

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**ตู้อบไฟฟ้า 50-Hz ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์โดยอาศัยหลักการเฟส
และไซเคิลคอนโทรล**

**COMPUTERIZED 50-Hz ELECTRIC OVEN USING PHASE
AND CYCLE CONTROL TECHNIQUE**



จพ.
ร 29767
๒๖๖1

สงวน.....
เลขทะเบียน..... **85151**

b. 1200b188
i.

**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2551**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก **KMITL-2008-EN-M-020-164** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**COMPUTERIZED 50-Hz ELECTRIC OVEN USING PHASE
AND CYCLE CONTROL TECHNIQUE**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2008**

KMITL-2008-EN-M-020-164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2008

FACULTY OF ENGINEERING

เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์โดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขอสงวนสิทธิ์ในชื่อผู้แต่งและชื่อของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ตู้อบไฟฟ้า 50-Hz ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์โดยอาศัยหลักการเฟสและไซเคิลคอนโทรล
นักศึกษา	นายรัชศักดิ์ ยี่ร้อสา
รหัสประจำตัว	46060715
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2551
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.วิริยะ พิเชษฐจำริญ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวิธีการควบคุมเชิงดิจิทัล เพื่อสร้างคลื่นแรงดันเอาต์พุตในลักษณะเฟส และไซเคิลคอนโทรลจากแหล่งจ่าย 50-Hz เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของทั้ง 2 ระบบ สำหรับกรณีที่มีโหลดเป็นตู้อบ โดยกระบวนการทั้งหมดจะใช้คอมพิวเตอร์ในการสั่งงาน ตรวจสอบสถานะและแสดงผลการทำงานของเครื่อง โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ : MCU P89C51RD2 เป็นตัวกลางเชื่อมโยงระหว่างคอมพิวเตอร์และวงจรกำลัง โดยคลื่นแรงดันและกระแสทางด้านเอาต์พุตและอินพุตจะใช้โปรแกรม Matlab ในการวิเคราะห์หาแถบสเปกตรัมซึ่งผลที่ได้นี้สามารถนำไปสู่การคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า ค่าประสิทธิภาพและเพาเวอร์แฟคเตอร์ของวงจรกำลัง และเมื่อนำผลทางทฤษฎีไปเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ปรากฏว่าได้ผลใกล้เคียงกัน ตลอดจนเมื่อนำหลักการเฟสและไซเคิลคอนโทรลไปควบคุมอุปกรณ์ให้ความร้อนในตู้อบ ก็สามารถปรับเปลี่ยนอุณหภูมิได้ในช่วง $100^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ ที่ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด 2,000 วัตต์

Thesis Title	Computerized 50-Hz Electric Oven Using Phase and Cycle Control Technique
Student	Mr. Raksak Yeerosa
Student ID.	46060715
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Viriya Pichetjamroen

ABSTRACT

This thesis presents a digital control approach used to generate two kinds of phase - and cycle - controlled waveforms for the load of oven with a 50-Hz utility voltage supplied from the input side in order to compare the electrical characteristics of the two systems. The whole system is achieved with the aid of the computer which is also equipped in the whole control system in order to check , control and display the control status of the Microcontroller MCU P89C51RD2 which is inter-connected between the computer and the power control circuit. The resulting phase-controlled output voltage and current as well as the input supply voltage and current are further analyzed in various frequency spectra which are all used for the calculation of output power , efficiency , and power factor etc., using Matlab in the analysis. Again , all these theoretical results are also verified by experiment. Moreover , the proposed principle phase and cycle controls are also actually applied to temperature control of the heater oven , the temperature of which is found to be variable from $100^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ at the maximum wattage of 2,000 W.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.วิริยะ พิเชฐจำเริญ ที่ได้ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะในการแก้ไขปัญหาลดจนให้ความรู้ และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า ซึ่งข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์เป็นอย่างมาก และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อจักรี คุณแม่ศรีสุคนธ์ ยี่รอสา ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้เสมอมาทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์เล่มสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณจิตติ ยี่รอสา ที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง พร้อมทั้งช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวทางคอมพิวเตอร์ ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้

สำหรับคุณงามความดีและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับ บิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดถึงครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และให้ประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

รักศักดิ์ ยี่รอสา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	X
สารบัญรูป.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 อธิบายถึงปัญหาที่กำลังศึกษาและวิจัย.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยวิธีเฟสคอนโทรล.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 หลักการเฟสคอนโทรล.....	5
2.3 การวิเคราะห์สมการของคลื่นแรงดันและกระแสวิธีเฟสคอนโทรล.....	9
2.4 คลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุต และสเปกตรัมที่คำนวณเฟสต่างๆ โดยวิธีเฟสคอนโทรล.....	23
2.5 หลักการทำงานของวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรล.....	24
2.6 ขั้นตอนและโฟลว์ชาร์ตแสดงการสร้างสัญญาณของคลื่นแรงดัน โดยวิธีเฟสคอนโทรล.....	26
2.7 การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลดชดชวความร้อน กำลังไฟฟ้าทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้า ค่าประสิทธิภาพ ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกสร่วมของกระแสค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านแหล่งจ่าย ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่โหลดชดชวความร้อนวิธีเฟสคอนโทรล.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.8 สรุป.....	40
บทที่ 3 ทฤษฎีการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยวิธีไซเคิลคอนโทรล.....	41
3.1 บทนำ.....	41
3.2 หลักการไซเคิลคอนโทรล.....	41
3.3 การวิเคราะห์สมการของคลื่นแรงดันและกระแสวิธีไซเคิลคอนโทรล.....	44
3.4 คลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตและสเปกตรัมที่ค่าจำนวนไซเคิลต่างๆ วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	58
3.5 หลักการทำงานของวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีไซเคิลคอนโทรล.....	59
3.6 ขั้นตอนและโพลีชาร์ตแสดงการสร้างสัญญาณของคลื่นแรงดัน วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	61
3.7 การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลดขดลวดความร้อน กำลังไฟฟ้าทางด้านแหล่งจ่ายการ ไฟฟ้า ค่าประสิทธิภาพ ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกสร่วมของกระแส ค่าอินพุต เพาเวอร์แฟคเตอร์ ค่าเอาต์พุตเพาเวอร์แฟคเตอร์วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	65
3.8 สรุป.....	74
บทที่ 4 การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า.....	75
4.1 บทนำ.....	75
4.2 ตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า.....	75
4.3 ทฤษฎีของเทอร์โมคัพเปิด.....	75
4.4 โครงสร้างของเทอร์โมคัพเปิด.....	77
4.4.1 ลวดโลหะตัวนำของเทอร์โมคัพเปิด.....	78
4.4.2 ท่อโลหะป้องกันเทอร์โมคัพเปิด.....	78
4.5 เทอร์โมคัพเปิดชนิด K	78
4.6 การป้องกันสัญญาณรบกวนจากภายนอกของเทอร์โมคัพเปิด (Noise Prevention).....	79
4.7 หลักการพร้อมขั้นตอนและโพลีชาร์ตการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดโดยวิธีการ ปรับเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้องกันกับขดลวดความร้อน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ภายในตู้อบไฟฟ้า.....	79
4.7.1 หลักการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดโดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า.....	79
4.7.2 ขั้นตอนและโฟลว์ชาร์ตแสดงการควบคุมอุณหภูมิแบบลูบปิด โดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า.....	80
4.7.3 การอบอาหารด้วยรูปแบบการควบคุมระดับอุณหภูมิในช่วงระยะเวลาต่างๆ ของการอบตามที่ได้กำหนดไว้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	82
4.7.3.1 การอบอาหารแบบ 1 ช่วงเวลา.....	83
4.7.3.2 การอบอาหารแบบ 2 ช่วงเวลา.....	84
4.7.3.3 การอบอาหารแบบ 3 ช่วงเวลา.....	87
4.8 ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตกับการอบอาหาร.....	90
4.9 คุณสมบัติของตู้อบไฟฟ้า.....	92
4.10 การหมุนวนของลมร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า.....	100
4.11 การออกแบบใบพัดของพัดลมกระจายความร้อน.....	102
4.12 โปรแกรมมอนิเตอร์.....	110
4.12.1 โปรแกรมวิซวลเบสิก 6.0 (Visual Basic 6.0).....	110
4.12.2 ฟังก์ชันการทำงาน.....	111
4.12.3 วิธีควบคุมการอบอาหาร.....	112
4.13 การประหยัดพลังงานของตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อน.....	113
4.14 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของตู้อบไฟฟ้าที่ทำการวิจัย และตู้อบไฟฟ้าที่มีในท้องตลาดซึ่งใช้ในครัวเรือน.....	115
4.15 สรุป.....	116
บทที่ 5 ผลการทดลองและผลการชิมมูเลท.....	118
5.1 บทนำ.....	118
5.2 การตรวจจับจุดตัดศูนย์กลางของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ.....	118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.3 การเปรียบเทียบผลจากการชิมมูลเห็ดและผลจากการทดลองของคลื่นแรงดันและกระแสพร้อมสเปกตรัมที่ค่าเปอร์เซ็นต์ ON ต่างๆ กรณีเฟสคอนโทรล.....	121
5.3.1 ขั้นตอนในการทำการทดลอง.....	121
5.3.2 ผลการทดลองและผลการชิมมูลเห็ด.....	122
5.3.2.1 การเปรียบเทียบผลของสเปกตรัมจากการชิมมูลเห็ดและผลจากการทดลองของคลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตวิธีเฟสคอนโทรล.....	122
5.3.2.2 การเปรียบเทียบผลจากการชิมมูลเห็ดและผลจากการทดลองของกำลังไฟฟ้าทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้า ค่าประสิทธิภาพ ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมของกระแส ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านแหล่งจ่าย ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่โหลดขดลวดความร้อนวิธีเฟสคอนโทรล.....	124
5.4 การเปรียบเทียบผลจากการชิมมูลเห็ดและผลจากการทดลองของคลื่นแรงดันและกระแสพร้อมสเปกตรัมที่ค่าเปอร์เซ็นต์ ON ต่างๆ กรณีไซเคิลคอนโทรล.....	127
5.4.1 ขั้นตอนการทดลอง.....	127
5.4.2 ผลการทดลองและผลการชิมมูลเห็ด.....	128
5.4.2.1 การเปรียบเทียบผลของสเปกตรัมจากการชิมมูลเห็ดและผลจากการทดลองของคลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตวิธีไซเคิลคอนโทรล.....	128
5.4.2.2 การเปรียบเทียบผลจากการชิมมูลเห็ดและผลจากการทดลองของกำลังไฟฟ้าทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้า ค่าประสิทธิภาพ ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมของกระแส ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านแหล่งจ่าย ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่โหลดขดลวดความร้อนวิธีไซเคิลคอนโทรล.....	129
5.5 ผลของอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าที่มีการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดที่กำลังไฟฟ้าของขดลวดความร้อน 2,000 วัตต์ กรณีเฟสคอนโทรล.....	133
5.5.1 ขั้นตอนทำการทดลอง.....	133

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.5.2 ผลการทดลอง.....	134
5.5.2.1 การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าแบบ 1 ช่วงเวลา กรณีเฟสคอนโทรล.....	134
5.5.2.2 การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าแบบ 2 ช่วงเวลา กรณีเฟสคอนโทรล.....	134
5.5.2.3 การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าแบบ 3 ช่วงเวลา กรณีเฟสคอนโทรล.....	135
5.6 ผลของอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าที่มีการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดที่กำลังไฟฟ้า ของชุดลดความร้อน 2,000 วัตต์ กรณีไซเคิลคอนโทรล.....	149
5.6.1 ขั้นตอนทำการทดลอง.....	149
5.6.2 ผลการทดลอง.....	150
5.6.2.1 การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าแบบ 1 ช่วงเวลา กรณีไซเคิลคอนโทรล.....	150
5.6.2.2 การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าแบบ 2 ช่วงเวลา กรณีไซเคิลคอนโทรล.....	150
5.6.2.3 การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าแบบ 3 ช่วงเวลา กรณีไซเคิลคอนโทรล.....	150
5.7 ตัวอย่างการใช้งานจริงของการอบชิ้นงานที่เป็น ขนมปังชนิดแผ่นตราฟาร์มเฮาส์ แผ่นสตีคหมู และน่องไก่ สำหรับการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิด พร้อมรูปถ่าย.....	164
5.7.1 ข้อมูลจากการใช้งานจริงสำหรับการอบขนมปังชนิดแผ่นตราฟาร์มเฮาส์ พร้อมรูปถ่าย.....	164
5.7.2 ข้อมูลจากการใช้งานจริงสำหรับการอบแผ่นสตีคหมูพร้อมรูปถ่าย.....	166
5.7.3 ข้อมูลจากการใช้งานจริงสำหรับการอบน่องไก่พร้อมรูปถ่าย.....	169
5.8 สรุป.....	171
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	174

บรรณานุกรม.....185

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก.....	186
ภาคผนวก ก. โปรแกรมสร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรลและ ไซเคิลคอนโทรล.....	187
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	200
ประวัติผู้เขียน.....	207



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรลใน 1 คาบเวลา.....	8
2.2 สมการ v_o , i_o ในช่วงการ ON-OFF ของสวิตช์.....	9
2.3 องค์ประกอบของคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ที่ลำดับ Fundamental ลำดับ Harmonic ที่ 3 และ ลำดับ Harmonic ที่ 5 ที่ค่ามุมเฟส(ϕ) เท่ากับ 45° วิธีเฟสคอนโทรล.....	14
2.4 องค์ประกอบของคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ที่ลำดับ Fundamental ลำดับ Harmonic ที่ 3 และลำดับ Harmonic ที่ 5 ที่ค่ามุมเฟส(ϕ) เท่ากับ 90° วิธีเฟสคอนโทรล.....	17
2.5 องค์ประกอบของคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ที่ลำดับ Fundamental ลำดับ Harmonic ที่ 3 และ ลำดับ Harmonic ที่ 5 ที่ค่ามุมเฟส(ϕ) เท่ากับ 135° วิธีเฟสคอนโทรล.....	20
2.6 องค์ประกอบของคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ที่ลำดับ Fundamental ลำดับ Harmonic ที่ 3 และ ลำดับ Harmonic ที่ 5 ที่ค่ามุมเฟส(ϕ) เท่ากับ 45° , 90° และ 135° วิธีเฟสคอนโทรล.....	21
2.7 การสร้างคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุต v_o ด้วยวิธีเฟสคอนโทรล.....	28
3.1 การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีไซเคิลคอนโทรลใน 1 คาบเวลา.....	44
3.2 สมการ v_o , i_o ในช่วงการ ON-OFF ของสวิตช์.....	45
3.3 การสร้างคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุต v_o ด้วยวิธีไซเคิลคอนโทรล.....	63
4.1 การอบอาหารแบบ 1 ช่วงเวลา.....	84
4.2 การอบอาหารแบบ 2 ช่วงเวลา.....	85
4.3 การอบอาหารแบบ 3 ช่วงเวลา.....	88
4.4 ช่วงของการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าของวิธีเฟสคอนโทรล.....	90
4.5 ช่วงของการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าของวิธีไซเคิลคอนโทรล.....	91
4.6 คุณสมบัติของตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อน.....	93
4.7 การคำนวณต้นทุนของตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อน.....	95
4.8 การใช้พลังงานในแต่ละช่วงของการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า.....	114
4.9 เปรียบเทียบหลักการทำงานของตู้อบไฟฟ้าที่ทำการวิจัย และตู้อบไฟฟ้าในท้องตลาดที่ใช้ในครัวเรือน.....	115
5.1 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 1 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย $100^\circ C$ วิธีเฟสคอนโทรล.....	137
5.2 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 1 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย $150^\circ C$ วิธีเฟสคอนโทรล.....	139
5.3 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 1 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย $200^\circ C$ วิธีเฟสคอนโทรล.....	141

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.4 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 2 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย 125°C , 200°C วิธีเฟสคอนโทรล.....	143
5.5 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 3 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย 125°C , 150°C , 200°C วิธีเฟสคอนโทรล.....	146
5.6 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 1 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย 100°C วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	152
5.7 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 1 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย 150°C วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	154
5.8 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 1 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย 200°C วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	156
5.9 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 2 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย 125°C , 200°C วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	158
5.10 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 3 ช่วงเวลาที่อุณหภูมิเป้าหมาย 125°C , 150°C , 200°C วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	161
5.11 รายละเอียดของการอบขนมปังชนิดแผ่นตราฟาร์มเฮ้าส์.....	164
5.12 สรุปผลของการอบขนมปังชนิดแผ่นตราฟาร์มเฮ้าส์ตามกระบวนการที่ได้กำหนด.....	166
5.13 รายละเอียดของการอบแผ่นสติกเกอร์.....	167
5.14 สรุปผลของการอบแผ่นสติกเกอร์ตามกระบวนการที่ได้กำหนด.....	168
5.15 รายละเอียดของการอบน่องไก่.....	169
5.16 สรุปผลของการอบน่องไก่ตามกระบวนการที่ได้กำหนด.....	171

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วงจรสร้างคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรล.....	6
2.2 คลื่นแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดรแอก และสัญญาณขั้วขาเกิดของไดรแอกที่ค่ามุมเฟส $\phi = 90^\circ$ วิธีเฟสคอนโทรล.....	7
2.3 คลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตวิธีเฟสคอนโทรล.....	9
2.4 เปรียบเทียบคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับคลื่นแรงดันไฟฟ้า Fundamental แรงดันไฟฟ้า Harmonic ลำดับที่ 3 และแรงดันไฟฟ้า Harmonic ลำดับที่ 5 กรณีมุมเฟส $\phi = 45^\circ$ วิธีเฟสคอนโทรล.....	14
2.5 เปรียบเทียบคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับคลื่นแรงดันไฟฟ้า Fundamental แรงดันไฟฟ้า Harmonic ลำดับที่ 3 และแรงดันไฟฟ้า Harmonic ลำดับที่ 5 กรณีมุมเฟส $\phi = 90^\circ$ วิธีเฟสคอนโทรล.....	17
2.6 เปรียบเทียบคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับคลื่นแรงดันไฟฟ้า Fundamental แรงดันไฟฟ้า Harmonic ลำดับที่ 3 และแรงดันไฟฟ้า Harmonic ลำดับที่ 5 กรณีมุมเฟส $\phi = 135^\circ$ วิธีเฟสคอนโทรล.....	19
2.7 เปรียบเทียบคลื่นแรงดันเอาต์พุต v_o กับคลื่นแรงดัน Fundamental คลื่นแรงดัน Harmonic ลำดับที่ 3 และคลื่นแรงดัน Harmonic ลำดับที่ 5 ที่ค่ามุมเฟส $\phi = 45^\circ, 90^\circ$ และ 135° วิธีเฟสคอนโทรล.....	20
2.8 การรวมคลื่นแรงดันของพินคาเมนทอลและฮาร์โมนิกส์ในลำดับต่างๆ ในกรณีของการควบคุมโดยวิธีเฟสคอนโทรลที่มุมเฟส (ϕ) เท่ากับ $50^\circ, 90^\circ$ และ 130° ตามลำดับ.....	22
2.9 ลักษณะคลื่นแรงดันที่ป้อนขดลวดให้ความร้อน (Heater) และสเปกตรัมที่ค่ามุมเฟส (ϕ) ต่างๆ ที่มุมเฟส ϕ เท่ากับ $10^\circ, 50^\circ, 90^\circ, 130^\circ, 170^\circ$ วิธีเฟสคอนโทรล.....	23
2.10 บล็อกไดอะแกรมรวมแสดงหลักการสร้างสัญญาณควบคุมโดยวิธีเฟสคอนโทรลแบบดิจิทัล.....	24
2.11 โพลัวรัลสำหรับสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของไดรแอก วิธีเฟสคอนโทรล.....	27
2.12 สัญญาณของคลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตวิธีเฟสคอนโทรล.....	29
2.13 สัญญาณการตรวจจับจุดตัดศูนย์ที่มีการเปลี่ยนระดับของสัญญาณจากลอจิก 0 ไปเป็น ลอจิก 1 ในขณะที่คลื่นแรงดันไซน์อินพุตเปลี่ยนทิศแรงดันจากลบเป็นบวกผ่านศูนย์ (Zero crossing).....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.14 สัญญาณการตรวจจับจุดตัดศูนย์ที่มีการเปลี่ยนระดับของสัญญาณจากลอจิก 1 ไปเป็นลอจิก 0 ในขณะที่คลื่นแรงดันไซน์อินพุตเปลี่ยนทิศแรงดันจากบวกเป็นลบผ่านศูนย์ (Zero crossing).....	30
2.15 ค่าอินพุตเพาเวอร์แฟคเตอร์ PF_{input} ที่ได้จากการซิมูเลทโดยวิธีเฟสคอนโทรล.....	38
2.16 ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o อันเนื่องมาจากคลื่น Fundamental P_{o1} และคลื่น Harmonics ที่ได้จากการซิมูเลทโดยวิธีเฟสคอนโทรล.....	38
2.17 ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o และอินพุต P_{in} ที่ได้จากการซิมูเลทโดยวิธีเฟสคอนโทรล.....	39
2.18 ค่าประสิทธิภาพ η ที่ได้จากการซิมูเลทโดยวิธีเฟสคอนโทรล.....	39
2.19 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมของคลื่นกระแสที่ได้จากการซิมูเลทโดยวิธีเฟสคอนโทรล.....	39
3.1 วงจรสร้างคลื่นแรงดันไฟฟ้าวิธีไซเคิลคอนโทรล.....	42
3.2 คลื่นแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย คลื่นแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด คลื่นแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไตรแอก และสัญญาณขั้วขาเกิดของไตรแอก ที่ค่าจำนวนไซเคิลช่วง ON (p) เท่ากับ 2 ไซเคิล จากจำนวนไซเคิลทั้งหมด (p') 4 ไซเคิล วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	43
3.3 คลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตวิธีไซเคิลคอนโทรล.....	45
3.4 สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดทางด้านเอาต์พุตกรณี p' เท่ากับ 100 ไซเคิลวิธีไซเคิลคอนโทรล.....	46
3.5 สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดกรณี p' : แปรเปลี่ยนและ α : คงที่ โดยที่ค่า $p = 5, p' = 10, \alpha = 0.5$ วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	48
3.6 คลื่นกระแสไฟฟ้าและสเปกตรัมของกระแส กรณี p' : แปรเปลี่ยน และ α : คงที่ โดยที่ค่า $p = 5, p' = 10, \alpha = 0.5$ วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	49
3.7 สเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกรณี p' : แปรเปลี่ยนและ α : คงที่ โดยที่ค่า $p = 50, p' = 100, \alpha = 0.5$ โดยวิธีเฟสคอนโทรล.....	50
3.8 คลื่นกระแสไฟฟ้าและสเปกตรัมของกระแส กรณี p' : แปรเปลี่ยนและ α : คงที่ โดยที่ค่า $p = 50, p' = 100, \alpha = 0.5$ วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	51
3.9 เปรียบเทียบคลื่นกระแสไฟฟ้าและสเปกตรัมของกระแสเอาต์พุต I_o กรณี p' : แปรเปลี่ยนและ α : คงที่ ที่ค่า $p = 5, p' = 10, \alpha = 0.5$ และ $p = 50, p' = 100, \alpha = 0.5$ วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ขึ้นต้นการคำ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.10	สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดทางด้านเอาต์พุตกรณี p' : แปรเปลี่ยนและ α : คงที่ โดยที่ค่า $p = 4$, $p' = 10$, $\alpha = 0.4$ วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	52
3.11	คลื่นกระแสไฟฟ้าและสเปกตรัมของกระแส กรณี p' : คงที่ และ α : แปรเปลี่ยน โดยที่ค่า $p = 4$, $p' = 10$, $\alpha = 0.4$ วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	53
3.12	สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดทางด้านเอาต์พุตกรณี p' : แปรเปลี่ยนและ α : คงที่ โดยที่ค่า $p = 6$, $p' = 10$, $\alpha = 0.6$ วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	54
3.13	คลื่นกระแสไฟฟ้าและสเปกตรัมของกระแส กรณี p' : คงที่ และ α : แปรเปลี่ยน โดยที่ค่า $p = 6$, $p' = 10$, $\alpha = 0.6$ วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	55
3.14	เปรียบเทียบคลื่นกระแสไฟฟ้าและสเปกตรัมของกระแสเอาต์พุต I_o กรณี p' : คงที่ และ α : แปรเปลี่ยน ที่ค่า $p = 4$, $p' = 10$, $\alpha = 0.4$ และ $p = 6$, $p' = 10$, $\alpha = 0.6$ วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	55
3.15	การรวมคลื่นแรงดันของพินคาเมนทอลและฮาร์โมนิกส์ในลำดับต่างๆ ในกรณีของการควบคุมโดยวิธีไซเคิลคอนโทรลที่ค่าจำนวนไซเคิล p เท่ากับ 30, 50 และ 70 ไซเคิล จากค่าจำนวนไซเคิลทั้งหมด (p') เท่ากับ 100 ไซเคิล.....	57
3.16	ลักษณะคลื่นแรงดันที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อน (Heater) และสเปกตรัมที่ค่าจำนวนไซเคิล p เท่ากับ 10, 30, 50, 70 และ 90 ไซเคิล วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	58
3.17	บล็อกไดอะแกรมรวมแสดงหลักการสร้างสัญญาณควบคุมวิธีไซเคิลคอนโทรลแบบดิจิทัล.....	59
3.18	โฟลว์ชาร์ตสำหรับสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของไครแอกวิธีไซเคิลคอนโทรล.....	62
3.19	สัญญาณของคลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตวิธีไซเคิลคอนโทรล.....	64
3.20	สัญญาณการตรวจจับจุดตัดศูนย์ที่มีการเปลี่ยนระดับของสัญญาณจากลอจิก 0 ไปเป็นลอจิก 1 ในขณะคลื่นแรงดันไซน์อินพุตเปลี่ยนทิศแรงดันจากลบเป็นบวกผ่านศูนย์ (Zero crossing).....	65
3.21	สัญญาณการตรวจจับจุดตัดศูนย์ที่มีการเปลี่ยนระดับของสัญญาณจากลอจิก 1 ไปเป็นลอจิก 0 ในขณะคลื่นแรงดันไซน์อินพุตเปลี่ยนทิศแรงดันจากบวกเป็นลบผ่านศูนย์ (Zero crossing)	65
3.22	ค่าอินพุตเพาเวอร์แฟคเตอร์ PF_{input} ที่ได้จากการซิมูเลทโดยวิธีไซเคิลคอนโทรล.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.23 ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o อันเนื่องมาจากคลื่น Fundamental P_{o1} และคลื่น Harmonics ที่ได้จากการซิมมูลาชันโดยวิธีไฮบริดคอนโทรล.....	73
3.24 ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o และอินพุต P_{in} ที่ได้จากการซิมมูลาชันโดยวิธีไฮบริดคอนโทรล.....	73
3.25 ค่าประสิทธิภาพ η ที่ได้จากการซิมมูลาชันโดยวิธีไฮบริดคอนโทรล.....	74
3.26 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกสรุบรวมของคลื่นกระแสที่ได้จากการซิมมูลาชันโดยวิธีไฮบริดคอนโทรล.....	74
4.1 ปฏิกิริยาของซีเบ็ค (Seeback Effect).....	76
4.2 โครงสร้างภายนอกและภายในของเทอร์โมคัปเปิล.....	77
4.3 เทอร์โมคัปเปิลชนิด K.....	78
4.4 การควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดโดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า.....	80
4.5 โพลีชาร์ตแสดงการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิด โดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า.....	82
4.6 การอบอาหารแบบ 1 ช่วงเวลา.....	83
4.7 การอบอาหารแบบ 2 ช่วงเวลา.....	85
4.8 การอบอาหารแบบ 3 ช่วงเวลา.....	87
4.9 ช่วงของการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า.....	90
4.10 ช่วงเวลาของการอบอาหาร.....	92
4.11 ทิศทางของลมร้อนภายในตู้อบไฟฟ้าเมื่อมองจากด้านบนของตู้อบไฟฟ้า.....	100
4.12 ทิศทางของลมร้อนภายในตู้อบไฟฟ้าเมื่อมองจากด้านข้างขวาของตู้อบไฟฟ้า.....	101
4.13 ทิศทางของลมร้อนภายในห้องกำเนิดความร้อนเมื่อมองจากด้านหน้าของตู้อบไฟฟ้าโดยเอาแผ่นกั้นเจาะช่องสี่เหลี่ยมออก.....	101
4.14 การกระจายลมร้อนออกทางครีbsd้านข้างของใบพัดรอบทิศทาง.....	102
4.15 แผ่นสแตนเลสรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสสำหรับทำฐานใบพัด.....	103
4.16 การลากเส้นแบ่งพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส.....	103
4.17 การลากเส้นวงกลมวงใหญ่.....	104
4.18 การลากเส้นทแยงมุม.....	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 การลากเส้นวงกลมวงเล็ก.....	105
4.20 การลากแนวเส้นติดตั้งครีบของใบพัด.....	105
4.21 แผ่นสแตนเลสรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	106
4.22 แบ่งพื้นที่แผ่นสแตนเลสรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	106
4.23 แผ่นสแตนเลสรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเมื่อพับเป็นมุมฉาก 90 องศา.....	106
4.24 ใบพัดของพัดลมกระจายความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า.....	107
4.25 โครงสร้างภายนอกของตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อน.....	108
4.26 โครงสร้างภายในของตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อน.....	109
4.27 ขดลวดความร้อนแบบครีบริบรูปตัวยูภายในตู้อบไฟฟ้า.....	109
4.28 ใบพัดของพัดลมภายในตู้อบไฟฟ้า.....	109
4.29 เทอร์โมคัพเปิดซึ่งใช้เป็นตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า.....	110
4.30 มอเตอร์ของตู้อบไฟฟ้า.....	110
4.31 บอร์ดควบคุมการทำงานในการสร้างรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าแบบเฟสคอนโทรลและไซเคิลคอนโทรล.....	110
4.32 การแบ่งช่วงของการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าที่ค่าของอุณหภูมิเป้าหมายต่างๆ.....	114
5.1 วงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์กลางของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ.....	119
5.2 คลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตและเอาต์พุตของวงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์กลางขณะลจิกเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1.....	120
5.3 คลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตและเอาต์พุตของวงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์กลางขณะลจิกเปลี่ยนจาก 1 ไปเป็น 0.....	120
5.4 วงจรกำลังในการสร้างรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรล.....	121
5.5 การเปรียบเทียบคลื่นและสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตที่มุมเฟส (ϕ) เท่ากับ 10° , 50° , 90° , 130° และ 170° ที่ได้จากการซิมมูลเตและการทดลองโดยวิธีเฟสคอนโทรล.....	123
5.6 ค่าอินพุตเพาเวอร์แฟคเตอร์ PF_{input} ที่ได้จากการซิมมูลเตและการทดลองโดยวิธีเฟสคอนโทรล.....	124
5.7 ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o อันเนื่องมาจากคลื่น Fundamental P_{o1} และคลื่น Harmonics P_{oh} ที่ได้จากการซิมมูลเตและการทดลองโดยวิธีเฟสคอนโทรล.....	124

