควบคุมแบบ Vector Control

จะเห็นว่าการสร้างสัญญาณ PWM จำเป็นต้องทราบค่า

$$v_{id} = v_{sd} - v_{ld} + i_q \omega L \quad (2.7)$$

$$v_{iq} = -v_{lq} + i_d \omega L \quad (2.8)$$

จากการควบคุมกระแสที่ไหลเข้าอินเวอร์เตอร์ในแกน dq ทำให้เราสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าและกำลังรีแอกทีฟได้ดังแสดงในรูปที่ 2-8



รูปที่ 2-8 เฟสเซอร์ของกระแสและแรงดันในกรอบ dq

พิจารณาแรงดันแรงดันตกคร่อมและกระแสที่ไหลเข้าอินเวอร์เตอร์

$$\vec{v}_s = \hat{V}_s \cos(\omega_s t) \quad (2.9)$$

$$\vec{i}_s = \hat{I}_s \cos(\omega_s t - \phi) = \hat{I}_{sd} \cos(\omega_s t) - j\hat{I}_{sq} \sin(\omega_s t) \quad (2.10)$$

เมื่อแยกกระแสให้อยู่ในองค์ประกอบ dq

$$i_{sd} = \hat{I}_s \cos(-\phi) = \hat{I}_s \cos(\phi) \quad (2.11)$$

$$i_{sq} = \hat{I}_s \sin(-\phi) = -\hat{I}_s \sin(\phi) \quad (2.12)$$

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

$$p = \hat{V}_s \cos(\omega_s t) \cdot \hat{I}_{sd} \cos(\omega_s t) = \frac{\hat{V}_s}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\hat{I}_s}{\sqrt{2}} \cos \phi \quad (2.13)$$

$$p = \frac{1}{2} v_{sd} i_{sd} \quad (2.14)$$

$$q = -\hat{V}_s \cos(\omega_s t) \cdot \hat{I}_{sq} \sin \omega_s t = -\frac{\hat{V}_s}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\hat{I}_s}{\sqrt{2}} \sin \phi \quad (2.15)$$

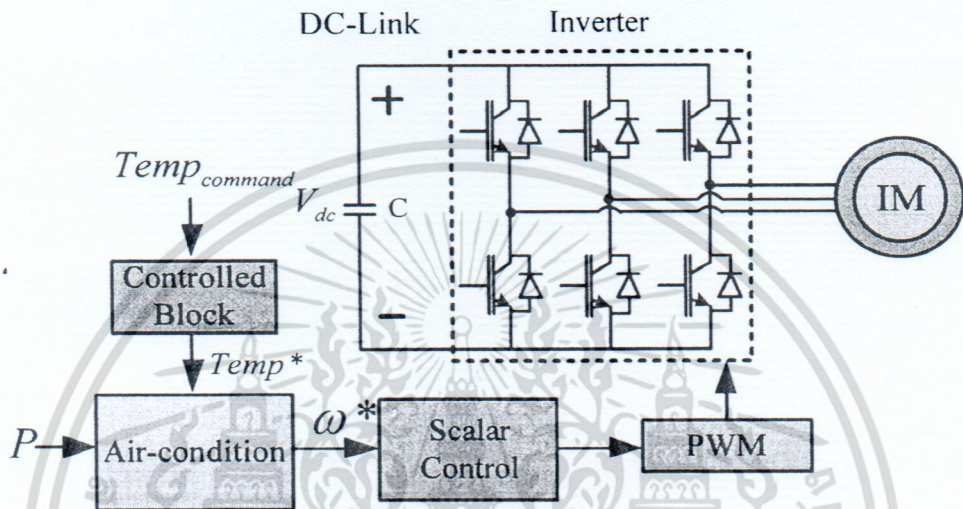
$$q = -\frac{1}{2} v_{sd} i_{sq} \quad (2.16)$$

จากสมการจะเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้าและกำลังรีแอกทีฟนั้น สามารถควบคุมได้ผ่านการควบคุมกระแสในองค์ประกอบ dq

### 2.1.5 การควบคุมมอเตอร์ของเครื่องปรับอากาศ

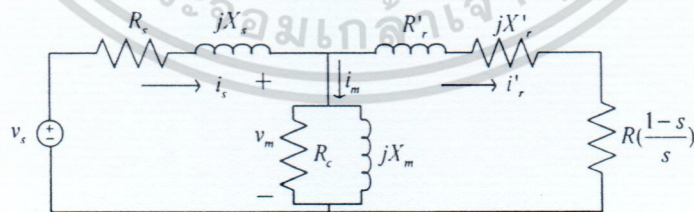
อินเวอร์เตอร์ถูกนำมาใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เช่น เครื่องปรับอากาศ โดยการนำเอา ระบบอินเวอร์เตอร์เปลี่ยนจากการ on-off ของมอเตอร์เป็นการเปลี่ยนแปลงความถี่เพื่อรักษาระดับ การทำงานของมอเตอร์แทน ทำให้มอเตอร์เครื่องปรับอากาศทำงานต่อเนื่องไม่มีการติด-ดับ เหมือน ในระบบเดิม ซึ่งการที่ทำให้มอเตอร์ทำงานต่อเนื่องที่รอบต่ำๆ แทนการตัด จะช่วยประหยัดพลังงาน และค่าไฟฟ้าได้มากกว่าการหยุด และเริ่มเดินใหม่ ชุดอินเวอร์เตอร์จะสั่งให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้น โดยการเพิ่มความถี่หรือปรับเปลี่ยน Duty Cycle และขณะสแตนด์บาย หรืออุณหภูมิคงที่ ระบบ อินเวอร์เตอร์ทำให้มอเตอร์หมุนช้าลง ดังนั้นการควบคุมมอเตอร์จะอาศัยหลักการควบคุมแรงดัน และความถี่ (v-f control)

หลักการการทำงานของอินเวอร์เตอร์ คือ อินเวอร์เตอร์จะแปลงไฟกระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับที่สามารถปรับขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยมีชุดวงจรควบคุม (Control Circuit) ที่สร้างจากหลักการควบคุมความถี่เปลี่ยนแปลงได้ (Variable frequency control) [12] ดังแสดงในรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9 อินเวอร์เตอร์และวงจรควบคุมมอเตอร์

การควบคุมความถี่เปลี่ยนแปลงได้สามารถทำให้มอเตอร์ไปขับโหลดใดๆ เราต้องการทำการควบคุมแรงบิด (Torque) ของมอเตอร์ให้สามารถทำการขับโหลดได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เพราะมอเตอร์ควรทำงานที่ใกล้ความเร็วซิงโครนัส จึงจะได้ค่าแรงบิดที่สูง ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2-10 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

จากวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำเราสามารถควบคุมแรงบิด (Torque) ได้โดยการควบคุมฟลักซ์แม่เหล็กที่ไปเกี่ยวข้องกับโรเตอร์ ตามสมการดังนี้

$$Torque = k\phi I \quad (2.17)$$

จากสมการแสดงให้เห็นว่า ถ้าหากเราสามารถควบคุมกระแสให้คงที่ได้ ทำให้แรงบิดนั้นแปรผันตรงกับฟลักซ์แม่เหล็ก และเราสามารถควบคุม ฟลักซ์แม่เหล็กได้ตามสมการดังนี้

$$\frac{E}{f} = 4.44N\Phi \quad (2.18)$$

จะเห็นได้ว่า เมื่อ 4.44 และ N เป็นค่าคงที่ เราจะสามารถควบคุมค่าฟลักซ์แม่เหล็ก ( $\Phi$ ) ได้ โดยการควบคุมแรงดันเหนี่ยวนำ E แต่เนื่องจากหากมีการกระตุ้นสร้างฟลักซ์แม่เหล็กน้อยไป จะทำให้มอเตอร์มีแรงบิดน้อย ทำให้ไม่สามารถทำการขับโหลดได้ แต่ถึงแม้ว่าจะมีการกระตุ้นการสร้างฟลักซ์แม่เหล็กเข้าไปมาก มอเตอร์ก็สามารถสร้างแรงบิดได้ ถึงแก่ค่าๆหนึ่งเท่านั้น และพลังงานที่ใช้ไปในการกระตุ้นฟลักซ์แม่เหล็กนั้นจะกลายเป็นพลังงานสูญเสีย (Loss) เราจึงต้องทำ v/f Control เพื่อที่ให้มีการกระตุ้นสร้างฟลักซ์แม่เหล็กให้คงที่ตลอดเวลา และยังสามารถทำการขับโหลดได้ด้วยความเร็วใดๆของโรเตอร์

สมการ v/f ที่ ความถี่ปกติ

$$\frac{v_s}{\omega} = \frac{v_m}{\omega} \left( \sqrt{\frac{(R_s + X_s + 2X'_r)^2 + (X_s - R_s)^2}{2X'_r}} \right) \quad (2.19)$$

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

$$\frac{v_{s,k_f}}{\omega k_f} = \frac{v_m k_f}{\omega k_f} \left( \sqrt{\frac{(R_s + k_f X_s + 2k_f X'_r)^2 + (k_f X_s - R_s)^2}{2k_f X'_r}} \right) \quad (2.20)$$

จัดรูปสมการใหม่

$$\frac{v_{s,k_f}}{v_s} = \left( \sqrt{\frac{(R_s + k_f X_s + 2k_f X'_r)^2 + (k_f X_s - R_s)^2}{(R_s + X_s + 2X'_r)^2 + (X_s - R_s)^2}} \right) \quad (2.21)$$

จากสมการนี้ เมื่อเราทำการเปลี่ยนความถี่เพื่อปรับปริมาณการสร้างฟลักซ์แม่เหล็ก เราก็จะได้ค่าแรงดัน v ณ ความถี่ใดๆ ( $v_{s,k_f}$ ) จากการทำเช่นนี้ มอเตอร์จะสามารถทำการขับโหลดได้ด้วยความเร็วใดๆ โดยคงค่าแรงบิดที่เหมาะสมไว้ได้ หลังจากนั้นจึงนำแรงดันนี้ ไปทำการสร้าง PWM เพื่อควบคุมการทำงานของ IGBT/Diode เพื่อสร้างแรงดันกระแสสลับสำหรับจ่ายให้กลับมอเตอร์

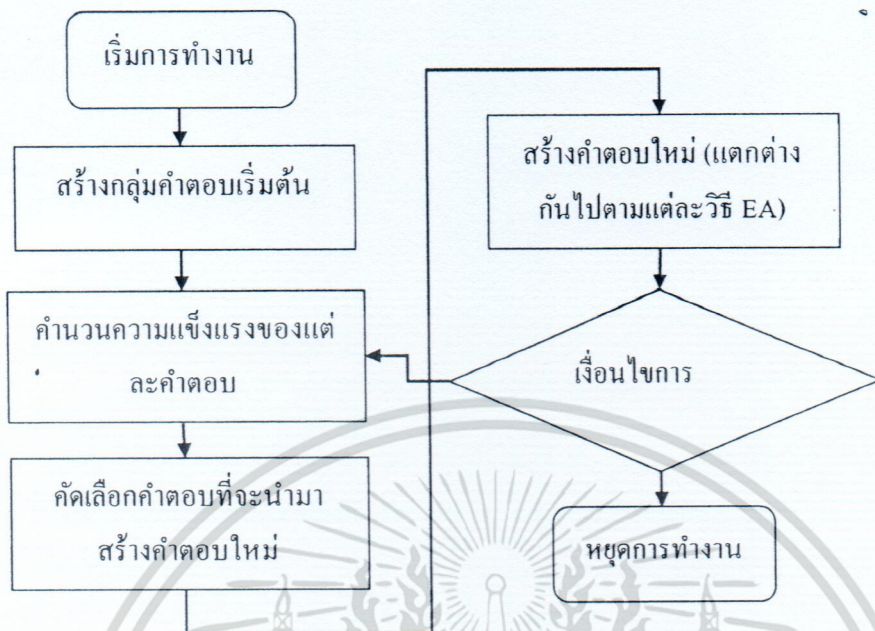
ในที่สุด แต่การควบคุมชนิดนี้ มีข้อเสียที่เราไม่สามารถควบคุม Torque ได้อย่างที่เราต้องการ เนื่องจาก มอเตอร์จะทำการสร้าง Torque ที่เหมาะสมกับโหลดขึ้นเอง

## 2.1.6 การหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization)

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเป็นกระบวนการของการปรับค่าตัวแปรควบคุมตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์หรือการทดลอง เพื่อให้วัตถุประสงค์มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุด ภายในระยะเวลาการทำงานและทรัพยากรให้คุ้มค่าที่สุด ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization problem) สามารถจำแนกออกตามเกณฑ์ต่างๆ เช่น จำนวนวัตถุประสงค์ (วัตถุประสงค์เดียว Single objective หรือหลายวัตถุประสงค์ Multi-objective) ชนิดของตัวแปร (ต่อเนื่อง Continuous ไม่ต่อเนื่อง Discrete หรือมีทั้งสองชนิด Mixed integer) [13]

ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดบางปัญหามีความซับซ้อน มีจำนวนตัวแปรและข้อจำกัดมาก และที่สำคัญไม่มีข้อมูลเกรเดียนซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญต่อการสืบค้นด้วยวิธีแคลคูลัส วิธีการเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary method) เช่น Genetic algorithm หรือ Particle swarm optimization จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับปัญหาที่มีคุณลักษณะดังกล่าว [14] นอกจากนี้

แผนผังการทำงานโดยทั่วไปของวิธีการเชิงวิวัฒนาการสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2-11 โดยการสืบค้นหาจุดเหมาะสมที่สุดเริ่มจากการสร้างกลุ่มคำตอบเริ่มต้น (Initial solution) โดยสามารถสร้างขึ้นด้วยการสุ่ม (Random generation) อย่างสมบูรณ์หรืออาจมีการสอดแทรกข้อมูลเพิ่มเติมหากมี คุณภาพของแต่ละคำตอบในเซตของกลุ่มคำตอบถูกชี้วัดด้วยดัชนีชี้วัดตัวหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า ค่าความแข็งแรง (Fitness) โดยคำตอบที่มีคุณภาพดีจะมีค่าความแข็งแรงมาก ถ้าดับต่อไปกลุ่มคำตอบชุดใหม่จะถูกสร้างขึ้นด้วยตัวดำเนินการ (Operator) ที่แตกต่างกันไปในแต่ละอัลกอริทึม หากแต่แนวคิดพื้นฐานที่แต่ละอัลกอริทึมใช้ร่วมกันคือ การคัดเลือกคำตอบจากเซตกลุ่มคำตอบเพื่อนำมาใช้ทำการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการที่แตกต่างกันไป เมื่อได้เซตของกลุ่มคำตอบใหม่ ความแข็งแรงของแต่ละคำตอบจะถูกคำนวณเพื่อดูการปรับปรุงคุณภาพของคำตอบ การทำงานในวงรอบดังกล่าวนี้จะไปซ้ำไปจนกว่าเงื่อนไขการหยุดการทำงานจะเป็นจริง โดยเงื่อนไขดังกล่าวอาจตั้งค่าโดยใช้จำนวนรอบสูงสุดในการคำนวณ หรือการปรับปรุงคำตอบเป็นเกณฑ์



รูปที่ 2-11 แผนผังการทำงานของวิธีการเชิงวิวัฒนาการ

## 2.2 การทบทวนวรรณกรรม

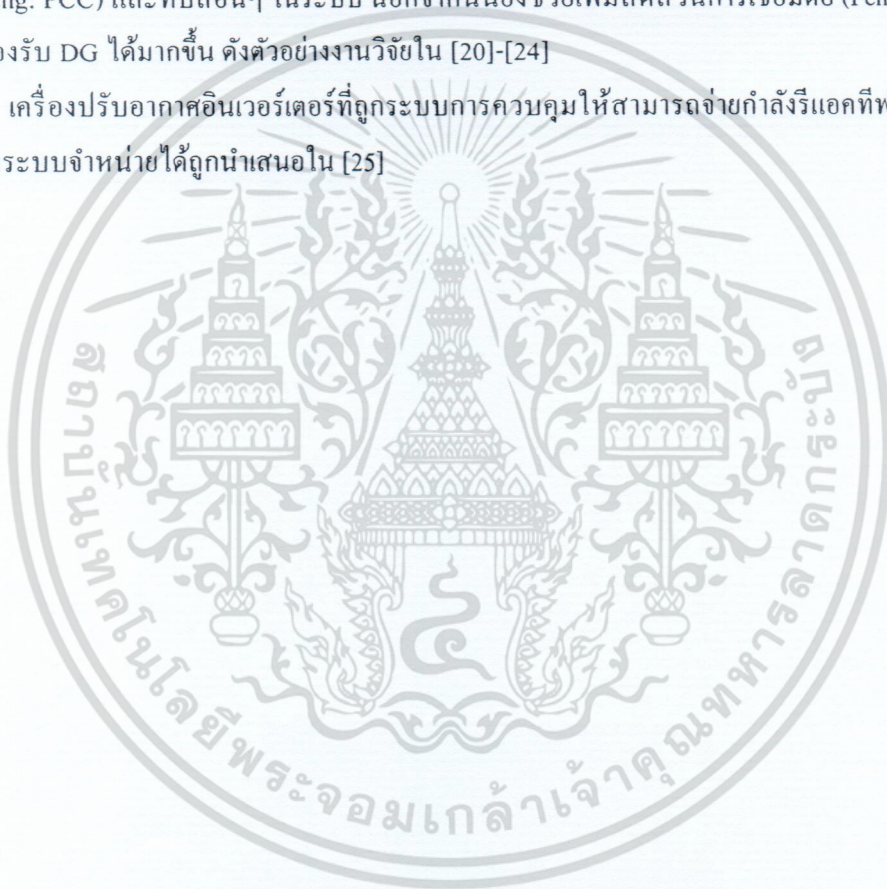
บ้านอัจฉริยะ (Smart home) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งใน Smart grid คือ บ้านที่มีสมรรถนะอัตโนมัติที่ทำหน้าที่ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น เครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น และเครื่องซักผ้า และแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องจักรกังหันก๊าซ และรถไฟฟ้า (Electric vehicle) เป็นต้น

การควบคุมโดยสมรรถนะดังกล่าวเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ได้ถูกกำหนดไว้ [15] เช่น ให้สมรรถนะควบคุมพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากภายในบ้านใกล้เคียงกับความต้องการพลังงานไฟฟ้ารวมภายในบ้าน [16] กระบวนการหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบ Particle Swarm Optimization (PSO) ถูกนำมาใช้เพื่อหาผลเฉลย นอกจากนั้นสมรรถนะอาจทำการจัดสรรการใช้และการผลิตไฟฟ้า เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดเมื่อราคาไฟฟ้าเป็นแบบเวลาจริง (Real-time pricing) [17] ในงานวิจัย [18] กระบวนการหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบไม่แน่นอน และคงทน (Stochastic and Robust Optimization) ถูกนำมาใช้เพื่อค้นหาการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาความไม่แน่นอน (Uncertainty) ของค่าไฟฟ้าในช่วง 5 นาทีข้างหน้า โดยโหลดไฟฟ้าสามารถจำแนกได้เป็น โหลดที่สามารถเลื่อนเวลาการใช้งานได้และเลื่อนการใช้งานไม่ได้ (deferrable and non-deferrable loads) และโหลดที่สามารถรบกวนได้และรบกวนไม่ได้ (interruptible and non-interruptible loads)

งานวิจัย [19] นำเสนอวิธีการสร้างโมเดลการควบคุมการใช้พลังงานภายในบ้านอัจฉริยะ โดยพิจารณาสมดุลระหว่างเป้าหมายในการใช้งานของผู้ใช้งาน (ซึ่งสามารถแปรเปลี่ยนได้ตลอดเวลา) และการประหยัดการใช้พลังงาน

นอกจากนั้นในอนาคตระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว (Distributed generator :DG) ยังมีแนวโน้มที่จะเกิดปัญหาทางเทคนิคซึ่งหนึ่งในนั้นคือ การควบคุมแรงดัน การสนับสนุนกำลังรีแอกทีฟในฐานะเป็นรูปแบบหนึ่งของการบริการเสริม (Ancillary service) เป็นมาตรการหนึ่งในการรักษาระดับแรงดันที่บัสเชื่อมต่อเครื่องกำเนิด (Point of common coupling: PCC) และที่บัสอื่นๆ ในระบบ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มสัดส่วนการเชื่อมต่อ (Penetration) เพื่อรองรับ DG ได้มากขึ้น ดังตัวอย่างงานวิจัยใน [20]-[24]

เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ที่ถูกระบบการควบคุมให้สามารถจ่ายกำลังรีแอกทีฟกลับคืนให้กับระบบจำหน่ายได้ถูกนำเสนอใน [25]



### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้จะนำเสนอวิธีการวิจัยได้ดำเนินการในโครงการนี้

#### 3.1 ระบบการจัดการพลังงาน

##### 3.1.1 การสร้างแบบจำลองของปัญหา (Problem formulation)

ในโครงการนี้ได้สร้างโปรแกรมเพื่อการจัดการออกแบบตารางการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านอัจฉริยะให้มีการซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้า และมีการสูญเสียความเสถียรจากจากการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านอัจฉริยะให้น้อยที่สุด ซึ่งเป็นไปตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$\text{Minimize } Y(t) = f_i(x_a(t), T_{in}(t), T_{out}(t)) \quad (3.1)$$

โดยที่

$x_a(t)$  คือ พลังงานที่ใช้สำหรับอุปกรณ์  $a$  ในแต่ละชั่วโมง (kWh) ซึ่งเป็นตัวแปรควบคุม (Control variable) ซึ่งต้องการหา ในที่นี้เราจะพิจารณาเฉพาะ  $x_{air}(t)$  คือ พลังงานที่ใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศแต่ละชั่วโมง (kWh)

$T_{in}(t)$  คือ อุณหภูมิภายในห้องแต่ละเวลา  $t$  (องศาเซลเซียส) เป็นตัวแปรตาม (Dependent variable) เนื่องจากจะแปรเปลี่ยนตามตัวแปรชุดอื่น

$T_{out}(t)$  คือ อุณหภูมิภายนอกแต่ละเวลา  $t$  (องศาเซลเซียส) ซึ่งเป็นตัวแปรอินพุต (Input variable) เนื่องจากต้องกำหนดค่าไว้ก่อนการหาค่าที่เหมาะสม

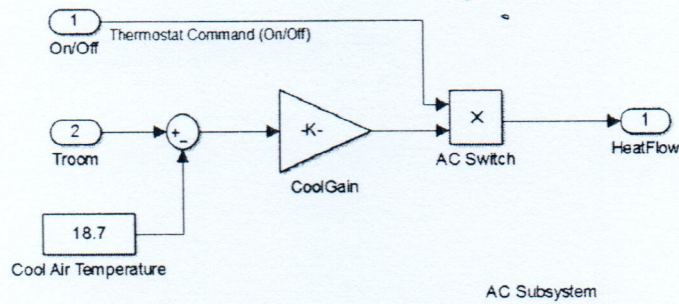
ดังนั้นเราสามารถเขียนฟังก์ชันวัตถุประสงค์ใหม่ได้ดัง

$$\min \sum_{t=1}^{24} u(t) \quad (3.2)$$

โดย  $u(t)$  คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในแต่ละชั่วโมงของบ้านอัจฉริยะ (kWh)

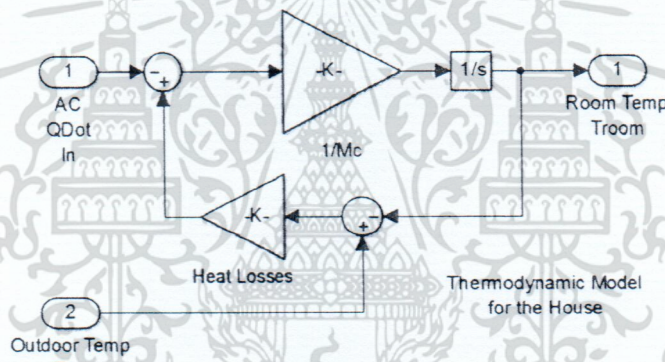
การศึกษาระทำบนโปรแกรม PSAT ใน MATLAB วิธีทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) ใน GA MATLAB toolbox [26] ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือเพื่อการค้นหาค่าที่ดีที่สุดควบคุมที่ดีที่สุด





รูปที่ 3-2 แบบจำลองของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในกล่อง AC

4. แปลงพลังงานที่ใช้ในการทำความเย็นเป็นอุณหภูมิภายในห้อง โดยพิจารณาการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกสู่ภายในห้อง แบบจำลองแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 3-3 แบบจำลองการถ่ายเทความร้อนที่อยู่ภายในกล่อง House

5. ทำซ้ำเรื่อยๆ จากข้อ 4 จนกว่าอุณหภูมิภายในจะน้อยกว่าอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้

การหาอุณหภูมิภายในห้องที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการใช้เครื่องปรับอากาศต้องทราบอุณหภูมิเริ่มต้นภายในและอุณหภูมิภายนอกห้องจากสมการ

$$T_m(t) = T_m(t-1) + \alpha[T_{out}(t) - T_m(t-1)] + \beta x_{air}(t) \quad (3.3)$$

โดย  $\alpha$  และ  $\beta$  เป็นค่าคงที่ของเครื่องปรับอากาศแบบจำลองของเครื่องปรับอากาศต้องพิจารณาถึงเงื่อนไขต่างๆดังนี้

1. พลังงานที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศต้องไม่เกินพิกัด

$$0 \leq x_{air}(t) \leq E_a^{max} \quad (3.4)$$

เมื่อ  $E_a^{max}$  คือ พิกัดพลังงานสูงสุดที่ใช้ของอุปกรณ์ (kWh)

2. อุณหภูมิภายในห้องอยู่ในช่วงที่ต้องการ

$$T_{des} \leq T_{in}(t) \leq \bar{T}_{des} \quad (3.5)$$

เมื่อ  $T_{des}$  และ  $\bar{T}_{des}$  คือ อุณหภูมิที่ต้องการต่ำสุดและสูงสุดที่ยอมรับได้ตามลำดับ

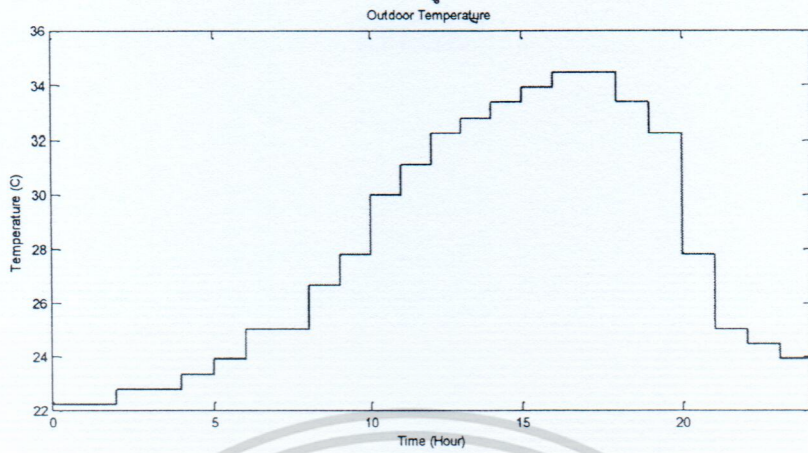
### 3.1.3 วิธีเชิงพันธุกรรม

วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm :GA) คือการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดและใช้เทคนิคการหาค่าตอบบนพื้นฐานของหลักทางพันธุกรรมและการคัดเลือกโดยธรรมชาติ ในการหาค่าตอบ จะต้องพิจารณาลักษณะของแต่ละตัวที่เป็นตัวแทนของโครโมโซม (Chromosome) หรือจีโนม (Genome) โครโมโซมเป็นตัวแทนของจุดในพื้นที่ค้นหาซึ่งประกอบด้วยจำนวนของยีน (Genes) ที่ถ่ายทอดทางพันธุกรรม ซึ่งแต่ละยีนจะมีลักษณะเฉพาะตัว ค่าของยีนอยู่ในเทอมของอัลลีล (Allele)

โดยดั้งเดิมวิธี GA จะเป็นการใช้เลขจำนวนจริงฐานสอง ดังนั้นมิติของแต่ละตัวจะมีความต่างกันซึ่งอาจจะต่างจากมิติของสายโครโมโซม จำนวนมิติที่ใช้ในการแสดงของยีนขึ้นอยู่กับความละเอียดที่ต้องการ โดยการนำเสนออันนี้อาจจะมีความบกพร่อง เช่น การต้องการหน่วยความจำขนาดใหญ่เพื่อเพิ่มขอบเขตในการค้นหาคำตอบให้มากขึ้น ต่อมานักวิจัยได้ปรับปรุงวิธี GA ที่จะทำงานกับตัวแปรต่อเนื่อง ในการหาค่าที่เหมาะสม มีตัวแปรที่มีการปรับให้เหมาะสมเพื่อที่จะใช้ในพื้นที่ฟีโนไทป์ (Phenotype Space) และการทำงานของระบบจะขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรที่เรียกว่าฟีโนไทป์ (Phenotype) การดำเนินงานทางพันธุกรรม เช่น การไขว้เปลี่ยน (Crossover) และการการกลายพันธุ์ (Mutation) ในพื้นที่จีโนไทป์ (Genotype Space) ที่สายของมันจะถูกเรียกว่าจีโนไทป์ (Genotype)

#### 3.1.4 ระบบทดสอบ

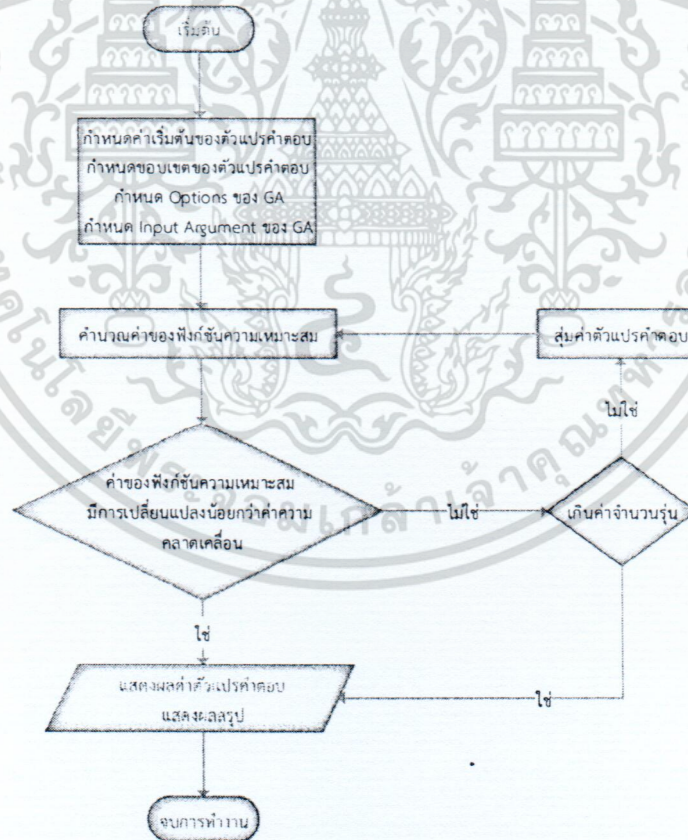
พิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอัจฉริยะดังนี้คือพิจารณาเครื่องปรับอากาศซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ กำหนดให้อุณหภูมิที่สบายที่สุดเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ต้องการอยู่ในช่วง 23.33 ถึง 26.67 องศาเซลเซียส ค่าคงที่เครื่องปรับอากาศ  $\alpha$  มีค่า 0.9 และ  $\beta$  มีค่า -0.001 ค่าพิกัดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ 1.555 kWh และอุณหภูมิภายนอกเป็นไปตามรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-4 อุณหภูมิภายนอกบ้าน (องศาเซลเซียส)

3.1.5 ขั้นตอนการทำงาน

ผังการทำงานของวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นเป็นไปตามรูปที่ 3-5

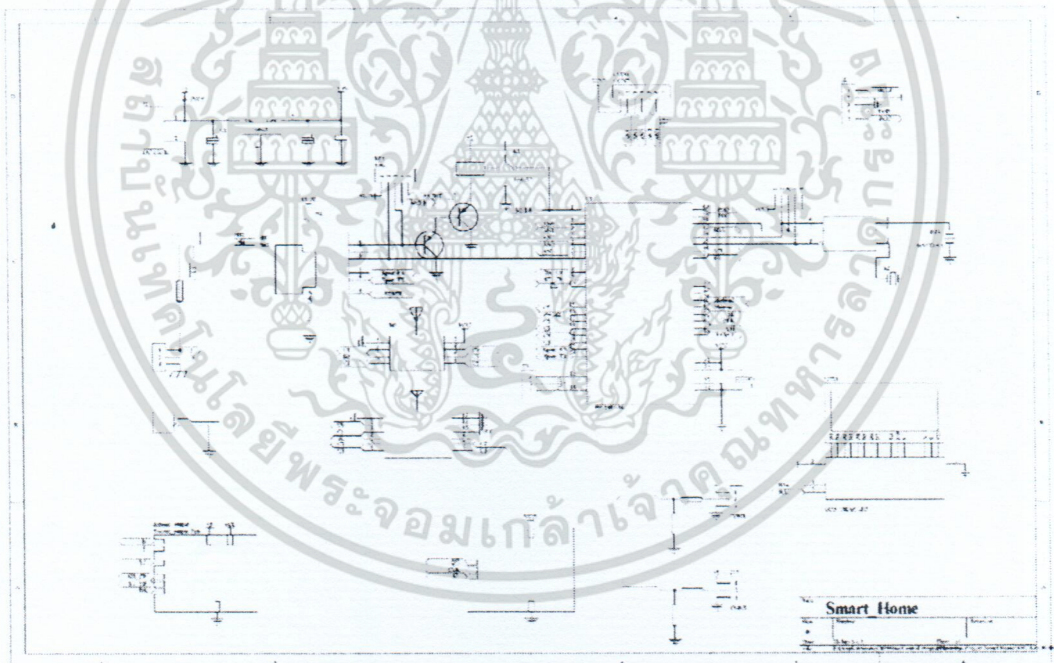


รูปที่ 3-5 ผังการทำงานของวิธีพัฒนาขึ้น

### 3.2 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

#### 3.2.1 การออกแบบชุดควบคุมบ้านอัจฉริยะ

ในการออกแบบชุดควบคุมบ้านอัจฉริยะนี้เป็นการออกแบบการควบคุมด้วย Microcontroller unit (MCU) ของ Microchip เบอร์ PIC18F458 [27] ซึ่งสามารถโปรแกรมผ่าน Boot Loader ซึ่งจะโดยที่ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องมีเครื่องมือสำหรับโปรแกรม Update Firmware ที่พัฒนาเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงบางฟังก์ชันเพิ่มเติมด้วยตัวเอง ข้อดีอีกข้อของ Boot Loader ก็คือสามารถ Update Firmware บนชุดควบคุมบ้านอัจฉริยะไม่ต้องย้ายจากที่ติดตั้งซึ่งจะมีความยุ่งยาก สามารถทำได้โดยโปรแกรมผ่าน Boot Loader โดยสามารถใช้ MCU เบอร์อื่นๆที่ราคาถูกกว่าทดแทนได้ แต่จำเป็นต้องหา Boot Loader ของเบอร์นั้นๆด้วย ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่าการอัปเดตโปรแกรมผ่าน Ethernet