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.8 ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o และอินพุต P_{in} ที่ได้จากการซิมมูลาทและ การทดลองโดยวิธีเฟสคอนโทรล.....	125
5.9 ค่าประสิทธิภาพ η ที่ได้จากการซิมมูลาทและ การทดลองโดยวิธีเฟสคอนโทรล.....	125
5.10 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกสร่วมของคลื่นกระแสที่ได้จากการซิมมูลาทและ การทดลองโดยวิธีเฟสคอนโทรล.....	126
5.11 ค่า DTF , FPF , PF vs. P_o ที่ได้จากการซิมมูลาทและ การทดลองโดยวิธีเฟสคอนโทรล.....	126
5.12 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพ η ที่ได้จากการซิมมูลาทและ การทดลองที่ค่าต่างๆ ของกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o โดยวิธีเฟสคอนโทรล.....	126
5.13 วงจรหลักในการสร้างรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีไซเคิลคอนโทรล.....	127
5.14 การเปรียบเทียบคลื่นและสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตที่ค่าจำนวนไซเคิล p เท่ากับ 10 , 30 , 50 , 70 และ 90 ไซเคิลที่ได้จากการซิมมูลาทและ การทดลองโดยวิธีไซเคิลคอนโทรล.....	129
5.15 ค่าอินพุตเพาเวอร์แฟกเตอร์ PF_{input} ที่ได้จากการซิมมูลาทและ การทดลองโดยวิธีไซเคิลคอนโทรล.....	130
5.16 ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o อันเนื่องมาจากคลื่น Fundamental P_{o1} และคลื่น Harmonics P_{oh} ที่ได้จากการซิมมูลาทและ การทดลองโดยวิธีไซเคิลคอนโทรล.....	130
5.17 ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o และอินพุต P_{in} ที่ได้จากการซิมมูลาทและ การทดลองโดยวิธีไซเคิลคอนโทรล.....	131
5.18 ค่าประสิทธิภาพ η ที่ได้จากการซิมมูลาทและ การทดลองโดยวิธีไซเคิลคอนโทรล.....	131
5.19 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกสร่วมของคลื่นกระแสที่ได้จากการซิมมูลาทและ การทดลองโดยวิธีไซเคิลคอนโทรล.....	132
5.20 ค่า DTF , FPF , PF vs. P_o ที่ได้จากการซิมมูลาทและ การทดลองโดยวิธีไซเคิลคอนโทรล.....	132
5.21 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพ η ที่ได้จากการซิมมูลาทและ การทดลองที่ค่าต่างๆ ของกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o โดยวิธีไซเคิลคอนโทรล.....	132
5.22 กราฟของอุณหภูมิภายในตู้อบในระบบปิดแบบ 1 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) $100^\circ C$ วิธีเฟสคอนโทรล.....	136

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.23 กราฟของอุณหภูมิภายในตู้อบในระบบปิดแบบ 1 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) 150 °C วิธีเฟสคอนโทรล.....	138
5.24 กราฟของอุณหภูมิภายในตู้อบในระบบปิดแบบ 1 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) 200 °C วิธีเฟสคอนโทรล.....	140
5.25 กราฟของอุณหภูมิภายในตู้อบในระบบปิดแบบ 2 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) 125 °C , 200 °C วิธีเฟสคอนโทรล.....	142
5.26 กราฟของอุณหภูมิภายในตู้อบในระบบปิดแบบ 3 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) 125 °C , 150 °C , 200 °C วิธีเฟสคอนโทรล.....	145
5.27 กราฟของอุณหภูมิภายในตู้อบในระบบปิดแบบ 1 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) 100 °C วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	151
5.28 กราฟของอุณหภูมิภายในตู้อบในระบบปิดแบบ 1 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) 150 °C วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	153
5.29 กราฟของอุณหภูมิภายในตู้อบในระบบปิดแบบ 1 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) 200 °C วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	155
5.30 กราฟของอุณหภูมิภายในตู้อบในระบบปิดแบบ 2 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) 125 °C , 200 °C วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	157
5.31 กราฟของอุณหภูมิภายในตู้อบในระบบปิดแบบ 3 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) 125 °C , 150 °C , 200 °C วิธีไซเคิลคอนโทรล.....	160
5.32 ขนบแป้งชนิดแผ่นตราฟาร์มเฮาส์เมื่ออบเสร็จแล้ว.....	165
5.33 กราฟของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบขนบแป้งชนิดแผ่นตราฟาร์มเฮาส์.....	165
5.34 แผ่นสแต็กหุเมื่ออบเสร็จแล้ว.....	167
5.35 กราฟของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแผ่นสแต็กหุ.....	168
5.36 น่องไก่เมื่ออบเสร็จแล้ว.....	170
5.37 กราฟของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบน่องไก่.....	170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 อธิบายถึงปัญหาที่กำลังศึกษาและวิจัย

การทำวิจัยนี้ได้นำข้อบกพร่องของตู้อบไฟฟ้าที่มีหลักการทำงานแบบเก่า ที่ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานในยุคปัจจุบันได้ ที่ต้องการความสะดวกรวดเร็ว ใช้งานง่าย มีขั้นตอนไม่ซับซ้อน และมีประสิทธิภาพ โดยหลักการใหม่ของตู้อบไฟฟ้านี้อาศัยหลักการควบคุมการทำงานแบบดิจิทัลที่ใช้คอมพิวเตอร์ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงาน แสดงผล และบันทึกข้อมูล ซึ่งเป็นข้อดีในการพัฒนาเพื่อควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือน ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยหลักการควบคุมในการอบจะกำหนดอุณหภูมิให้มีความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ออบ เนื่องจากอาหารที่มีชนิด น้ำหนัก ขนาด และลักษณะที่แตกต่างกัน จะมีความต้องการของค่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบไม่เหมือนกัน โดยใน 1 ภาบเวลาของการอบอาหารจะมีการแบ่งออกเป็นช่วงเวลาดังๆ เช่น การอบอาหารแบบ 1 ช่วงเวลา การอบอาหารแบบ 2 ช่วงเวลา และการอบอาหารแบบ 3 ช่วงเวลา โดยรูปแบบการอบอาหารที่มีประสิทธิภาพจะต้องสามารถควบคุมระดับสีของเนื้ออาหารภายนอก และระดับความแห้งของเนื้ออาหารภายในและภายนอกได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้การควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดโดยวิธีการปรับเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้าด้วยวิธีเฟสคอนโทรล และไซเคิลคอนโทรล

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 50-Hz วิธีเฟสคอนโทรล และไซเคิลคอนโทรล
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรล และไซเคิลคอนโทรล
3. เพื่อศึกษาหลักการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดโดยวิธีการปรับเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้าโดยใช้วิธีเฟสคอนโทรล และไซเคิลคอนโทรล
4. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของเทอร์โมคัปเปิลซึ่งเป็นตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า
5. เพื่อศึกษาหลักการควบคุมแบบดิจิทัล โดยใช้คอมพิวเตอร์ทำงานร่วมกับ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงาน แสดงผล และบันทึกข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในการทำวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาในเรื่องของการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 50-Hz ด้วยวิธีเฟสคอนโทรลและไซเคิลคอนโทรล การควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดโดยวิธีการปรับเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับโหลดควบคุมความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้าโดยวิธีเฟสคอนโทรล และไซเคิลคอนโทรล ซึ่งใช้คอมพิวเตอร์ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงาน แสดงผล และบันทึกข้อมูล โดยใช้โปรแกรมวิซวลเบสิก 6.0 (Visual Basic 6.0) ในการเขียน โปรแกรมมอนิเตอร์ในการติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งาน แสดงผล และควบคุมการทำงาน และในตอนท้ายยังได้ทำการทดลองอบชิ้นงานจริง โดยทำการอบขนมปังชนิดแผ่นตราฟาร์มเฮ้าส์ แผ่นสแต็กหมู และน่องไก่ เพื่อดูผลของการอบตามหลักการที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งรายละเอียดในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

- บทที่ 1 กล่าวถึงปัญหาที่กำลังศึกษาและวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนของการศึกษา และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
- บทที่ 2 กล่าวถึงเรื่องการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรล
- บทที่ 3 กล่าวถึงเรื่องการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีไซเคิลคอนโทรล
- บทที่ 4 กล่าวถึงเรื่องของการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า
- บทที่ 5 ผลการทดลองและผลการชิมมูเลท
- บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีเฟสคอนโทรล และไซเคิลคอนโทรล
2. เขียนโปรแกรมชิมมูเลทเพื่อสร้างรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าแบบเฟสคอนโทรล และไซเคิลคอนโทรล และแตกสเปกตรัมแรงดันไฟฟ้า
3. วิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้า ค่าประสิทธิภาพ ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกสักรวมของคลื่นกระแส ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ จากผลการชิมมูเลท
4. ออกแบบวงจรสร้างรูปคลื่นวิธีเฟสคอนโทรลและไซเคิลคอนโทรล ซึ่งประกอบด้วย
 1. วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์
 2. วงจรสื่อสารอนุกรม
 3. วงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์
 4. วงจรจับขาเกตของไตรแอก
5. เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานในส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. โปรแกรมส่วนของการแสดงผล ควบคุมการทำงาน และบันทึกข้อมูล
2. โปรแกรมส่วนของการสื่อสารอนุกรม
3. โปรแกรมส่วนของการตรวจจับจุดตัดศูนย์
4. โปรแกรมส่วนของการสร้างสัญญาณรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าวิธีเฟสคอนโทรลและ
ไซเคิลคอนโทรล
6. ทำการทดสอบ โดยป้อนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าวิธีเฟสคอนโทรลและไซเคิลคอนโทรลที่ได้
สร้างขึ้นในกรณีต่างๆ ให้กับโหลดที่เป็นขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า
7. เก็บผลการทดลองของแรงดันและกระแส ณ. จุดต่างๆ ของวงจร แล้วนำมาแตก
สเปกตรัมของแรงดันและกระแสด้วยโปรแกรม Matlab
8. เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและผลที่ได้จากการซิมูเลท
9. เปรียบเทียบผลระหว่างวิธีเฟสคอนโทรลและไซเคิลคอนโทรล
10. ศึกษาวิธีการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าที่สามารถใช้ทดสอบพฤติกรรมของ
วิธีเฟสคอนโทรล และไซเคิลคอนโทรล
11. เลือกตัวเซนเซอร์อุณหภูมิที่ใช้ในตู้อบเพื่อใช้วัดอุณหภูมิในช่วง $100^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$
12. เขียนโปรแกรมมอนิเตอร์ด้วยโปรแกรมวิซวลเบสิก 6.0 เพื่อรับคำสั่งจากผู้ใช้งาน แสดงผล
ควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า และบันทึกค่าอุณหภูมิลงฐานข้อมูล
13. ทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้าวิธีเฟส
คอนโทรล และไซเคิลคอนโทรลที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบ กับค่าของอุณหภูมิที่
เปลี่ยนแปลงภายในตู้อบไฟฟ้า
14. ทดสอบการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าในช่วง $100^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ โดยกำหนดค่า
ของความผิดพลาดของอุณหภูมิไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ จากอุณหภูมิเป้าหมาย (Set point)
15. ทดสอบตู้อบไฟฟ้าโดยการอบชิ้นงานจริงที่เป็น ขนมปังชนิดแผ่นตราฟาร์มเฮาส์
แผ่นสแต็กหมู และน่องไก่

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำหลักการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรลและไซเคิล
คอนโทรลไปควบคุมระดับความร้อนของขดลวดความร้อนได้
2. สามารถใช้คอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์
อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ได้
3. สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า โดยใช้วิธีการปรับควบคุมค่าเปอร์เซ็นต์
ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบด้วยวิธีเฟส
คอนโทรล และไซเคิลคอนโทรลได้

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สามารถเขียนโปรแกรมมอนิเตอร์ด้วยโปรแกรมวิซวลเบสิก 6.0 ได้
5. สามารถพัฒนารูปแบบของการอบอาหารในลักษณะต่างๆ ได้ อย่างมีประสิทธิภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยวิธีเฟสคอนโทรล

2.1 บทนำ

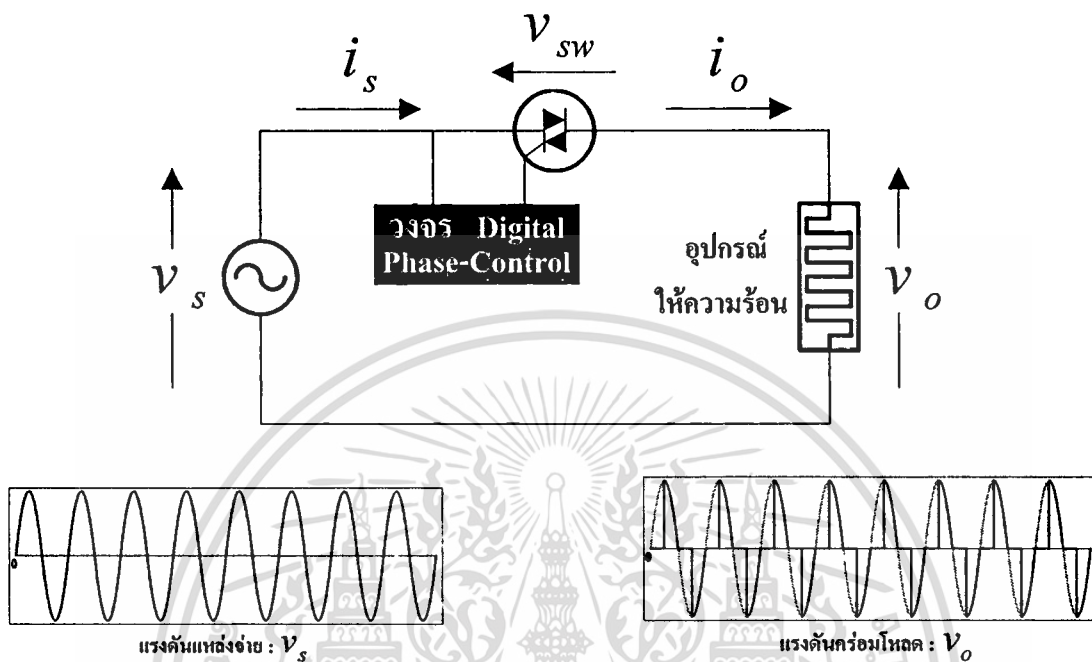
ในบทนี้จะกล่าวถึงเรื่องของการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรล ซึ่งเนื้อหาประกอบด้วยส่วนของหลักการเฟสคอนโทรล หลักการทำงานของวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรล การวิเคราะห์สมการของคลื่นแรงดันและกระแสวิธีเฟสคอนโทรล คลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตและสเปกตรัมที่ค่ามุมเฟสต่างๆ โดยวิธีเฟสคอนโทรล ขั้นตอนและโพลาร์ตแสดงการสร้างสัญญาณของคลื่นแรงดันโดยวิธีเฟสคอนโทรล และการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลดขดลวดความร้อน กำลังไฟฟ้าทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้า ค่าประสิทธิภาพ ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกสรวมของคลื่นกระแส ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านแหล่งจ่าย ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่โหลดขดลวดความร้อนวิธีเฟสคอนโทรล

2.2 หลักการเฟสคอนโทรล

ในการปรับควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบ โดยใช้หลักการปรับควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 50-Hz โดยทั่วไปสามารถทำได้ 2 วิธีการคือ วิธีการปรับควบคุมด้วยหลักการเฟสคอนโทรล และวิธีการปรับควบคุมด้วยหลักการไซเคิลคอนโทรล ซึ่งในบทนี้จะนำเสนอวิธีการของเฟสคอนโทรล ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าของวงจรทางด้านอินพุตไปที่โหลดของวงจรทางด้านเอาต์พุต โดยเป็นการควบคุมกระแสแบบต่อเนื่องจากค่าต่ำสุดจนถึงค่าสูงสุด ซึ่งเป็นการควบคุมกระแสแบบสองทิศทาง โดยวิธีการเฟสคอนโทรลจะกำหนดมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย 50-Hz ให้กับโหลดทุกๆ ไซเคิล โดยการควบคุมค่ามุมเฟสช่วง OFF ในช่วง $0^\circ \sim 180^\circ$ ทั้งทางด้านซีกบวกและซีกลบของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้น 1 คาบเวลาของการควบคุมวิธีเฟสคอนโทรลจะเท่ากับ 1 ไซเคิล ซึ่งใช้เวลาเท่ากับ 20,000 μs ดังนั้นครึ่งไซเคิลจึงใช้เวลาเท่ากับ 10,000 μs จะได้ว่า 1° ใช้เวลาเท่ากับ 55.56 μs เพราะฉะนั้นค่าความละเอียดของการปรับค่ามุมเฟสจึงเท่ากับ 1° หรือสามารถปรับค่าความละเอียดได้ 180 ค่า โดยในการกำหนดค่ามุมเฟสช่วง OFF จะต้องกำหนดให้มีค่าเท่ากันทั้งทางด้านซีกบวกและซีกลบเพื่อป้องกันการเกิดองค์ประกอบของไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นทางด้านเอาต์พุต

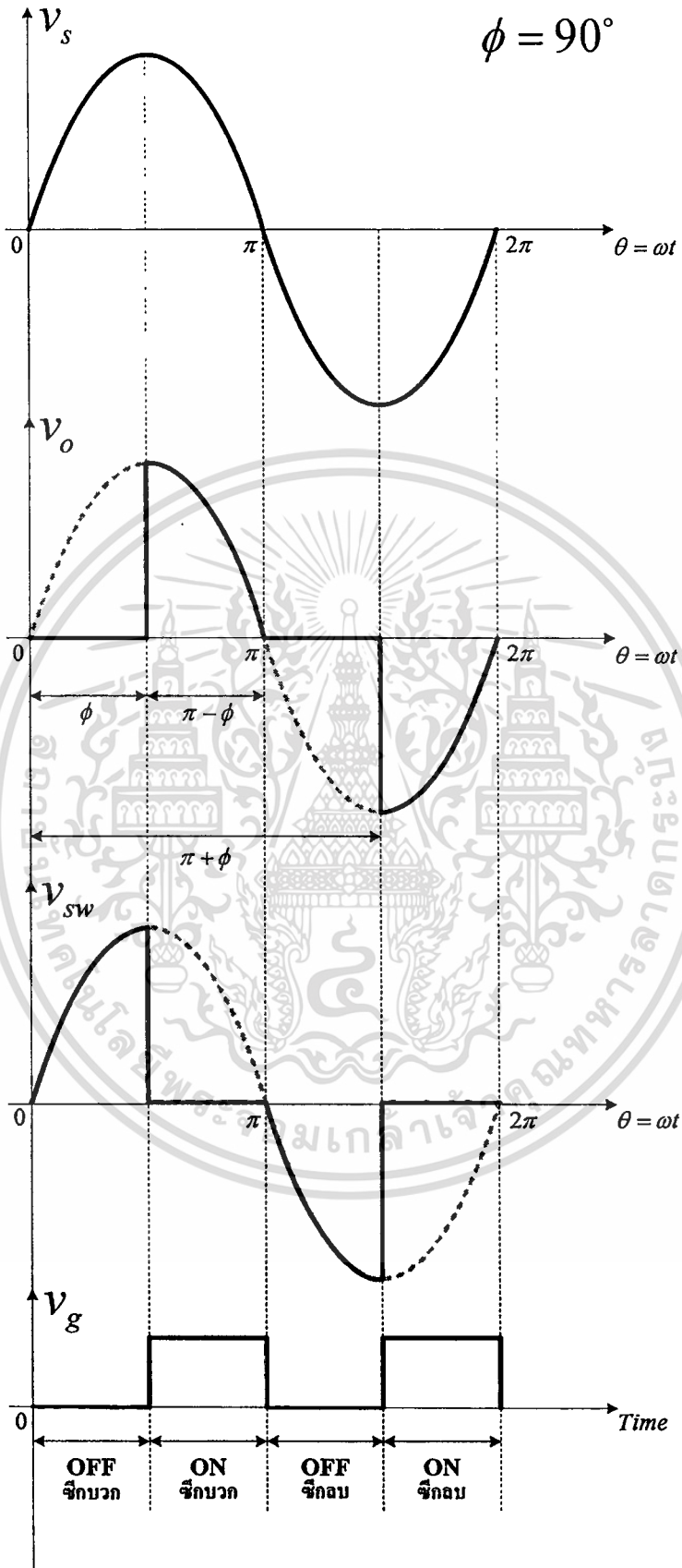
การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรลจะใช้สัญญาณการตรวจจับจุดตัดศูนย์ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นจุดอ้างอิงในการเริ่มต้นช่วงเวลาช่วง OFF (ช่วงที่ไดโอดหยุดนำกระแส) ทั้งทางด้านซีกบวกและซีกลบของคลื่นแรงดันไฟฟ้า ซึ่งสัญญาณที่ได้จากส่วนของไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจจับจุดตัดศูนย์จะต้องมีความเที่ยงตรง โดยจะต้องมีการเปลี่ยนระดับของลอจิกจาก 0 ไปเป็น 1 หรือ เปลี่ยนระดับของลอจิกจาก 1 ไปเป็น 0 ที่ตำแหน่งของสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นศูนย์เท่านั้น



รูปที่ 2.1 วงจรสร้างคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรล

จากรูปที่ 2.1 เป็นวงจรที่ใช้ในการสร้างคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรล ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ ส่วนของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของวงจร ซึ่งเป็นสัญญาณไซน์แบบสมบูรณ์ที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 220 โวลต์ และมีค่าความถี่เท่ากับ 50-Hz ส่วนของไดรแอกซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิทช์กำลังของวงจรในการตัดต่อแรงดันไฟฟ้าระหว่างแหล่งจ่ายและโหลดทางด้านเอาต์พุต โดยไดรแอกจะมีคุณสมบัติในการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้ทั้งซีกบวกและซีกลบในตัวเดียวกัน ซึ่งเรียกได้ว่าเป็นสวิทช์แบบสองทิศทาง ส่วนของอุปกรณ์ให้ความร้อนโดยใช้ขดลวดความร้อน (Heater) แบบกริปรูปด้วยขนาด 2,000 วัตต์ จำนวน 1 ชุด และส่วนของวงจรขับเคลื่อนของไดรแอก โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมสัญญาณขับเคลื่อนของไดรแอก โดยส่งสัญญาณควบคุมผ่านทางตัวเชื่อมโยงทางแสงเพื่อแยกวงจรกำลังและวงจรควบคุมออกจากกัน ซึ่งเป็นการควบคุมแบบดิจิทัล



รูปที่ 2.2 คลื่นแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม
 เอกสไตร์แอค และสัญญาณขับขาเก็ทของ ไคร์แอคที่ค่ามุมเฟส $\phi = 90^\circ$ วิธีเฟสคอนโทรล ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

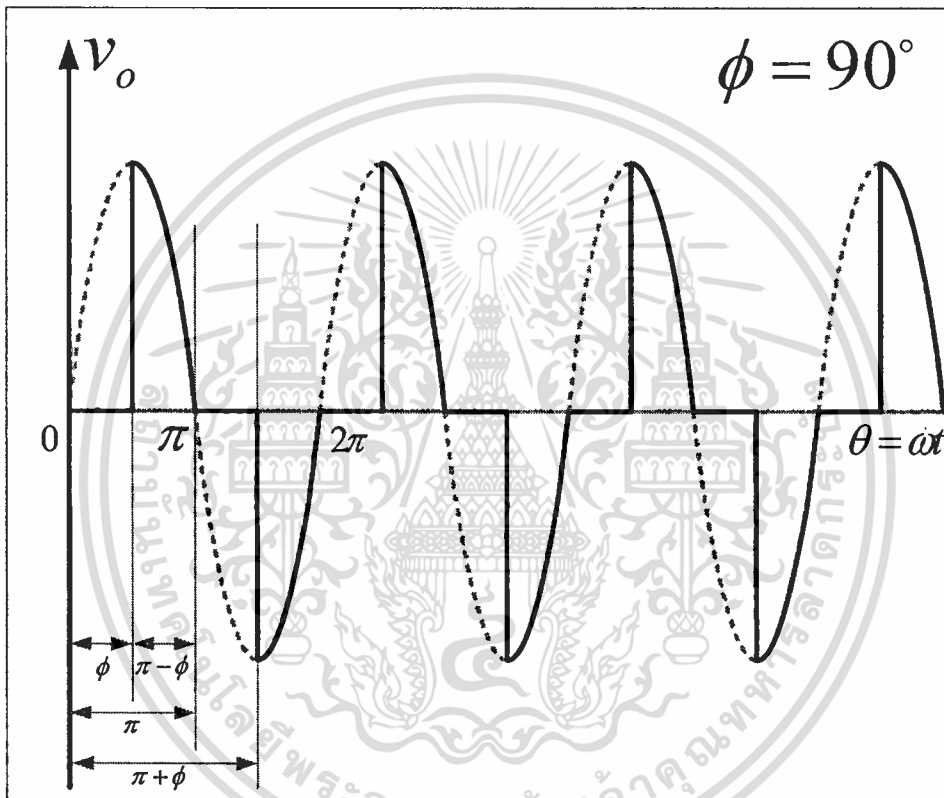
จากรูปที่ 2.2 เป็นรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด (v_o) ตกคร่อมไดโอด (v_{D}) และสัญญาณที่ใช้ขับเคลื่อนของไดโอด ที่ค่ามุมเฟส $\phi = 90^\circ$ ซึ่งเป็นค่ามุมเฟสช่วง OFF หรือช่วงที่ไดโอดหยุดนำกระแส ซึ่งช่วงการทำงานใน 1 คาบเวลาของวิธีเฟสคอนโทรลสามารถแบ่งออกเป็น 4 ช่วงด้วยกัน ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรลใน 1 คาบเวลา

ช่วง OFF ซีกบวก	เมื่อเริ่มป้อนคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายให้กับวงจรกำลังไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณ OFF ไปที่วงจรขับเคลื่อนของไดโอด แรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายทั้งหมดจะไปตกคร่อมอยู่ที่ไดโอด แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดเท่ากับศูนย์โวลต์ และเมื่อมีคำสั่งเริ่มต้นสร้างคลื่นแรงดันแบบเฟสคอนโทรล ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณ OFF ไปที่วงจรขับเคลื่อนของไดโอดเพื่อให้ไดโอดหยุดนำกระแส ซึ่งการสร้างคลื่นแรงดันจะเริ่มจากทางด้านซีกบวก (+) ของคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่ $\theta = 0^\circ$ โดยในช่วงนี้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอด (v_{D}) จะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย ส่วนแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด (v_o) จะมีค่าเท่ากับศูนย์โวลต์ นั่นคือจะไม่มีกระแสไหลผ่านโหลดในช่วงนี้
ช่วง ON ซีกบวก	ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณ ON ไปที่วงจรขับเคลื่อนของไดโอดเพื่อให้ไดโอดนำกระแส โดยในช่วงนี้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอด (v_{D}) จะมีค่าเท่ากับศูนย์โวลต์ ส่วนแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด (v_o) จะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย นั่นคือจะมีกระแสไหลผ่านโหลดในช่วงนี้
ช่วง OFF ซีกลบ	ในช่วงนี้เป็นการสร้างคลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านซีกลบ (-) ของคลื่นแรงดันไฟฟ้า ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณ OFF ไปที่วงจรขับเคลื่อนของไดโอด เพื่อให้ไดโอดหยุดนำกระแส โดยจะหยุดนำกระแสที่จุด $\theta = 180^\circ$ ซึ่งในช่วงนี้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอด (v_{D}) จะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย ส่วนแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด (v_o) จะมีค่าเท่ากับศูนย์โวลต์ นั่นคือจะไม่มีกระแสไหลผ่านโหลดในช่วงนี้
ช่วง ON ซีกลบ	ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณ ON ไปที่วงจรขับเคลื่อนของไดโอดเพื่อให้ไดโอดนำกระแส โดยในช่วงนี้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอด (v_{D}) จะมีค่าเท่ากับศูนย์โวลต์ ส่วนแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด (v_o) จะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย นั่นคือจะมีกระแสไหลผ่านโหลดในช่วงนี้

2.3 การวิเคราะห์สมการของคลื่นแรงดันและกระแสวิธีเฟสคอนโทรล

วงจรควบคุมกระแส 2 ทิศทาง เป็นวงจรที่ใช้ในการควบคุมปริมาณการไหลของกระแส I_o จากแหล่งจ่ายกระแสสลับ 1-เฟส 50-Hz ไปสู่โหลด R ซึ่งเป็นความต้านทานของขดลวดความร้อน ซึ่งวงจรนี้จะให้กระแสไหลผ่านในช่วง $\phi < \omega t < \pi$ และ $\pi + \phi < \omega t < 2\pi$ ของไซเคิลและจะหยุดนำกระแสในช่วง $0 < \omega t < \phi$ และ $\pi < \omega t < \pi + \phi$ ของไซเคิล ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ดังนั้นแรงดัน (v_o) และกระแส (i_o) ในช่วงการ ON-OFF สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.3 คลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตวิธีเฟสคอนโทรล