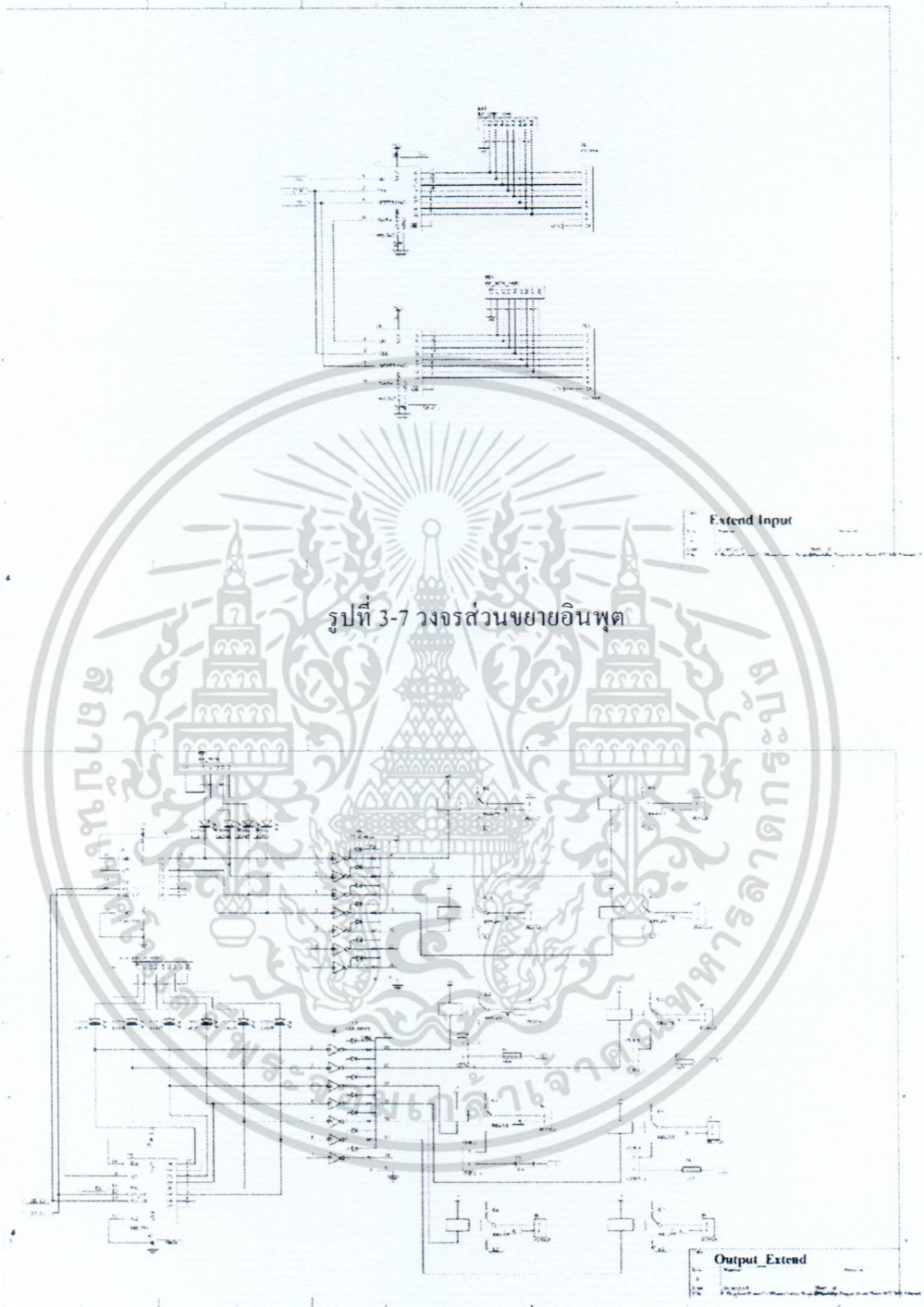
รูปที่ 3-6 วงจรควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน

โดยวงจรชุดควบคุมบ้านอัจฉริยะสามารถแบ่งการทำงานของแต่ละส่วนหลักๆ ได้ดังนี้

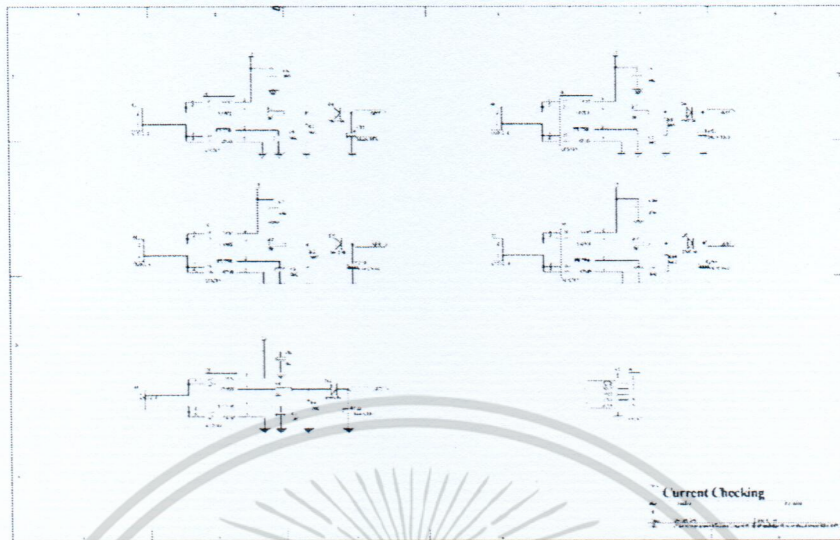
1. ส่วนควบคุมนั้นใช้ MCU เบอร์ PIC18F458 ของ Microchip เป็นตัวควบคุมการทำงานของวงจรทั้งหมด โดยคณะผู้ศึกษาได้เลือกใช้การเขียนโปรแกรมควบคุม

ด้วยภาษาซี ซึ่งง่ายสำหรับผู้ที่จะนำไปพัฒนาต่อสำหรับผู้เริ่มต้นเขียนโปรแกรม MCU Microchip ด้วยภาษาซีในโปรแกรม MP-lab

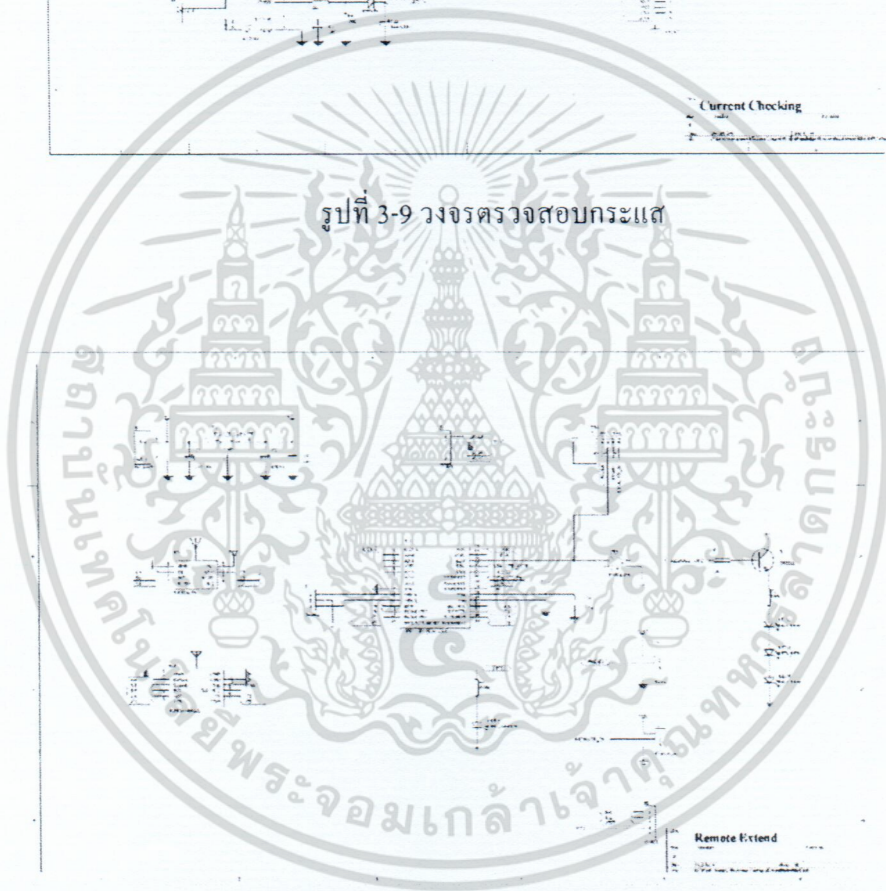
2. ส่วน Ethernet Interface จากวงจรนี้ส่วนที่ต้องติดต่อกับ Ethernet โดยเลือกใช้ Xport ของ Lantronix เป็นตัว Interface สัญญาณ Ethernet โดยตัวนี้จะเป็นตัวจัดการเรื่อง Stack TCP/IP ทั้งหมด และเหมาะสำหรับใช้งานที่ต้องการความแน่นอน แม่นยำค่อนข้างสูง Xport นี้สามารถเป็น Mini Server ให้เราสามารถเข้าไปแก้ไข หรือเพิ่มเวป page ในกล่อง Home Control ได้อีกด้วย
3. ส่วนควบคุม Output เป็นการ ใช้ MCU สั่งงานชุดขับรีเลย์ทั้งหมด 10 ชุด ซึ่งเป็นชุดจ่ายไฟ 220 V โดยมีฟิวส์ 10 A ป้องกันกระแสเกินในแต่ละชุด และ Output สามารถนำไปจ่ายไฟเข้ากับปลั๊กพ่วง โทลคแสงสว่าง หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ที่ใช้แรงดัน 220 V ได้
4. ส่วนควบคุมฐานเวลา วงจรนี้ใช้ DS1302 เป็นตัวควบคุมฐานเวลาของระบบ โดยวัตถุประสงค์คือเพื่อใช้งานในส่วนของการแสดงวันเวลาบนหน้าจอแสดงผล และเป็นฐานเวลาให้กับระบบการตั้งเวลาของกล่อง Home Control โดย DS1302 นี้ต่อเข้ากับ Battery Backup 3V ดังนั้นไม่ว่าจะเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง หรือมีการ Reset ระบบ ตัวฐานเวลาจะสามารถเดินต่อไปได้โดยไม่ต้องมา Set เวลาใหม่
5. ส่วนแสดงผล LCD เป็นจอ LCD Character ขนาด 2 บรรทัด เพื่อให้แสดงผลเวลาของระบบและ แสดง IP Address ที่เรา Fix ให้กับกล่อง Home Control
6. ส่วนจ่ายไฟให้กับระบบ เป็นส่วนควบคุมไฟของกล่อง Home Control โดยส่วนนี้จะปรับระดับแรงดันไฟ 220 V ที่ผ่าน Switching Power Supply ซึ่ง Output ที่ออกมา นั้นจะมีแรงดันอยู่ที่ 5V และจะถูกปรับแรงดันให้เหลือ 3.3V โดยตัว Regulator LM1117-3.3 เพื่อที่ MCU, DS1302 และ Xport จะสามารถทำงานได้โดยไม่มีปัญหาอะไร
7. ส่วนเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว (IR Infrared Motion Detection Sensor Module I052116) อุปกรณ์นี้ใช้เป็นตัวตรวจจับการเคลื่อนไหว



รูปที่ 3-8 วงจรส่วนขยายเอาต์พุต



รูปที่ 3-9 วงจรตรวจสอบกระแส



รูปที่ 3-10 วงจรรีโมท

วงจรตรวจสอบกระแสในชุดควบคุม จะทำหน้าที่เช็คกระแสของแต่ละอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านอัจฉริยะเพื่อส่งข้อมูลไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลในการแสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชันแอนดรอยด์

วงจรรีโมททำหน้าที่รับสัญญาณการทำงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วส่งสัญญาณการทำงานให้กับเครื่องปรับอากาศ โดยจะต้องมีการเรียนรู้สัญญาณการสั่งการทำงานแต่ละคำสั่งของเครื่องปรับอากาศให้กับรีโมทก่อน รีโมทจึงจะสามารถสั่งการให้เครื่องปรับอากาศทำงานได้

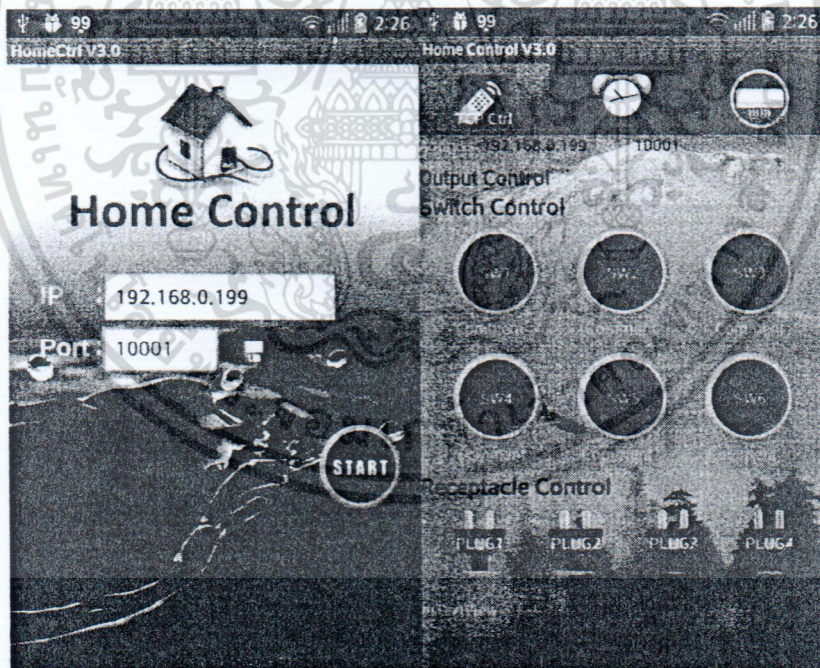
### ส่วนประกอบของวงจรควบคุมประกอบไปด้วย

1. ตัวประมวลผล (PIC) ทำหน้าที่สั่งการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านอัจฉริยะ
2. วงจรรักษาแรงดัน (Regulator) ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันของวงจรให้คงที่เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้นกับอุปกรณ์
3. Xport ทำหน้าที่แปลงข้อมูลเชื่อมต่อระหว่างโปรโตคอลของตัวประมวลผลกับระบบสื่อสารผ่านระบบ LAN แบบ Ethernet
4. วงจรตรวจจับกระแส ทำหน้าที่ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อเชื่อมต่อกับระบบการแสดงผลสถานะ
5. ส่วนขยายอินพุต ทำหน้าที่เพิ่มช่องสำหรับข้อมูลของตัวประมวลผล (PIC)
6. ส่วนขยายเอาต์พุต ทำหน้าที่เพิ่มช่องสำหรับส่งข้อมูลของตัวประมวลผล (PIC) เพื่อนำไปใช้กับระบบแสงสว่างและได้รับ
7. ส่วนควบคุมรีโมท ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างรีโมทควบคุมของเครื่องปรับอากาศกับชุดควบคุมการทำงาน
8. ส่วนโปรแกรม ทำหน้าที่บันทึก (burn) โปรแกรมลงบนตัวประมวลผล (PIC)
9. แบตเตอรี่สำรอง ทำหน้าที่สำรองไฟสำหรับนาฬิกาเพื่อไม่ให้นาฬิกาหยุดทำงาน
10. จอแสดงผล ทำหน้าที่แสดงข้อมูลต่างๆ เช่น IP address ของชุดควบคุม, เวลา
11. เซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว
12. เซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ
13. ส่วนแสดงผลสถานะเอาต์พุต ทำหน้าที่แสดงผลสถานะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านอัจฉริยะ
14. รีเลย์ ทำหน้าที่ตัดต่อวงจรของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านอัจฉริยะ

### 3.2.2 การออกแบบแอปพลิเคชันสำหรับควบคุมการทำงานอุปกรณ์ไฟฟ้า

ในที่นี้มีการพัฒนาแอปพลิเคชันบนมือถือเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านผ่านการเชื่อมต่อกับโมดูล Wifi และ 3G โดยผ่านทางโทรศัพท์มือถือสมาร์ต โดยในแอปพลิเคชันดังกล่าวจะแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

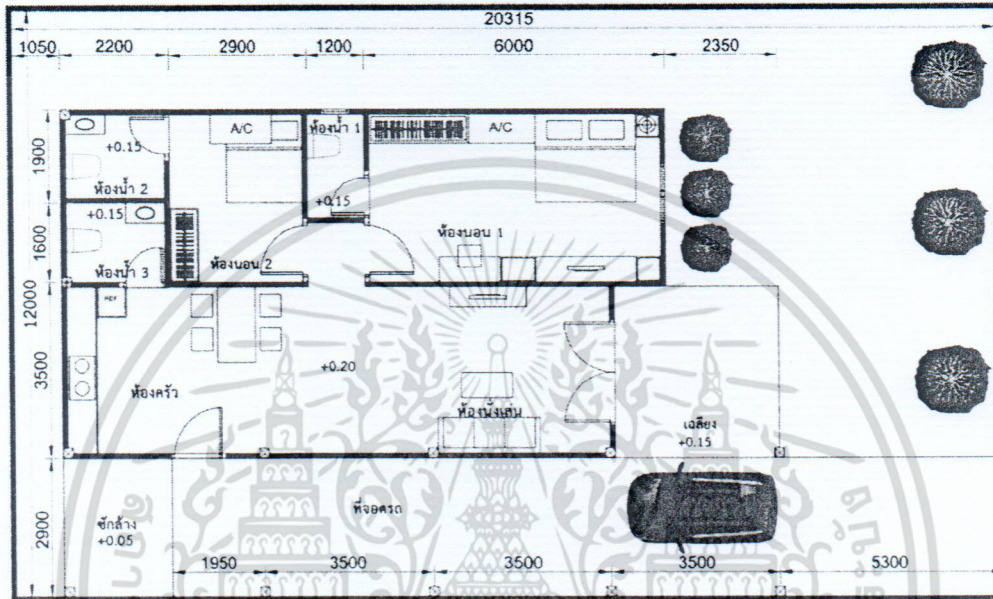
1. ส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบเปิด ปิด
2. ส่วนที่ทำหน้าที่สั่งการทำงานแบบตั้งเวลา (Timer)
3. ส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศโดยจะทำหน้าที่เหมือนรีโมททั่วไปและเมื่อเข้าสู่หน้าต่างผู้ใช้งานจะมีการล็อกอินเพื่อให้สามารถเข้าไปสู่หน้าโปรแกรมหลักได้ โดยแอปพลิเคชันจะสามารถรับค่า Sensor จากไมโครคอนโทรลเลอร์มาแสดงผลออกหน้าจอโทรศัพท์มือถือสมาร์ตโฟน โดยภายในแอปพลิเคชันจะสามารถแสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อทั้งหมดว่ามีการทำงานอยู่หรือไม่ดังแสดงได้ในรูปที่ 3-11



รูปที่ 3-11 หน้าต่างในการ Login ในการเข้าสู่ Application

### 3.2.3 การออกแบบชุดบ้านจำลอง

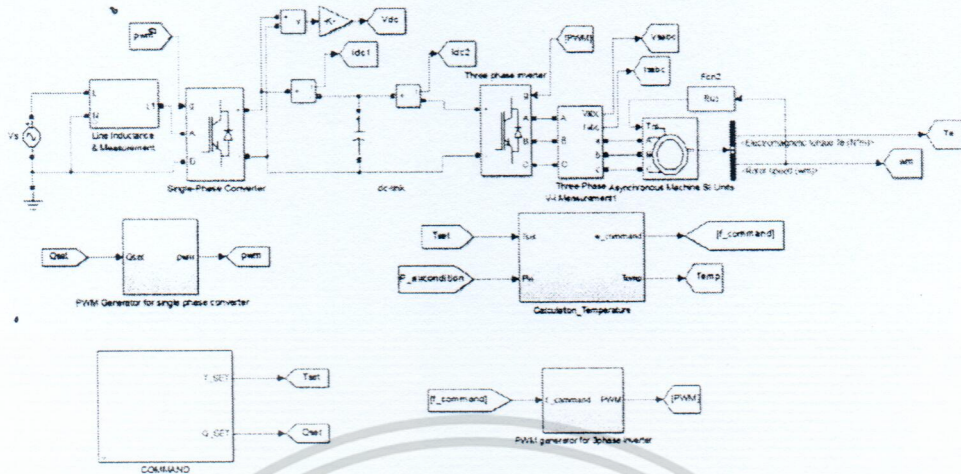
ในการออกแบบชุดบ้านจำลองได้จัดทำขึ้นมาเพื่อจำลองสถานที่ในการติดตั้งชุดควบคุมบ้านอัจฉริยะ โดยชุดบ้านจำลองประกอบด้วย ห้องนอน 2 ห้อง ห้องน้ำ 3 ห้อง ห้องครัว 1 ห้อง และ ห้องนั่งเล่น 1 ห้อง ซึ่งการควบคุมจะประกอบด้วย 1.ระบบแสงสว่างและเต้ารับ 2.เครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 3-12 แบบจำลองบ้าน

### 3.3 การควบคุมเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์เพื่อจ่ายกำลังรีแอกทีฟ

รูปที่ 3-13 แสดงแบบจำลองเครื่องปรับอากาศที่สามารถควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายในโดยใช้คอนเวอร์เตอร์ เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งควบคุมการทำงานโดยใช้ Vector Control และใช้อินเวอร์เตอร์ในการสร้างไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งทำหน้าที่เป็นคอมเพรสเซอร์ในเครื่องปรับอากาศ ทั้งนี้ทำการควบคุมการทำ ความเย็นของคอมเพรสเซอร์โดยใช้ v/f control

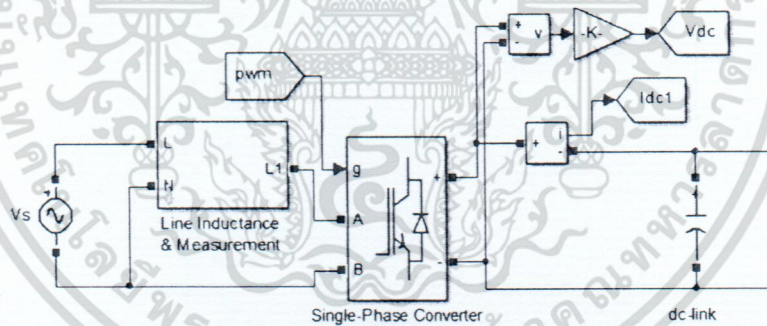


รูปที่ 3-13 แบบจำลองเครื่องปรับอากาศ

แบบจำลองข้างต้นประกอบด้วย block diagram ซึ่งทำหน้าที่แตกต่างกัน โดยประกอบด้วย

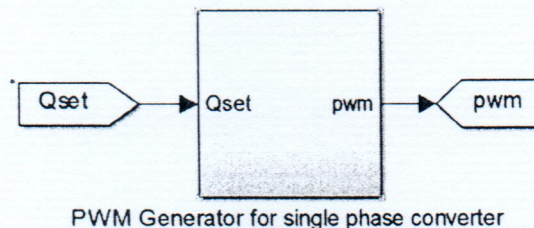
3.3.1 Block diagram ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมกำลังรีแอกทีฟภายในระบบ

วงจรคอนเวอร์เตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3-14 เป็นส่วนที่อยู่ติดกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันที่ตัวเก็บประจุ (DC-Link) ให้มีค่าคงที่ตามที่ตั้งไว้และมีหน้าที่ในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟในระบบภายในอีกด้วย



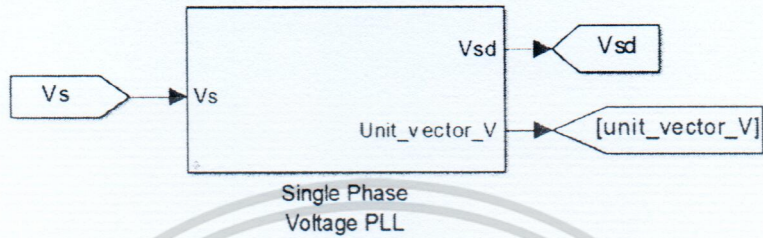
รูปที่ 3-14 วงจรคอนเวอร์เตอร์

รูปที่ 3.3 แสดงบล็อกการสร้างสัญญาณ PWM เพื่อควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ โดยรับค่ากำลังรีแอกทีฟที่ต้องการ  $Q_{set}$

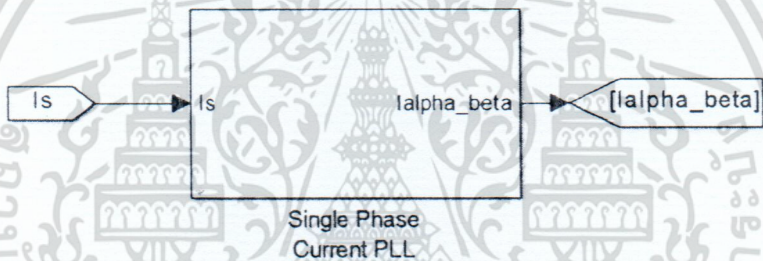


รูปที่ 3-15 บล็อกการสร้างสัญญาณ PWM

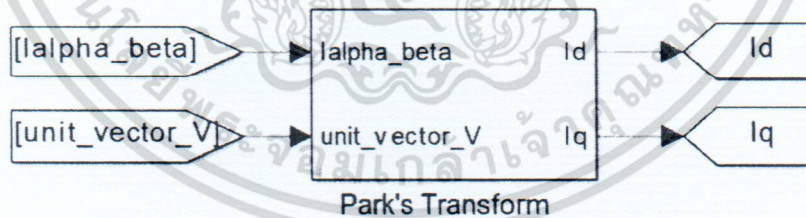
ในการทำ Park's Transform ของแรงดันและกระแสทางด้านแหล่งจ่าย ดังแสดงในรูปที่ 3-16 ถึง รูปที่ 3-18 เป็นการแปลงกระแสให้อยู่ในแกน dq โดยกระแสในแกน d นำไปควบคุมแรงดันที่ DC-Link และกำลังไฟฟ้า ส่วนกระแสในแกน q นำไปควบคุมกำลังรีแอกทีฟ



รูปที่ 3-16 การหาขนาดของแรงดันในแกน d และมุมของแรงดัน

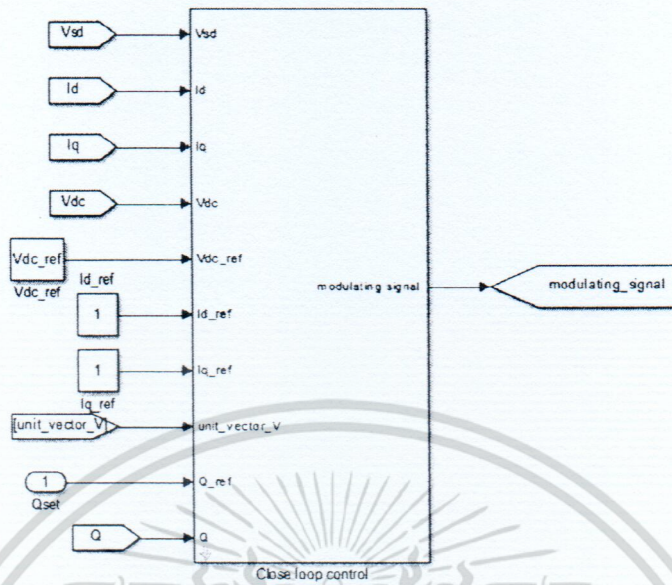


รูปที่ 3-17 การแปลงกระแสให้เป็น 2 เฟส

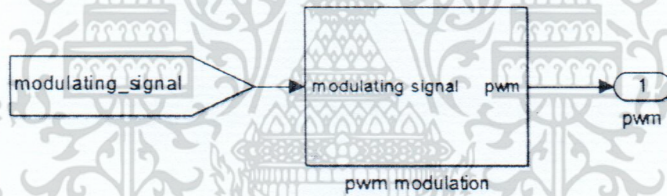


รูปที่ 3-18 การแปลงกระแสให้อยู่ในแกน d และแกน q

กระแสในแกน dq ที่ได้จากการทำ Park's Transform ถูกนำมาสร้างสัญญาณ Modulating Signal เพื่อนำมาสร้างสัญญาณ PWM เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ ดังแสดงใน



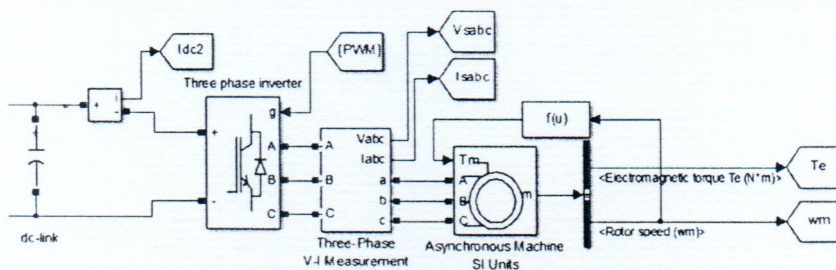
รูปที่ 3-19 การควบคุมเวกเตอร์



รูปที่ 3-20 การสร้าง PWM Modulation

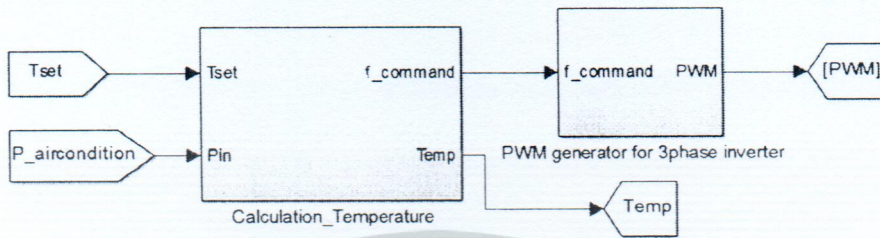
### 3.3.2 การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor)

วงจรการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำแสดงได้ดังรูปที่ 3.9 ทำงานโดยรับแรงดันไฟฟ้า กระแสลับซึ่งแปลงโดยวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งความถี่ของไฟฟ้านี้ จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามภาระ ทางกลที่มอเตอร์ได้รับ



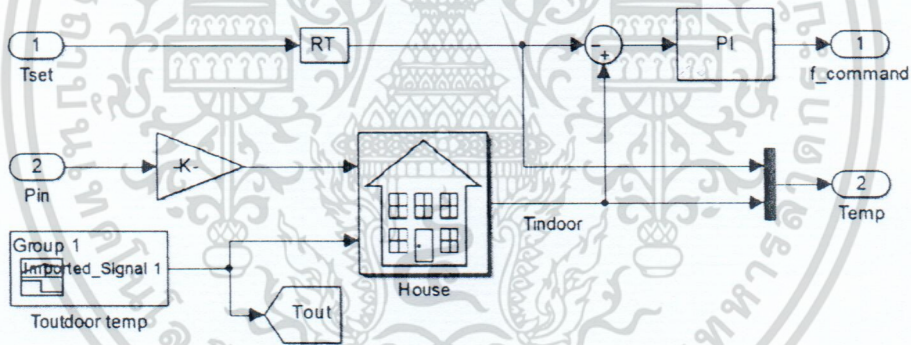
รูปที่ 3-21 วงจรอินเวอร์เตอร์และมอเตอร์เหนี่ยวนำ

รูปที่ 3-22 แสดงส่วนการประมวลผลอุณหภูมิที่ต้องการและกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ที่เครื่องปรับอากาศให้เป็นคำสั่งความถี่เพื่อส่งต่อให้สร้างสัญญาณ PWM ให้ชุดป้อนเข้าสู่ชุดการควบคุมอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 3-22 วงจรควบคุมอินเวอร์เตอร์

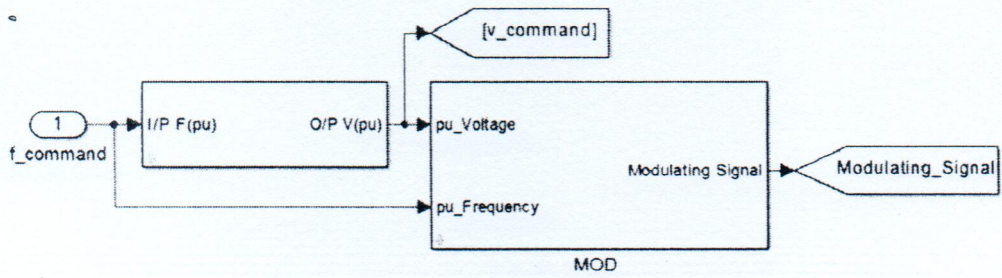
รูปที่ 3-23 แสดงการปรับความถี่การทำงานของมอเตอร์เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิตามที่ได้จากชุดควบคุมไปสั่งงานให้เครื่องปรับอากาศทำงานและรับค่าพลังงานที่มอเตอร์ใช้ไปมาทำการคำนวณการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในบ้าน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ต้องการกับอุณหภูมิภายในบ้านที่ทำได้



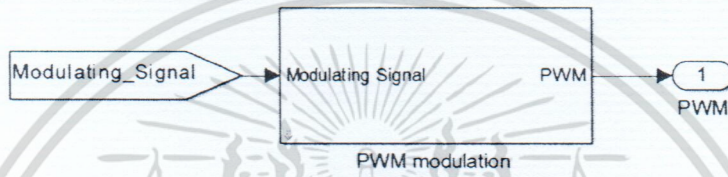
รูปที่ 3-23 การควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามค่าที่ต้องการ

รูปที่ 3.11

รูปที่ 3-24 และ รูปที่ 3-25 เป็นการควบคุมแบบคงแรงดันต่อความถี่คงที่ เพื่อหาค่าแรงดันที่ความถี่ใดๆ แล้วนำไปสร้างสัญญาณ PWM เพื่อนำไปควบคุมการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์



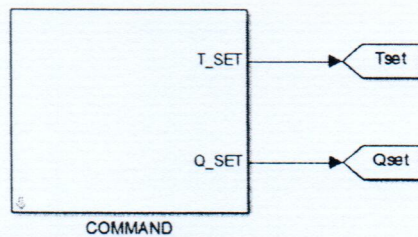
รูปที่ 3-24 การควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 3-25 PWM Modulation สำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์

### 3.3.3 Block Diagram ชุดควบคุม

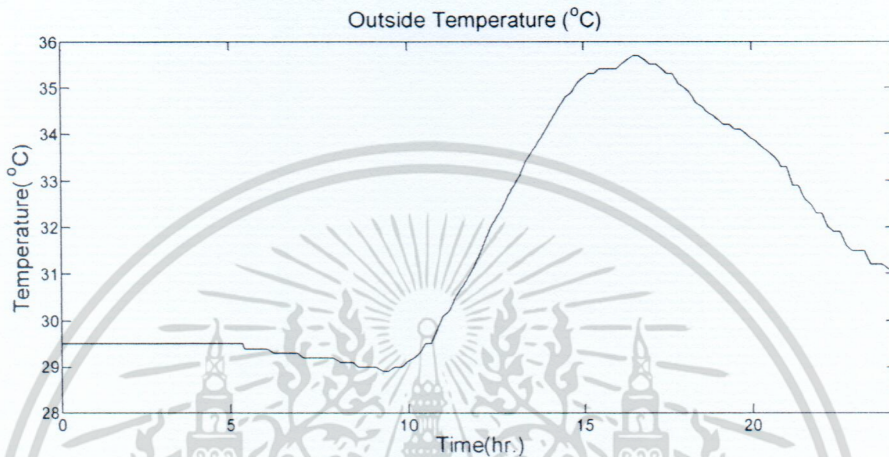
ชุดควบคุมกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟและอุณหภูมิภายในบ้านดังแสดงในรูปที่ 3-26 รับค่าอุณหภูมิและกำลังรีแอกทีฟที่หมุนวนในระบบตามที่ต้องการ จากทฤษฎีที่  $I_s = \sqrt{I_d^2 + I_q^2}$  โดยจำกัดกระแสรวมไม่เกิน 12 A หรือ 1 pu กระแส  $I_d$  และ  $I_q$  จะแปรผกผันกัน ถ้า  $I_d$  สูงขึ้นแล้ว  $I_q$  จะลดลง ดังนั้นชุดควบคุมนี้จะทำการควบคุมการสั่งอุณหภูมิและกำลังรีแอกทีฟให้เหมาะสม หากต้องการเน้นการควบคุมกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟจะส่งผลให้อุณหภูมิภายในบ้านไม่เป็นไปตามที่ต้องการ หากต้องการเน้นควบคุมอุณหภูมิภายในบ้าน จะส่งผลให้ความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟไม่เป็นไปตามที่ต้องการและหากต้องการให้จ่ายกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟคืนสู่ระบบได้มากขึ้นก็สามารถทำได้ โดยยอมให้อุณหภูมิที่อุณหภูมิภายในบ้านสูงขึ้นแต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่มนุษย์ยังรับได้และรู้สึกสบาย



รูปที่ 3-26 ชุดควบคุมกำลังรีแอกทีฟและอุณหภูมิภายในบ้าน

### 3.3.4 การจำลองสภาพอุณหภูมิภายนอก

รูปที่ 3-27 แสดงอุณหภูมิภายนอกที่นำมาเป็นแบบจำลอง ณ เวลาต่างๆ ใน 1 วันของวันที่ 14 เมษายน 2558 ที่สถานีตรวจวัดสภาพอากาศพัฒนาการ [28] ซึ่งจะสนใจเพียงแต่อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละวันเท่านั้น ไม่ได้พิจารณาปัจจัยอื่นๆ เช่นความเร็วลมหรือความชื้น



รูปที่ 3-27 อุณหภูมิภายนอก 24 ชม.