ตารางที่ 2.2 สมการ v_o , i_o ในช่วงการ ON-OFF ของสวิตช์

สมการและช่วงการทำงานของสวิตช์ : SW			
สมการช่วง ON	ช่วงมุมการ ON	สมการช่วง OFF	ช่วงมุมการ OFF
$v_o = \sqrt{2}V \sin \omega t$	$\phi < \omega t < \pi$ $\pi + \phi < \omega t < 2\pi$	$v_o = 0$	$0 < \omega t < \phi$ $\pi < \omega t < \pi + \phi$
$i_o = \frac{\sqrt{2}V \sin \omega t}{R}$	$\phi < \omega t < \pi$ $\pi + \phi < \omega t < 2\pi$	$i_o = 0$	$0 < \omega t < \phi$ $\pi < \omega t < \pi + \phi$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ v_o , i_o ในรูป RMS และ P_o จะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{V_o}{V} = \frac{I_o}{I} = \sqrt{1 - \frac{\phi}{\pi} + \frac{1}{2\pi} \sin 2\phi} \quad (2.1)$$

$$\frac{P_o}{P} = \frac{RI_o^2}{RI^2} = 1 - \frac{\phi}{\pi} + \frac{1}{2\pi} \sin 2\phi \quad (2.2)$$

โดยที่ V_o , I_o และ P_o คือค่าแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุตในหน่วย RMS และ V , I และ P คือค่าแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้านเอาต์พุตตามลำดับ เนื่องจากคลื่นแรงดัน และกระแสควบคุมทางด้านเอาต์พุตเมื่อคิดในช่วง 1 คาบเวลาของคลื่นไซน์ 50-Hz ดังแสดงใน ตารางที่ 2.2 ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบของคลื่นด้วยอนุกรมฟูเรียร์ จะพบว่าสามารถ แดกกระจายเป็นองค์ประกอบของคลื่นที่มีความถี่ต่างๆ ดังนี้

$$1f, 3f, 5f, \dots, (2k+1)f \quad (2.3)$$

โดยที่ $k = 0, 1, 2, 3, \dots, n$ ในที่นี้องค์ประกอบ $1f, 3f, 5f, \dots, (2k+1)f$ ซึ่งมีความถี่สูงกว่า ความถี่ Fundamental : $f = 50$ Hz จะเรียกว่า Harmonics ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการแรงดัน เอาต์พุตได้ดังนี้

$$v_o = V_{o,1} \sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi_1) + V_{o,3} \sqrt{2} \sin(3\omega t + \varphi_3) + V_{o,5} \sqrt{2} \sin(5\omega t + \varphi_5) + \dots + V_{o,2k+1} \sqrt{2} \sin[(2k+1)\omega t + \varphi_{2k+1}] \quad (2.4)$$

$$v_o = \sum_{k=0}^{\infty} V_{o,2k+1} \sqrt{2} \sin[(2k+1)\omega t + \varphi_{2k+1}] \quad (2.5)$$

$$V_{o,2k+1} = \sqrt{\frac{A_{2k+1}^2 + B_{2k+1}^2}{2}} \quad (2.6)$$

$$\varphi_{2k+1} = \arctan \frac{B_{2k+1}}{A_{2k+1}} \quad (2.7)$$

$$A_{2k+1} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} v_o \sin(2k+1)\theta d\theta \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B_{2k+1} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} v_o \cos(2k+1)\theta d\theta \quad (2.9)$$

ซึ่งจะได้ว่า

$$A_{2k+1} = \frac{V_s \sqrt{2}}{2\pi} \left[\frac{\sin 2(k+1)\phi}{k+1} - \frac{\sin 2k\phi}{k} \right] \quad (2.10)$$

$$B_{2k+1} = \frac{V_s \sqrt{2}}{2\pi} \left[\frac{\cos 2(k+1)\phi - 1}{k+1} - \frac{\cos 2k\phi - 1}{k} \right] \quad (2.11)$$

$$C_{2k+1} = \sqrt{A_{2k+1}^2 + B_{2k+1}^2}$$

ที่องค์ประกอบ Fundamental

$$V_{o,1} = \sqrt{\frac{A_1^2 + B_1^2}{2}} \quad (2.12)$$

$$\phi_1 = \arctan \frac{B_1}{A_1} \quad (2.13)$$

$$A_1 = \frac{V_s \sqrt{2}}{\pi} \left[(\pi - \phi) + \frac{\sin 2\phi}{2} \right] \quad (2.14)$$

$$B_1 = \frac{V_s \sqrt{2}}{2\pi} (\cos 2\phi - 1) \quad (2.15)$$

$$C_1 = \sqrt{A_1^2 + B_1^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง การคำนวณองค์ประกอบของคลื่นแรงดันเอาต์พุต : v_o วิถีเฟสคอนโทรล

1. กรณีมุมเฟส $\phi = 45^\circ$

1. ที่องค์ประกอบ Fundamental : $V_{o,1}\sqrt{2} \sin(\omega t + \phi_1)$

$$A_1 = \frac{220\sqrt{2}}{\pi} \left[\left(\pi - \frac{\pi}{4} \right) + \frac{\sin 2\left(\frac{\pi}{4}\right)}{2} \right]$$

$$= 282.8626$$

$$B_1 = \frac{220\sqrt{2}}{2\pi} (\cos 2\left(\frac{\pi}{4}\right) - 1)$$

$$= -49.5174$$

$$C_1 = \sqrt{(282.8626)^2 + (-49.5174)^2}$$

$$= 287.1641$$

$$\phi_1 = \arctan \frac{-49.5174}{282.8626}$$

$$= -0.1733$$

2. ที่องค์ประกอบ Harmonic ลำดับที่ 3 : $V_{o,3}\sqrt{2} \sin(3\omega t + \phi_3)$

$$A_{2(1)+1} = \frac{220\sqrt{2}}{2\pi} \left[\frac{\sin 2(1+1)\left(\frac{\pi}{4}\right)}{1+1} - \frac{\sin 2(1)\left(\frac{\pi}{4}\right)}{1} \right]$$

$$= -49.5174$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B_{2(1)+1} = \frac{220\sqrt{2}}{2\pi} \left[\frac{\cos 2(1+1)\left(\frac{\pi}{4}\right) - 1}{1+1} - \frac{\cos 2(1)\left(\frac{\pi}{4}\right) - 1}{1} \right]$$

$$= -5.5 \times 10^{-15}$$

$$C_{2(1)+1} = \sqrt{(-49.5174)^2 + (-5.5 \times 10^{-15})^2}$$

$$= 49.5174$$

$$\varphi_{2(1)+1} = \arctan \frac{-5.5 \times 10^{-15}}{-49.5174}$$

$$= -3.1416$$

3. ที่องค์ประกอบ Harmonic ลำดับที่ 5 : $V_{o,5} \sqrt{2} \sin(5\omega t + \varphi_5)$

$$A_{2(2)+1} = \frac{220\sqrt{2}}{2\pi} \left[\frac{\sin 2(2+1)\left(\frac{\pi}{4}\right)}{2+1} - \frac{\sin 2(2)\left(\frac{\pi}{4}\right)}{2} \right]$$

$$= -16.5058$$

$$B_{2(2)+1} = \frac{220\sqrt{2}}{2\pi} \left[\frac{\cos 2(2+1)\left(\frac{\pi}{4}\right) - 1}{2+1} - \frac{\cos 2(2)\left(\frac{\pi}{4}\right) - 1}{2} \right]$$

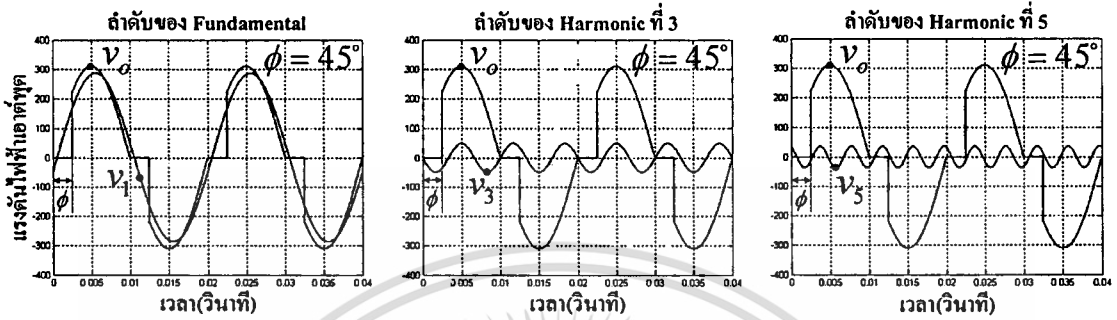
$$= 33.0116$$

$$C_{2(2)+1} = \sqrt{(-16.5058)^2 + (33.0116)^2}$$

$$= 36.9081$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \varphi_{2(2)+1} &= \arctan \frac{33.0116}{-16.5058} \\ &= 2.0344 \end{aligned}$$



รูปที่ 2.4 เปรียบเทียบคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับคลื่นแรงดันไฟฟ้า Fundamental แรงดันไฟฟ้า Harmonic ลำดับที่ 3 และแรงดันไฟฟ้า Harmonic ลำดับที่ 5 กรณีมุมเฟส $\phi = 45^\circ$ วิธีเฟสคอนโทรล

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ที่ลำดับ Fundamental ลำดับ Harmonic ที่ 3 และลำดับ Harmonic ที่ 5 ที่ค่ามุมเฟส(ϕ) เท่ากับ 45° วิธีเฟสคอนโทรล

มุมเฟส(ϕ)				
45°	282.8626	-49.5174	287.1641	-0.1733
	-49.5174	-5.5×10^{-15}	49.5174	-3.1416
	-16.5058	33.0116	36.9081	2.0344

2. กรณีมุมเฟส $\phi = 90^\circ$

1. ที่องค์ประกอบ Fundamental : $V_{o,1} \sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi_1)$

$$A_1 = \frac{220\sqrt{2}}{\pi} \left[\left(\pi - \frac{\pi}{2} \right) + \frac{\sin 2\left(\frac{\pi}{2}\right)}{2} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 155.5635$$

$$B_1 = \frac{220\sqrt{2}}{2\pi} (\cos 2(\frac{\pi}{2}) - 1)$$

$$= -99.0348$$

$$C_1 = \sqrt{(155.5635)^2 + (-99.0348)^2}$$

$$= 184.4123$$

$$\varphi_1 = \arctan \frac{-99.0348}{155.5635}$$

$$= -0.5669$$

2. ท้องค์ประกอบ Harmonic ลำดับที่ 3 : $V_{o,3} \sqrt{2} \sin(3\omega t + \varphi_3)$

$$A_{2(1)+1} = \frac{220\sqrt{2}}{2\pi} \left[\frac{\sin 2(1+1)(\frac{\pi}{2})}{1+1} - \frac{\sin 2(1)(\frac{\pi}{2})}{1} \right]$$

$$= -1.2 \times 10^{-14}$$

$$B_{2(1)+1} = \frac{220\sqrt{2}}{2\pi} \left[\frac{\cos 2(1+1)(\frac{\pi}{2}) - 1}{1+1} - \frac{\cos 2(1)(\frac{\pi}{2}) - 1}{1} \right]$$

$$= 99.0348$$

$$C_{2(1)+1} = \sqrt{(-1.2 \times 10^{-14})^2 + (99.0348)^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ 49.5174 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

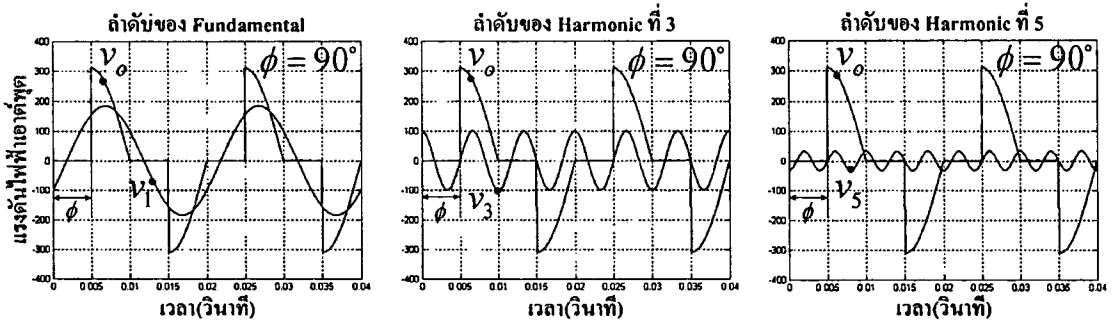
$$\begin{aligned}\varphi_{2(1)+1} &= \arctan \frac{99.0348}{-1.2 \times 10^{-14}} \\ &= 1.5708\end{aligned}$$

3. ที่องค์ประกอบ Harmonic ลำดับที่ 5 : $V_{o,5} \sqrt{2} \sin(5\omega t + \varphi_5)$

$$\begin{aligned}A_{2(2)+1} &= \frac{220\sqrt{2}}{2\pi} \left[\frac{\sin 2(2+1)\left(\frac{\pi}{2}\right)}{2+1} - \frac{\sin 2(2)\left(\frac{\pi}{2}\right)}{2} \right] \\ &= 1.21 \times 10^{-14} \\ B_{2(2)+1} &= \frac{220\sqrt{2}}{2\pi} \left[\frac{\cos 2(2+1)\left(\frac{\pi}{2}\right) - 1}{2+1} - \frac{\cos 2(2)\left(\frac{\pi}{2}\right) - 1}{2} \right] \\ &= -33.0116 \\ C_{2(2)+1} &= \sqrt{(1.21 \times 10^{-14})^2 + (-33.0116)^2} \\ &= 33.0116\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varphi_{2(2)+1} &= \arctan \frac{-33.0116}{1.21 \times 10^{-14}} \\ &= -1.5708\end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 เปรียบเทียบคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับคลื่นแรงดันไฟฟ้า Fundamental แรงดันไฟฟ้า Harmonic ลำดับที่ 3 และแรงดันไฟฟ้า Harmonic ลำดับที่ 5 กรณีมุมเฟส $\phi = 90^\circ$

วิธีเฟสคอนโทรล

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ที่ลำดับ Fundamental ลำดับ Harmonic ที่ 3 และลำดับ Harmonic ที่ 5 ที่ค่ามุมเฟส(ϕ) เท่ากับ 90° วิธีเฟสคอนโทรล

มุมเฟส (ϕ)	A	B	C	D
90°	155.5635	-99.0348	184.4123	-0.5669
	-1.2×10^{-14}	99.0348	99.0348	1.5708
	1.21×10^{-14}	-33.0116	33.0116	-1.5708

3. กรณีมุมเฟส $\phi = 135^\circ$

1. ที่องค์ประกอบ Fundamental : $V_{o,1} \sqrt{2} \sin(\omega t + \phi_1)$

$$A_1 = \frac{220\sqrt{2}}{\pi} \left[\left(\pi - \frac{3\pi}{4} \right) + \frac{\sin 2\left(\frac{3\pi}{4}\right)}{2} \right]$$

$$= 28.2643$$

$$B_1 = \frac{220\sqrt{2}}{2\pi} \left(\cos 2\left(\frac{3\pi}{4}\right) - 1 \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกข้อมูล และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= -49.5174$$

$$C_1 = \sqrt{(28.2643)^2 + (-49.5174)^2}$$

$$= 57.0162$$

$$\varphi_1 = \arctan \frac{-49.5174}{28.2643}$$

$$= -1.0521$$

2. ที่องค์ประกอบ Harmonic ลำดับที่ 3 : $V_{o,3} \sqrt{2} \sin(3\omega t + \varphi_3)$

$$A_{2(1)+1} = \frac{220\sqrt{2}}{2\pi} \left[\frac{\sin 2(1+1)\left(\frac{3\pi}{4}\right)}{1+1} - \frac{\sin 2(1)\left(\frac{3\pi}{4}\right)}{1} \right]$$

$$= 49.5174$$

$$B_{2(1)+1} = \frac{220\sqrt{2}}{2\pi} \left[\frac{\cos 2(1+1)\left(\frac{3\pi}{4}\right) - 1}{1+1} - \frac{\cos 2(1)\left(\frac{3\pi}{4}\right) - 1}{1} \right]$$

$$= 1.1 \times 10^{-14}$$

$$C_{2(1)+1} = \sqrt{(49.5174)^2 + (1.1 \times 10^{-14})^2}$$

$$= 49.5174$$

$$\varphi_{2(1)+1} = \arctan \frac{1.1 \times 10^{-14}}{49.5174}$$

$$= 2.22 \times 10^{-16}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ที่องค์ประกอบ Harmonic ลำดับที่ 5 : $V_{o,5}\sqrt{2} \sin(5\omega t + \phi_5)$

$$A_{2(2)+1} = \frac{220\sqrt{2}}{2\pi} \left[\frac{\sin 2(2+1)\left(\frac{3\pi}{4}\right)}{2+1} - \frac{\sin 2(2)\left(\frac{3\pi}{4}\right)}{2} \right]$$

$$= 16.5058$$

$$B_{2(2)+1} = \frac{220\sqrt{2}}{2\pi} \left[\frac{\cos 2(2+1)\left(\frac{3\pi}{4}\right) - 1}{2+1} - \frac{\cos 2(2)\left(\frac{3\pi}{4}\right) - 1}{2} \right]$$

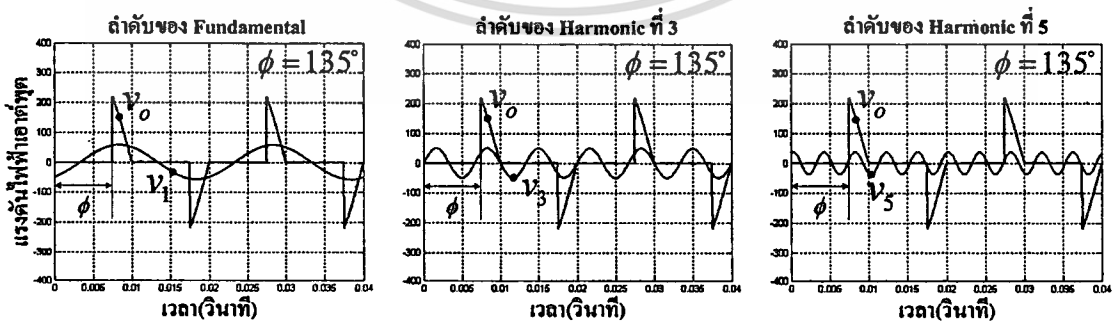
$$= 33.0116$$

$$C_{2(2)+1} = \sqrt{(16.5058)^2 + (33.0116)^2}$$

$$= 36.9081$$

$$\phi_{2(2)+1} = \arctan \frac{33.0116}{16.5058}$$

$$= 1.1071$$



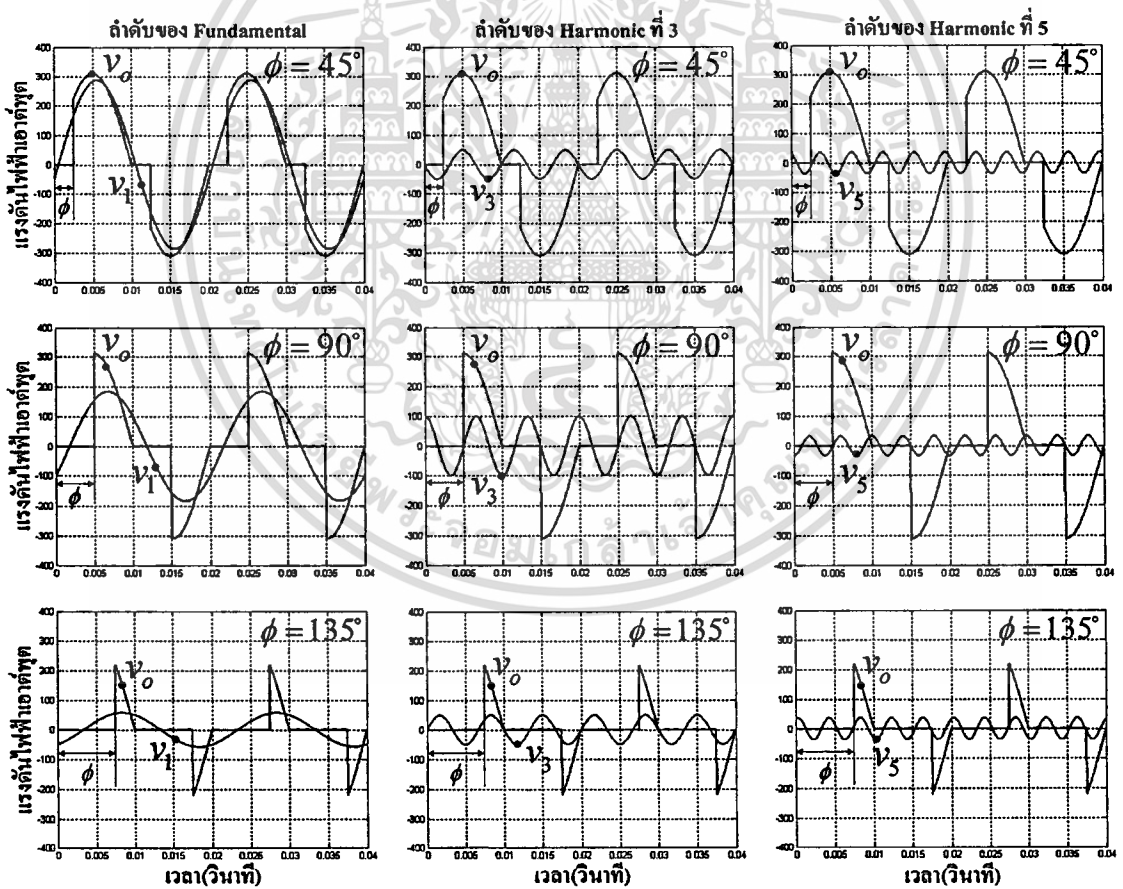
รูปที่ 2.6 เปรียบเทียบคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับคลื่นแรงดันไฟฟ้า Fundamental แรงดันไฟฟ้า Harmonic ลำดับที่ 3 และแรงดันไฟฟ้า Harmonic ลำดับที่ 5 กรณีมุมเฟส $\phi = 135^\circ$

วิธีเฟสคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบของคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ที่ลำดับ Fundamental ลำดับ Harmonic ที่ 3 และลำดับ Harmonic ที่ 5 ที่ค่ามุมเฟส(ϕ) เท่ากับ 135° วิธีเฟสคอนโทรล

มุมเฟส (ϕ)	A_1	B_1	C_1	ϕ_1
135°	28.2643	-49.5174	57.0162	-1.0521
	$A_{2(n)+1}$	$B_{2(n)+1}$	$C_{2(n)+1}$	$\phi_{2(n)+1}$
	49.5174	1.1×10^{-14}	49.5174	2.22×10^{-16}
	$A_{2(n)-1}$	$B_{2(n)-1}$	$C_{2(n)-1}$	$\phi_{2(n)-1}$
	16.5058	33.0116	36.9081	1.1071



รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบคลื่นแรงดันเอาต์พุต v_0 กับคลื่นแรงดัน Fundamental คลื่นแรงดัน Harmonic ลำดับที่ 3 และคลื่นแรงดัน Harmonic ลำดับที่ 5 ที่ค่ามุมเฟส $\phi = 45^\circ$, 90° และ 135°

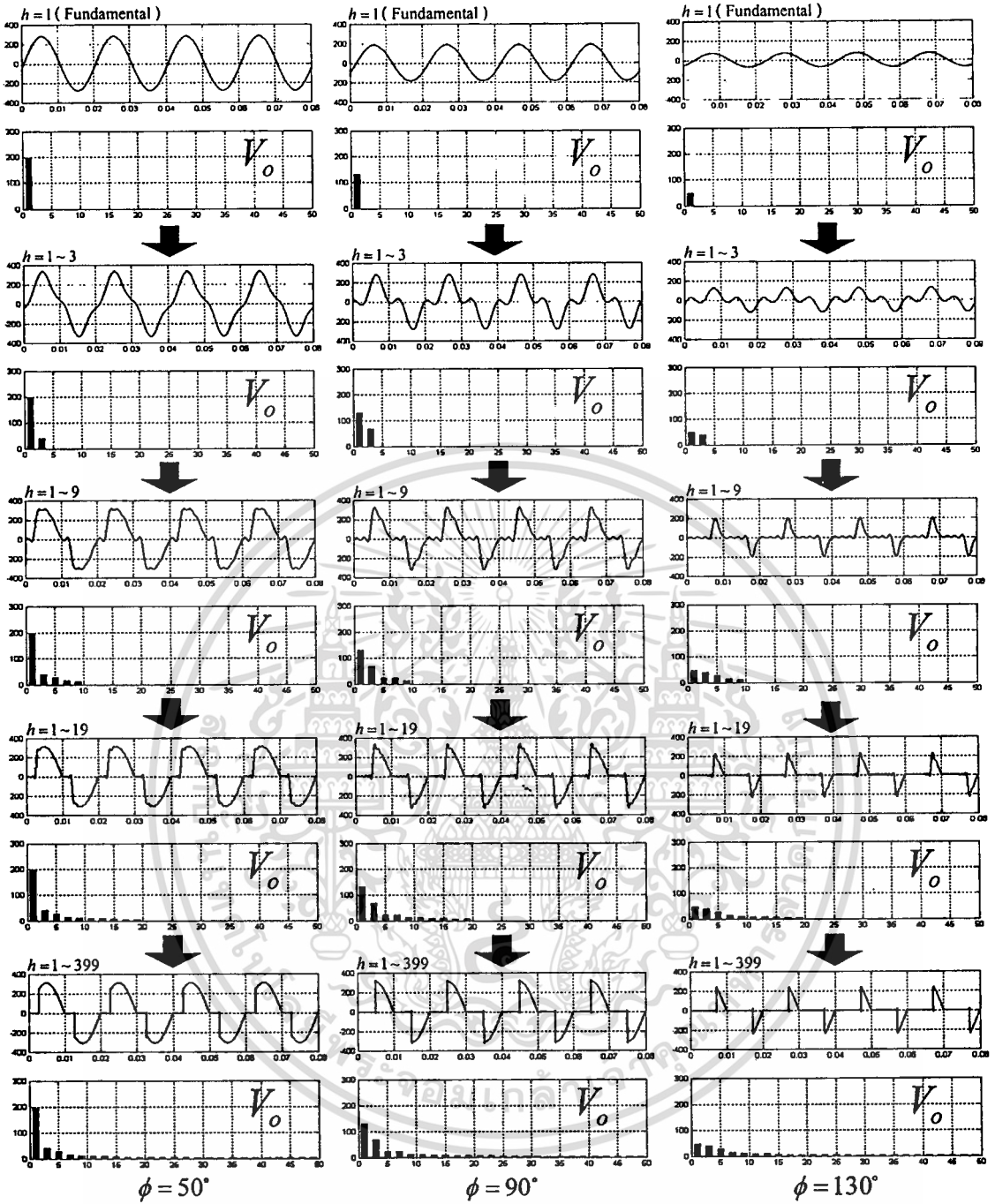
วิธีเฟสคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบของคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ที่ลำดับ Fundamental ลำดับ Harmonic ที่ 3 และลำดับ Harmonic ที่ 5 ที่ค่ามุมเฟส(ϕ) เท่ากับ 45° , 90° และ 135°
วิธีเฟสคอนโทรล

องค์ประกอบคลื่นแรงดันเอาต์พุต (v_o)	มุมเฟส(ϕ) 45°	มุมเฟส(ϕ) 90°	มุมเฟส(ϕ) 135°
A_1	282.8626	155.5635	28.2643
B_1	-49.5174	-99.0348	-49.5174
C_1	287.1641	184.4123	57.0162
ϕ_1	-0.1733	-0.5669	-1.0521
$A_{2(1)+1}$	-49.5174	-1.2×10^{-14}	49.5174
$B_{2(1)+1}$	-5.5×10^{-15}	99.0348	1.1×10^{-14}
$C_{2(1)+1}$	49.5174	99.0348	49.5174
$\phi_{2(1)+1}$	-3.1416	1.5708	2.22×10^{-16}
$A_{2(2)+1}$	-16.5058	1.21×10^{-14}	16.5058
$B_{2(2)+1}$	33.0116	-33.0116	33.0116
$C_{2(2)+1}$	36.9081	33.0116	36.9081
$\phi_{2(2)+1}$	2.0344	-1.5708	1.1071

จากรูปที่ 2.8 เป็นกราฟแสดงการรวมคลื่น Fundamental กับคลื่น Harmonics ในลำดับต่างๆ เพื่อให้ได้คลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต โดยวิธีเฟสคอนโทรล ซึ่งได้จากวิธีการซิมูเลท โดยกำหนดค่ามุมเฟส (ϕ) เท่ากับ 50° , 90° และ 130° ตามลำดับ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงในแต่ละขั้นตอนของการเกิดรูปคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุต โดยเริ่มจากรูปคลื่นไซน์ของ Fundamental จนกลายมาเป็นรูปคลื่นแบบเฟสคอนโทรลอย่างสมบูรณ์ และจะเห็นถึงการเกิดขึ้นของสเปกตรัมของ Fundamental และสเปกตรัมของ Harmonics ต่างๆ ซึ่งสเปกตรัมที่เกิดขึ้นนี้ จะมีเฉพาะลำดับของ Harmonics ที่เป็นเลขคี่เท่านั้น และมีค่าของความถี่ที่สูงกว่า Fundamental เท่ากับ $3f, 5f, 7f, 9f, \dots, (2k+1)f$ ที่ $k = 1, 2, 3, \dots, n$