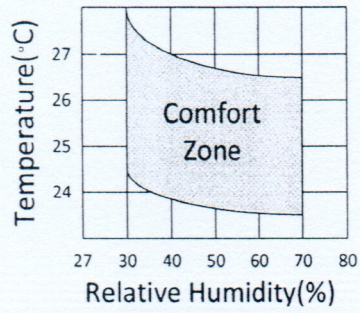
### 3.3.5 การจำลองสภาพบ้าน

แบบจำลองพื้นที่ที่ใช้ในการทดลองโดยพิจารณาห้อง 1 ห้องดังนี้

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

### 3.3.6 อุณหภูมิที่มนุษย์รู้สึกสบาย

จากการศึกษา พบว่ามนุษย์นั้นจะมีความสบาย [29] อยู่ในช่วงอุณหภูมิและความชื้นค่าหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 3-28 ซึ่งในการทดลองนี้ จะทำการสนใจเพียงแค่ช่วงอุณหภูมิที่มนุษย์รู้สึกสบาย เท่านั้น



รูปที่ 3-28 กราฟความสบายระหว่างอุณหภูมิและความชื้น

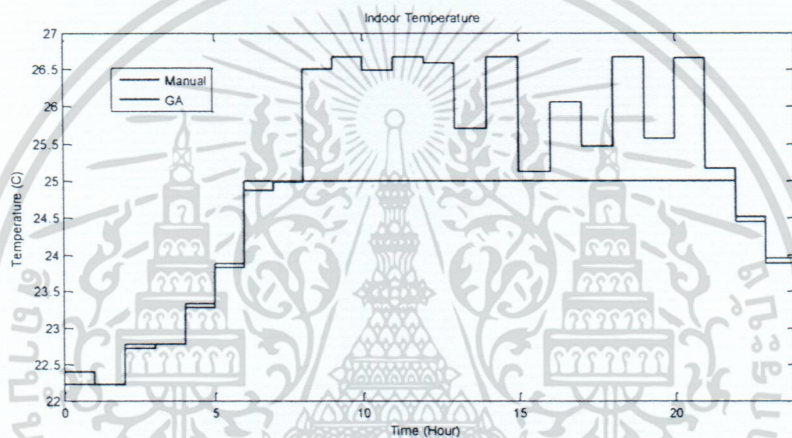
ทั้งนี้เราจะให้ความชื้นเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งเท่านั้น และช่วงอุณหภูมิที่จะนำมาพิจารณาว่าอยู่ในความสบาย คือ อุณหภูมิในช่วง 24 ถึง 27 องศาเซลเซียส



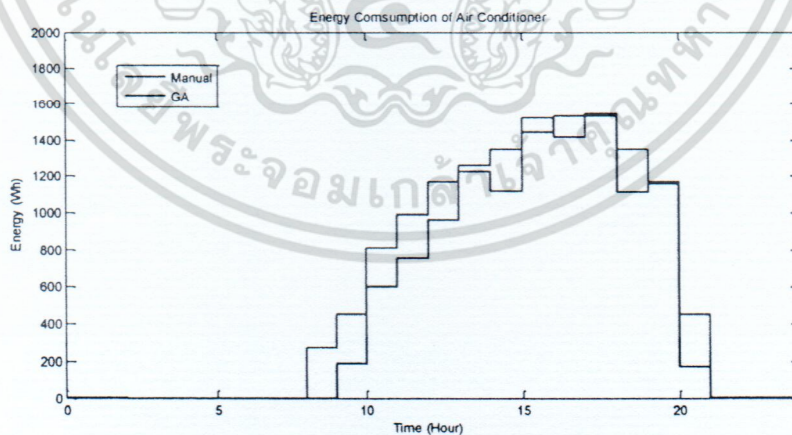
## บทที่ 4 ผลการวิจัย

### 4.1 ระบบการจัดการพลังงาน

การตั้งค่าด้วยมือสำหรับเครื่องปรับอากาศ เป็นการตั้งค่าอุณหภูมิให้แก่เทอร์โมสตัท (Thermostat) เพื่อให้ได้อุณหภูมิตามที่กำหนดไว้คือ  $25^{\circ}\text{C}$  ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4-1 โดยจะเห็นว่า การคำนวณด้วยวิธี GA อุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศจะปรับอุณหภูมิภายในให้มีความเหมาะสมที่สุดในแต่ละช่วงเวลา



รูปที่ 4-1 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องกรณีปรับตั้งอุณหภูมิด้วยมือและกรณีที่ใช้ GA



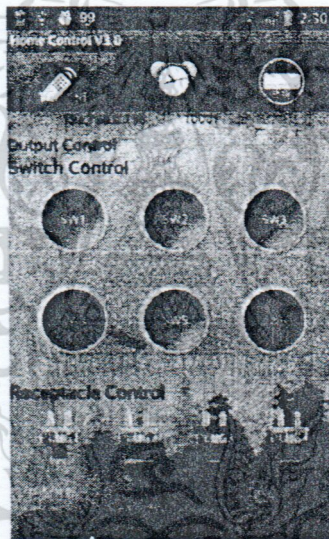
รูปที่ 4-2 พลังงานที่ถูกใช้โดยเครื่องปรับอากาศกรณีปรับตั้งอุณหภูมิด้วยมือและกรณีที่ใช้ GA

การใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศที่มีการหาค่าความเหมาะสมสำหรับการตั้งค่าอุณหภูมิ โดยเปรียบเทียบกับกรณีที่อุณหภูมิที่ตั้งค่าคือ 25 องศาเซลเซียสตลอดการทำงาน จะพบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้การควบคุมด้วย GA มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าโดยจะแสดงดังกราฟรูปที่ 4-2

## 4.2 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

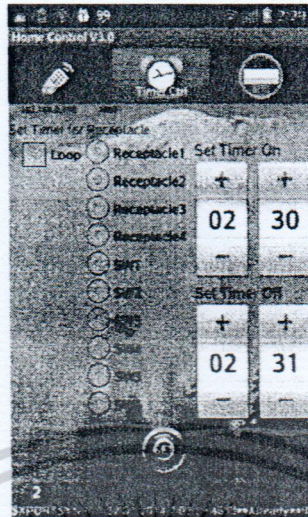
### 4.2.1 การทดสอบผ่านแอปพลิเคชัน

จากการทดสอบการทำงานผ่านแอปพลิเคชันแอนดรอยด์เพื่อสั่งอุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องปรับอากาศว่าเมื่อมีการเชื่อมกับอุปกรณ์ไฟฟ้า แอปพลิเคชันแอนดรอยด์จะแสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่ โดยแสดงสีเขียว-แดงเป็นสถานะเปิด-ปิดตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4-3



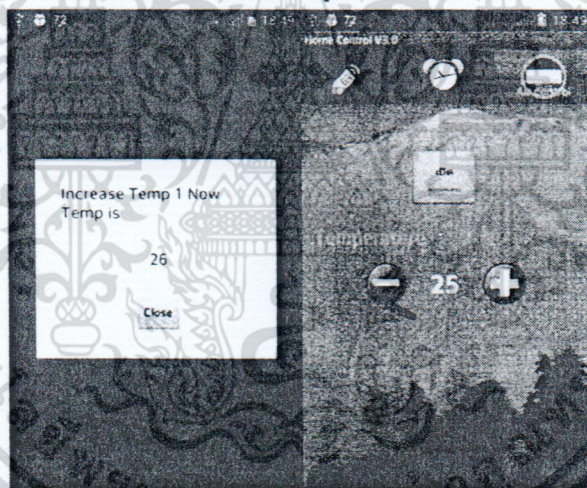
รูปที่ 4-3 สถานะการทำงานของแอปพลิเคชันแอนดรอยด์

การตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า(ระบบแสงสว่างและเตารีด) จะสามารถตั้งเวลาเปิด-ปิดอุปกรณ์และสั่งให้ทำงานเป็นประจำในทุกๆเวลา โดยการส่งผ่านระบบสมาร์ทโฟน โดยแสดงสถานะการทำงานได้ดังรูปที่ 4-4



รูปที่ 4-4 หน้าต่างแสดงการควบคุมการทำงานแบบตั้งเวลา

การทำงานของเครื่องปรับอากาศผ่านแอปพลิเคชันแอนดรอยด์จะสามารถสั่งเปิด-ปิด และเพิ่ม-ลดอุณหภูมิ สามารถสั่งผ่านหน้าจอแสดงในรูปที่ 4-5



รูปที่ 4-5 หน้าต่างแสดงการควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

การสั่งการผ่านแอปพลิเคชันแอนดรอยด์นั้นจะสามารถทำให้รู้ว่ามียูนิทไฟฟ้ายังไหนทำงานอยู่หรือไม่ และถ้ามีการใช้งานของยูนิทที่ไม่ได้มีความจำเป็น ก็จะสามารถสั่งปิดยูนิทตัวนั้นผ่านแอปพลิเคชันแอนดรอยด์ได้ด้วยไม่จำเป็นต้องอยู่ใกล้กับยูนิท เพื่อการประหยัดพลังงานและยังสามารถสั่งการล่วงหน้าหรือสั่งการระยะไกลเพื่อให้เกิดความสะดวกสบายกับผู้ใช้งาน



**กรณีที่ 2** มีการควบคุมของเครื่องปรับอากาศ โดยค่าอุณหภูมิ (Set point) จะเป็นไปตามค่าตอบที่ได้  
ทำการหาด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม (GA)

$$\begin{aligned} \text{พลังงานที่ใช้ต่อวัน} &= 11.764 \text{ กิโลวัตต์ชั่วโมง} \\ (1 \text{ กิโลวัตต์ชั่วโมง} &= 1 \text{ หน่วย}) &= 11.764 \text{ หน่วย} \\ \text{พลังงานที่ใช้ต่อเดือน (30วัน)} &= 11.764 \times 30 \text{ หน่วย} = 352.92 \text{ หน่วย} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 150 \text{ หน่วยแรก} &= 150 \times 2.7628 \text{ บาท} = 414.41 \text{ บาท} \\ 151-352.92 \text{ หน่วย} &= 202.92 \times 3.7362 \text{ บาท} = 758.15 \text{ บาท} \\ \text{รวมค่าไฟทั้งเดือน} &= 1,172.56 \text{ บาท} \\ \text{รวมค่าไฟทั้งปี (12 เดือน)} &= 14,070.72 \text{ บาท} \end{aligned}$$

จากกรณีทั้งสอง จะพบว่ากรณีที่ทำการตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศแบบใช้วิธีเชิงพันธุกรรมจะใช้พลังงานและจ่ายค่าไฟน้อยกว่า

$$\begin{aligned} \text{ประหยัดพลังงานต่อเดือน} &= 413.1 - 352.92 \text{ หน่วย} = 60.18 \text{ หน่วย} \\ \text{ประหยัดพลังงานต่อปี} &= 60.18 \times 12 \text{ หน่วย} = 722.16 \text{ หน่วย} \\ \text{ประหยัดค่าไฟต่อเดือน} &= 1,400.02 - 1,172.56 \text{ บาท} = 227.46 \text{ บาท} \\ \text{ประหยัดค่าไฟต่อปี} &= 227.46 \times 12 \text{ บาท} = 2,729.52 \text{ บาท} \end{aligned}$$

การคำนวณหาระยะเวลากู้ทุน

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนของอุปกรณ์} &= 9,000 \text{ บาท} \\ \text{ประหยัดค่าไฟได้ (ต่อปี)} &= 2,729.52 \text{ บาท} \\ \text{ระยะเวลากู้ทุน} &= 9,000 \div 2,729.52 \text{ ปี} = 3.3 \text{ ปี} \end{aligned}$$

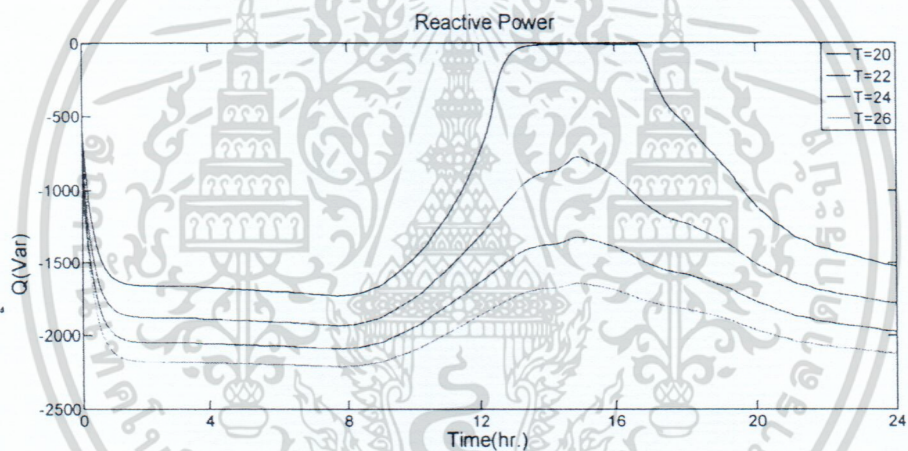
### 4.3 การควบคุมเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์เพื่อจ่ายกำลังรีแอกทีฟ

เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ถูกจำลองให้ทำงานใน 3 รูปแบบดังนี้

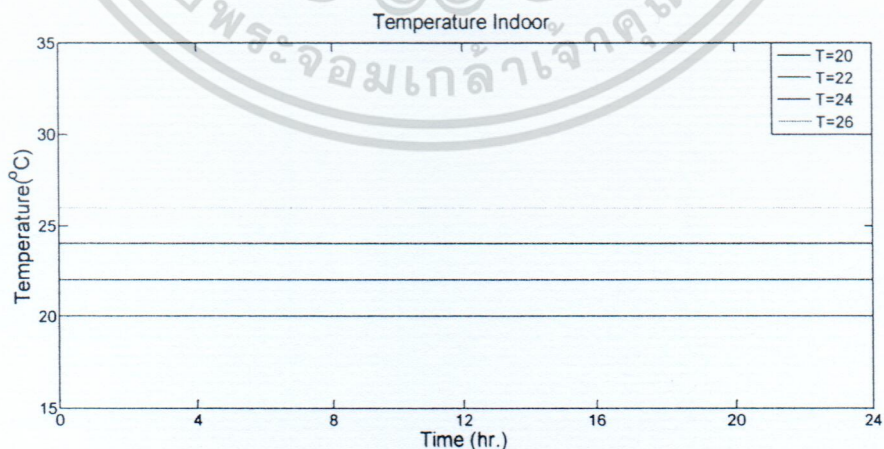
#### 4.3.1 รูปแบบเน้นการรักษาอุณหภูมิ

รูปแบบนี้เน้นความสามารถในการทำงานของเครื่องปรับอากาศไปที่ความสามารถในการรักษาอุณหภูมิที่อุปกรณ์ทำได้เป็นหลัก ดังนั้นในการทำงานรูปแบบนี้ ความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟจะเป็นตัวแปรตาม โดยเราจะลองสั่งให้อุปกรณ์ทำงานที่อุณหภูมิต่างๆกันไป และสังเกตว่า ความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟนั้น เปลี่ยนแปลงไปอย่างไรบ้าง

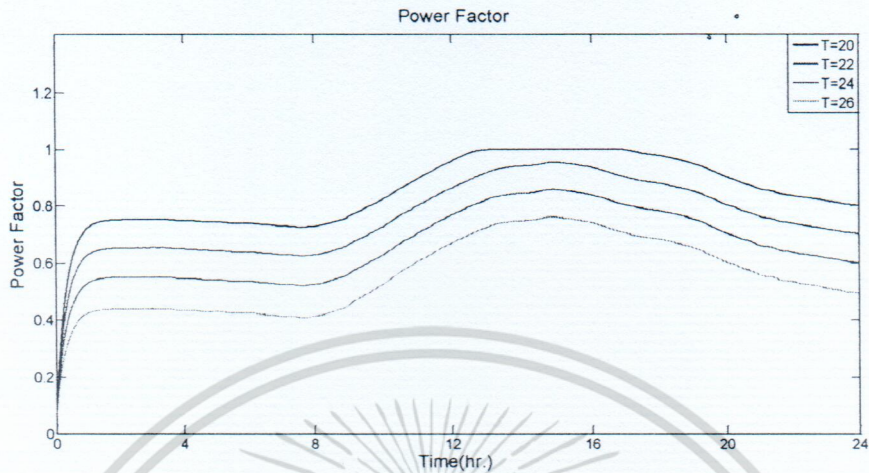
เมื่อสั่งให้เครื่องปรับอากาศทำงานที่อุณหภูมิ 20 22 24 และ 26 องศาเซลเซียสตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึง ความสามารถในการจ่ายกำลังรีแอกทีฟที่ต่างกัน ณ อุณหภูมิต่างๆ และตัวประกอบกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 4-6 ถึง รูปที่ 4-8



รูปที่ 4-6 กำลังรีแอกทีฟที่สามารถจ่ายคืนให้ระบบได้ กรณีรักษาอุณหภูมิ



รูปที่ 4-7 อุณหภูมิภายในห้อง กรณีรักษาอุณหภูมิ



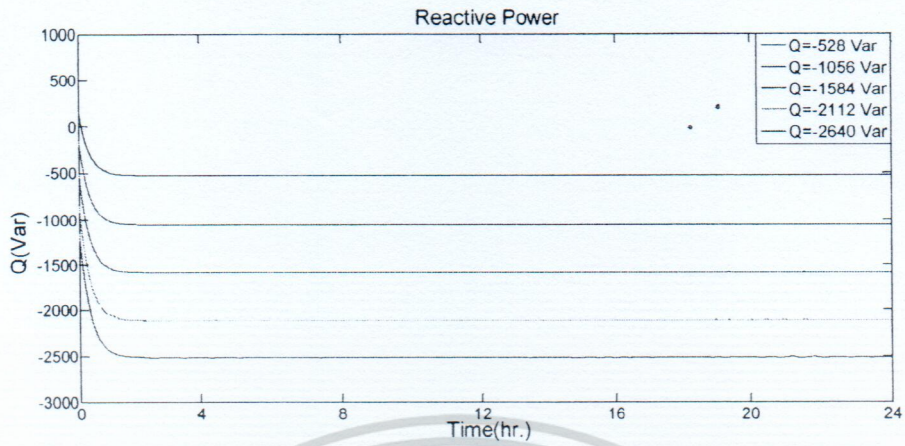
รูปที่ 4-8 ค่าตัวประกอบกำลัง ณ จุดเชื่อมต่อ กรณีการรักษาอุณหภูมิ

จะเห็นได้ว่าการตั้งค่าให้เครื่องปรับอากาศรักษาอุณหภูมิภายในบ้านให้เย็นขึ้นและอุณหภูมิภายนอกที่ร้อนขึ้นส่งผลให้เครื่องปรับอากาศใช้กำลังไฟฟ้าในการรักษาอุณหภูมิให้คงที่มากขึ้น ทำให้อุปกรณ์มีความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายในได้น้อยลง

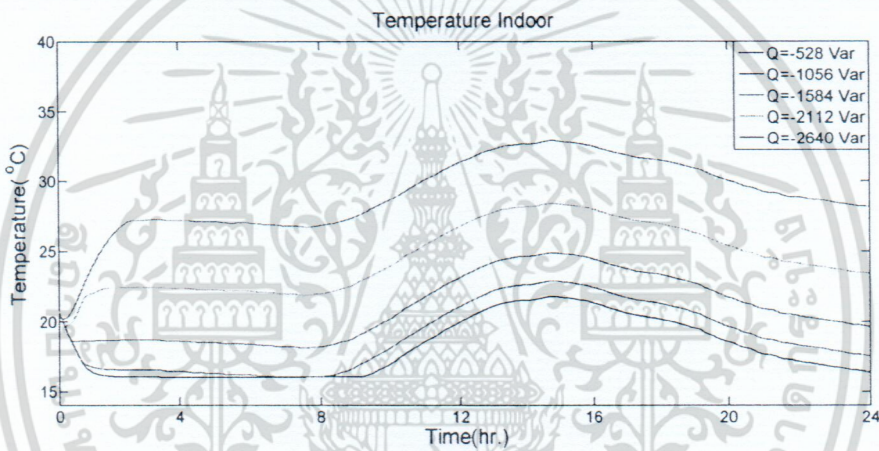
#### 4.3.2 รูปแบบเห็นการควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายใน

รูปแบบนี้เน้นความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟเป็นหลัก โดยมองอุณหภูมิเป็นตัวแปรตาม โดยเราจะทำการสั่งให้อุปกรณ์ทำการควบคุมกำลังรีแอกทีฟที่ค่าต่างๆ และสังเกตว่า ความเย็นที่เย็นที่สุดที่อุปกรณ์ยังรักษาได้เป็นอย่างไร

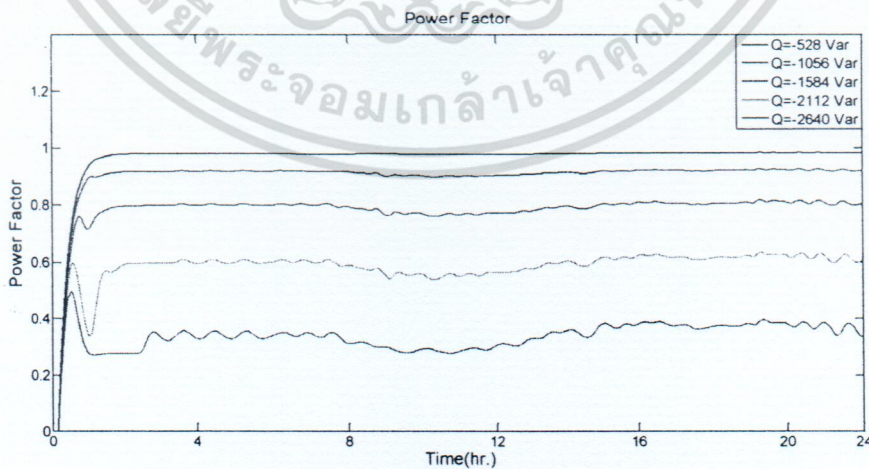
เมื่อควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายใน ที่ 528 1056 1584 2112 และ 2640 Var ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึง ความสามารถในการรักษาอุณหภูมิภายในบ้านที่ต่างกัน ณ การควบคุมกำลังรีแอกทีฟต่างๆ และ ตัวประกอบกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 4-9 ถึง รูปที่ 4-11



รูปที่ 4-9 กำลังรีแอกทีฟที่สามารถจ่ายคืนให้ระบบได้ กรณีรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ



รูปที่ 4-10 อุณหภูมิภายในห้อง กรณีรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ



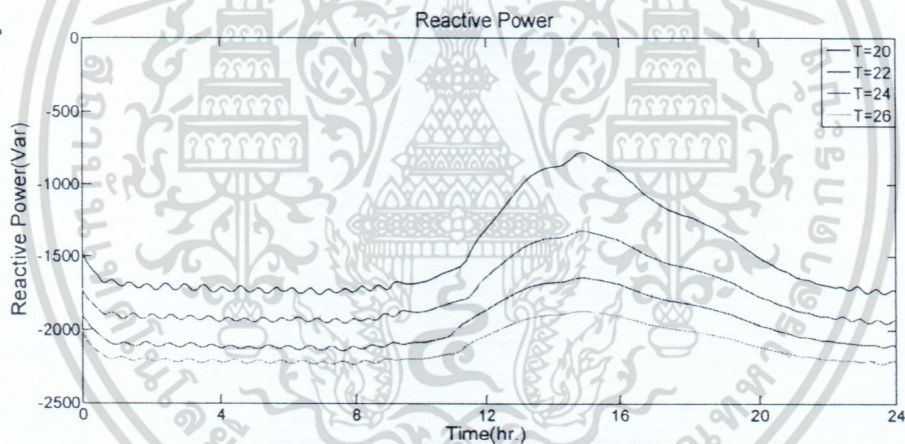
รูปที่ 4-11 ค่าตัวประกอบกำลัง ณ จุดเชื่อมต่อ กรณีรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ

จะเห็นได้ว่าการตั้งค่าให้เครื่องปรับอากาศควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายในมากขึ้น ส่งผลให้เครื่องปรับอากาศใช้กำลังไฟฟ้าได้น้อยลง ทำให้ความสามารถในการรักษาอุณหภูมิภายในบ้านให้เย็นทำได้ลดลง และอุณหภูมิภายนอกที่ร้อนขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิภายในบ้านสูงขึ้น

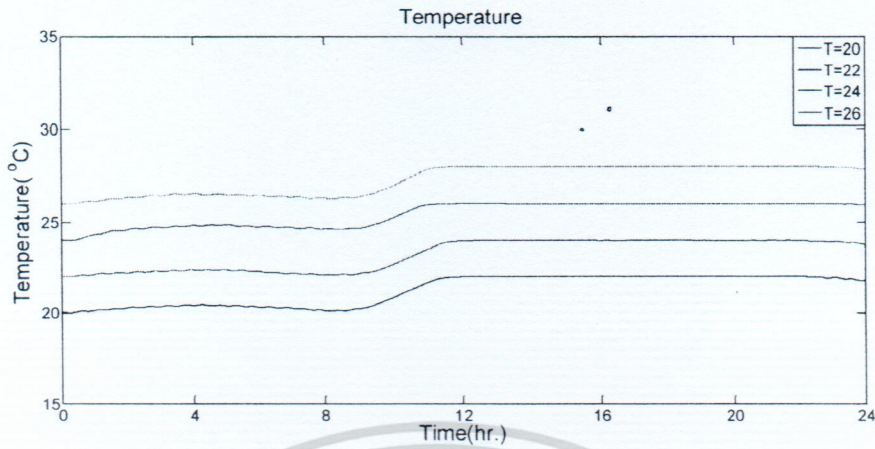
#### 4.3.3 รูปแบบที่ควบคุมทั้งการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและรักษาอุณหภูมิ

รูปแบบนี้นำผลจาก 2 รูปแบบก่อนหน้านี้ มาทำการสร้างชุดควบคุมขึ้นมาอีกหนึ่งตัว รูปแบบจะเป็นการหาจุดที่เหมาะสมสำหรับการทำงานโดยที่ให้ความสำคัญทั้งอุณหภูมิและการควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายในทั้งคู่กล่าวก็คือ อุปกรณ์จะยอมทำการเสียความสามารถในการทำความเย็นไปเล็กน้อย แต่ต้องอยู่ในช่วงที่มนุษย์ยังรู้สึกสบาย การทำเช่นนี้ จะทำให้อุปกรณ์มีความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟของระบบภายในได้มากขึ้น

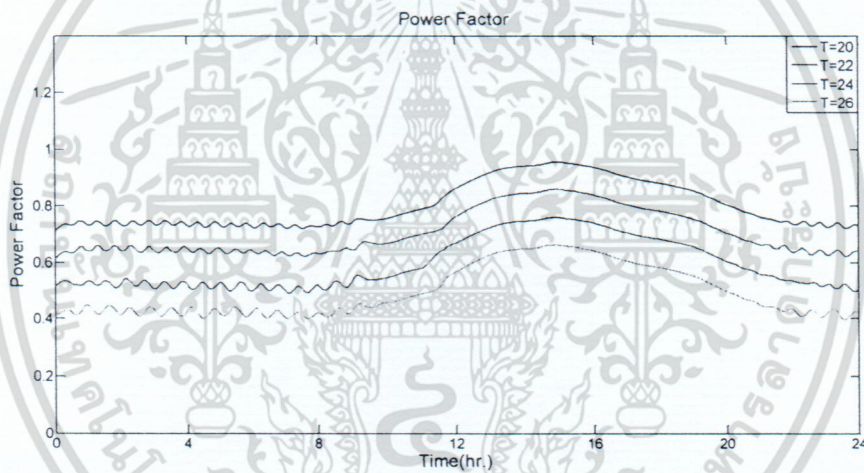
ความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟที่ต่างกัน ณ อุณหภูมิต่างๆหลังจากมีการปรับการรักษาอุณหภูมิภายในบ้าน และ ตัวประกอบกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 4-12 ถึง รูปที่ 4-14



รูปที่ 4-12 กำลังรีแอกทีฟที่สามารถจ่ายคืนให้ระบบได้ กรณีรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและอุณหภูมิ



รูปที่ 4-13 อุณหภูมิภายในห้อง กรณีรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและอุณหภูมิ



รูปที่ 4-14 ค่าตัวประกอบกำลัง ณ จุดเชื่อมต่อ กรณีรักษาการควบคุมกำลังรีแอกทีฟและอุณหภูมิ

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

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ได้พัฒนาแนวทางการพัฒนาการบริหารจัดการพลังงานภายในอาคารที่พักอาศัยอย่างฉลาด ในที่นี้พิจารณาการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่สำคัญในที่พักอาศัยโดยเฉพาะในประเทศไทยเขตร้อน โดยผลการวิจัยแบ่งออกเป็นสามส่วน คือ

ส่วนที่ 1 พัฒนาระบบการจัดการพลังงานด้วยกระบวนการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm) เครื่องปรับอากาศจะถูกปรับตั้งอุณหภูมิให้เหมาะสมในแต่ละช่วงเวลาของวัน โดยพิจารณาแบบจำลองความร้อนของห้อง และช่วงของอุณหภูมิที่ผู้อยู่อาศัยไม่รู้สึกรู้สึกระบาย ด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นมาสามารถลดการใช้พลังงานประมาณ 12% และค่าไฟฟ้า 27%

ส่วนที่ 2 พัฒนาชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถรับคำสั่งการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านและแสดงผลผ่านแอปพลิเคชันบนมือถือระบบแอนดรอยด์ได้เพื่อแจ้งเตือนสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า นอกจากนี้ยังแอปพลิเคชันยังสามารถทำหน้าที่เสมือนรีโมทเครื่องปรับอากาศเพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในห้องได้ตลอดเวลา ชุดควบคุมบริหารจัดการพลังงานในบ้านอัจฉริยะสามารถลดการใช้พลังงานเมื่อเทียบจากการใช้งานปกติได้ 722.16 หน่วยต่อปี หรือ 14.57 เปอร์เซ็นต์ และคิดเป็นเงินได้ 2,729.52 บาทต่อปี โดยจะมีระยะเวลาคุ้มทุนภายใน 3.3 ปี

ส่วนที่ 3 นำเสนอการสร้างแบบจำลองเครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์เพื่อการควบคุมกำลังรีแอกทีฟในระบบไฟฟ้า โดยผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟนั้นส่งผลกระทบต่อสมรรถนะในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ทั้งนี้วิธีการควบคุมที่นำเสนอสามารถรักษาอุณหภูมิภายในห้องให้อยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ ในขณะที่สามารถจ่ายกำลังรีแอกทีฟกลับคืนสู่ระบบไฟฟ้าได้

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทำโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ทดสอบการทดลองส่วนที่ 1 และ 2 ให้อยู่ในรูปวงปิด (Closed loop) โดยส่งคำสั่งจากคอมพิวเตอร์และส่งผลกลับไปเพื่อประมวลผล
2. การศึกษาเกี่ยวกับกลไกการจ่ายค่าตอบแทนเพื่อให้เครื่องปรับอากาศ มีส่วนร่วมในการช่วยควบคุมแรงดัน (Ancillary service)
3. การศึกษาผลกระทบจากการใช้เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] “Summary of Power Development Plan 2012-2030 (PDP 2010: Revision 3)”, Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy, Thailand
- [2] Smart grid ออนไลน์ [https://en.wikipedia.org/wiki/Smart\\_grid](https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_grid)
- [3] Smart home ออนไลน์ [https://de.wikipedia.org/wiki/Smart\\_Home](https://de.wikipedia.org/wiki/Smart_Home) (ภาษาเยอรมัน)
- [4] Yi Zhang ; Songzhe Zhu ; Sparks, R. and Green, I “Impacts of solar PV generators on power system stability and voltage performance” in proc. IEEE PES General Meeting 2012
- [5] Narain G. Hingorani and Laszlo Gyugyi “Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems”, Wiley-IEEE Press; 1 edition, 1999
- [6] N.R. Ullah, K. Bhattacharya, and T. Thiringer, “Wind farms as reactive power ancillary service providers- technical and economic issues,” IEEE Trans. Energy Convers., vol. 24, no.3, pp. 661-672, Sep. 2009
- [7] “สมาร์ทโฮม” Smart Home System <http://www.it24hrs.com/2012/smart-room-smart-room-automation/>
- [8] ชาตรี บ้านเกาะ.การประหยัดพลังงานในบ้านทั่วไปด้วยอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.วิทยานิพนธ์ 2544
- [9] G.F.Hundy, A.R. Trott, T.C.Welch. “Refrigeration and Air Conditioning”, BH Publisher 4<sup>th</sup> Edition
- [10] Bose, Bimal K. (2006). Power Electronics and Motor Drive : Advances and Trends. Amsterdam: Academic. p. 22. ISBN 978-0-12-088405-6
- [11] Atul Gupta, Anurag Poripireddi, 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
- [12] Variable frequency drive [https://en.wikipedia.org/wiki/Variable-frequency\\_drive](https://en.wikipedia.org/wiki/Variable-frequency_drive)
- [13] R. L. Haupt and S. E. Haupt, “Practical Genetic Algorithms,” Second Ed., Wiley
- [14] T. Weise, M. Zapf, R. Chiong and A. J. Nebro, “Why is optimization difficult,” In Nature-Inspired Algorithms for Optimisation, R. Chiong (Ed.), Springer, Heidelberg 2009

- [15] V. Riquebourg, d. Menga, D. Durand, B. Marhic, L. Delahoche and C. Loge, "The smart home concept: our immediate future", in Proc. 1st IEEE Int. Conf. on E-Learn Ind. Electron, Dec. 2006 pp. 23-28
- [16] M. A. A. Perdrasa, T. D. Spooner and I. F. MacGill, "Coordinated scheduling of residential distributed energy resources to optimize smart home energy services", IEEE Trans. on Smart Grid, vol. 1, no. 2, Sep. 2010, pp. 134-143
- [17] A.-H. Mohsenian-Rad, A. L. Garcia, "Optimal resident load control with price prediction in real-time electricity pricing environment", IEEE Trans. on Smart Grid, vol. 1, no. 2, Sep. 2010, pp. 120-133
- [18] Z. Chen, L. Wu and Y. Fu, "Real-time price-based demand response management for residential appliances via stochastic optimization and robust optimization", IEEE Trans. on Smart Grid, vol. 3, no. 4, Dec. 2012, pp. 1822-1831
- [19] F. Corno and F. Razzak, "Intelligent energy optimization for user intelligible goals in smart home environments", IEEE Trans. on Smart Grid, vol. 3, no. 4, Dec. 2012, pp. 2128-2135
- [20] F. Li, J.D. Kueck, D. T. Ryz and T. King, "A preliminary analysis of the economics of using distributed energy as a source of reactive power supply," Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, Tech. Rep, Apr. 2006
- [21] M. H. J. Bollen and A. Sannino, "Voltage control with inverter-based distributed generation", IEEE Trans. Power Del. Vol. 20, no.1, pp. 519-520, Jan. 2005
- [22] T. Xu and P. C. Taylor, "Voltage Control Techniques for Electrical Distribution Networks including Distributed Generation," in Proc. The 17<sup>th</sup> IFAC World Congress, Seoul, Korea pp. 11967-1197
- [23] D.T. Rzy, H. Li, F. Li, Y. Xu, S. Adhikari and P. Irminger, "Impacts of varying penetration of distributed resources with and without Volt/Var control: case study of varying load types", in Proc. IEEE PES general meeting, 2011
- [24] S. Deshmukh, B. Natarajan, and A. Pahwa, "Volt/Var control in distribution networks via power injection through distributed generators," IEEE Trans on Smart Grid, vol. 3, no.3, pp. 1226-1234, Sep. 2012
- [25] Huan Yang Shengqing Tang ; Zheng Zeng ; Xuemei He ; Rongxiang Zhao ; Kuroda, M. "Demand response of inverter air conditioners and applications in distribution system

voltage stability enhancement”, in Proc International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2013 pp. 954 - 959

- [26] MATLAB Global Optimization Toolbox Documentation, MathWork available online [http://www.mathworks.com/help/pdf\\_doc/gads/gads\\_tb.pdf](http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/gads/gads_tb.pdf)
- [27] Data sheet online <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41159e.pdf>
- [28] “Weather History for Bangkok.” ออนไลน์ <http://www.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=IBANGKOK34#history/s20150422/e20150422/mdaily>
- [29] Michel Boduch and Warren Fincher, *Standard of Humen Comfort*, Austin; csd, 2009



ภาคผนวก ก  
ผลงานวิจัยที่ได้มีการเผยแพร่

ผลงานวิจัยจากโครงการนี้ได้มีการเผยแพร่ จำนวน 2 ชิ้นงาน ดังนี้

1. ไพบุลย์ เต็มมันท์ สุกัญญา โปธิสุนทร สิริวัฒน์ ศรีแก้ว สหรัฐ ทองมหา วรวรรธน์ นาคะวิโร, การบริหารจัดการพลังงานสำหรับบ้านอัจฉริยะ โดยการหาค่าเหมาะสมที่สุด, การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๖ (EECON-36), โรงแรมเฟลิกซ์ริเวอร์ แควรี รีสอร์ท จังหวัดกาญจนบุรี ๑๑ - ๑๓ ธันวาคม ๒๕๕๖
2. วรพจน์ วิริยะอุตสาหกรรม วรภัทร พนาเจริญวงศ์ วิภาพร พงษ์พิริยะกิจกุลและศศธร โกลสศักดิ์สกุล และ วรวรรธน์ นาคะวิโร, "A Simulation Study of an Inverter Air Conditioner Controlled to Supply Reactive Power," International Electrical Engineering Congress (iEECON), March 2016, Chiang Mai, Thailand (to be included in Advanced Materials Research, AMR indexed by SCOPUS)

# ผลงานวิจัยชิ้นที่ 1

## การบริหารจัดการพลังงานสำหรับบ้านอัจฉริยะโดยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด Energy Management for Smart Home using Optimization

โอบอลวัฒน์ สุกัญญา โพรสุภพ สิริวัฒน์ ศรีแก้ว สหวิทย์หอมหา วรวรรณ นาคะวีโร  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
1 จอดตองกรุง 1 ถนนจอดตองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 E-mail: knwornwa@kmitl.ac.th

### บทคัดย่อ

บ้านอัจฉริยะเป็นบ้านที่มีระบบอัตโนมัติที่ช่วยบริหารจัดการแหล่งกำเนิดและโหลดเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด บทความฉบับนี้ นำเสนอวิธีการหาค่าเหมาะที่สุด (Optimization) เพื่อค้นหาวิธีควบคุมพลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับบ้านอัจฉริยะที่เป็นตัวช่วยในช่วงระยะเวลาในอนาคต (เช่น ทุกชั่วโมง ใน 1 วันล่วงหน้า) โดยวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm) วิจัยประสิทธิภาพของวิธีดังกล่าวเพื่อลดค่าใช้จ่ายหรือทั้งพิจารณาข้อจำกัดทางเทคนิคของอุปกรณ์ และปัจจัยที่แวดล้อม เช่น ความถี่ของอุณหภูมิภายนอกบ้าน นอกจากนี้แบบจำลองในบทความนี้ยังได้พิจารณาการตอบสนองของผู้ใช้ไฟฟ้าคือค่าไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปแบบพลวัต ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าวิธีวิฤกรรมที่นำเกณฑ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าลดลงได้ถึง 12.37% และค่าไฟฟ้าลดลงได้ถึง 26.91%

คำสำคัญ: การจัดการพลังงานภายในบ้าน การหาค่าเหมาะที่สุด วิธีเชิงพันธุกรรม

### Abstract

A smart home has an automatic control system for managing energy sources and loads to achieve maximum efficiency. This paper presents an optimization method for searching the energy level of the considered electrical appliances for a future time period (for instance every hour day-ahead) using genetic algorithm (GA). The objective is to minimize the associated cost while considering technical constraints of the appliances and environmental factors such as temperature outside of the house. Moreover the dynamic electricity price is taken into account. Simulation results reveal that the total energy consumption is reduced by 12.37% and the total electricity bill is reduced by 26.91%.