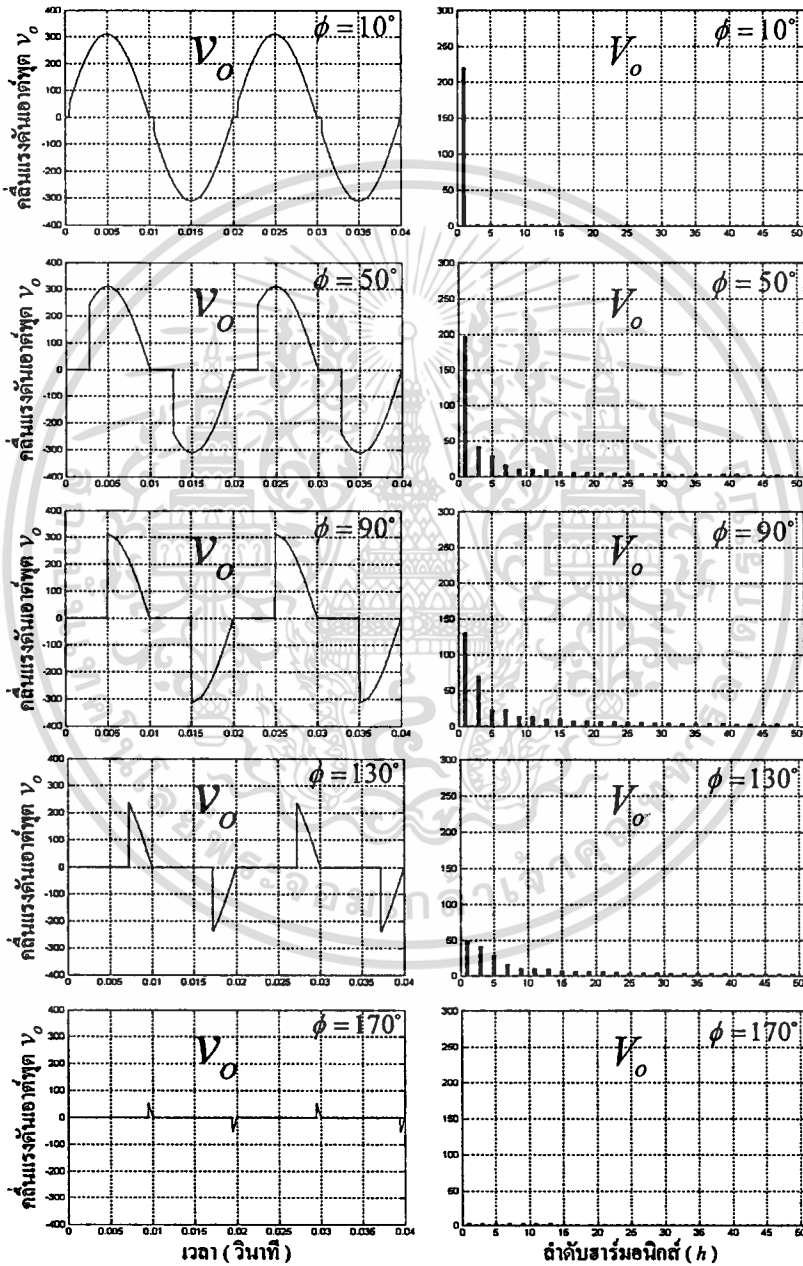


รูปที่ 2.8 การรวมคลื่นแรงดันของพินคาเมนทอลและฮาร์มอนิกส์ในลำดับต่างๆ ในกรณีของการควบคุมโดยวิธีเฟสคอนโทรลที่มุมเฟส (ϕ) เท่ากับ 50° , 90° และ 130° ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 คลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุต และสเปกตรัมที่ค่ามุมเฟสต่างๆ โดยวิธีเฟสคอนโทรล

จากรูปที่ 2.9 เป็นกราฟแสดงสเปกตรัมของคลื่นแรงดันด้านเอาต์พุต V_o ของวิธีเฟสคอนโทรล ซึ่งได้จากการซิมมูลที่ค่า ϕ เท่ากับ $10^\circ, 50^\circ, 90^\circ, 130^\circ$ และ 170° ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มค่า ϕ ขึ้นจะส่งผลให้สเปกตรัมของแรงดันทางด้านเอาต์พุตมีค่าลดลง โดยเฉพาะสเปกตรัมของ Fundamental นั่นคือค่าของแรงดันที่ได้จะมีค่าน้อยลงเมื่อเพิ่มค่า ϕ ขึ้น

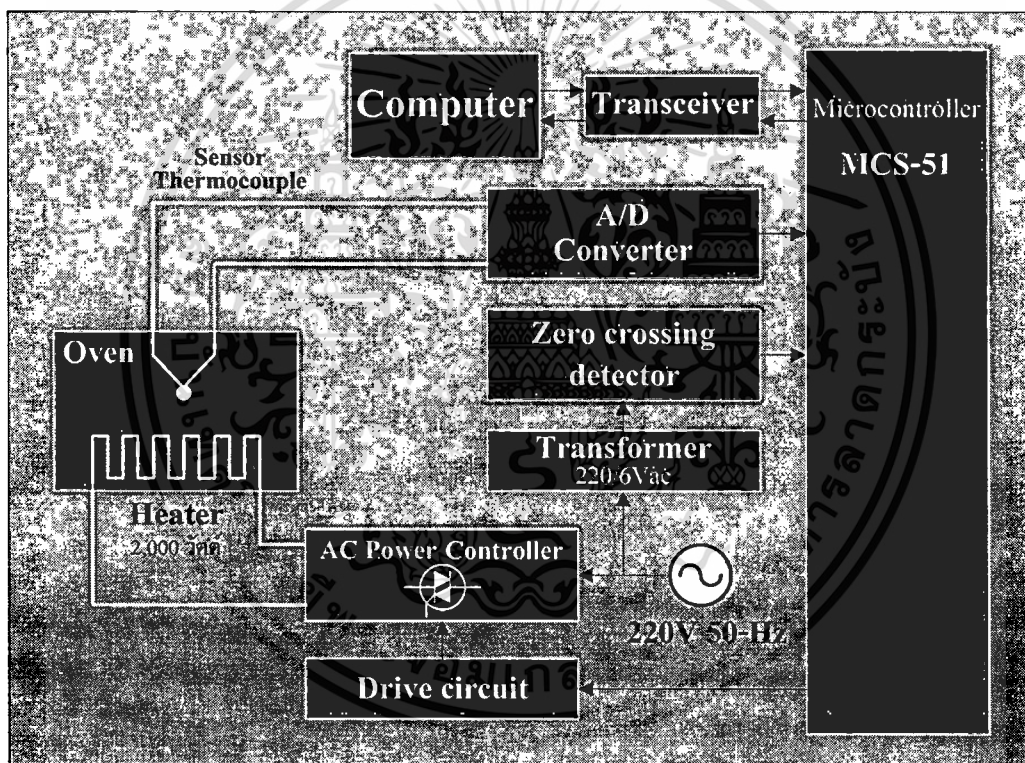


รูปที่ 2.9 ลักษณะคลื่นแรงดันที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อน (Heater) และสเปกตรัมที่ค่ามุมเฟส(ϕ) ต่างๆ ที่มุมเฟส ϕ เท่ากับ $10^\circ, 50^\circ, 90^\circ, 130^\circ, 170^\circ$ วิธีเฟสคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 หลักการทำงานของวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรล

ในการสร้างรูปคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตแบบเฟสคอนโทรลจะใช้หลักการควบคุมการทำงานและการแสดงผลต่างๆ แบบดิจิทัล โดยในการกำหนดค่าของอุณหภูมิ และเวลาใช้งานจะกระทำผ่านทางคอมพิวเตอร์ โดยคอมพิวเตอร์จะส่งคำสั่งควบคุมและค่ามุมเฟสไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์และเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับคำสั่ง ON ก็จะทำการตรวจจับจุดผ่านศูนย์เพื่อเริ่มต้นกระบวนการ ON และ OFF แบบเฟสคอนโทรล โดยในกระบวนการควบคุมการทำงานแบบดิจิทัลนั้นจะประกอบด้วยส่วนของคอมพิวเตอร์ ส่วนของวงจรสื่อสารอนุกรม ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนของวงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์ และส่วนของวงจรขับไทรแอก ดังแสดงด้วยบล็อกไดอะแกรมรวมในรูปที่ 2.10 ซึ่งมีรายละเอียดในส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมรวมแสดงหลักการสร้างสัญญาณควบคุมโดยวิธีเฟสคอนโทรลแบบดิจิทัล

1. Computer (ส่วนของคอมพิวเตอร์)

ทำหน้าที่แสดงฟังชันการทำงาน ค่ามุมเฟสที่ใช้งาน อุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า ค่าเวลาที่ใช้ในการทดสอบ และยังเป็นส่วนที่ใช้ในการเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงาน โปรแกรมควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรมวิซวลเบสิก 6.0 เขียนเป็นโปรแกรมมอนิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้นยังทำหน้าที่ในการบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าลงฐานข้อมูล โดยใช้โปรแกรม Microsoft Office Access 2003 เป็นฐานข้อมูล

2. Transceiver (ส่วนของการสื่อสารอนุกรม)

ทำหน้าที่แปลงระดับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าระหว่างคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งระดับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าของพอร์ตอนุกรม RS-232 ที่คอมพิวเตอร์ มีระดับของสัญญาณอยู่ในช่วง ± 3 โวลต์ ถึง ± 15 โวลต์ ในขณะที่ระดับสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นระดับสัญญาณแบบ TTL ที่มีระดับของแรงดันอยู่ในช่วง 0 โวลต์ ถึง +5 โวลต์ ดังนั้นคอมพิวเตอร์จึงไม่สามารถเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยตรง จึงต้องอาศัยการเชื่อมต่อผ่านไอซีแปลงระดับสัญญาณ ซึ่ง ไอซีนี้จะทำหน้าที่ในการแปลงระดับสัญญาณข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์จากระดับสัญญาณแบบ TTL ไปเป็นระดับสัญญาณแบบ RS-232 และทำการแปลงข้อมูลจากคอมพิวเตอร์จากระดับสัญญาณแบบ RS-232 ไปเป็นระดับสัญญาณแบบ TTL เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถรับส่งข้อมูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

3. Microcontroller (ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์)

ทำหน้าที่รับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์เพื่อไปควบคุมอุปกรณ์ในส่วนต่างๆ ที่เชื่อมต่ออยู่กับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่สร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้าแบบเฟสคอนโทรล และเป็นส่วนที่ใช้เก็บโปรแกรมส่วนของการสร้างรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสคอนโทรล โปรแกรมตรวจจับจุดตัดศูนย์ โปรแกรมคำนวณค่าอุณหภูมิ และโปรแกรมที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม

4. Zero crossing detector (ส่วนของการตรวจจับจุดตัดศูนย์)

ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 6 โวลต์ ทางด้านอินพุตไปเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 0 โวลต์ และ 5 โวลต์ ทางด้านเอาต์พุตแล้วส่งค่าที่แปลงได้เข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้เป็นจุดอ้างอิงในการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้น ON-OFF คลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

5. Drive circuit (ส่วนของวงจรขับ)

ทำหน้าที่รับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วนำคำสั่งที่ได้รับไปควบคุมการทำงานของไครแอกให้ ON หรือ OFF ตามจังหวะที่ได้กำหนดไว้ โดยส่วนของวงจรขับจะมีการเชื่อมต่อกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางตัวเชื่อมโยงทางแสงเพื่อแยกวงจรกำลังและวงจรควบคุมออกจากกัน

6. Heater (ส่วนของขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า)

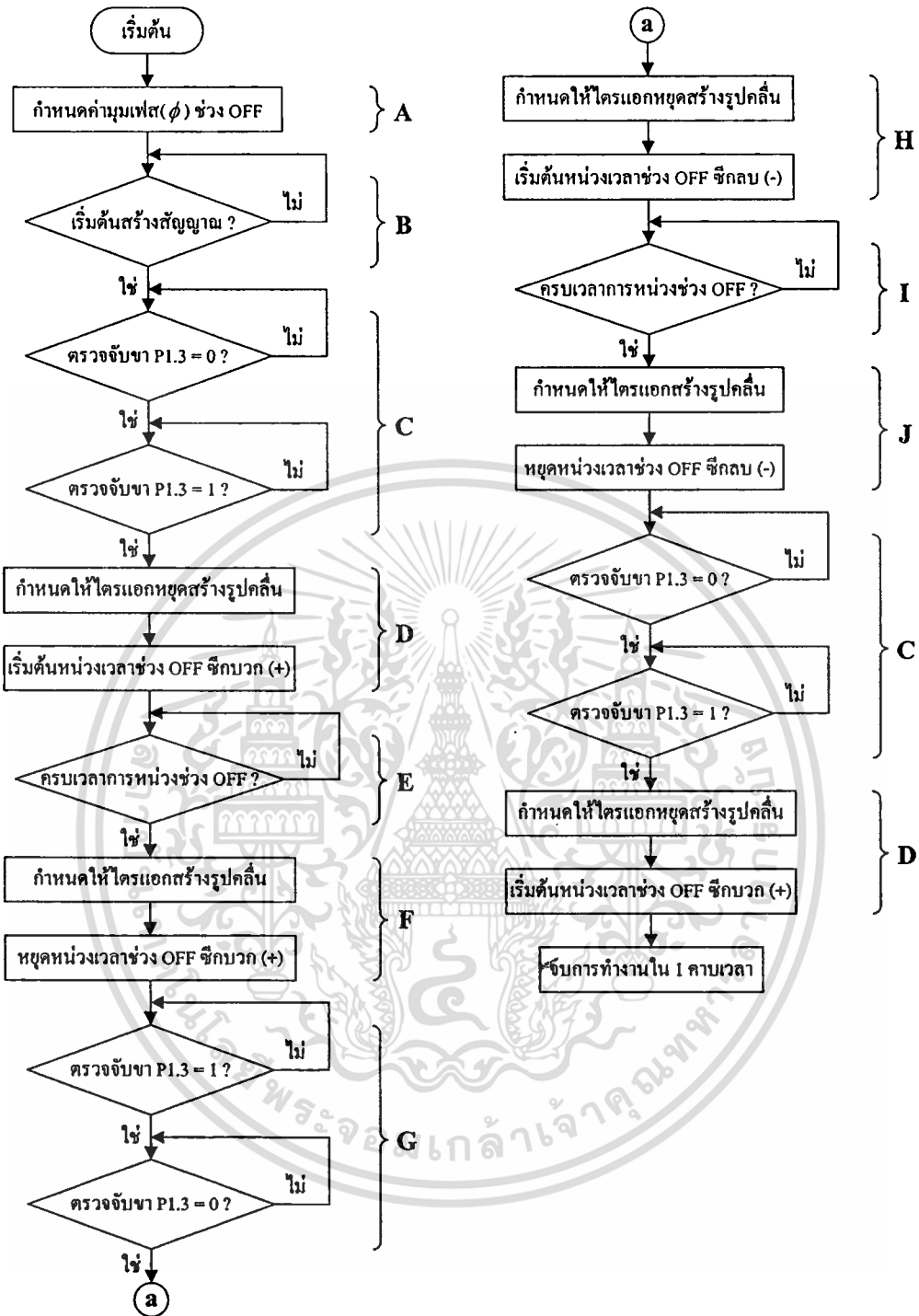
ทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า ซึ่งจะให้ความร้อนในระดับต่างๆ ตามค่าของเปอร์เซ็นต์ ON ที่กำหนด โดยระดับของความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าของเปอร์เซ็นต์ ON ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ขดลวดความร้อนแบบครีบริปรูปตัวยู ขนาด 2,000 วัตต์ จำนวน 1 ชุด มีเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ 12 มม. มีขนาดความยาว 400 มม. ตัวท่อและครีบริปทำจากสแตนเลส 304 (SUS 304) ซึ่งเป็นขดลวดความร้อนชนิดที่ใช้ในอากาศ โดยจะต้องใช้พัดลมเป่าที่ตัวขดลวดความร้อนเพื่อช่วยระบายความร้อน ซึ่งเป็นการยืดอายุการใช้งานของขดลวดความร้อน

7. Sensor thermocouple (ส่วนของตัวตรวจอุณหภูมิในตู้อบไฟฟ้า)

ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า โดยในงานวิจัยนี้ใช้เทอร์โมคัพเปิล ชนิด K แบบหัวสกรูวัดอุณหภูมิใช้งานสูงสุด 400°C ซึ่งเทอร์โมคัพเปิลจะสร้างแรงดันไฟฟ้าขึ้นทางด้านเอาต์พุตจากค่าของอุณหภูมิที่วัดได้ภายในตู้อบไฟฟ้า ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะอยู่ในย่านของมิลลิโวลต์ จึงต้องนำเข้าส่วนขยายแรงดันและทำการแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าแบบแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าแบบดิจิทัล และนำค่าที่ได้เข้าไมโครคอนโทรลเลอร์

2.6 ขั้นตอนและโฟลว์ชาร์ตแสดงการสร้างสัญญาณของคลื่นแรงดันโดยวิธีเฟสคอนโทรล

การสร้างรูปคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตแบบเฟสคอนโทรล ที่มีการควบคุมการทำงานแบบดิจิทัล โดยใช้คอมพิวเตอร์ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะมีรายละเอียดแสดงขั้นตอนในการสร้างสัญญาณเพื่อควบคุมมุมของการ ON และ OFF ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งจะเป็นส่วนแสดงโฟลว์ชาร์ตสำหรับการสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของไครเอคแบบเฟสคอนโทรล โดยจะแสดงให้เห็นถึงลำดับขั้นตอนต่างๆ ของการทำงานในหนึ่งคาบเวลา และในตารางที่ 2.7 เป็นรายละเอียดของโฟลว์ชาร์ตในการสร้างคลื่นแรงดันเอาต์พุต v_o ของรูปที่ 2.11 ในช่วงต่างๆ แบบเฟสคอนโทรล โดยในรูปที่ 2.12 เป็นการเปรียบเทียบคลื่นแรงดันเอาต์พุตและสัญญาณตรวจจับจุดตัดศูนย์ เพื่อให้เห็นถึงจังหวะการทำงานในการสร้างคลื่นแรงดันเอาต์พุตแบบเฟสคอนโทรล ที่ตำแหน่งต่างๆ ใน 1 คาบเวลา



รูปที่ 2.11 โพลีซาร์ตสำหรับสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของไตรแอกวีธีเฟสคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

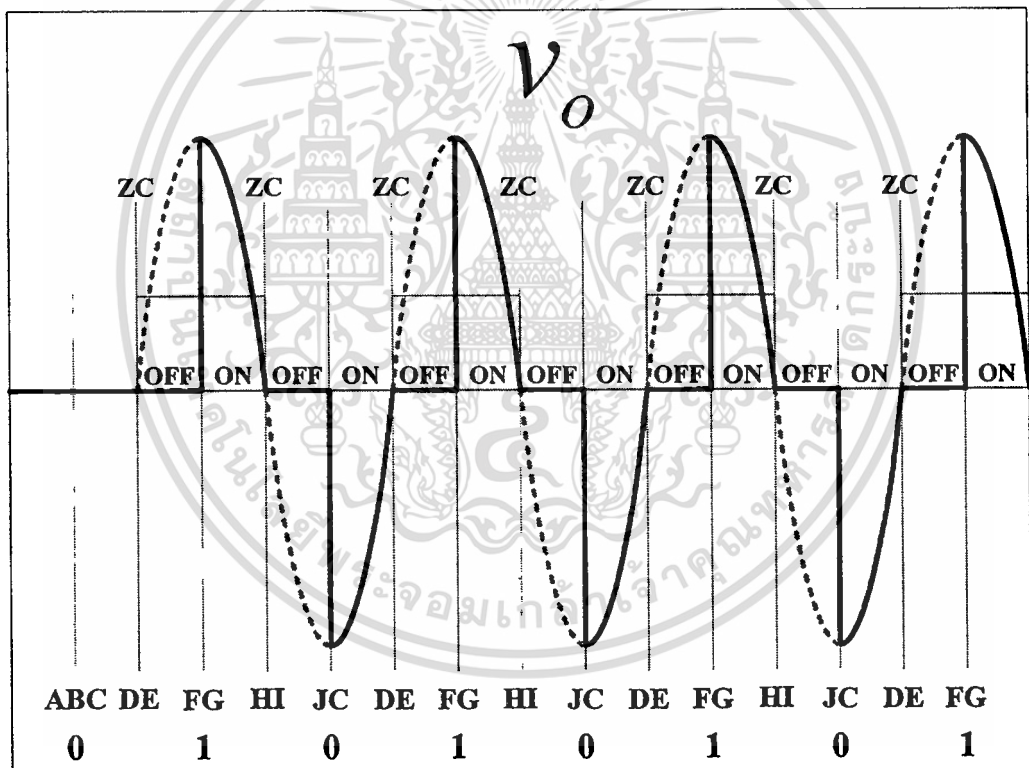
ตารางที่ 2.7 การสร้างคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุต v_o ด้วยวิธีเฟสคอนโทรล

ช่วงการทำงาน	รายละเอียดการทำงาน
ช่วง A	กำหนดค่ามุมเฟส (ϕ) ช่วง OFF เพื่อใช้ในการหนดช่วงเวลาช่วง OFF ทางด้านซีกบวก (+) และซีกลบ (-) ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยกำหนดผ่านทางคอมพิวเตอรแล้วส่งค่าให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์
ช่วง B	ตรวจสอบเริ่มต้นการสร้างสัญญาณวิธีเฟสคอนโทรล
ช่วง C	เมื่อเริ่มต้นสร้างสัญญาณวิธีเฟสคอนโทรล ไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจสอบสัญญาณจุดตัดศูนย์ที่ป้อนเข้ามาที่ขาอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ขา 4 (P1.3 : CEX0) ซึ่งระดับสัญญาณเปลี่ยนจากลอจิก 0 ไปเป็นลอจิก 1 ดังแสดงในรูปที่ 2.13
ช่วง D	ไทรแอก OFF เพื่อหยุดป้อนคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายไปสู่โหลดขดลวดความร้อน และเริ่มต้นช่วงเวลาช่วง OFF ทางด้านซีกบวก (+) ของคลื่นแรงดันไฟฟ้า
ช่วง E	ตรวจสอบการหนดช่วงเวลาช่วง OFF ทางด้านซีกบวก (+) ของคลื่นแรงดันไฟฟ้า ครอบคลุมที่ได้กำหนดหรือไม่
ช่วง F	เมื่อครบเวลาการหนดตามที่กำหนด ไทรแอก ON เพื่อเริ่มป้อนคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายไปสู่โหลดขดลวดความร้อน และหยุดหนดช่วงเวลาช่วง OFF ทางด้านซีกบวก (+) ของคลื่นแรงดันไฟฟ้า
ช่วง G	ไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบสัญญาณจุดตัดศูนย์ที่ป้อนเข้ามาที่ขาอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ขา 4 (P1.3 : CEX0) ซึ่งระดับสัญญาณเปลี่ยนจากลอจิก 1 ไปเป็นลอจิก 0 ดังแสดงในรูปที่ 2.14
ช่วง H	ไทรแอก OFF เพื่อหยุดป้อนคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายไปสู่โหลดขดลวดความร้อน เริ่มต้นหนดช่วงเวลาช่วง OFF ทางด้านซีกลบ (-) ของคลื่นแรงดันไฟฟ้า
ช่วง I	ตรวจสอบการหนดช่วงเวลาช่วง OFF ทางด้านซีกลบ (-) ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ครอบคลุมที่ได้กำหนดหรือไม่
ช่วง J	เมื่อครบเวลาการหนดตามที่กำหนด ไทรแอก ON เพื่อเริ่มป้อนคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายไปสู่โหลดขดลวดความร้อน และหยุดหนดช่วงเวลาช่วง OFF ทางด้านซีกลบ (-) ของคลื่นแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

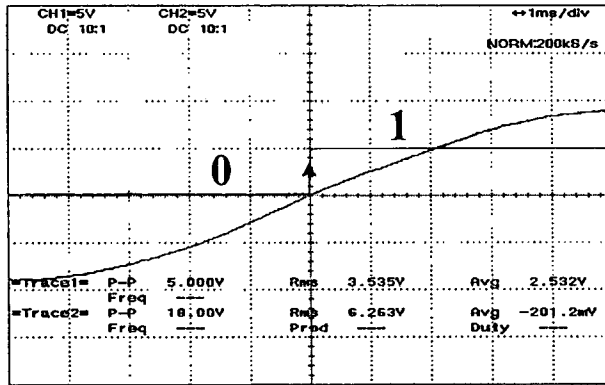
ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

ช่วงการทำงาน	รายละเอียดการทำงาน
ช่วง C	เมื่อเริ่มต้นสร้างสัญญาณวิธีเฟสคอนโทรล ไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจสอบสัญญาณจุดตัดศูนย์ที่ป้อนเข้ามาที่ขาอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ขา 4 (P1.3 : CEX0) ซึ่งระดับสัญญาณเปลี่ยนจากลอจิก 0 ไปเป็นลอจิก 1 ดังแสดงในรูปที่ 2.13
ช่วง D	ไทรแอก OFF เพื่อหยุดป้อนคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายไปสู่โหลดลดลดความร้อน และเริ่มต้นช่วงเวลาช่วง OFF ทางด้านซีกบวก (+) ของคลื่นแรงดันไฟฟ้า

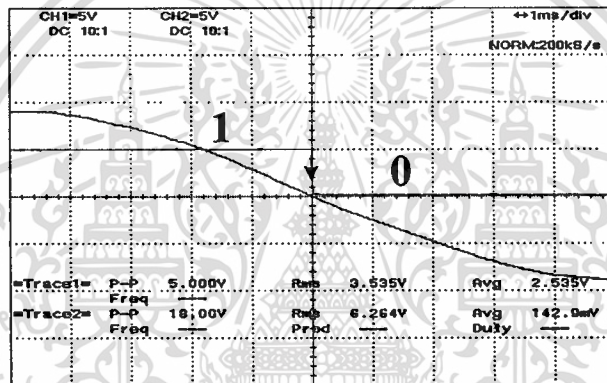


รูปที่ 2.12 สัญญาณของคลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตวิธีเฟสคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 สัญญาณการตรวจจับจุดตัดศูนย์ที่มีการเปลี่ยนระดับของสัญญาณจากลอจิก 0 ไปเป็นลอจิก 1 ในขณะที่คลื่นแรงดันไซน์อินพุตเปลี่ยนทิศแรงดันจากลบเป็นบวกผ่านศูนย์ (Zero crossing)



รูปที่ 2.14 สัญญาณการตรวจจับจุดตัดศูนย์ที่มีการเปลี่ยนระดับของสัญญาณจากลอจิก 1 ไปเป็นลอจิก 0 ในขณะที่คลื่นแรงดันไซน์อินพุตเปลี่ยนทิศแรงดันจากบวกเป็นลบผ่านศูนย์ (Zero crossing)

2.7 การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลดขดลวดความร้อน กำลังไฟฟ้าทางด้านแหล่งจ่าย การไฟฟ้า ค่าประสิทธิภาพ ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมของคลื่นกระแส ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านแหล่งจ่าย ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่โหลดขดลวดความร้อน วิธีเฟสคอนโทรล

ในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าของวิธีเฟสคอนโทรลสามารถทำได้โดยการนำคลื่นแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าในวงจรกำลังมาแตกกระจายให้อยู่ในรูปของอนุกรมฟูเรียร์ เพื่อให้ได้ลักษณะสเปกตรัมของแรงดันและกระแสที่ลำดับฮาร์มอนิกส์ต่างๆ ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า ค่าประสิทธิภาพ ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมของคลื่นกระแส และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ในการวิเคราะห์และคำนวณ ซึ่งใช้สูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า ค่าประสิทธิภาพ ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมของคลื่นกระแส และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ได้ดังนี้

ค่ากำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุต : P_{in}

$$P_{in} = V_{s,1}I_{s,1} \cos\theta_{v_{s,1},i_{s,1}} + V_{s,2}I_{s,2} \cos\theta_{v_{s,2},i_{s,2}} + V_{s,3}I_{s,3} \cos\theta_{v_{s,3},i_{s,3}} + \dots + V_{s,n}I_{s,n} \cos\theta_{v_{s,n},i_{s,n}}$$

$$P_{in} = \sum_{n=1}^{\infty} (V_{s,n}I_{s,n} \cos\theta_{v_{s,n},i_{s,n}}) \quad (2.16)$$

โดยที่ $V_{s,n}$ คือ ค่าของแรงดันทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้าที่ลำดับ Harmonic n ใดๆ ตามลำดับ
 $I_{s,n}$ คือ ค่าของกระแสทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้าที่ลำดับ Harmonic n ใดๆ ตามลำดับ
 $\theta_{v_{s,n},i_{s,n}}$ คือ มุมเฟสของแรงดัน $V_{s,n}$ ที่นำหน้ากระแส $I_{s,n}$

ค่ากำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต : P_o

$$P_o = V_{o,1}I_{o,1} \cos\psi_{v_{o,1},i_{o,1}} + V_{o,2}I_{o,2} \cos\psi_{v_{o,2},i_{o,2}} + V_{o,3}I_{o,3} \cos\psi_{v_{o,3},i_{o,3}} + \dots + V_{o,n}I_{o,n} \cos\psi_{v_{o,n},i_{o,n}}$$

$$P_o = \sum_{n=1}^{\infty} (V_{o,n}I_{o,n} \cos\psi_{v_{o,n},i_{o,n}}) \quad (2.17)$$

โดยที่ $V_{o,n}$ คือ ค่าของแรงดันที่โหลดขดลวดความร้อนที่ลำดับ Harmonic n ใดๆ ตามลำดับ
 $I_{o,n}$ คือ ค่าของกระแสที่โหลดขดลวดความร้อนที่ลำดับ Harmonic n ใดๆ ตามลำดับ
 $\psi_{v_{o,n},i_{o,n}}$ คือ มุมเฟสของแรงดัน $V_{o,n}$ ที่นำหน้ากระแส $I_{o,n}$

ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมของคลื่นกระแส : %THD_i

$$THD_i = \frac{\sqrt{I_o^2 - I_{o,1}^2}}{I_{o,1}} \quad (2.18)$$

โดยที่

$$I_o = \sqrt{I_{o,1}^2 + I_{o,2}^2 + I_{o,3}^2 + I_{o,4}^2 + \dots + I_{o,n}^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$THD_i = \frac{\sqrt{(I_{o,1}^2 + I_{o,2}^2 + I_{o,3}^2 + I_{o,4}^2 + \dots + I_{o,n}^2) - (I_{o,1}^2)}}{I_{o,1}}$$

$$THD_i = \frac{\sqrt{I_{o,2}^2 + I_{o,3}^2 + I_{o,4}^2 + \dots + I_{o,n}^2}}{I_{o,1}} \quad (2.19)$$

$$\%THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{o,n}^2}}{I_{o,1}} \times 100 \quad (2.20)$$

จากสมการ(2.19) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} (THD_i)^2 &= \left(\frac{\sqrt{I_{o,2}^2 + I_{o,3}^2 + I_{o,4}^2 + \dots + I_{o,n}^2}}{I_{o,1}} \right)^2 \\ &= \frac{I_{o,2}^2 + I_{o,3}^2 + I_{o,4}^2 + \dots + I_{o,n}^2}{I_{o,1}^2} \\ &= \frac{I_{o,2}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,3}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,4}^2}{I_{o,1}^2} + \dots + \frac{I_{o,n}^2}{I_{o,1}^2} \\ \sqrt{(THD_i)^2} &= \sqrt{\frac{I_{o,2}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,3}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,4}^2}{I_{o,1}^2} + \dots + \frac{I_{o,n}^2}{I_{o,1}^2}} \\ THD_i &= \sqrt{\frac{I_{o,2}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,3}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,4}^2}{I_{o,1}^2} + \dots + \frac{I_{o,n}^2}{I_{o,1}^2}} \quad (2.21) \end{aligned}$$

ค่าประสิทธิภาพ : η

$$\eta = \frac{P_o}{P_{in}}$$

$$\eta = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} (V_{o,n} I_{o,n} \cos \psi_{v_{o,n}, i_{o,n}})}{\sum_{n=1}^{\infty} (V_{s,n} I_{s,n} \cos \theta_{v_{s,n}, i_{s,n}})} \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านอินพุต : PF_{input}

$$\begin{aligned}
 PF_{input} &= \frac{P_{input}}{S_{input}} \\
 &= \frac{Watt_{input}}{Volt_{input} \times Amp_{input}} \\
 &= \frac{V_{s,1}I_{s,1} \cos \theta_{v_{s,1}/i_{s,1}} + V_{s,2}I_{s,2} \cos \theta_{v_{s,2}/i_{s,2}} + V_{s,3}I_{s,3} \cos \theta_{v_{s,3}/i_{s,3}} + \dots + V_{s,n}I_{s,n} \cos \theta_{v_{s,n}/i_{s,n}}}{\sqrt{(V_{s,1}^2 + V_{s,2}^2 + V_{s,3}^2 + \dots + V_{s,n}^2)} \times \sqrt{(I_{s,1}^2 + I_{s,2}^2 + I_{s,3}^2 + \dots + I_{s,n}^2)}} \\
 &= \frac{V_{s,1}I_{s,1} \cos \theta_{v_{s,1}/i_{s,1}} + (0)I_{s,2} \cos \theta_{v_{s,2}/i_{s,2}} + (0)I_{s,3} \cos \theta_{v_{s,3}/i_{s,3}} + \dots + (0)I_{s,n} \cos \theta_{v_{s,n}/i_{s,n}}}{\sqrt{(V_{s,1}^2 + 0 + 0 + \dots + 0)} \times \sqrt{(I_{s,1}^2 + I_{s,2}^2 + I_{s,3}^2 + \dots + I_{s,n}^2)}} \\
 &= \frac{V_{s,1}I_{s,1} \cos \theta_{v_{s,1}/i_{s,1}}}{\sqrt{(V_{s,1}^2)} \times \sqrt{(I_{s,1}^2 + I_{s,2}^2 + I_{s,3}^2 + \dots + I_{s,n}^2)}} \\
 &= \frac{V_{s,1}I_{s,1} \cos \theta_{v_{s,1}/i_{s,1}}}{V_{s,1} \times \sqrt{(I_{s,1}^2 + I_{s,2}^2 + I_{s,3}^2 + \dots + I_{s,n}^2)}} \\
 &= \frac{I_{s,1} \cos \theta_{v_{s,1}/i_{s,1}}}{\sqrt{(I_{s,1}^2 + I_{s,2}^2 + I_{s,3}^2 + \dots + I_{s,n}^2)}} \\
 &= \frac{I_{o,1} \cos \theta_{v_{s,1}/i_{s,1}}}{\sqrt{(I_{o,1}^2 + I_{o,2}^2 + I_{o,3}^2 + \dots + I_{o,n}^2)}} \\
 &= \frac{I_{o,1} \cos \theta_{v_{s,1}/i_{s,1}}}{I_o} \\
 &= \frac{I_{o,1}}{I_o} \cos \theta_{v_{s,1}/i_{s,1}}
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ (2.18)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$THD_i = \sqrt{\frac{I_{o,2}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,3}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,4}^2}{I_{o,1}^2} + \dots + \frac{I_{o,n}^2}{I_{o,1}^2}}$$

$$PF_{input} = \frac{1}{\sqrt{\left(\sqrt{\frac{I_{o,2}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,3}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,4}^2}{I_{o,1}^2} + \dots + \frac{I_{o,n}^2}{I_{o,1}^2}}\right)^2 + 1}} \cos \theta_{v_{s,1}, i_{s,1}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\frac{I_{o,2}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,3}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,4}^2}{I_{o,1}^2} + \dots + \frac{I_{o,n}^2}{I_{o,1}^2} + 1}} \cos \theta_{v_{s,1}, i_{s,1}}$$

$$PF_{input} = \frac{\cos \theta_{v_{s,1}, i_{s,1}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{I_{o,2}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,3}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,4}^2}{I_{o,1}^2} + \dots + \frac{I_{o,n}^2}{I_{o,1}^2}\right)}} \quad (2.23)$$

ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ทางด้านเอาต์พุต : PF_{output}

$$PF_{output} = \frac{P_{output}}{S_{output}}$$

$$= \frac{\text{watt}_{output}}{\text{Volt}_{output} \times \text{Amp}_{output}}$$

$$= \frac{V_{o,1} I_{o,1} \cos \psi_{v_{o,1}, i_{o,1}} + V_{o,2} I_{o,2} \cos \psi_{v_{o,2}, i_{o,2}} + V_{o,3} I_{o,3} \cos \psi_{v_{o,3}, i_{o,3}} + \dots + V_{o,n} I_{o,n} \cos \psi_{v_{o,n}, i_{o,n}}}{\sqrt{(V_{o,1}^2 + V_{o,2}^2 + V_{o,3}^2 + \dots + V_{o,n}^2)} \times \sqrt{(I_{o,1}^2 + I_{o,2}^2 + I_{o,3}^2 + \dots + I_{o,n}^2)}}$$

$$PF_{output} = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} (V_{o,n} I_{o,n} \cos \psi_{v_{o,n}, i_{o,n}})}{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} (V_{o,n})^2} \times \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} (I_{o,n})^2}} \quad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Distortion Factor : DTF Fundamental Power Factor : FPF และ Power Factor : PF

$$DTF = \frac{I_{o,1}}{I_o}$$

$$= \left(\frac{I_{o,1}}{I_o} \right) \left(\frac{I_o R}{I_o R} \right)$$

$$= \frac{I_{o,1} I_o R}{I_o^2 R}$$

$$DTF = \frac{I_{o,1} I_o R}{P_o} \quad (2.25)$$

จากสมการกำลังไฟฟ้าที่ Fundamental ทางด้านอินพุต

$$P_1 = V_1 I_{o,1} \cos \theta_1$$

$$I_{o,1} = \frac{P_1}{V_1 \cos \theta_1}$$

จากสมการที่ 2.17

$$P_o = V_{o,1} I_{o,1} \cos \psi_{v_{o,1}, i_{o,1}} + V_{o,2} I_{o,2} \cos \psi_{v_{o,2}, i_{o,2}} + V_{o,3} I_{o,3} \cos \psi_{v_{o,3}, i_{o,3}} + \dots + V_{o,n} I_{o,n} \cos \psi_{v_{o,n}, i_{o,n}}$$

$$= V_{o,1} \left(\frac{P_1}{V_1 \cos \theta_1} \right) \cos \psi_{v_{o,1}, i_{o,1}} + V_{o,2} I_{o,2} \cos \psi_{v_{o,2}, i_{o,2}} + V_{o,3} I_{o,3} \cos \psi_{v_{o,3}, i_{o,3}} + \dots$$

$$+ V_{o,n} I_{o,n} \cos \psi_{v_{o,n}, i_{o,n}}$$

$$= V_{o,1} \left(\frac{P_1}{V_1 \cos \theta_1} \right) \cos \psi_{v_{o,1}, i_{o,1}} + \sum_{n=2}^{\infty} (V_{o,n} I_{o,n} \cos \psi_{v_{o,n}, i_{o,n}})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{o,1} \left(\frac{P_1}{V_1 \cos \theta_1} \right) \cos \psi_{v_{o,1}, i_{o,1}} = P_o - \sum_{n=2}^{\infty} (V_{o,n} I_{o,n} \cos \psi_{v_{o,n}, i_{o,n}})$$

$$\cos \theta_1 = \frac{V_{o,1} P_1 \cos \psi_{v_{o,1}, i_{o,1}}}{V_1 [P_o - \sum_{n=2}^{\infty} (V_{o,n} I_{o,n} \cos \psi_{v_{o,n}, i_{o,n}})]}$$

จะได้ว่า

$$FPF = \cos \theta_1 = \frac{V_{o,1} P_1 \cos \psi_{v_{o,1}, i_{o,1}}}{V_1 [P_o - \sum_{n=2}^{\infty} (V_{o,n} I_{o,n} \cos \psi_{v_{o,n}, i_{o,n}})]} \quad (2.26)$$

จากสมการ

$$PF = DTF \times FPF$$

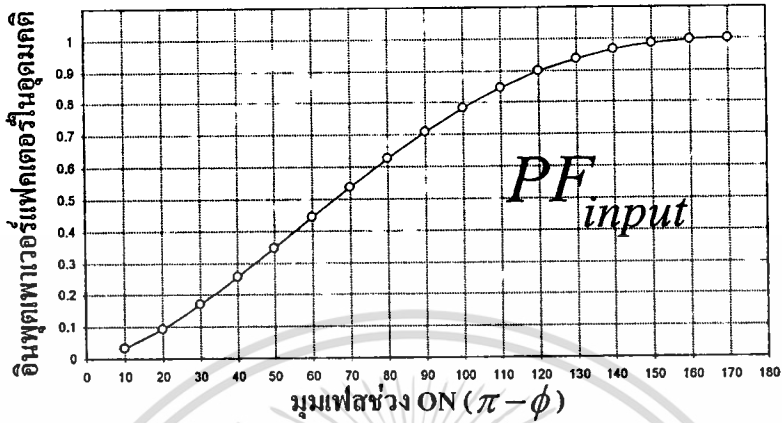
จะได้ว่า

$$PF = \frac{I_{o,1} I_o R}{P_o} \times \frac{V_{o,1} P_1 \cos \psi_{v_{o,1}, i_{o,1}}}{V_1 [P_o - \sum_{n=2}^{\infty} (V_{o,n} I_{o,n} \cos \psi_{v_{o,n}, i_{o,n}})]} \quad (2.27)$$

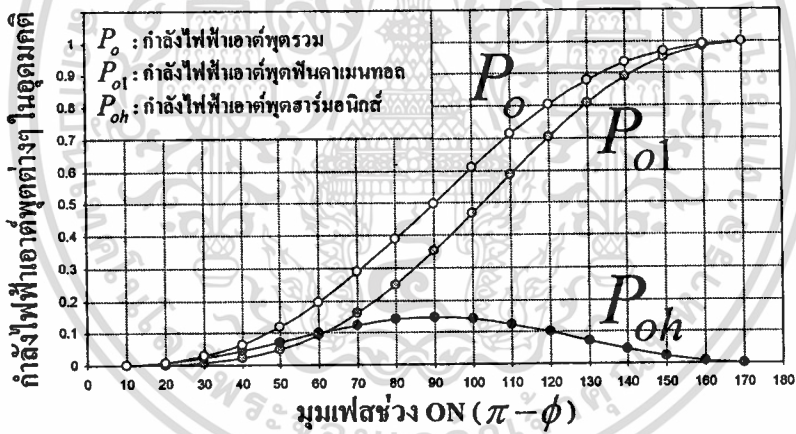
จากรูปที่ 2.15 เป็นกราฟที่แสดงค่าของเพาเวอร์แฟกเตอร์ทางด้านอินพุตของวิธิเฟสคอนโทรลที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามค่ามุมเฟส $(\pi - \phi)$ ที่เพิ่มขึ้น ในรูปที่ 2.16 จะเป็นกราฟแสดงให้เห็นการเกิดกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต : P_o ซึ่งได้จากผลรวมของกำลังไฟฟ้าของคลื่น Fundamental (P_{o1}) กับกำลังไฟฟ้าของคลื่น Harmonics (P_{oh}) ทั้งหมด ส่วนรูปที่ 2.17 แสดงการเปรียบเทียบเพื่อให้เห็นความแตกต่างระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้าอินพุตและเอาต์พุต ที่ค่าของมุมเฟส $(\pi - \phi)$ ต่างๆ จะเห็นว่าเมื่อค่ามุมเฟส $(\pi - \phi)$ เพิ่มขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าอินพุตและเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้น และค่ากำลังไฟฟ้าจะมีค่าเป็นศูนย์ ที่ค่าของกระแสและแรงดันไฟฟ้ามี่ค่าเป็นศูนย์ ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าเป็นบวกเสมอ นั่นแสดงว่าโหลดชนิดที่เป็นความต้านทานจะไม่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับวงจร แต่จะรับกำลังไฟฟ้าแล้วเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าที่ได้ทั้งหมดเป็นพลังงานความร้อนออกมา ส่วนรูปที่ 2.18 เป็นกราฟของประสิทธิภาพ η ซึ่งในทางทฤษฎีจะมีค่าเท่ากับ 1 ตลอดช่วงของการเปลี่ยนแปลงค่ามุมเฟส $(\pi - \phi)$ โดยไม่คิดการสูญเสียที่สวิทช์กำลัง และรูปที่ 2.19 เป็นกราฟของเปอร์เซ็นต์ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

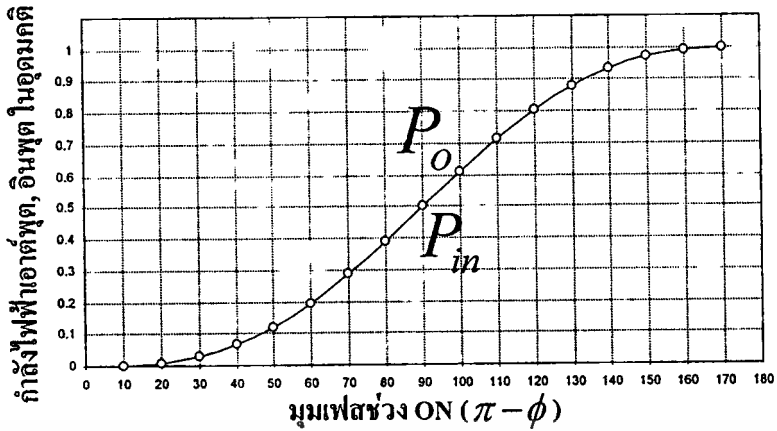
เพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมของคลื่นกระแสของวิธีเฟสคอนโทรล ซึ่งเมื่อค่ามุมเฟส ($\pi - \phi$) เพิ่มขึ้น ค่า %THDi จะมีค่าลดลง



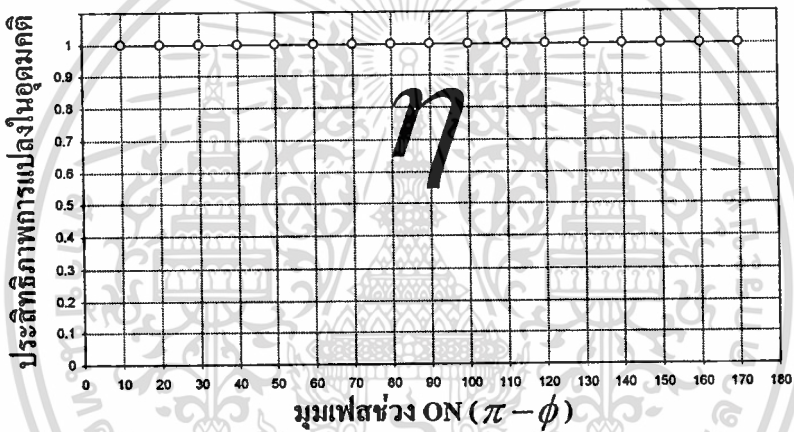
รูปที่ 2.15 ค่าอินพุตเพาเวอร์แฟคเตอร์ PF_{input} ที่ได้จากการซิมูเลทโดยวิธีเฟสคอนโทรล



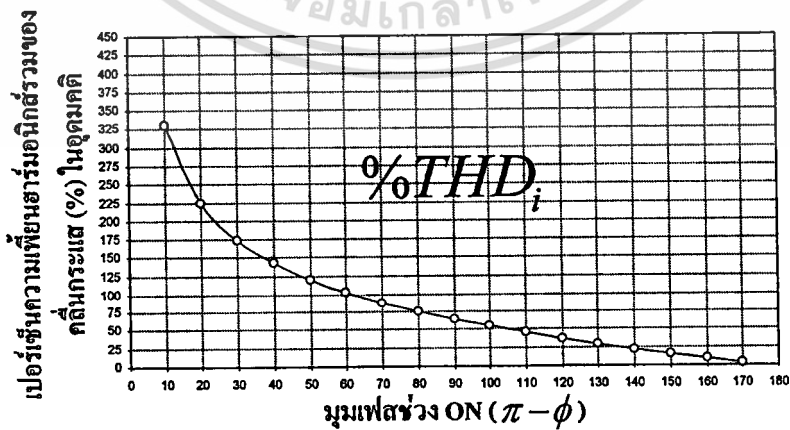
รูปที่ 2.16 ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o อันเนื่องมาจากคลื่น Fundamental P_{o1} และคลื่น Harmonics ที่ได้จากการซิมูเลทโดยวิธีเฟสคอนโทรล



รูปที่ 2.17 ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o และอินพุต P_{in} ที่ได้จากกรการซิมมูลเตโดยวิธีเฟสคอนโทรล



รูปที่ 2.18 ค่าประสิทธิภาพ η ที่ได้จากกรการซิมมูลเตโดยวิธีเฟสคอนโทรล



รูปที่ 2.19 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์โมนิกสรวมของคลื่นกระแสที่ได้จากการซิมมูลเตโดย

วิธีเฟสคอนโทรล

ขอสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 สรุป

จากหลักการวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าของวิธีการเฟสคอนโทรลพบว่าการเปลี่ยนค่ามุมเฟส $(\pi - \phi)$ ของวิธีการเฟสคอนโทรล มีผลกับค่าของเพาเวอร์แฟคเตอร์อินพุต PF_{input} กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o และ กำลังไฟฟ้าอินพุต P_{in} ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่ามุมเฟส $(\pi - \phi)$ ที่เพิ่มขึ้น โดยค่าประสิทธิภาพ η ซึ่งในทางทฤษฎีจะมีค่าเท่ากับ 1 ตลอดช่วงของการเปลี่ยนแปลงค่ามุมเฟส $(\pi - \phi)$ โดยไม่คิดการสูญเสียที่สวิตช์กำลัง ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมของคลื่นกระแส $\%THDi$ จะมีค่าลดลงตามค่ามุมเฟส $(\pi - \phi)$ ที่เพิ่มขึ้น



บทที่ 3

ทฤษฎีการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดย วิธีไซเคิลคอนโทรล

3.1 บทนำ

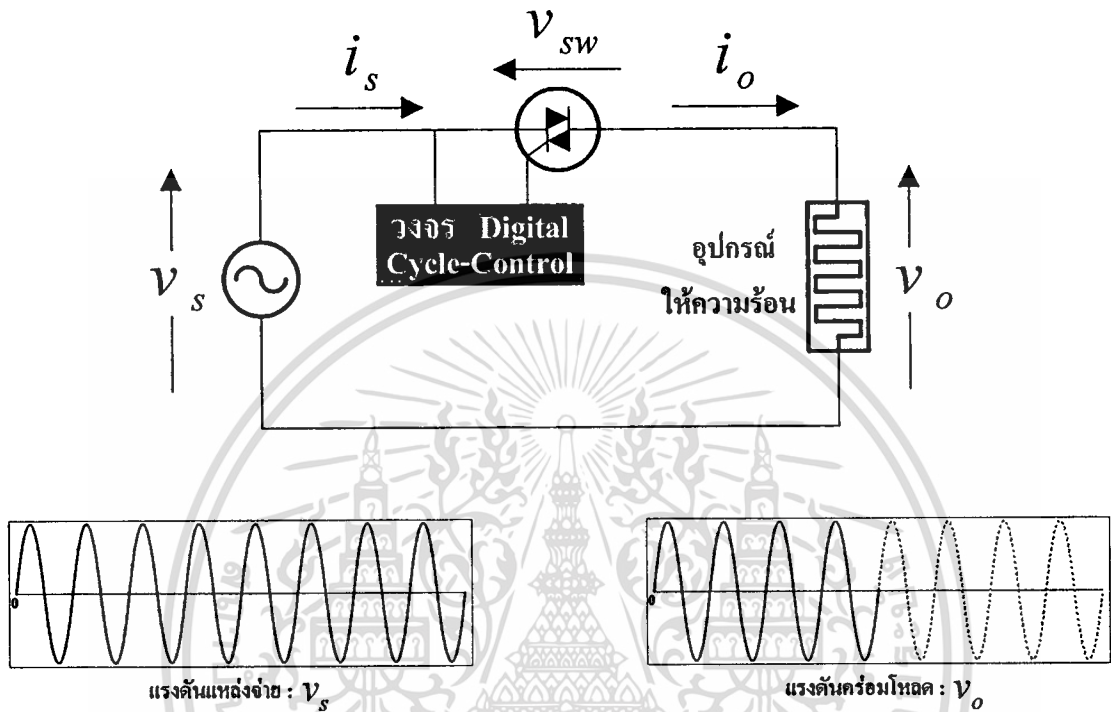
ในบทนี้จะกล่าวถึงเรื่องของการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีไซเคิลคอนโทรล ซึ่งเนื้อหาประกอบด้วยส่วนของหลักการไซเคิลคอนโทรล หลักการทำงานของวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีไซเคิลคอนโทรล การวิเคราะห์สมการของคลื่นแรงดันและกระแสวิธีไซเคิลคอนโทรล คลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตและสเปกตรัมที่ค่าจำนวนไซเคิลต่างๆ โดยวิธีไซเคิลคอนโทรล ขั้นตอนและโพลีชาร์ตแสดงการสร้างสัญญาณของคลื่นแรงดันวิธีไซเคิลคอนโทรล และการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลดชดเชยความร้อน กำลังไฟฟ้าทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้า ค่าประสิทธิภาพ ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกสักรวมของคลื่นกระแส ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านแหล่งจ่าย ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่โหลดชดเชยความร้อนวิธีไซเคิลคอนโทรล

3.2 หลักการไซเคิลคอนโทรล

ในการปรับควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า โดยใช้หลักการปรับควบคุมแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 1 เฟส 50-Hz ซึ่งโดยทั่วไปสามารถทำได้ 2 วิธีการคือ วิธีการปรับควบคุมด้วยหลักการเฟสคอนโทรล และวิธีการปรับควบคุมด้วยหลักการไซเคิลคอนโทรล ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการของไซเคิลคอนโทรล ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการควบคุมอัตราการใช้ของกระแสจากแหล่งจ่ายไปสู่โหลดของวงจรทางด้านเอาต์พุตเช่นเดียวกับวิธีเฟสคอนโทรล ซึ่งวิธีไซเคิลคอนโทรล จะทำหน้าที่ตัดต่อแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย 50-Hz ให้กับโหลดเป็นช่วงๆ โดยใช้วิธีการควบคุมจำนวนไซเคิลที่ ON ใน 1 คาบเวลา โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดจำนวนไซเคิลเต็มใน 1 คาบเวลาเท่ากับ 100 ไซเคิล ซึ่งใช้เวลาเท่ากับ 2,000 ms ดังนั้นการปรับค่าความละเอียดของวิธีไซเคิลคอนโทรลจึงสามารถปรับได้ 100 ค่า หรือ 100 ไซเคิล โดยการควบคุมใน 1 คาบเวลาจะต้องมีอย่างน้อย 1 ไซเคิลที่หายไป ซึ่งใช้เวลาเท่ากับ 20 ms ดังนั้นการควบคุมแรงดันไฟฟ้าวิธีไซเคิลคอนโทรลจึงเป็นการควบคุมแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งต่างจากวิธีเฟสคอนโทรลที่เป็นการควบคุมแบบต่อเนื่อง

การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีไซเคิลคอนโทรลจะใช้สัญญาณการตรวจจับจุดตัดศูนย์ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นจุดอ้างอิงในการเริ่มต้น ON และ OFF ไซเคิลของแรงดันไฟฟ้า และยังใช้การตรวจจับจุดตัดศูนย์ในการนับจำนวนไซเคิลของแรงดันไฟฟ้าช่วง ON เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

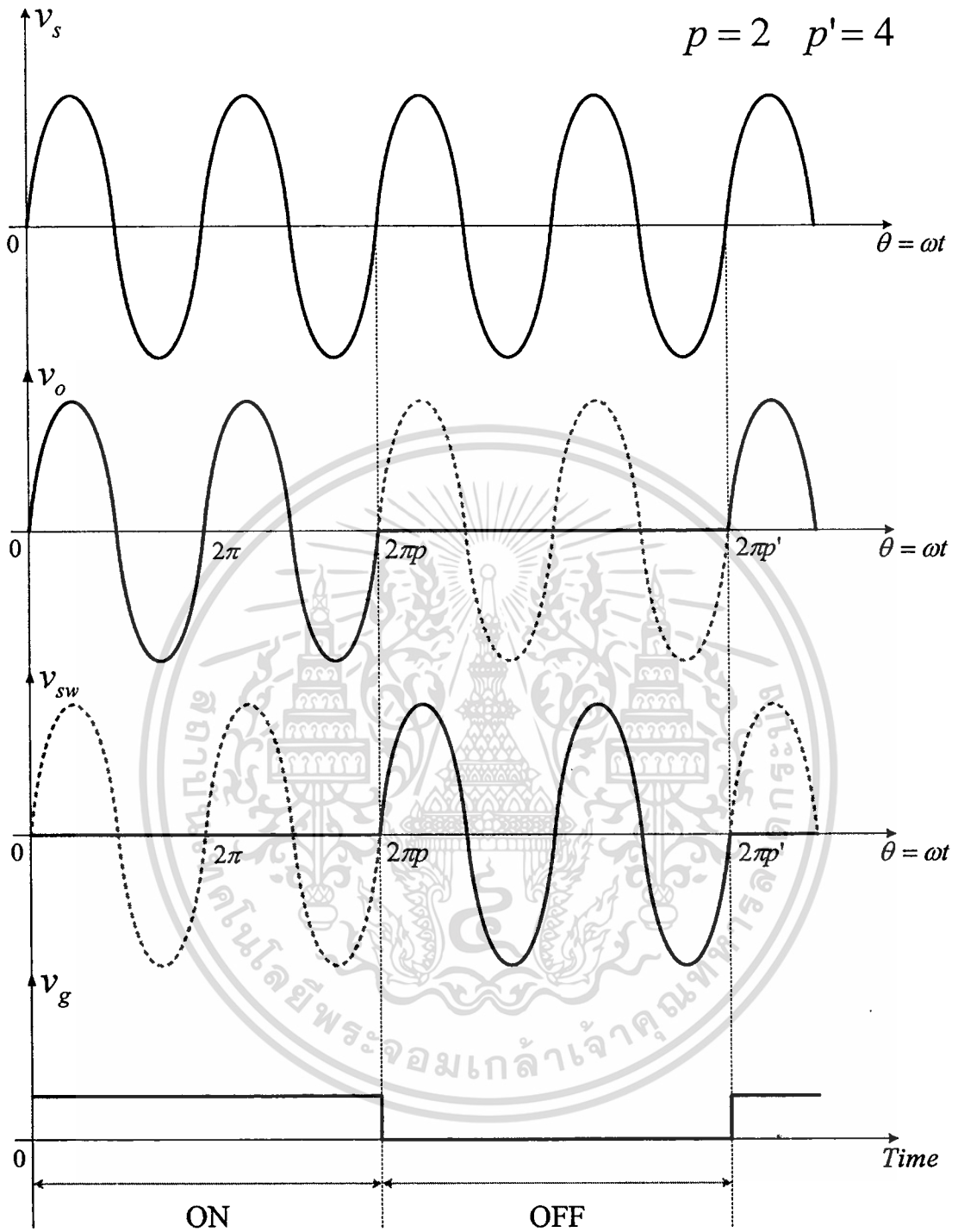
และช่วง OFF ใน 1 คาบเวลาของการควบคุม ซึ่งสัญญาณที่ได้จากส่วนของการตรวจจับจุดตัดศูนย์ จะต้องมีความเที่ยงตรง โดยจะต้องมีการเปลี่ยนระดับของลอจิกจาก 0 ไปเป็น 1 หรือ เปลี่ยนระดับของลอจิกจาก 1 ไปเป็น 0 ที่ตำแหน่งของสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นศูนย์เท่านั้น



รูปที่ 3.1 วงจรสร้างคลื่นแรงดันไฟฟ้าวิธีไซเคิลคอนโทรล

จากรูปที่ 3.1 เป็นวงจรที่ใช้ในการสร้างคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีไซเคิลคอนโทรล ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ ส่วนของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของวงจร ซึ่งเป็นสัญญาณไซน์แบบสมบูรณ์ที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 220 โวลต์ และมีค่าความถี่เท่ากับ 50-Hz ส่วนของไดรแอกซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิทช์กำลังของวงจรในการตัดต่อแรงดันไฟฟ้าระหว่างแหล่งจ่ายและโหลดทางด้านเอาต์พุต โดยตัวไดรแอกจะมีคุณสมบัติในการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้ทั้งซีกบวกและซีกลบของลูกคลื่นแรงดันไฟฟ้าในตัวเดียวกัน ซึ่งเรียกได้ว่าเป็นสวิทช์แบบสองทิศทาง ส่วนของอุปกรณ์ให้ความร้อนโดยใช้ขดลวดความร้อน (Heater) แบบครึ่งรูปตัวยู ขนาด 2,000 วัตต์ จำนวน 1 ชุด และส่วนของวงจรจับขาเกิดของไดรแอก โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมสัญญาณจับขาเกิดของไดรแอก โดยส่งสัญญาณควบคุมผ่านทางตัวเชื่อมโยงทางแสงเพื่อแยกวงจรกำลังและวงจรควบคุมออกจากกัน ซึ่งเป็นการควบคุมแบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 คลื่นแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย คลื่นแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด คลื่นแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดรแอก และสัญญาณขับขาเกตของไดรแอก ที่ค่าจำนวนไซเคิลช่วง ON (p) เท่ากับ 2 ไซเคิล จากจำนวนไซเคิลทั้งหมด (p') 4 ไซเคิล วิธีไซเคิลคอนโทรล

จากรูปที่ 3.2 เป็นคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ตกคร่อมโหลด คลื่นแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไตรแอก และสัญญาณขั้วขาเกตของไตรแอก ที่ค่าจำนวนไซเคิลช่วง ON (p) เท่ากับ 2 ไซเคิล จากจำนวนไซเคิลทั้งหมด (p') เท่ากับ 4 ไซเคิล ซึ่งสามารถแบ่งช่วงการทำงานใน 1 คาบเวลา ได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีไซเคิลคอนโทรลใน 1 คาบเวลา

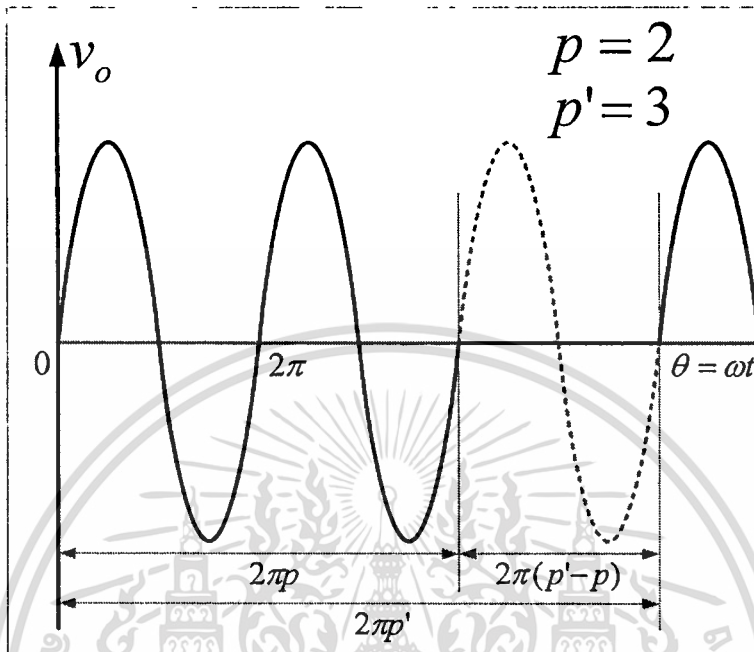
ช่วง ON	เมื่อเริ่มต้นป้อนคลื่นแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรกำลังในขณะที่ยังไม่มีสัญญาณควบคุมจากวงจรขั้วขาเกตของไตรแอก แรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายทั้งหมดจะไปตกคร่อมอยู่ที่ไตรแอก แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม โหลดเท่ากับศูนย์โวลต์ และเมื่อมีคำสั่งเริ่มต้นสร้างรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าแบบไซเคิลคอนโทรล ไตรแอกเริ่มนำกระแส โดยการสร้างคลื่นแรงดันจะเริ่มจากทางด้านซีกบวกของลูกคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่ $\theta = 0^\circ$ โดยในช่วงนี้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไตรแอก (v_{sw}) จะมีค่าเท่ากับศูนย์โวลต์ ส่วนแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด (v_o) จะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย นั่นคือมีกระแสไหลผ่านโหลดในช่วงนี้
ช่วง OFF	ในช่วงนี้ไตรแอกจะหยุดนำกระแส ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไตรแอก (v_{sw}) จะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย ส่วนแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด (v_o) จะมีค่าเท่ากับศูนย์โวลต์ นั่นคือจะไม่มีกระแสไหลผ่านโหลดในช่วงนี้

3.3 การวิเคราะห์สมการของคลื่นแรงดันและกระแสวิธีไซเคิลคอนโทรล

วงจรควบคุมการไหลของกระแส 2 ทิศทาง เป็นวงจรที่ใช้ในการควบคุมปริมาณการไหลของกระแส I_o จากแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 1-เฟส 50-Hz ผ่านสวิตช์ตัดต่อไปสู่โหลด R ซึ่งเป็นความต้านทานของขดลวดความร้อน (Heater) ซึ่งวงจรนี้จะยอมให้กระแสไหลผ่านได้ในช่วง $2\pi p$ หรือช่วงที่มีจำนวนไซเคิลเท่ากับ p ไซเคิล และจะหยุดนำกระแสในช่วง $2\pi(p'-p)$ หรือช่วงที่มีจำนวนไซเคิลเท่ากับ $p'-p$ ไซเคิล โดยที่ p คือจำนวนไซเคิลที่ ON และ p' คือจำนวนไซเคิลทั้งหมดใน 1 คาบเวลาของเอาต์พุต ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งเป็นรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดทางด้านเอาต์พุตที่มีจำนวนไซเคิลที่ ON (p) เท่ากับ 2 ไซเคิลและมีจำนวนไซเคิลทั้งหมด (p') เท่ากับ 3 ไซเคิล เพราะฉะนั้นแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต (v_o) และกระแสไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต (i_o) ในช่วงของการ ON-OFF ใน 1 คาบเวลาสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังตารางที่ 3.2 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของสมการของรูปคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุต (v_o) กระแสทางด้านเอาต์พุต (i_o) และค่า Duty Cycle (α) กับช่วงการทำงานของสวิตช์กำลังที่ใช้ในการตัดต่อคือช่วง $0 \sim p$ และช่วง $p' \sim p$ โดยในช่วงตั้งแต่ $0 \sim p$ แรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายทั้งหมดจะตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คร่อมอยู่ที่โหนดของขดลวดความร้อน และในช่วง $p' \sim p$ แรงดัน ไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายทั้งหมดจะตกคร่อมอยู่ที่สวิตช์กำลัง



รูปที่ 3.3 คลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตวิธีไซเคิลคอนโทรล

ตารางที่ 3.2 สมการ v_o , i_o ในช่วงการ ON-OFF ของสวิตช์

สมการและช่วงการทำงานของสวิตช์ : SW				
ON	ช่วง	OFF	ช่วง	Duty Cycle
$v_o = \sqrt{2}V \sin \omega t$	$0 \sim p$	$v_o = 0$	$p' - p$	$\alpha = \frac{p}{p'}$
$i_o = \frac{\sqrt{2}V \sin \omega t}{R}$	$0 \sim p$	$i_o = 0$	$p' - p$	$\alpha = \frac{p}{p'}$

โดยที่ v_o, i_o ในรูป RMS และ p_o จะมีความสัมพันธ์ดังนี้

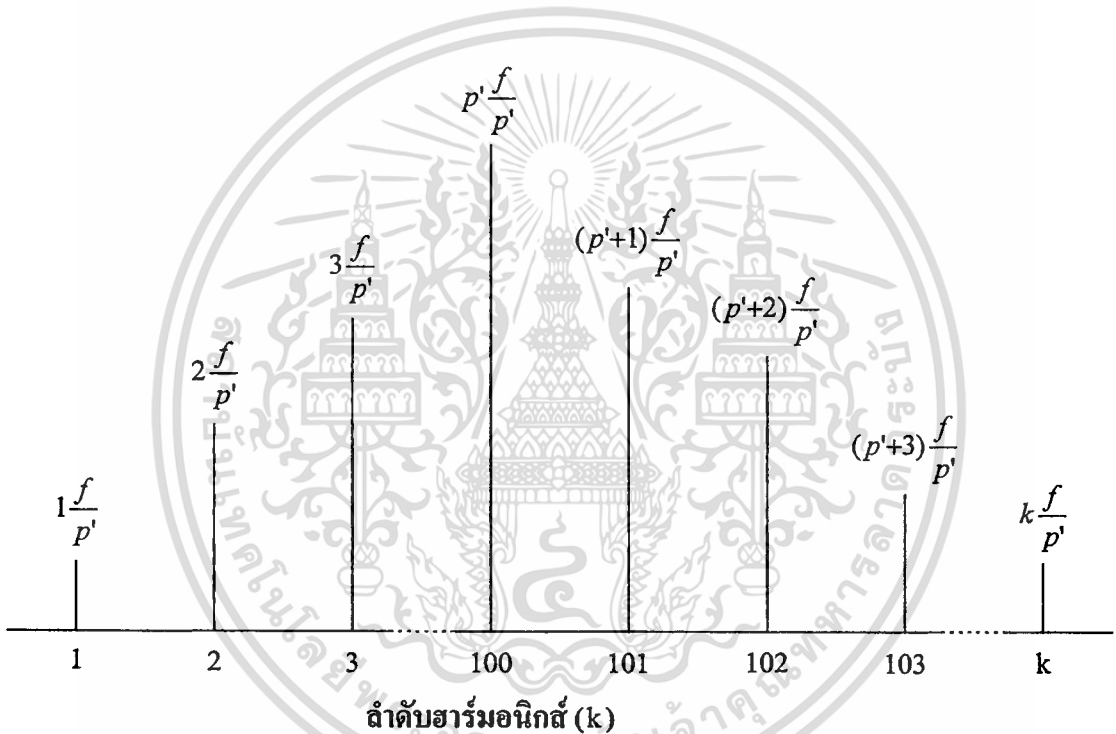
$$\frac{V_o}{V} = \frac{I_o}{I} = \sqrt{\alpha} \quad (3.1)$$

$$\frac{P_o}{P} = \frac{RI_o^2}{RI^2} = \alpha \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ V_0 , I_0 และ P_0 คือค่าแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุตในหน่วย RMS และ V , I และ P คือค่าแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้านเอาต์พุตตามลำดับ เนื่องจากคลื่นแรงดันและกระแสควบคุมทางด้านเอาต์พุตเมื่อคิดในช่วง 1 คาบเวลาของเอาต์พุตซึ่งเท่ากับ p' มีลักษณะของคลื่นไซน์ 50-Hz ที่มาๆ หยุคๆ สลับกันดังแสดงในตารางที่ 3.2 นี้ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบของคลื่นด้วยอนุกรมฟูเรียร์จะพบว่าสามารถแตกกระจายเป็นองค์ประกอบของคลื่นที่มีความถี่ต่างๆ ดังนี้

$$1f/p', 2f/p', 3f/p', \dots, p'f/p', (p'+1)f/p', (p'+2)f/p', (p'+3)f/p', \dots, kf/p' \quad (3.3)$$



รูปที่ 3.4 สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดทางด้านเอาต์พุตกรณี p' เท่ากับ 100 ไซเคิล วิธีไซเคิลคอนโทรล

โดยที่ $k = 1, 2, 3, \dots, n$ ในที่นี้องค์ประกอบ $1f/p', 2f/p', 3f/p', \dots$ ซึ่งมีความถี่ต่ำกว่าความถี่ Fundamental : $f = 50\text{-Hz}$ (ที่ $k = p'$) จะเรียกว่า Sub-Harmonics หรือ Lower Sideband (ที่ $k < p'$) และองค์ประกอบ $(p'+1)f/p', (p'+2)f/p', (p'+3)f/p', \dots, kf/p'$ ซึ่งมีความถี่สูงกว่าความถี่ Fundamental : $f = 50\text{-Hz}$ (ที่ $k = p'$) จะเรียกว่า Harmonics หรือ Upper Sideband (ที่ $k > p'$) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการกระแสเอาต์พุตได้ดังนี้

$$i = I_{1/p'} \sqrt{2} \sin(\theta / p' + \varphi_{1/p'}) + \dots + I_1 \sqrt{2} \sin(\theta + \varphi_1) + \dots + I_{k/p'} \sqrt{2} \sin(k\theta / p' + \varphi_{k/p'}) \quad (3.4)$$

$$i = \sum_{k=1}^{\infty} I_{k/p'} \sqrt{2} \sin(k\theta / p' + \varphi_{k/p'}) \quad (3.5)$$

โดยที่

$$I_{k/p'} = \sqrt{\frac{a_{k/p'}^2 + b_{k/p'}^2}{2}} \quad (3.6)$$

$$\varphi_{k/p'} = \arctan \frac{a_{k/p'}}{b_{k/p'}} \quad (3.7)$$

และ

$$a_{k/p'} = \frac{1}{p' \pi} \int_0^{2p\pi} \frac{V \sqrt{2}}{R} \sin \theta \cos \frac{k\theta}{p'} d\theta \quad (3.8)$$

$$b_{k/p'} = \frac{1}{p' \pi} \int_0^{2p\pi} \frac{V \sqrt{2}}{R} \sin \theta \sin \frac{k\theta}{p'} d\theta \quad (3.9)$$

ซึ่งจะได้ว่า

$$a_{k/p'} = \frac{\sqrt{2} I}{\pi} \frac{p'}{p'^2 - k^2} (1 - \cos 2k\pi\alpha) \quad (3.10)$$

$$b_{k/p'} = -\frac{\sqrt{2} I}{\pi} \frac{p'}{p'^2 - k^2} (\sin 2k\pi\alpha) \quad (3.11)$$

ที่องค์ประกอบ Fundamental

$$a_1 = \sqrt{2} \alpha I \quad (3.12)$$

$$b_1 = 0 \quad (3.13)$$

$$\varphi_1 = 0 \quad (3.14)$$

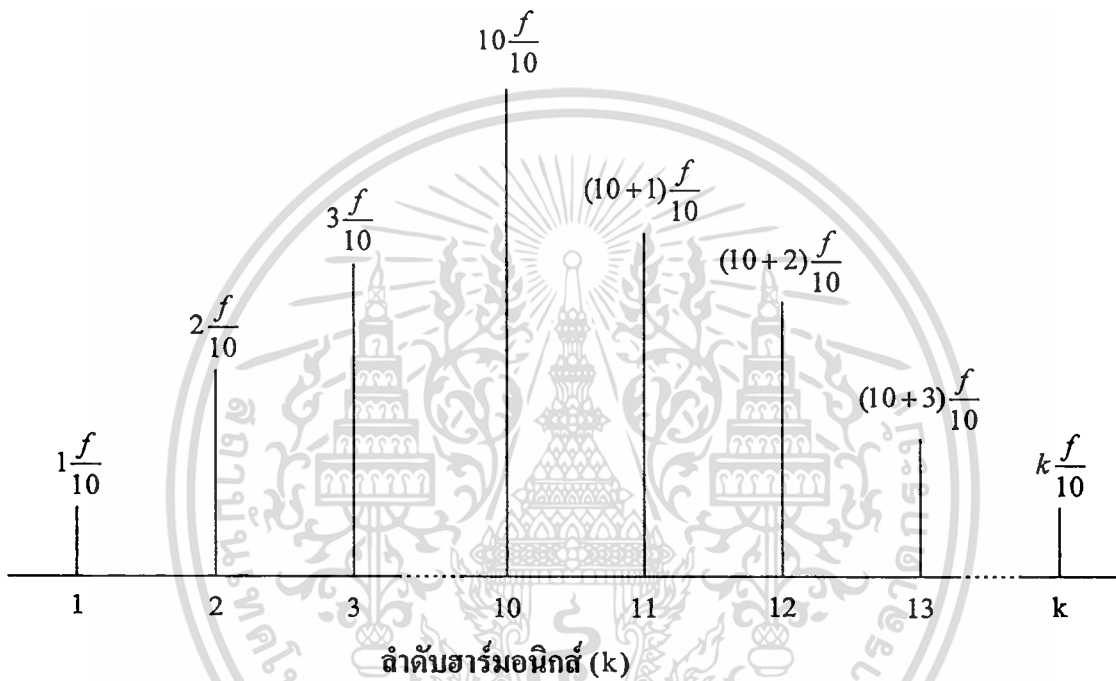
$$I_1 = \alpha I \quad (3.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่า p , p' และ α เพื่อดูผลการเปลี่ยนแปลงสเปกตรัมของ กระแสที่ไหลผ่านโหลดทางด้านเอาต์พุต วิธีไซเคิลคอนโทรล

1. กรณี p' : แปรเปลี่ยนและ α : คงที่ โดยที่ค่า $p=5$, $p'=10$, $\alpha=0.5$

$1f/10$, $2f/10$, $3f/10$,, $10f/10$, $(10+1)f/10$, $(10+2)f/10$, $(10+3)f/10$,, $kf/10$



รูปที่ 3.5 สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดกรณี p' : แปรเปลี่ยนและ α : คงที่ โดยที่ ค่า $p=5$, $p'=10$, $\alpha=0.5$ วิธีไซเคิลคอนโทรล

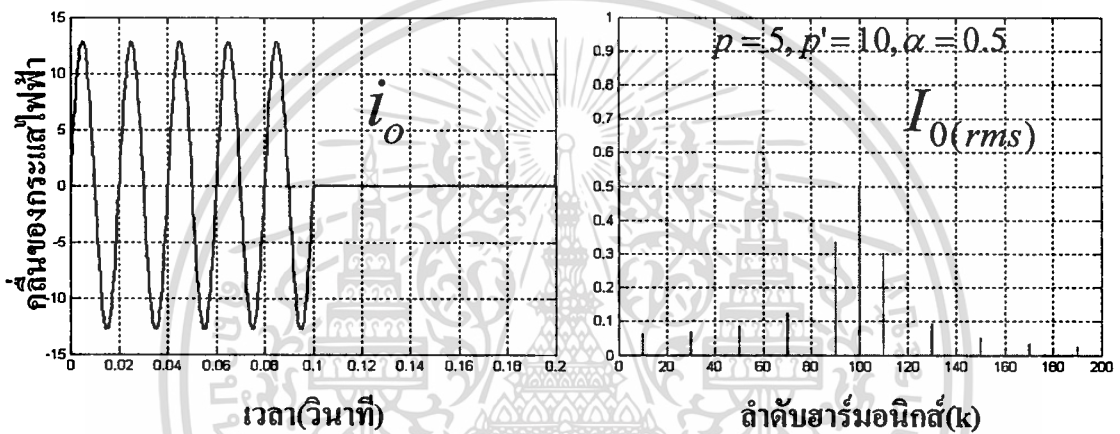
โดยที่ $k = 1, 2, 3, \dots, n$ ในที่นี้องค์ประกอบ $1f/10$, $2f/10$, $3f/10$ ซึ่งมีความถี่ต่ำกว่า ความถี่ Fundamental : $f = 50\text{-Hz}$ (ที่ $k = 10$) จะเรียกว่า Sub-Harmonics หรือ Lower Sideband (ที่ $k < 10$) และองค์ประกอบ $(10+1)f/10$, $(10+2)f/10$, $(10+3)f/10$,, $kf/10$ ซึ่งมีความถี่สูงกว่าความถี่ Fundamental : $f = 50\text{-Hz}$ (ที่ $k = 10$) จะเรียกว่า Harmonics หรือ Upper Sideband (ที่ $k > 10$) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการกระแสเอาต์พุตได้ดังนี้

$$i = I_{1/10}\sqrt{2}\sin(\theta/10 + \varphi_{1/10}) + \dots + I_1\sqrt{2}\sin(\theta + \varphi_1) + \dots + I_{k/10}\sqrt{2}\sin(k\theta/10 + \varphi_{k/10})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมของคลื่นกระแส (%THD_i) กรณี p' : แปรเปลี่ยน และ α : คงที่ โดยที่ค่า $p=5$, $p'=10$, $\alpha=0.5$

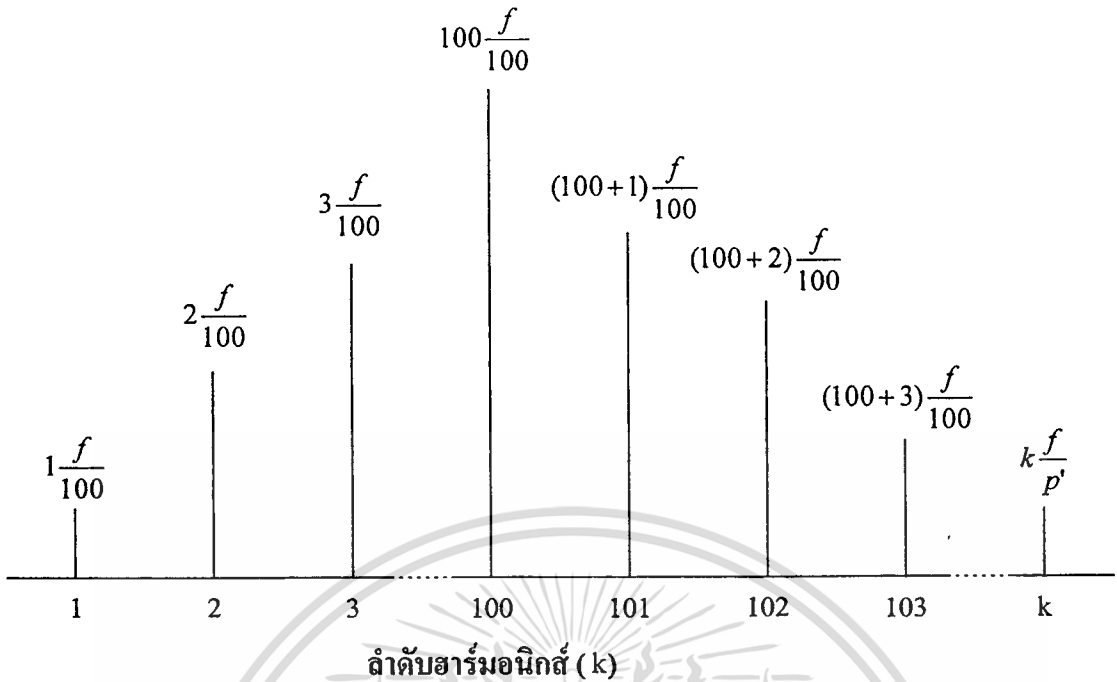
$$\begin{aligned} \%THD_i &= \frac{\sqrt{I_{o,2}^2 + I_{o,3}^2 + I_{o,4}^2 + \dots + I_{o,n}^2}}{I_{o,1}} \times 100 \text{ [%]} \\ &= \frac{0.4988}{0.5} \times 100 \\ &= 99.76 \text{ [%]} \end{aligned}$$



รูปที่ 3.6 คลื่นกระแสไฟฟ้าและสเปกตรัมของกระแส กรณี p' : แปรเปลี่ยน และ α : คงที่ โดยที่ค่า $p=5$, $p'=10$, $\alpha=0.5$ วิธีไซเคิลคอนโทรล

2. กรณี p' : แปรเปลี่ยนและ α : คงที่ โดยที่ค่า $p=50$, $p'=100$, $\alpha=0.5$

$1f/100$, $2f/100$, $3f/100$,, $100f/100$, $(100+1)f/100$, $(100+2)f/100$, $(100+3)f/100$,, $kf/100$



รูปที่ 3.7 สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดทางด้านเอาต์พุตกรณี p' : แปรเปลี่ยนและ α : คงที่ โดยที่ค่า $p = 50$, $p' = 100$, $\alpha = 0.5$ โดยวิธีไขเกล็ดคอนโทรด

โดยที่ $k = 1, 2, 3, \dots, n$ ในที่นี้องค์ประกอบ $1f/100$, $2f/100$, $3f/100$ ซึ่งมีความถี่ต่ำกว่าความถี่ Fundamental : $f = 50$ Hz (ที่ $k = 100$) จะเรียกว่า Sub-Harmonics หรือ Lower Sideband (ที่ $k < 100$) และองค์ประกอบ $(100+1)f/100$, $(100+2)f/100$, $(100+3)f/100$, , $kf/100$ ซึ่งมีความถี่สูงกว่าความถี่ Fundamental : $f = 50$ Hz (ที่ $k = 100$) จะเรียกว่า Harmonics หรือ Upper Sideband (ที่ $k > 100$) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการกระแสเอาต์พุตได้ดังนี้

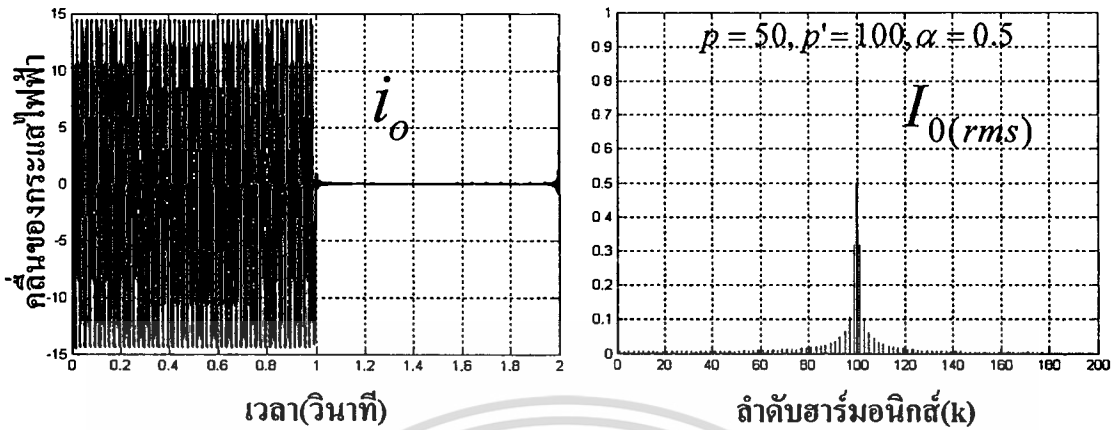
$$i = I_{1/100} \sqrt{2} \sin(\theta/100 + \varphi_{1/100}) + \dots + I_1 \sqrt{2} \sin(\theta + \varphi_1) + \dots + I_{k/100} \sqrt{2} \sin(k\theta/100 + \varphi_{k/100})$$

จากสมการค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมของคลื่นกระแส (%THD_i) กรณี p' : แปรเปลี่ยน และ α : คงที่ โดยที่ค่า $p = 50$, $p' = 100$, $\alpha = 0.5$ จะได้ว่า

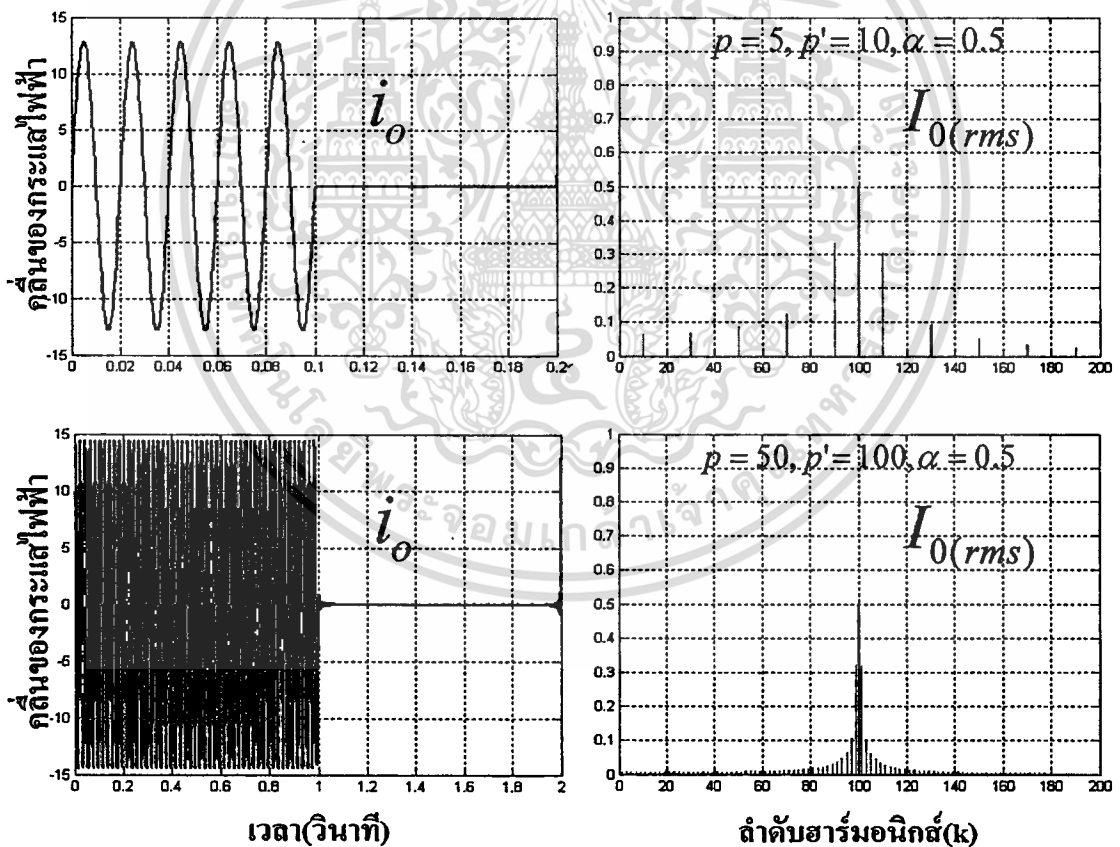
$$\begin{aligned} \%THD_i &= \frac{\sqrt{I_{o,2}^2 + I_{o,3}^2 + I_{o,4}^2 + \dots + I_{o,n}^2}}{I_{o,1}} \times 100 \text{ [%]} \\ &= \frac{0.4999}{0.5} \times 100 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 99.98 [%]