Keywords: Dynamic economic dispatch, Heuristic methods, Constraint handling

### 1. ถิ่นกำเนิด

ความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน ประกอบกับการพึ่งพิงแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางพลังงาน การนำแหล่งพลังงานทดแทน เช่น ลม หรือแสงแดด จึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในระยะหลังเพื่อเป็นทางเลือกที่สะอาดขึ้นหนึ่ง ดังที่ถูกระบุไว้ในแผนพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศไทย พ.ศ. 2553-2573 ฉบับที่ 3 (PDP 2010 Rev.3) [1] ซึ่งมีกำหนดปีกำลังผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานโดยเพิ่มจากตัวเลขในฉบับปรับปรุงครั้งที่ 2 คือ 4,533 MW เป็น 9,516 MW

เนื่องจากเทคโนโลยีทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเช่นแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือกังหันลมขนาดเล็ก มีขนาดเล็กลงและมีราคาถูกลง ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้ารายย่อยในระดับครัวเรือนมีความสามารถที่จะเข้าถึงเทคโนโลยีได้มากขึ้น เมื่อเร็ว ๆ นี้ คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงานได้มีประกาศให้ครัวเรือนครัวเรือนและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีข้อพิจารณาไฟฟ้าที่แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar rooftop power) [2] โดยนโยบายดังกล่าวเป็นหนึ่งในก้าวสำคัญไปสู่การพัฒนาระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart grid) ในประเทศไทย [3]

นอกจากนี้คณะกรรมการอนุรักษพลังงานและแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี ฉบับปี พ.ศ. 2554-2573 [2] ซึ่งมีสาระสำคัญข้อหนึ่งคือ จะมีการบังคับให้ธุรกิจพลังงานขนาดใหญ่ เช่น ธุรกิจไฟฟ้า ต้องดำเนินการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานให้กับผู้ใช้พลังงานให้ได้ตามมาตรฐานขั้นต่ำที่ระบุไว้ เพื่อกำหนดบรรทัดฐานประสิทธิภาพ ผู้ดำเนินการธุรกิจไฟฟ้าเพื่อเตรียมความพร้อมทัศนคติการควบคุมความต้องการของโหลดผ่านกลไกทางราคาค่าไฟฟ้า (Pricing mechanism) โดยอาศัยข้อมูลในเวลาจริง (Real time data) กล่าวคือผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้าจะปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าไปตามสัญญาณราคาไฟฟ้า การศึกษา [5] ในสหรัฐอเมริกาได้คาดการณ์ว่ามาตรการอนุรักษ์พลังงานและการเลื่อนเวลาการใช้ไฟฟ้า (Load shifting) จะมีส่วนช่วยลดการใช้พลังงานได้สูงสุดถึง 4% ภายในปี ค.ศ. 2030

หากมีการนำมาตรการทางราคาค่าไฟฟ้าดังกล่าวข้างต้นมาใช้ในอนาคต ผู้ใช้ไฟฟ้าจำเป็นต้องปรับตัวในมิติที่จัดการข้อมูลที่เหมาะสมขึ้น และ

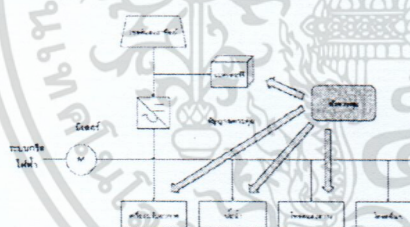
มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา พร้อมทั้งช่วยตัดสินใจเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด เช่น เมื่อใดควรเปิดหรือปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าใดๆ หรือเมื่อใดควรซื้อหรือขายพลังงานไฟฟ้าที่สะสมไว้ภายในบ้าน ซึ่งบ้านที่มีลักษณะดังกล่าวเรียกว่า บ้านอัจฉริยะ (Smart home) โดยกลไกดังกล่าวต้องเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิภายนอกอาคาร เข้ากับความต้องการพลังงานของโหลดต่างๆ และพลังงานจากแหล่งกำเนิดทดแทนที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

บทความนี้จะนำเสนอวิธีการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านอัจฉริยะผ่านการหาค่าเหมาะที่สุด (Optimization) ที่สามารถส่งสัญญาณควบคุมไปยังเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์สะสมพลังงานเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด พร้อมทั้งพิจารณาขีดจำกัดของอุปกรณ์ และปัจจัยของสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น อุณหภูมิภายนอกอาคาร

บทความในส่วนที่เหลือประกอบด้วย ส่วนที่ 2 กล่าวถึงแนวคิดการควบคุมพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านหลังนี้ ส่วนที่ 3 นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ ส่วนที่ 4 ให้ข้อมูลเกี่ยวกับระบบทดสอบและนำเสนอผลการจำลอง และส่วนที่ 5 สรุปผลการทดสอบและเสนอแนะแนวทางการพัฒนาในอนาคต

## 2. แนวคิดการควบคุมพลังงานภายในบ้านอัจฉริยะ

ระบบไฟฟ้าของบ้านอัจฉริยะหลังนี้แบ่งแสดงได้ดังรูป 1 โดยมีพิจารณาการคำนวณการดีดที่ (Optimal operation) ของบ้านหลังนี้สำหรับทุกๆ อุปกรณ์ที่สามารถควบคุมได้ (แทนด้วยชุด A) โดยที่โหลดที่ไม่สามารถควบคุมได้คือดวงอาทิตย์เป็นโหลดอื่นๆ และสมมุติให้ส่งสัญญาณควบคุมไปยังอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องทุกๆ เวลา  $t = 1, 2, \dots, T$  โดยที่  $T$  เป็นช่วงเวลาทั้งหมดที่พิจารณา



รูป 1 ระบบไฟฟ้าของบ้านอัจฉริยะ

แนวคิดในการควบคุมพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านหลังนี้ กล่าวโดยย่อคือ พยายามลดค่าใช้จ่ายรวมในการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละชนิด และลดการสูญเสียความเสถียรของ (Distraction) ของผู้ใช้ไฟฟ้า อันมีผลมาจากข้อจำกัดต่างๆ ที่ถูกระบุไว้ เช่น อุณหภูมิภายในห้องที่เพิ่มขึ้น การเลื่อนของเวลาการใช้พลังงานไฟฟ้า เป็นต้น

## 3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ปัญหาการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าสามารถสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบการโปรแกรมไม่เชิงเส้น (Nonlinear programming) ได้ดังที่จะแสดงในส่วนนี้

### 3.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) สามารถเขียนออกมาได้ดังนี้

$$\text{Min } f(x_s(t), d(t), T_m(t), C_s(x_s(t)), \lambda(t), T_{\text{con}}(t)) \quad (1)$$

โดย  $x_s(t)$  คือ พลังงานที่ใช้สำหรับอุปกรณ์  $s$  ในแต่ละชั่วโมง (kWh)  $d(t)$  คือ ผลตอบสนองของราคาไฟฟ้า  $T_m(t)$  คือ อุณหภูมิภายในห้องแต่ละชั่วโมง (องศาฟาเรนไฮต์)  $C_s(x_s(t))$  คือ ฟังก์ชันคุณลักษณะการสูญเสียความเสถียรของระบบการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์  $s$  ภายในบ้านอัจฉริยะเมื่อเทียบเป็นค่าเงิน (\$) ซึ่งมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า  $\lambda(t)$  คือ อัตราค่าไฟแต่ละชั่วโมง (ราชม่วย)  $T_{\text{con}}(t)$  คือ อุณหภูมิภายนอกแต่ละชั่วโมง (องศาฟาเรนไฮต์)

ฟังก์ชันแปรตามข้างต้น สามารถจำแนกเป็น 3 ประเภท คือ  $x_s(t)$  และ  $d(t)$  เป็นตัวแปรควบคุม (Control variable)  $T_m(t)$  และ  $C_s(x_s(t))$  เป็นตัวแปรตาม (Dependent variable)  $\lambda(t)$  และ  $T_{\text{con}}(t)$  เป็นค่าคงที่ (Input variable)

สำหรับเวกเตอร์ตัวแปรควบคุม  $x_s(t)$  ประกอบด้วย  $x_{\text{on}}(t)$  คือ พลังงานที่ใส่เครื่องปรับอากาศในในแต่ละ ชั่วโมง (kWh)  $x_{\text{off}}(t)$  คือ พลังงานที่โหลดที่ต้องใช้งานในในแต่ละ ชั่วโมง (kWh)  $x_{\text{bat}}(t)$  คือ พลังงานที่แบตเตอรี่ใช้ในแต่ละ ชั่วโมง (kWh)

### 3.2 ข้อจำกัด

สมการเพื่อการจำลองพฤติกรรมและข้อจำกัด (Constraint) ของแต่ละอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องจะถูกแจกแจงในส่วนนี้

#### 3.2.1 เครื่องปรับอากาศ

อุณหภูมิภายในห้องที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศรับเข้าไปสามารถอธิบายโดยสมการพลวัตเชิงเส้น

$$T_m(t) = T_m(t-1) + \alpha[T_{\text{con}}(t) - T_m(t-1)] + \beta x_{\text{ac}}(t) \quad (2)$$

เมื่อ  $\alpha$  และ  $\beta$  เป็นค่าที่ของเครื่องปรับอากาศ

ฟังก์ชันการสูญเสียความเสถียรของระบบเนื่องมาจากการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ

$$C_s(x_s(t)) = \alpha_s(T_m(t) - T_{\text{con}})^2 - \alpha_s \quad (3)$$

เมื่อ  $T_{conv}$  เป็นอุณหภูมิที่สบายที่สุด (อุณหภูมิบนโลก)  $a_1$  และ  $a_2$  เป็นค่าที่ที่เป็นบวก

ข้อจำกัดที่พิจารณาสำหรับเครื่องปรับอากาศประกอบด้วย

- พิกัดพลังงาน

$$0 \leq x_{ac}(t) \leq E_{ac}^{max} \quad (4)$$

เมื่อ  $E_{ac}^{max}$  คือ พิกัดพลังงานสูงสุดที่ใช้อุปกรณ์ (kWh)

- อุณหภูมิภายใน

$$\underline{T}_{dec} \leq T_m(t) \leq \bar{T}_{dec} \quad (5)$$

เมื่อ  $\underline{T}_{dec}$  และ  $\bar{T}_{dec}$  คือ อุณหภูมิที่ต่ำกว่าและสูงสุดที่ยอมรับได้ลำดับด้วย

### 3.2.2 โหลดที่จับเป็นก้อนใช้งาน (Mixed load)

โหลดที่จับเป็นก้อนใช้คือ โหลดที่ไม่สามารถควบคุมโดยการดึงระดับพลังงานไฟฟ้าได้โดยคงแอมป์ไว้มาควบคุมการไหลเวลาไฟเข้าไปควบคุมระดับการพลังงานในทางอื่น ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$x_{ac-mixed}(t) = (1-d(t)) \cdot E_{ac}^{max} \quad (6)$$

ฟังก์ชันการสูญเสียความร้อนจะลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของโหลดจับเป็นก้อนใช้เมื่อเทียบเป็นค่าเงินเป็นไปตามสมการ

$$C_p(x_{ac}(t)) = \lambda_1(D_{max} - d(t) - \lambda_2)^4 \quad (7)$$

เมื่อ  $\lambda_1$  เป็นค่าคงที่ที่เป็นบวกซึ่งระบุความสัมพันธ์ที่ขึ้นอยู่กับระดับราคาไฟฟ้า  $\lambda_2$  และ  $\lambda_3$  เป็นค่าคงที่ที่เป็นบวกซึ่งระบุค่าความคลาดเคลื่อนของการประพาสพลังงาน และ  $D_{max}$  คือ ผลตอบแทนของของราคาไฟฟ้าที่มากที่สุด

ข้อจำกัดที่พิจารณาสำหรับโหลดที่จับเป็นก้อนใช้งาน

- การลดการใช้พลังงานเนื่องจากผลตอบแทนของราคา

$$0 \leq d(t) \leq D_{max} \quad (8)$$

### 3.2.3 แบตเตอรี่

เนื่องจากแบตเตอรี่สามารถเก็บสะสมพลังงานในช่วงที่ค่าไฟฟ้าต่ำเพื่อจะนำมาใช้ได้ในช่วงที่ค่าไฟฟ้าสูงได้ รวมทั้งหากมีอิมแพกต์ก่าชนิดพลังงานทดแทน เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานส่วนเกินสามารถเก็บสะสมไว้ใช้ในยามที่ต้องการได้ ดังนั้นแบตเตอรี่จึงมีส่วนสำคัญในการตัดสินใจเลือกซื้อหรือขายไฟฟ้า และระดับพลังงานของแบตเตอรี่ที่เวลาใดๆ สามารถแสดงได้

$$x_{bat}(t) = r(t) \quad (9)$$

เมื่อ  $r(t)$  คือ ปริมาณการอัดประจุ (Charge มีเครื่องหมายเป็นบวก) การคายประจุ (Discharge มีเครื่องหมายเป็นลบ) ของแบตเตอรี่แต่ละชั่วโมง (kWh)

ฟังก์ชันความเป็นไปได้ที่แบตเตอรี่จะได้รับความเสียหายต่อ lifetime cycle ของแบตเตอรี่ เมื่อเทียบเป็นค่าเงินจะเป็นไปตามสมการ

$$C_p(x_{bat}(t)) = \gamma_1 \cdot (r(t))^2 - \gamma_2 \cdot r(t) \cdot r(t+1) + \gamma_3 \ln(r(t) - \gamma_4 \cdot B_{max}, 0)^2 \quad (10)$$

เมื่อ  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  คือ ค่าคงที่ที่เป็นบวก ซึ่งแสดงถึงความรวดเร็วของการอัดและคายประจุ  $B_{max}$  คือ ปริมาณการสูงสุดของแบตเตอรี่ สันเกตได้ว่าค่า  $C_p(x_{bat}(t))$  เป็นค่าบวก เมื่อ  $\gamma_1 > \gamma_2$

ข้อจำกัดที่พิจารณาสำหรับแบตเตอรี่

- อัตราการอัดและคายประจุ

$$\underline{R}(t) \leq r(t) \leq \bar{R}(t) \quad (11)$$

เมื่อ  $\underline{R}(t)$ ,  $\bar{R}(t)$  คือ อัตราการคายประจุสูงสุดและอัดประจุสูงสุดตามลำดับ (kWh) โดย  $\underline{R}(t) < 0$  และ  $\bar{R}(t) > 0$

- พลังงานเก็บสะสมภายในประจุ

$$0 \leq B_{ac} + \sum_{t=0}^T b(t) \leq B_{max} \quad (12)$$

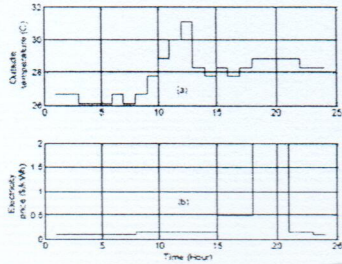
เมื่อ  $B_{ac}$  คือ ปริมาณพลังงานเริ่มต้นในแบตเตอรี่ (kWh) และ  $b(t)$  คือ ปริมาณพลังงานที่แบตเตอรี่รับหรือคายออกทีละ

## 4. ระบบทดสอบและผลการจำลอง

### 4.1 ข้อมูลระบบทดสอบ

บทความนี้พิจารณาอุปกรณ์ไฟฟ้า 3 ชนิด ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

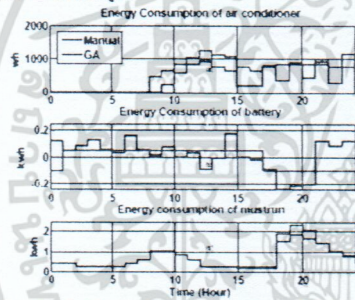
1. เครื่องปรับอากาศ - กำหนดให้อุณหภูมิที่สบายที่สุดคือ 24 °C และอุณหภูมิที่เครื่องวางอยู่ในช่วง 21-27 °C ค่าคงที่เครื่องปรับอากาศ  $\alpha$  มีค่า 0.9 และ  $\beta$  มีค่า 0.0095 ค่าพิกัดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ 4 kWh ค่าคงที่  $a_1$  และ  $a_2$  มีค่า 0.1 และอุณหภูมิภายนอกเป็นไปตามรูป 2(a) และให้เครื่องปรับอากาศที่งานตั้งแต่ 8.00 น. - 23.00 น. อัตราค่าไฟฟ้าแสดงให้ดูรูป 2(b)
2. โหลดที่จับเป็นก้อนใช้งาน - กำหนดให้พลังงานสูงสุดที่ใช้ 2.3 kWh และค่าสูงสุดของการควบคุมผลตอบแทนของความต้องการใช้พลังงาน 0.2
3. แบตเตอรี่ - กำหนดให้อัตราการชาร์จและดีชาร์จสูงสุด 0.25 kWh แบตเตอรี่มีความจุสูงสุด 0.8 kWh และพารามิเตอร์  $\gamma_1 = 5 \cdot 10^{-7}$ ,  $\gamma_2 = 4 \cdot 10^{-7}$ ,  $\gamma_3 = 1$ ,  $\gamma_4 = 0.2$



รูป 2 (a) อุณหภูมิภายนอกบ้าน (องศาเซลเซียส) (b) ราคาค่าไฟฟ้า

4.2 ผลการจำลอง

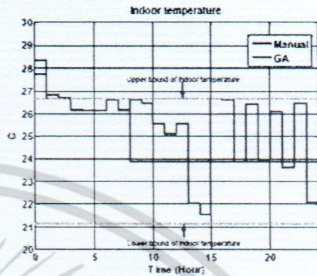
แบบจำลองที่นำเสนอในบทความนี้ถูกสร้างขึ้นบนโปรแกรม MATLAB โดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรมใน Genetic Algorithm (GA) toolbox เพื่อแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุด เพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคการตั้งค่าควบคุม 2 วิธี คือ การตั้งค่าด้วยมือ (Manual) และ ด้วยวิธี GA รวมถึงพลังงานที่อุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิดใช้ในวันแสดงไว้ดังรูป 3



รูป 3 พลังงานที่อุปกรณ์ (a) เครื่องปรับอากาศ (b) แบตเตอรี่ (c) โหลดที่ต้องใช้งาน

การตั้งค่าด้วยมือสำหรับเครื่องปรับอากาศเป็นการตั้งค่าอุณหภูมิให้แก่เทอร์โมสตัท (Thermostat) เพื่อให้ได้อุณหภูมิภายในที่กำหนดคือ 24°C ดังจะเห็นได้จากรูป 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าด้วย GA สำหรับการจัดและควบคุมของแบตเตอรี่โดยที่การกำหนดช่วงรอบการอัดและคายประจุด้วยมือ กำหนดไว้คือประจุได้ในช่วงที่ค่าไฟฟ้าต่ำ คือ 8:00-15:00 น. และ 21:00-24:00 น. และ ปล่อยให้คายประจุในช่วงที่เหลือ โหลดที่จำเป็นต้องใช้งานในการจำลองของทั้งสองวิธีการตั้งค่าควบคุมสมมติให้เท่ากันเท่ากับรูป 3(c) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการควบคุมด้วยวิธี GA สามารถตอบสนองต่อสัญญาณราคาไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นได้ในช่วง 18:00-21:00 น ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อเปรียบเทียบผลเนื่องจากการปรับตั้งค่าด้วยควบคุมของเครื่องใช้ไฟฟ้าพบว่า ด้วยวิธี GA พลังงานที่ไร้ลดลง คิดเป็น 12.37% และค่าไฟฟ้าเมื่อควบคุมด้วยวิธี GA สามารถลดลงได้ถึง 26.91% เมื่อเทียบกับวิธี Manual



รูป 4 อุณหภูมิภายในห้องที่มีภาระควบคุม: ไม่ควบคุมโดยวิธีที่นำเสนอ

5. สรุปผลและแนวทางการพัฒนา

บทความนี้นำเสนอวิธีการพัฒนาแบบที่ดีที่สุดเพื่อการบริหารจัดการพลังงานภายในบ้านอัจฉริยะ ซึ่งเป็นบ้านแห่งอนาคต ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอและการประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อหาค่าเหมาะที่สุดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิดพบว่า วิธีควบคุมด้วยการตั้งค่าและค่าไฟฟ้าที่ห้องจ่ายสามารถลดลงได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ผลกระทบบ่อยคือความเสถียรของระบบที่ควบคุมได้ โดยบทความนี้จะเห็นอุปกรณ์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete) เช่น ปั๊มน้ำ และ พืชวางแผงกั้นนำพลังงานทดแทน เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ ในแบบจำลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน “แผนพัฒนาพลังงานไฟฟ้าเพื่อประเทศไทย พ.ศ. 2553-2573 ฉบับที่ 3”
- [2] ประกาศคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน(กกพ.) เรื่องการรับซื้อไฟฟ้าจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งหลังคา พ.ศ. 2556
- [3] นลิตตะ ธรรมการวิทยาน โยบายพลังงาน ฉบับที่ 4 ฉบับที่ 40 [http://www.epppo.go.th/ncp\\_kkg\\_kbg\\_93.htm](http://www.epppo.go.th/ncp_kkg_kbg_93.htm)
- [4] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน “แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี ฉบับปี พ.ศ. 2554-2573”
- [5] Pacific Northwest National Laboratory, “The Smart Grid: An Estimation of the Energy and CO2 benefits”, A report prepared for the US Department of Energy, Jan. 2010
- [6] K. M. Tan and G. C. Chua, Demand response optimization for smart home scheduling under real-time pricing”, IEEE Trans. on Smart Grid, vol. 3, no. 4, pp. 1812-1821 Dec. 2012

## ผลงานวิจัยชิ้นที่ 2

### A Simulation Study of Inverter Air Conditioner Controlled to Supply Reactive Power

Worapoj Viriyautsahakul, Worapat Panacharoenwong, Wipaporn Pongpiriyakijkul, Sasatorn Kosolsaksakul and Worawat Nakawiro\*

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
1 Chalongkrung Road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand  
Email: nworawat@gmail.com

**Keywords:** Inverter air conditioner, Reactive power control

**Abstract.** Recently, inverter has been applied in air conditioning technologies. Besides energy saving capability, inverter can also control reactive power by using the dq-axis theory. It separates current into two parts that enable decoupled control of active power and reactive power.

This presents a simulation study of an inverter air conditioner controlled to supply reactive power for the installation area without sacrificing thermal comfort. 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 controllability depends on variation of the indoor and outdoor temperature and rated current of equipment.

#### Introduction

In recently years, distribution system operators have encountered new challenges to maintain secure and reliable operation with the higher integration of renewable energy sources and increasing electricity demand. Air conditioner is a very essential electric appliances in all sectors (residential, commercial and industrial) in Thailand. Air conditioning technologies can be broadly categorised in two groups. The first is based on the hysteresis temperature control and the motor is turned on/off. The latter uses inverter to adjust infeed power to the motor driving the compressor by adjusting the frequency in order to meet the requirement of the thermodynamic process [1]. The installation of inverter-based air conditioner (IBAC) has been increased quite significantly due to its cost reduction. The use of IBAC not only save energy consumption but also gives possibilities to smart grid functionalities. A smart controller can be developed to adjust active power to maintain thermal comfort in the space as the first priority and to supply reactive power if required. Given this capability, IBAC can perform like Static Var Compensator (STATCOM). Reactive power can be locally compensated and could potentially improve voltage stability of the distribution system.

This paper presents a mathematical model of IBAC and associated PI controllers in MATLAB/SIMULINK. Moreover, a control algorithm was developed to reactive power output at its maximum capability without losing its cooling efficiency. The rest of this paper is organised as follows. Section 2 summarises the theories relevant to this work and shows the developed SIMULINK model. Section 3 gives simulation setting and demonstrate the results. Finally the paper is concluded and the future research direction is outlined in section 4.

#### Relevant theories and Developed model

A three-phase induction machine (IM) is generally used as the compressor motor. In an IBAC, inverter is used to control speed of the IM to drive variable refrigerant flow and thereby regulating

the conditioned-space temperature. The variable frequency drive is used to achieve the desired frequency and the rotational speed will be proportional to the AC input. To regulate the frequency of AC input to the IM, AC power from the utility is converted to DC by the rectifier circuit. The vector control [3] based on Park's transformation [4] decompose the current in the d-q axes. The DC link voltage  $V_{DC}$ , the reactive power  $Q$  are measured and used as inputs of the control box. Then the pulse width modulation (PWM) signal is sent to the converter [2]. This allows the separate control of active and reactive power. The diagram of converter and its controllers is shown in Fig 1. Fig 2 depicts the control blocks of inverter and induction motor. The command temperature  $Temp_{command}$  and the active power  $P$  required by the air conditioner are used to calculate the scalar control input used to generate PWM signal for the inverter. The model of an IBAC with reactive power control capability developed in SIMULINK is shown in Fig 3.

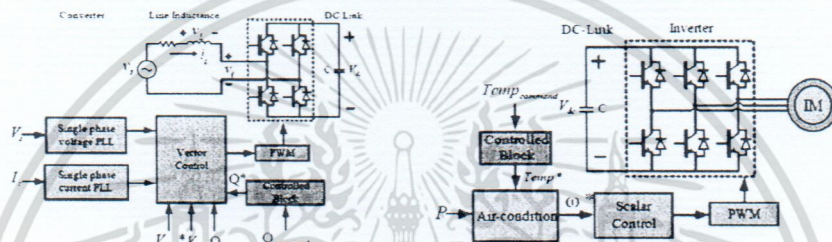


Fig.1 Converter and controllers

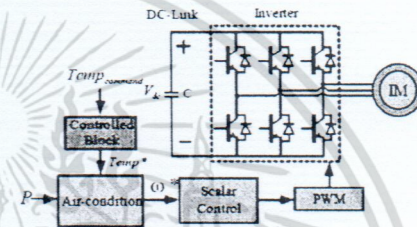


Fig.2 Inverter and controllers

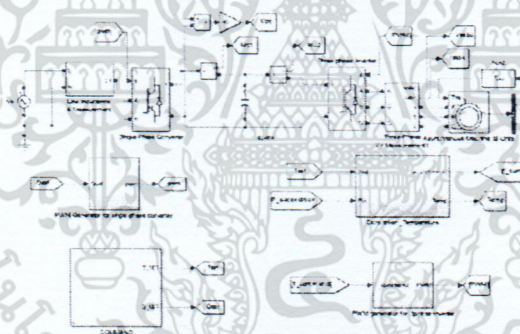


Fig. 3 The model developed in SIMULINK

**Simulation settings and results**

In this work, an IBAC is used to control temperature of a room with the dimension of 10m x 10m x 3m. The only environment factor considered in the simulation is the outside temperature. Realistic measurement data [5] as shown in Fig 4 is used. From the study in [6], thermal comfort of a person can be expressed as a function of temperature and relative humidity inside the control space as shown in Fig 5. In this simulation, humidity is not a considering factor and thereby the comfort temperature is assumed to be within 24 to 27 C.

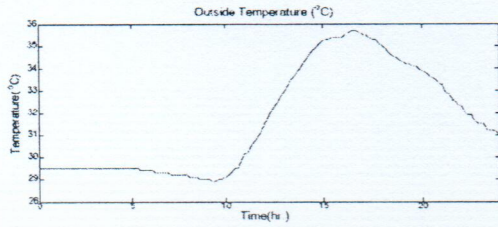


Fig. 4 Temperature outside the control space

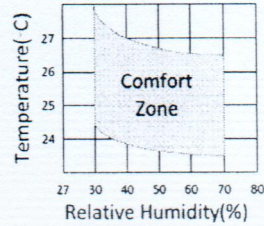


Fig. 5 Thermal comfort zone

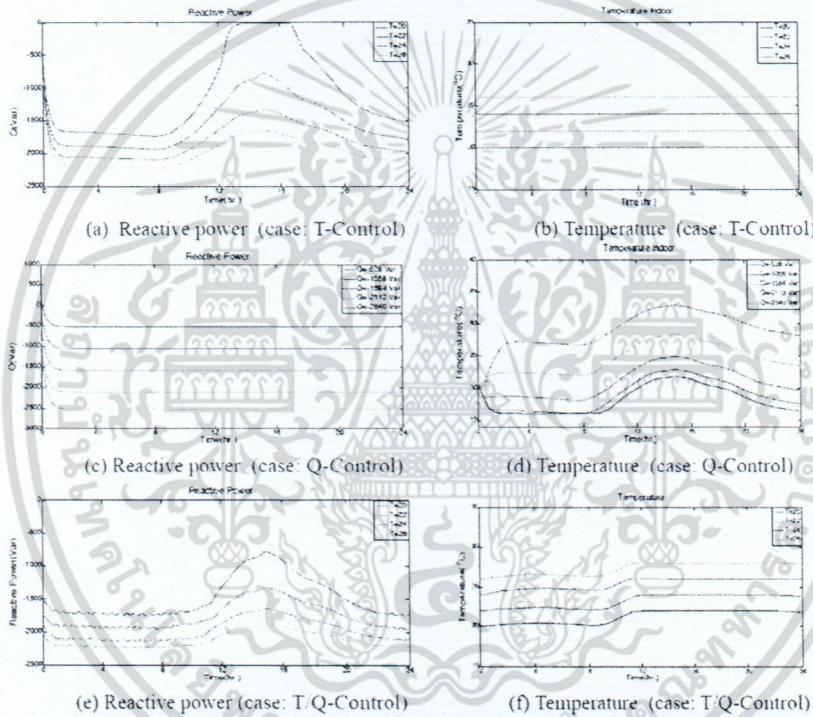


Fig.6 Simulation results of the three working modes

The simulation is carried out in three working modes namely temperature (T) control, reactive power (Q) control and the proposed temperature and reactive power (T/Q) control. In the first mode, the IBAC is intended to maintain the temperature of the room whereby Q becomes the dependent variable. For the second mode, the reactive power supply is the priority whereby the temperature control becomes dependent. The last mode is the compromise between the first two

working modes where both temperature and reactive power are important. The room temperature may be allowed to rise slightly in order to supply more reactive power. However the room temperature is still inside the thermal comfort zone. Fig 6 show the reactive power supplied by IBAC and the temperature inside the room of the three modes. It is noticed that reactive power output reduces while the temperature set point is decreased. This is obvious that active power must be increased to cool down the room. In the Q-control mode, the IBAC supplies reactive power at the specified level. If the Q set point is increased, the IBAC loses its cooling function resulting in the temperature rise beyond the comfort zone. The proposed T/Q control ensures the comfort room temperature as specified by the user and at the same time supplies the reactive power at its maximum capacity.

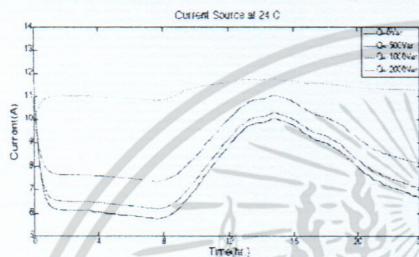


Fig 7 shows the relationship between the outside temperature and the Q set point. It is noticed that when Q increases the current component in the q axis increases. Moreover if the outside increase the current component in the d axis also increase. These two increase the total current drawn from the source.

Fig 7 Current drawn from the source at different reactive power set points

#### Summary

This paper presents a model and simulation study of an inverter-base air conditioning unit designed to be able to supply reactive power to the system. Simulation results reveal that this functionality would affect the ability to maintain the temperature of the control space to be within the thermal comfort zone. A control strategy is designed to allow the reduced cooling capacity of the air conditioner and thereby allow increase reactive power controllability. Future research will improve the mathematical model and simulate the impact of reactive power compensation to a test low-voltage distribution network.

#### References

- [1] G.F. Hundy, A.R. Trott and T.C. Welch, "Refrigeration and Air Conditioning," 4th Edition, Butterworth-Heinemann, 2008.
- [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] 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.
- [5] Weather Underground, "Weather History for Bangkok," [online]: <http://www.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=IBANGKOK34#history/s20150422/e20150422/ndaily>
- [6] Michel Boduch and Warren Fincher, "Standard of Human Comfort", Austin: CSD Press, 2009.

## ประวัตินักวิจัย

ชื่อ-สกุล นายวรวรรณ นาคะวิโร

ตำแหน่ง อาจารย์

### ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.บ.	วิศวกรรมไฟฟ้า	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	2545
M.Eng.	Energy (Electric power system management)	Asian Institute of Technology	2547
Dr.-Ing. (Doctor of Engineering)	Electrical engineering and Information technology	University of Duisburg-Essen, Germany	2554

### ประสบการณ์วิจัยหรือสาขาที่ชำนาญ

การประยุกต์ใช้การคำนวณเชิงอัจฉริยะ (Computational intelligence) ในระบบไฟฟ้ากำลัง เสถียรภาพเชิงแรงดัน (Voltage stability) การควบคุมแรงดันในระบบจำหน่ายที่มีเครื่องกำเนิดแบบกระจายตัว

### รางวัลด้านวิชาการ/ด้านวิจัย/งานสร้างสรรค์ (ด้านศิลปะ หรืออื่นๆ) ที่ได้รับ

ปี พ.ศ.	ชื่อรางวัล	สถาบันที่ให้
2555	บทความดีเด่น	IASTED Asian conferences on power and energy systems

### ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2546	ทุนการศึกษาจากรัฐบาลไทย เพื่อศึกษาปริญญาโท	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
2549	ทุนการศึกษา เพื่อศึกษาปริญญาเอก ณ ประเทศเยอรมันนี	German academic exchange services (DAAD)

## ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

### ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

W. Nakawiro and I. Erlich, "A new adaptive differential evolution algorithm for voltage stability constrained optimal power flow", in Proc. Power System Computation Conference (PSCC) 2011, Stockholm, Sweden

I. Erlich, W. Nakawiro and M. Marcela, "Optimal Dispatch of Reactive Sources in Wind Farms, in Proc. IEEE PES General Meeting, Detroit, Michigan, USA.

W. Nakawiro, I. Erlich and J. L. Rueda, "A Novel Optimization Algorithm for Optimal Reactive Power Dispatch: A Comparative Study", DRPT 2011, China

W. Nakawiro, I. Erlich and Y. Nithipattarat, "Effects of Equality Constraint Handling on Economic Dispatch using Differential Evolution Algorithms", in Proc IASTED Asia Power and Energy, Phuket, Thailand 2012 (Best paper award)

M.-K. Nizam M. Sarmin, W. Nakawiro, S.K.S-Abdullah, N.S. Nik Yusof, "Real-Time Voltage Monitoring for TNB Network", in Proc IASTED Asia Power and Energy, Phuket, Thailand 2012

### การเสนอผลงานวิชาการ

นำเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติที่มีชื่อเสียงในหลายประเทศทั่วโลก เช่น IEEE PES General Meeting, Intelligent system application in power systems (ISAP), Power system computation conference (PSCC)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้