รูปที่ 3.8 คลื่นกระแสไฟฟ้าและสเปกตรัมของกระแส กรณี p' : แปรเปลี่ยนและ α : คงที่ โดยที่ค่า $p = 50, p' = 100, \alpha = 0.5$ วิธีไซเคิลคอนโทรล



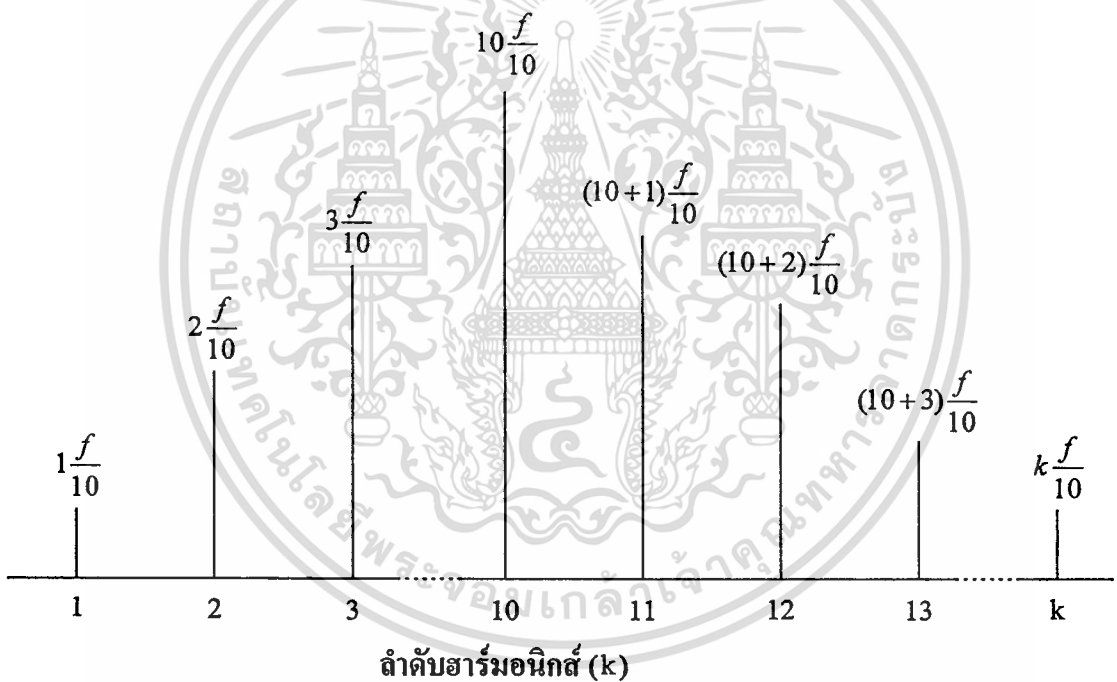
รูปที่ 3.9 เปรียบเทียบคลื่นกระแสไฟฟ้าและสเปกตรัมของกระแสเอาต์พุต I_0 กรณี p' : แปรเปลี่ยนและ α : คงที่ ที่ค่า $p = 5, p' = 10, \alpha = 0.5$ และ $p = 50, p' = 100, \alpha = 0.5$ วิธีไซเคิลคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.9 จะแสดงให้เห็นถึงสเปกตรัมของคลื่นกระแสเอาต์พุต i_o ที่ได้จากการ ซิมมูลเตทภายใต้การเปลี่ยนแปลงของค่า α และค่า p' โดยจะกำหนดให้ค่า α คงที่เท่ากับ 0.5 ในขณะที่ค่าของ p' แปรเปลี่ยนไปจาก 10 เป็น 100 เพื่อที่จะดูองค์ประกอบของ Fundamental ของคลื่นกระแสทางด้านเอาต์พุต i_o ซึ่งปรากฏว่ามีค่าคงที่ ในขณะที่แถบสเปกตรัมมีการเปลี่ยนแปลงไป โดยในการเพิ่มค่า p' นั้นจะทำให้ลำดับของ Sub-Harmonics และลำดับของ Harmonics เพิ่มขึ้น และค่า Amplitude ลดลง แต่ Fundamental ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

3. กรณี p' : คงที่ และ α : แปรเปลี่ยน โดยที่ค่า $p = 4, p' = 10, \alpha = 0.4$

$1f/10, 2f/10, 3f/10, \dots, 10f/10, (10+1)f/10, (10+2)f/10, (10+3)f/10, \dots, kf/10$



รูปที่ 3.10 สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดทางด้านเอาต์พุตกรณี p' : แปรเปลี่ยนและ α : คงที่ โดยที่ค่า $p = 4, p' = 10, \alpha = 0.4$ วิธีไซเคิลคอนโทรล

โดยที่ $k = 1, 2, 3, \dots, n$ ในที่นี้องค์ประกอบ $1f/10, 2f/10, 3f/10$ ซึ่งมีความถี่ต่ำกว่าความถี่ Fundamental : $f = 50\text{-Hz}$ (ที่ $k = 10$) จะเรียกว่า Sub-Harmonics หรือ Lower Sideband (ที่ $k < 10$) และองค์ประกอบ $(10+1)f/10, (10+2)f/10, (10+3)f/10, \dots, kf/10$ ซึ่งมีความถี่สูงกว่าความถี่ Fundamental : $f = 50\text{-Hz}$ (ที่ $k = 10$) จะเรียกว่า Harmonics หรือ

Upper Sideband (ที่ $k > 10$) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการกระแสเอาต์พุตได้ดังนี้ ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i = I_{1/10}\sqrt{2}\sin(\theta/10 + \varphi_{1/10}) + \dots + I_1\sqrt{2}\sin(\theta + \varphi_1) + \dots + I_{k/10}\sqrt{2}\sin(k\theta/10 + \varphi_{k/10})$$

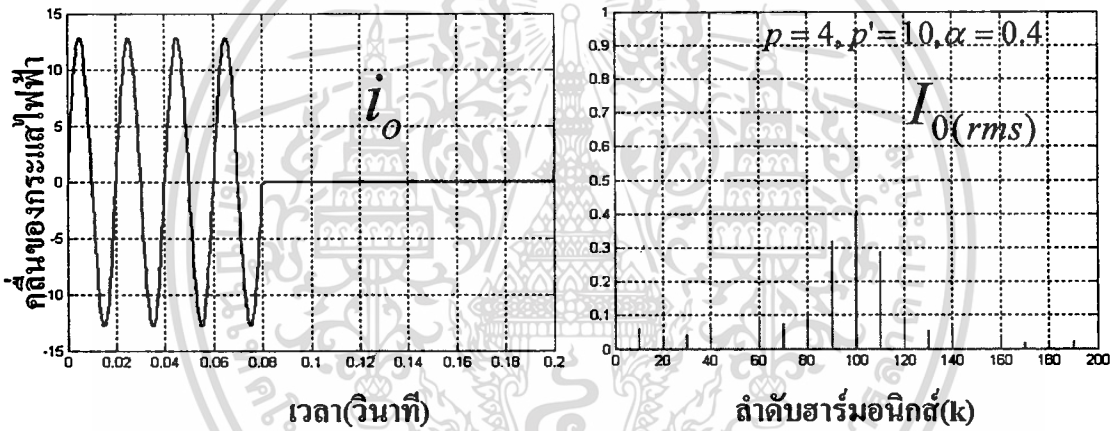
จากสมการค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกสรวมของคลื่นกระแส (%THD_i) กรณี

p' : คงที่ และ α : แปรเปลี่ยน โดยที่ค่า $p=4$, $p'=10$, $\alpha=0.4$

$$\%THD_i = \frac{\sqrt{I_{o,2}^2 + I_{o,3}^2 + I_{o,4}^2 + \dots + I_{o,n}^2}}{I_{o,1}} \times 100 \text{ [%]}$$

$$= \frac{0.4887}{0.4} \times 100$$

$$= 122.1736 \text{ [%]}$$

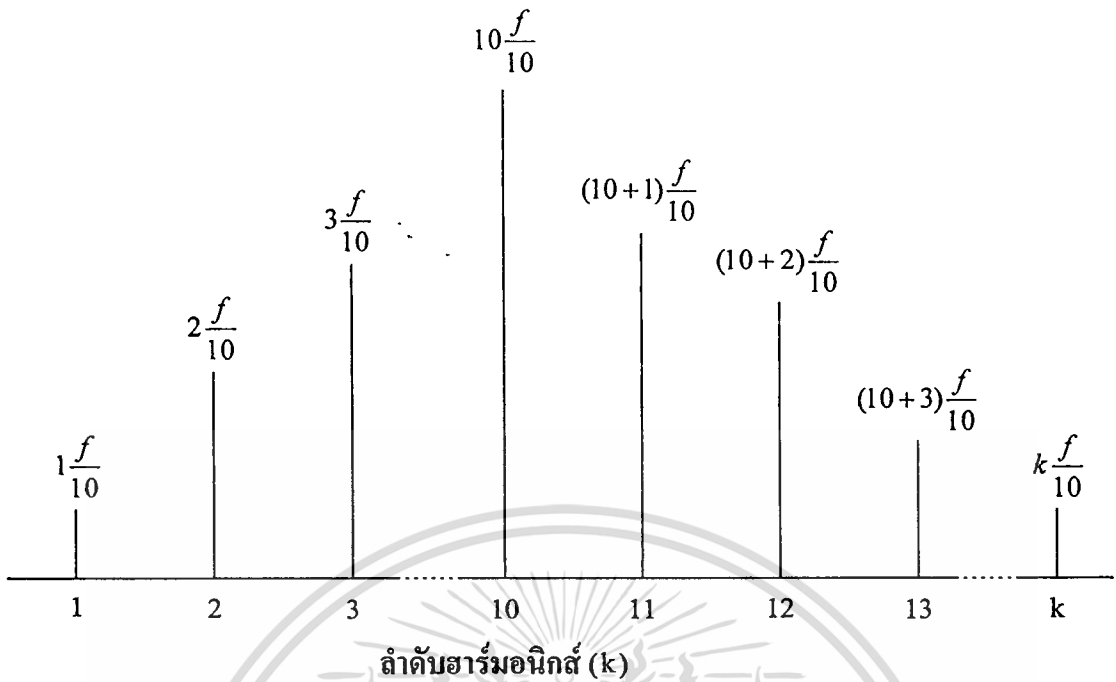


รูปที่ 3.11 คลื่นกระแสไฟฟ้าและสเปกตรัมของกระแส กรณี p' : คงที่ และ α : แปรเปลี่ยน โดยที่ค่า $p=4$, $p'=10$, $\alpha=0.4$ วิธีไซเคิลคอนโทรล

4. กรณี p' : คงที่ และ α : แปรเปลี่ยน โดยที่ค่า $p=6$, $p'=10$, $\alpha=0.6$

$1f/10$, $2f/10$, $3f/10$,, $10f/10$, $(10+1)f/10$, $(10+2)f/10$, $(10+3)f/10$,, $kf/10$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 สเปกตรัมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดทางด้านเอาต์พุตกรณี p' : แปรเปลี่ยนและ α : คงที่ โดยที่ค่า $p = 6$, $p' = 10$, $\alpha = 0.6$ วิถีไซเคิลคอนโทรล

โดยที่ $k = 1, 2, 3, \dots, n$ ในที่นี้องค์ประกอบ $1f/10$, $2f/10$, $3f/10$ ซึ่งมีความถี่ต่ำกว่าความถี่ Fundamental : $f = 50\text{-Hz}$ (ที่ $k = 10$) จะเรียกว่า Sub-Harmonics หรือ Lower Sideband (ที่ $k < 10$) และองค์ประกอบ $(10+1)f/10$, $(10+2)f/10$, $(10+3)f/10$,, $kf/10$ ซึ่งมีความถี่สูงกว่าความถี่ Fundamental : $f = 50\text{-Hz}$ (ที่ $k = 10$) จะเรียกว่า Harmonics หรือ Upper Sideband (ที่ $k > 10$) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการกระแสเอาต์พุตได้ดังนี้

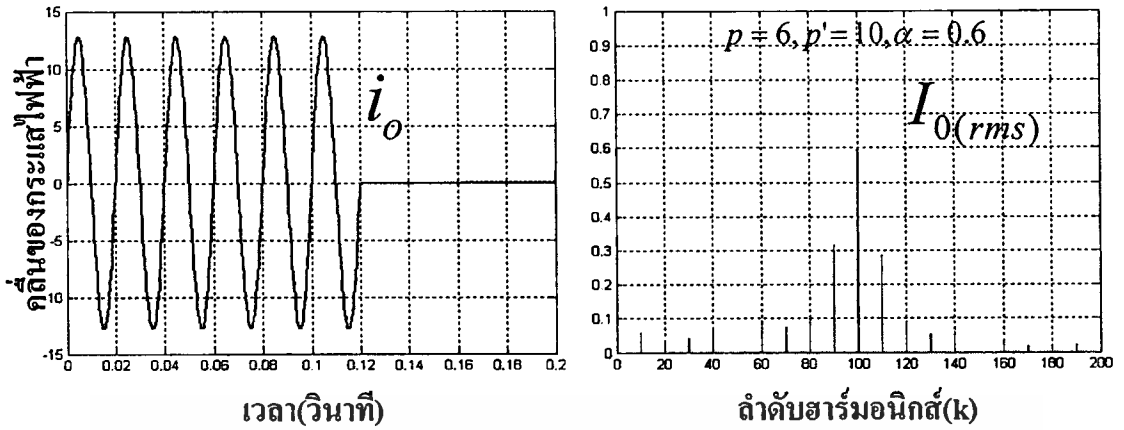
$$i = I_{1/10} \sqrt{2} \sin(\theta/10 + \varphi_{1/10}) + \dots + I_1 \sqrt{2} \sin(\theta + \varphi_1) + \dots + I_{k/10} \sqrt{2} \sin(k\theta/10 + \varphi_{k/10})$$

จากสมการค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมของคลื่นกระแส (%THD_i) กรณี

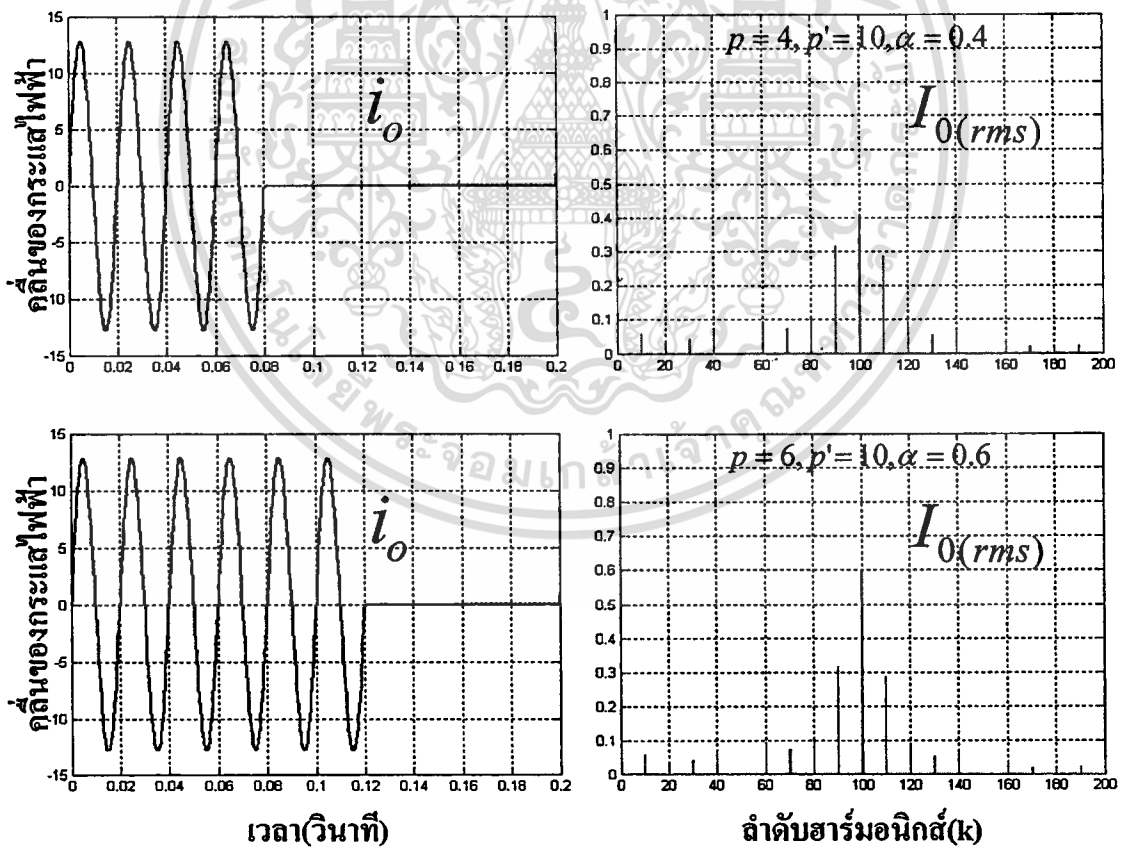
p' : คงที่ และ α : แปรเปลี่ยน โดยที่ค่า $p = 6$, $p' = 10$, $\alpha = 0.6$

$$\begin{aligned} \%THD_i &= \frac{\sqrt{I_{o,2}^2 + I_{o,3}^2 + I_{o,4}^2 + \dots + I_{o,n}^2}}{I_{o,1}} \times 100 [\%] \\ &= \frac{0.4887}{0.6} \times 100 \\ &= 81.4491 [\%] \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 คลื่นกระแสไฟฟ้าและสเปกตรัมของกระแส กรณี p' : คงที่ และ α : แปรเปลี่ยน โดยที่ค่า $p = 6$, $p' = 10$, $\alpha = 0.6$ วิธีไซเคิลคอนโทรล

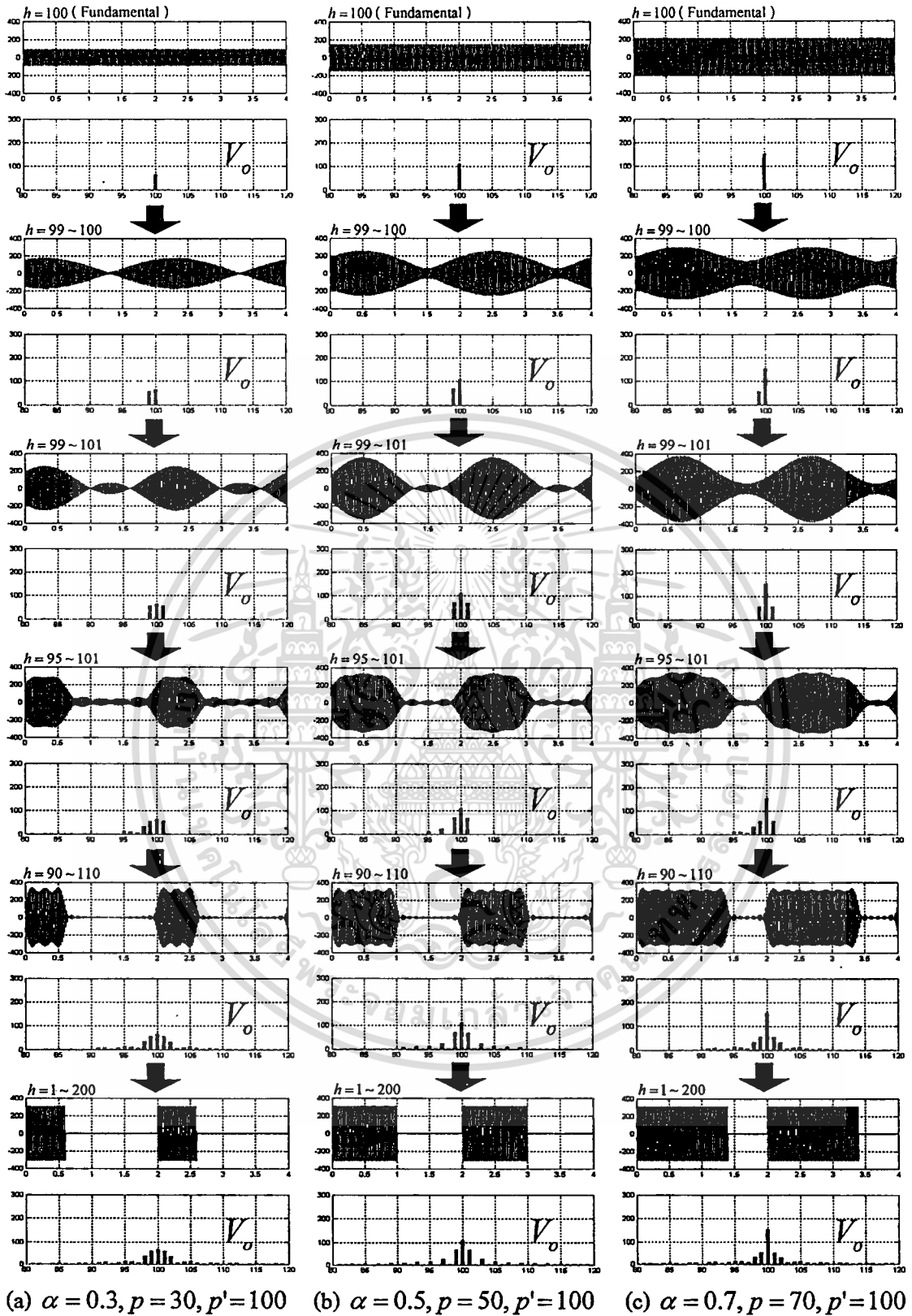


รูปที่ 3.14 เปรียบเทียบคลื่นกระแสไฟฟ้าและสเปกตรัมของกระแสเอาต์พุต I_o กรณี p' : คงที่ และ α : แปรเปลี่ยน ที่ค่า $p = 4$, $p' = 10$, $\alpha = 0.4$ และ $p = 6$, $p' = 10$, $\alpha = 0.6$

เอกสารวิธีไซเคิลคอนโทรลไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.14 ซึ่งกำหนดให้ค่า p' คงที่ ที่ 10 ในขณะที่ α แปรเปลี่ยนไปจาก 0.4 เป็น 0.6 เพื่อดูองค์ประกอบของ Fundamental ของคลื่น ซึ่งปรากฏว่าที่ α เท่ากับ 0.6 จะมีค่ามากกว่าที่ α เท่ากับ 0.4 นั้นหมายถึงกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกจากแหล่งจ่ายที่ α เท่ากับ 0.6 จะมีค่ามากกว่าที่ α เท่ากับ 0.4 โดยในการเปลี่ยนแปลงค่า α นั้นจะทำให้ Fundamental มีการเปลี่ยนแปลง แต่ Sub-Harmonics และ Harmonics จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง จากรูปที่ 3.15 แสดงการรวมคลื่นแรงดัน Fundamental กับคลื่น Harmonics ในลำดับต่างๆ กันของคลื่นไซน์เกิดคอนโทรลทางด้านเอาต์พุตที่ได้จากการซิมมูลอย่างเป็นขั้นตอนจากลำดับคลื่นที่อยู่ใกล้ Fundamental ออกไปทั้ง 2 Sideband ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของเงื่อนไขต่างๆ โดยกำหนดให้ค่า p' เท่ากับ 100 ไซเคิล คงที่ตลอด แล้วทำการเปลี่ยนแปลงค่าของ α ให้มีค่าเท่ากับ 0.3 , 0.5 และ 0.7 และค่า p เท่ากับ 30 , 50 และ 70 ตามลำดับ



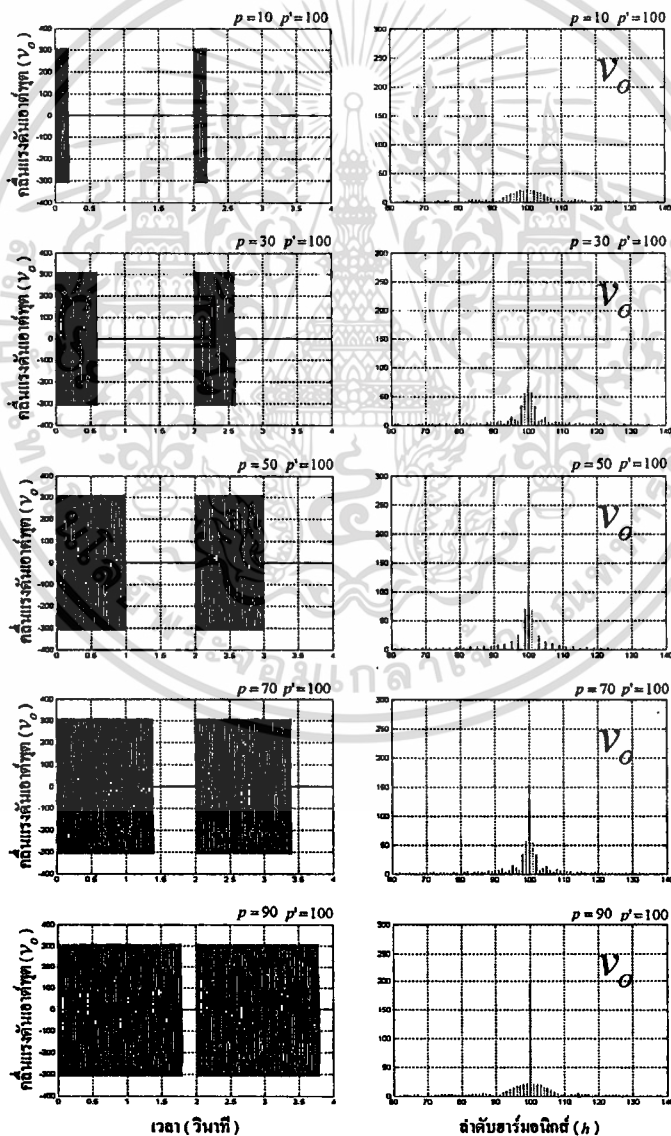


รูปที่ 3.15 การรวมคลื่นแรงดันของฟิวดาเมนทอลและฮาร์มอนิกส์ในลำดับต่างๆ ในกรณีของการควบคุมโดยวิธีไซเคิลคอนโทรลที่ค่าจำนวนไซเคิล p เท่ากับ 30, 50 และ 70 ไซเคิล จากค่าจำนวนไซเคิลทั้งหมด (p') เท่ากับ 100 ไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 คลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุต และสเปกตรัมที่ค่าจำนวนไซเคิลต่างๆ โดยวิธีไซเคิลคอนโทรล

จากรูปที่ 3.16 เป็นกราฟของสเปกตรัมของคลื่นแรงดันเอาต์พุต V_o โดยวิธีไซเคิลคอนโทรล ที่ได้จากการทดลองและการซิมูเลชันภายใต้การเปลี่ยนแปลงของจำนวนไซเคิล p เท่ากับ 10, 30, 50, 70 และ 90 ตามลำดับ โดยกำหนดให้ค่าจำนวนไซเคิลทั้งหมด p' เท่ากับ 100 ไซเคิล คงที่ตลอด พบว่าเมื่อค่าจำนวนไซเคิล p เพิ่มขึ้นจะมีผลโดยตรงกับ Fundamental ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นและจากกราฟจะประกอบไปด้วยสเปกตรัมของ Fundamental และ Harmonics ซึ่งสเปกตรัมของ Harmonics นี้จะมีค่าความถี่ที่สูงกว่า และต่ำกว่าความถี่ Fundamental ซึ่งจะต่างจากวิธีเฟสคอนโทรล ที่มีสเปกตรัมของ Harmonics ที่มีค่าความถี่สูงกว่า Fundamental เท่านั้น



รูปที่ 3.16 - ลักษณะคลื่นแรงดันที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อน (Heater) และสเปกตรัมที่ค่า

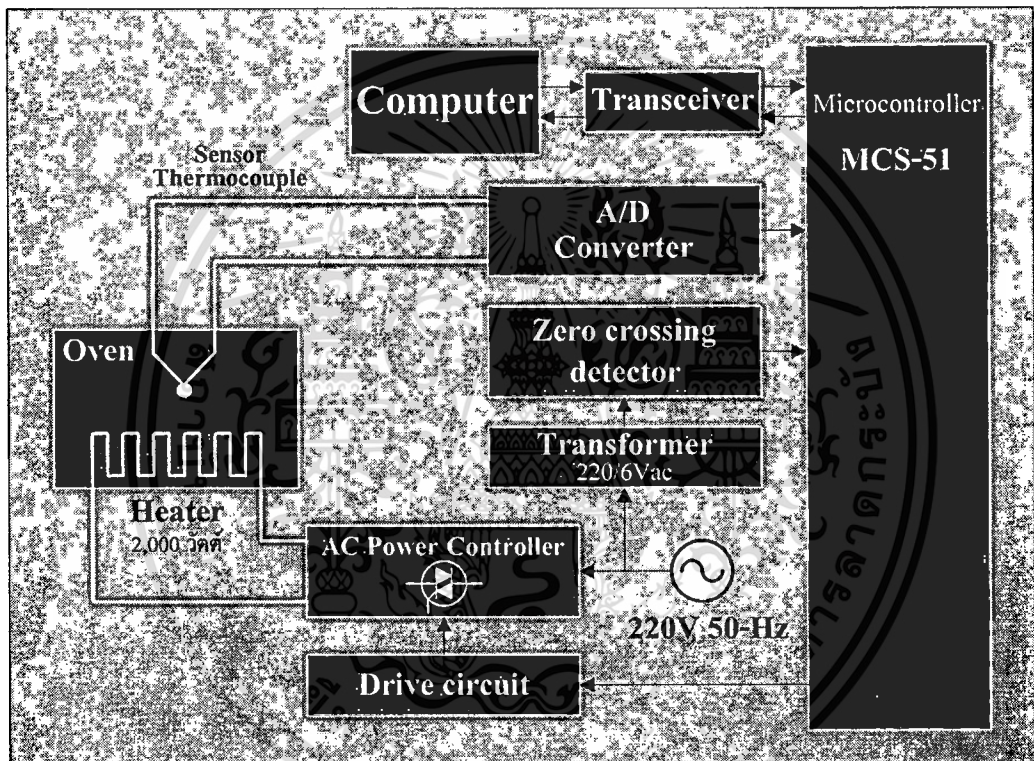
จำนวนไซเคิล p เท่ากับ 10, 30, 50, 70 และ 90 ไซเคิล วิธีไซเคิลคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น และผู้ใดที่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 หลักการทำงานของวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีไซเคลคอนโทรล

ในการสร้างรูปคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตแบบไซเคลคอนโทรลจะใช้หลักการควบคุมการทำงานและการแสดงผลต่างๆ แบบดิจิทัล โดยในการกำหนดค่าของอุณหภูมิ และเวลาใช้งานจะกระทำผ่านทางคอมพิวเตอร์ โดยคอมพิวเตอร์จะส่งคำสั่งควบคุมและค่าของจำนวนไซเคลการ ON ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์และเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับคำสั่ง ON ก็จะทำการตรวจจับจุดผ่านศูนย์เพื่อเริ่มต้นกระบวนการสร้างรูปคลื่นแรงดันแบบไซเคลคอนโทรล ดังแสดงด้วยบล็อกไดอะแกรมรวมในรูปที่ 3.17 โดยสามารถแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.17 บล็อกไดอะแกรมรวมแสดงหลักการสร้างสัญญาณควบคุมวิธีไซเคลคอนโทรลแบบดิจิทัล

1. Computer (ส่วนของคอมพิวเตอร์)

ทำหน้าที่แสดงฟังก์ชันการทำงาน ค่ามุมเฟสที่ใช้งาน อุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า ค่าเวลาที่ใช้ในการทดสอบ และยังเป็นส่วนที่ใช้ในการเก็บ โปรแกรมควบคุมการทำงาน โปรแกรมควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรมวิซวลเบสิก 6.0 เขียนเป็นโปรแกรมมอนิเตอร์ นอกจากนั้นยังทำหน้าที่ในการบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าลงฐานข้อมูล โดยใช้โปรแกรม Microsoft Office Access 2003 เป็นฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Transceiver (ส่วนของการสื่อสารอนุกรม)

ทำหน้าที่แปลงระดับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าระหว่างคอมพิวเตอรืและไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งระดับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าของพอร์ตอนุกรม RS-232 ที่คอมพิวเตอรื มีระดับของสัญญาณอยู่ในช่วง ± 3 โวลต์ ถึง ± 15 โวลต์ ในขณะที่ระดับสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นระดับสัญญาณแบบ TTL ที่มีระดับของแรงดันอยู่ในช่วง 0 โวลต์ ถึง +5 โวลต์ ดังนั้นคอมพิวเตอรืจึงไม่สามารถเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยตรง จึงต้องอาศัยการเชื่อมต่อผ่านไอซีแปลงระดับสัญญาณ ซึ่งไอซีนี้จะทำหน้าที่ในการแปลงระดับสัญญาณข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์จากระดับสัญญาณแบบ TTL ไปเป็นระดับสัญญาณแบบ RS-232 และทำการแปลงข้อมูลจากคอมพิวเตอรืจากระดับสัญญาณแบบ RS-232 ไปเป็นระดับสัญญาณแบบ TTL เพื่อให้คอมพิวเตอรืสามารถรับส่งข้อมูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

3. Microcontroller (ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์)

ทำหน้าที่รับคำสั่งจากคอมพิวเตอรืเพื่อไปควบคุมอุปกรณ์ในส่วนต่างๆ ที่เชื่อมต่ออยู่กับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอรืและอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่สร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้าแบบไซเคิลคอนโทรล และเป็นส่วนที่ใช้เก็บโปรแกรมส่วนของการสร้างรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบไซเคิลคอนโทรล โปรแกรมตรวจจับจุดตัดศูนย์ โปรแกรมคำนวณค่าอูณหภูมื และโปรแกรมที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม

4. Zero crossing detector (ส่วนของการตรวจจับจุดตัดศูนย์)

ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 6 โวลต์ ทางด้านอินพุตไปเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 0 โวลต์ และ 5 โวลต์ ทางด้านเอาต์พุตแล้วส่งค่าที่แปลงได้เข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้เป็นจุดอ้างอิงในการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้น ON-OFF คลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

5. Drive circuit (ส่วนของวงจรขับ)

ทำหน้าที่รับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วนำคำสั่งที่ได้รับไปควบคุมการทำงานของไทรแอกให้ ON หรือ OFF ตามจังหวะที่ได้กำหนดไว้ โดยส่วนของวงจรขับจะมีการเชื่อมต่อกับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางตัวเชื่อมโยงทางแสงเพื่อแยกวงจรกำลังและวงจรควบคุมออกจากกัน

6. Heater (ส่วนของขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า)

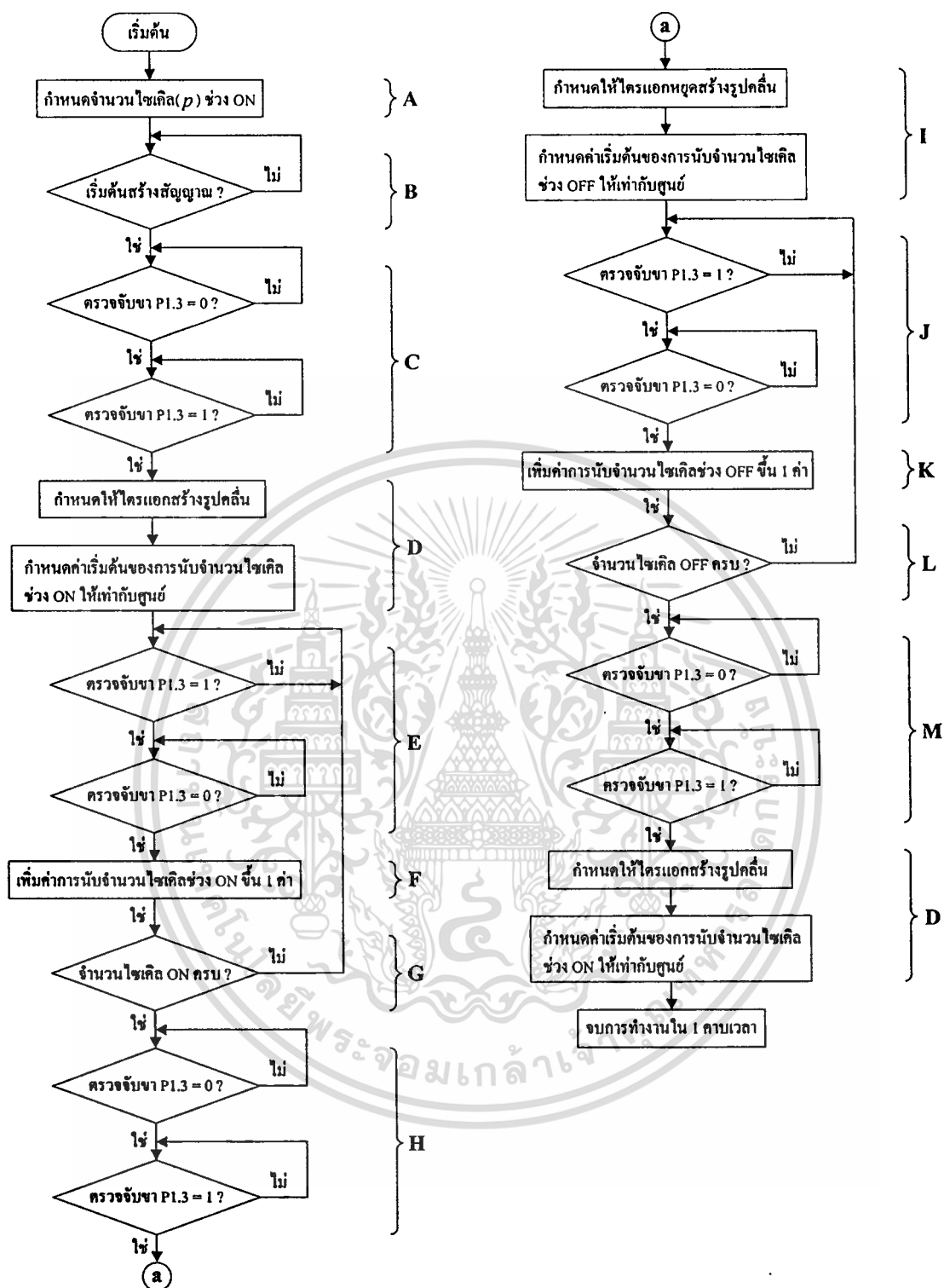
ทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า ซึ่งจะให้ความร้อนในระดับต่างๆ ตามค่าของเปอร์เซ็นต์ ON ที่กำหนด โดยระดับของความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าของเปอร์เซ็นต์ ON ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ขดลวดความร้อนแบบครีบริปตัวยู ขนาด 2,000 วัตต์ จำนวน 1 ชุด มีเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ 12 มม. มีขนาดความยาว 400 มม. ตัวท่อและครีบริปทำจากสแตนเลส 304 (SUS 304) ซึ่งเป็นขดลวดความร้อนชนิดที่ใช้ในอากาศ โดยจะต้องใช้พัลลคมเป่าที่ตัวขดลวดความร้อนเพื่อช่วยระบายความร้อน ซึ่งเป็นการยืดอายุการใช้งานของขดลวดความร้อน

7. Sensor thermocouple (ส่วนของตัวตรวจจับอุณหภูมิในตู้อบไฟฟ้า)

ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า โดยในงานวิจัยนี้ใช้เทอร์โมคัพเปิล ชนิด K แบบหัวสกรูวัดอุณหภูมิใช้งานสูงสุด 400°C ซึ่งเทอร์โมคัพเปิลจะสร้างแรงดันไฟฟ้าขึ้นทางด้านเอาต์พุตจากค่าของอุณหภูมิที่วัดได้ภายในตู้อบไฟฟ้า ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะอยู่ในย่านของมิลลิโวลต์ จึงต้องนำเข้าสู่ส่วนขยายแรงดันและทำการแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าแบบแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าแบบดิจิทัล และนำค่าที่ได้เข้าไมโครคอนโทรลเลอร์

3.6 ขั้นตอนและโฟลว์ชาร์ตแสดงการสร้างสัญญาณของคลื่นแรงดันวิธีไซเคิลคอนโทรล

การสร้างรูปคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตแบบไซเคิลคอนโทรล ที่มีการควบคุมการทำงานแบบดิจิทัล โดยใช้คอมพิวเตอร์ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะมีรายละเอียดแสดงขั้นตอนในการสร้างสัญญาณเพื่อควบคุมจำนวนไซเคิลช่วง ON และช่วง OFF ดังแสดงในรูปที่ 3.18 ซึ่งเป็นโฟลว์ชาร์ตสำหรับการสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของไครเอกแบบไซเคิลคอนโทรล โดยจะแสดงให้เห็นถึงลำดับขั้นตอนต่างๆ ของการทำงานใน 1 คาบเวลา และในตารางที่ 3.3 เป็นรายละเอียดของโฟลว์ชาร์ตในการสร้างคลื่นเอาต์พุต v_o ของรูปที่ 3.18 ในช่วงต่างๆ แบบไซเคิลคอนโทรล



รูปที่ 3.18 โฟลว์ชาร์ตสำหรับสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของไครแอควิธีไซเคิลคอนโทรล

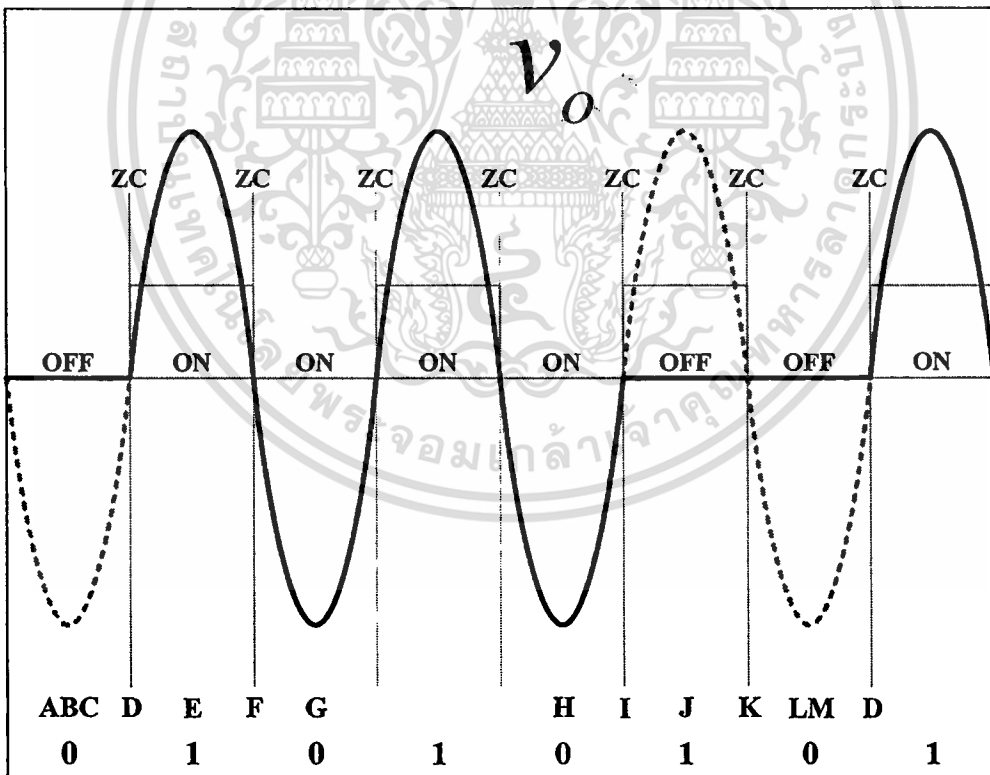
ตารางที่ 3.3 การสร้างคลื่นแรงดันทางค่านเอาต์พุต v_o ด้วยวิธีไซเคิลคอนโทรล

ช่วงการทำงาน	รายละเอียดการทำงาน
ช่วง A	กำหนดค่าจำนวนไซเคิลช่วง ON ที่ใช้ป้อนให้กับโพลคดลวดความร้อน โดยกำหนดผ่านทางคอมพิวเตอร์แล้วส่งค่าให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสร้างคลื่นแรงดันแบบไซเคิลคอนโทรล
ช่วง B	ตรวจสอบเริ่มต้นการสร้างสัญญาณแบบไซเคิลคอนโทรล
ช่วง C	เมื่อเริ่มต้นสร้างสัญญาณแบบไซเคิลคอนโทรล ไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจสอบสัญญาณจุดตัดศูนย์ที่ป้อนเข้ามาที่ขาอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ขา 4 (P1.3 : CEX0) ซึ่งระดับสัญญาณเปลี่ยนจากลอจิก 0 ไปเป็นลอจิก 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.20
ช่วง D	ไครแอนกักระแส เพื่อป้อนคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายไปสู่โพลคดลวดความร้อน และกำหนดค่าเริ่มต้นของการนับจำนวนไซเคิลช่วง ON ให้เท่ากับศูนย์
ช่วง E	ไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบสัญญาณจุดตัดศูนย์ที่ป้อนเข้ามาที่ขาอินพุตที่ขา 4 (P1.3 : CEX0) ซึ่งระดับสัญญาณเปลี่ยนจากลอจิก 1 ไปเป็นลอจิก 0 ดังแสดงในรูปที่ 3.21
ช่วง F	เริ่มนับจำนวนไซเคิลช่วง ON โดยเพิ่มค่าการนับขึ้นหนึ่งค่า
ช่วง G	ตรวจสอบจำนวนไซเคิลช่วง ON ครบตามที่กำหนดหรือไม่ ถ้าไม่ครบจะนับจำนวนไซเคิลถัดไปที่ระดับสัญญาณเปลี่ยนจากลอจิก 1 ไปเป็นลอจิก 0 ต่อจนครบจำนวนที่กำหนด
ช่วง H	ไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบสัญญาณจุดตัดศูนย์ที่ป้อนเข้ามาที่ขาอินพุตที่ขา 4 (P1.3 : CEX0) ซึ่งระดับสัญญาณเปลี่ยนจากลอจิก 0 ไปเป็นลอจิก 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.20
ช่วง I	ไครแอนกักระแส เพื่อหยุดป้อนคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายไปสู่โพลคดลวดความร้อน และกำหนดค่าเริ่มต้นของการนับจำนวนไซเคิลช่วง OFF ให้เท่ากับศูนย์
ช่วง J	ไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบสัญญาณจุดตัดศูนย์ที่ป้อนเข้ามาที่ขาอินพุตที่ขา 4 (P1.3 : CEX0) ซึ่งระดับสัญญาณเปลี่ยนจากลอจิก 1 ไปเป็นลอจิก 0 ดังแสดงในรูปที่ 3.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

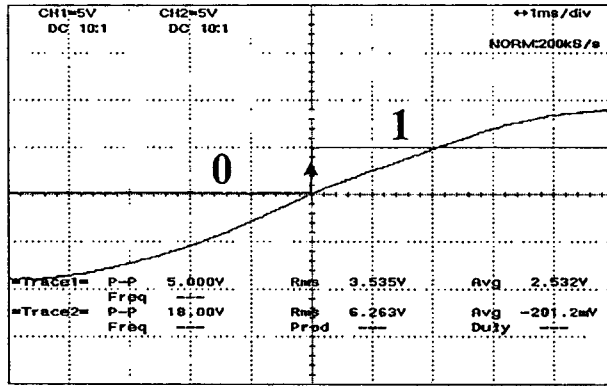
ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

ช่วงการทำงาน	รายละเอียดการทำงาน
ช่วง K	เริ่มนับจำนวนไซเคิลช่วง OFF โดยเพิ่มค่าการนับขึ้นหนึ่งค่า
ช่วง L	ตรวจสอบจำนวนไซเคิลช่วง OFF ครอบคลุมที่ได้กำหนดหรือไม่ ถ้าไม่ครบจะนับจำนวนไซเคิลถัดไปที่ระดับสัญญาณเปลี่ยนจากลอจิก 1 ไปเป็นลอจิก 0 ต่อจนครบจำนวนที่กำหนด
ช่วง M	ไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบสัญญาณจุดตัดศูนย์ที่ป้อนเข้ามาที่ขาอินพุตที่ขา 4 (P1.3 : CEX0) ซึ่งระดับสัญญาณเปลี่ยนจากลอจิก 0 ไปเป็นลอจิก 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.20
ช่วง D	ไดรแอกนำกระแส เพื่อป้อนคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายไปสู่โหลดขดลวดความร้อน และกำหนดค่าเริ่มต้นของการนับจำนวนไซเคิลช่วง ON ให้เท่ากับศูนย์

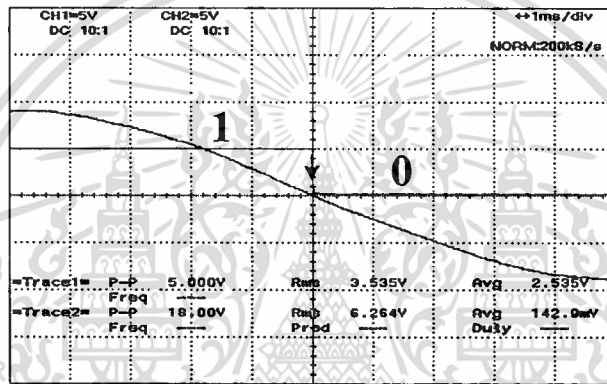


รูปที่ 3.19 สัญญาณของคลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตวิธีไซเคิลคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 สัญญาณการตรวจจับจุดตัดศูนย์ที่มีการเปลี่ยนระดับของสัญญาณจากลอจิก 0 ไปเป็นลอจิก 1 ในขณะที่คลื่นแรงดันไซน์อินพุตเปลี่ยนทิศแรงดันจากลบเป็นบวกผ่านศูนย์ (Zero crossing)



รูปที่ 3.21 สัญญาณการตรวจจับจุดตัดศูนย์ที่มีการเปลี่ยนระดับของสัญญาณจากลอจิก 1 ไปเป็นลอจิก 0 ในขณะที่คลื่นแรงดันไซน์อินพุตเปลี่ยนทิศแรงดันจากบวกเป็นลบผ่านศูนย์ (Zero crossing)

3.7 การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลดขดลวดความร้อน กำลังไฟฟ้าทางด้านแหล่งจ่าย การไฟฟ้า ค่าประสิทธิภาพ ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมของคลื่นกระแส ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านแหล่งจ่าย ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่โหลดขดลวดความร้อน วิธีไซเคิลคอนโทรล

ในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าของวิธีไซเคิลคอนโทรลสามารถทำได้โดยการนำคลื่นแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าในวงจรกำลังมาแตกกระจายให้อยู่ในรูปของอนุกรมฟูเรียร์ เพื่อให้ได้ลักษณะสเปกตรัมของแรงดันและกระแสที่ลำดับฮาร์มอนิกส์ต่างๆ ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า ค่าประสิทธิภาพ ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมของคลื่นกระแส และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ในการวิเคราะห์และคำนวณ ซึ่งใช้สูตรในการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า ค่าประสิทธิภาพ ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมของคลื่นกระแส และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ได้ดังนี้

ค่ากำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุต : P_{in}

$$P_{in} = V_{s,1} I_{s,1} \cos \theta_{v_{s,1}, i_{s,1}} + V_{s,2} I_{s,2} \cos \theta_{v_{s,2}, i_{s,2}} + V_{s,3} I_{s,3} \cos \theta_{v_{s,3}, i_{s,3}} + \dots + V_{s,n} I_{s,n} \cos \theta_{v_{s,n}, i_{s,n}}$$

$$P_{in} = \sum_{n=1}^{\infty} (V_{s,n} I_{s,n} \cos \theta_{v_{s,n}, i_{s,n}}) \quad (3.16)$$

โดยที่ $V_{s,n}$ คือ ค่าของแรงดันทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้าที่ลำดับ Harmonic n ใดๆ ตามลำดับ
 $I_{s,n}$ คือ ค่าของกระแสทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้าที่ลำดับ Harmonic n ใดๆ ตามลำดับ
 $\theta_{v_{s,n}, i_{s,n}}$ คือ มุมเฟสของแรงดัน $V_{s,n}$ ที่นำหน้ากระแส $I_{s,n}$

ค่ากำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต : P_o

$$P_o = V_{o,1} I_{o,1} \cos \psi_{v_{o,1}, i_{o,1}} + V_{o,2} I_{o,2} \cos \psi_{v_{o,2}, i_{o,2}} + V_{o,3} I_{o,3} \cos \psi_{v_{o,3}, i_{o,3}} + \dots + V_{o,n} I_{o,n} \cos \psi_{v_{o,n}, i_{o,n}}$$

$$P_o = \sum_{n=1}^{\infty} (V_{o,n} I_{o,n} \cos \psi_{v_{o,n}, i_{o,n}}) \quad (3.17)$$

โดยที่ $V_{o,n}$ คือ ค่าของแรงดันที่โหลดขดลวดความร้อนที่ลำดับ Harmonic n ใดๆ ตามลำดับ
 $I_{o,n}$ คือ ค่าของกระแสที่โหลดขดลวดความร้อนที่ลำดับ Harmonic n ใดๆ ตามลำดับ
 $\psi_{v_{o,n}, i_{o,n}}$ คือ มุมเฟสของแรงดัน $V_{o,n}$ ที่นำหน้ากระแส $I_{o,n}$

ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์โมนิกจํรวมของคลื่นกระแส : %THD_i

$$THD_i = \frac{\sqrt{I_o^2 - I_{o,1}^2}}{I_{o,1}} \quad (3.18)$$

โดยที่

$$I_o = \sqrt{I_{o,1}^2 + I_{o,2}^2 + I_{o,3}^2 + I_{o,4}^2 + \dots + I_{o,n}^2}$$

ดังนั้น

$$THD_i = \frac{\sqrt{(I_{o,1}^2 + I_{o,2}^2 + I_{o,3}^2 + I_{o,4}^2 + \dots + I_{o,n}^2) - (I_{o,1}^2)}}{I_{o,1}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา $I_{o,n}$ นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$THD_i = \frac{\sqrt{I_{o,2}^2 + I_{o,3}^2 + I_{o,4}^2 + \dots + I_{o,n}^2}}{I_{o,1}} \quad (3.19)$$

$$\%THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{o,n}^2}}{I_{o,1}} \times 100 \quad (3.20)$$

จากสมการ(3.19) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} (THD_i)^2 &= \left(\frac{\sqrt{I_{o,2}^2 + I_{o,3}^2 + I_{o,4}^2 + \dots + I_{o,n}^2}}{I_{o,1}} \right)^2 \\ &= \frac{I_{o,2}^2 + I_{o,3}^2 + I_{o,4}^2 + \dots + I_{o,n}^2}{I_{o,1}^2} \\ &= \frac{I_{o,2}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,3}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,4}^2}{I_{o,1}^2} + \dots + \frac{I_{o,n}^2}{I_{o,1}^2} \\ \sqrt{(THD_i)^2} &= \sqrt{\frac{I_{o,2}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,3}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,4}^2}{I_{o,1}^2} + \dots + \frac{I_{o,n}^2}{I_{o,1}^2}} \\ THD_i &= \sqrt{\frac{I_{o,2}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,3}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,4}^2}{I_{o,1}^2} + \dots + \frac{I_{o,n}^2}{I_{o,1}^2}} \quad (3.21) \end{aligned}$$

ค่าประสิทธิภาพ : η

$$\eta = \frac{P_o}{P_{in}}$$

$$\eta = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} (V_{o,n} I_{o,n} \cos \psi_{v_{o,n}, i_{o,n}})}{\sum_{n=1}^{\infty} (V_{s,n} I_{s,n} \cos \theta_{v_{s,n}, i_{s,n}})} \quad (3.22)$$

ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านอินพุต : PF_{input}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 PF_{input} &= \frac{P_{input}}{S_{input}} \\
 &= \frac{Watt_{input}}{Volt_{input} \times Amp_{input}} \\
 &= \frac{V_{s,1}I_{s,1} \cos\theta_{v_{s,1},i_{s,1}} + V_{s,2}I_{s,2} \cos\theta_{v_{s,2},i_{s,2}} + V_{s,3}I_{s,3} \cos\theta_{v_{s,3},i_{s,3}} + \dots + V_{s,n}I_{s,n} \cos\theta_{v_{s,n},i_{s,n}}}{\sqrt{(V_{s,1}^2 + V_{s,2}^2 + V_{s,3}^2 + \dots + V_{s,n}^2)} \times \sqrt{(I_{s,1}^2 + I_{s,2}^2 + I_{s,3}^2 + \dots + I_{s,n}^2)}} \\
 &= \frac{V_{s,1}I_{s,1} \cos\theta_{v_{s,1},i_{s,1}} + (0)I_{s,2} \cos\theta_{v_{s,2},i_{s,2}} + (0)I_{s,3} \cos\theta_{v_{s,3},i_{s,3}} + \dots + (0)I_{s,n} \cos\theta_{v_{s,n},i_{s,n}}}{\sqrt{(V_{s,1}^2 + 0 + 0 + \dots + 0)} \times \sqrt{(I_{s,1}^2 + I_{s,2}^2 + I_{s,3}^2 + \dots + I_{s,n}^2)}} \\
 &= \frac{V_{s,1}I_{s,1} \cos\theta_{v_{s,1},i_{s,1}}}{\sqrt{(V_{s,1}^2)} \times \sqrt{(I_{s,1}^2 + I_{s,2}^2 + I_{s,3}^2 + \dots + I_{s,n}^2)}} \\
 &= \frac{V_{s,1}I_{s,1} \cos\theta_{v_{s,1},i_{s,1}}}{V_{s,1} \times \sqrt{(I_{s,1}^2 + I_{s,2}^2 + I_{s,3}^2 + \dots + I_{s,n}^2)}} \\
 &= \frac{I_{s,1} \cos\theta_{v_{s,1},i_{s,1}}}{\sqrt{(I_{s,1}^2 + I_{s,2}^2 + I_{s,3}^2 + \dots + I_{s,n}^2)}} \\
 &= \frac{I_{o,1} \cos\theta_{v_{s,1},i_{s,1}}}{\sqrt{(I_{o,1}^2 + I_{o,2}^2 + I_{o,3}^2 + \dots + I_{o,n}^2)}} \\
 &= \frac{I_{o,1} \cos\theta_{v_{s,1},i_{s,1}}}{I_o} \\
 &= \frac{I_{o,1}}{I_o} \cos\theta_{v_{s,1},i_{s,1}}
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ (3.18)

$$THD_i = \frac{\sqrt{I_o^2 - I_{o,1}^2}}{I_{o,1}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(THD_i)^2 = \left(\frac{\sqrt{I_o^2 - I_{o,1}^2}}{I_{o,1}} \right)^2$$

$$= \frac{I_o^2 - I_{o,1}^2}{I_{o,1}^2}$$

$$= \frac{I_o^2}{I_{o,1}^2} - \frac{I_{o,1}^2}{I_{o,1}^2}$$

$$= \frac{I_o^2}{I_{o,1}^2} - 1$$

$$\frac{I_o^2}{I_{o,1}^2} = (THD_i)^2 + 1$$

$$\left(\frac{I_o}{I_{o,1}} \right)^2 = (THD_i)^2 + 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{I_o}{I_{o,1}} \right)^2} = \sqrt{(THD_i)^2 + 1}$$

$$\frac{I_o}{I_{o,1}} = \sqrt{(THD_i)^2 + 1}$$

$$\frac{I_{o,1}}{I_o} = \frac{1}{\sqrt{(THD_i)^2 + 1}}$$

$$PF_{input} = \frac{I_{o,1}}{I_o} \cos \theta_{v_s,1} / i_{s,1}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{(THD_i)^2 + 1}} \cos \theta_{v_s,1} / i_{s,1}$$

จากสมการที่ (3.21)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$THD_i = \sqrt{\frac{I_{o,2}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,3}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,4}^2}{I_{o,1}^2} + \dots + \frac{I_{o,n}^2}{I_{o,1}^2}}$$

$$PF_{input} = \frac{1}{\sqrt{\left(\sqrt{\frac{I_{o,2}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,3}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,4}^2}{I_{o,1}^2} + \dots + \frac{I_{o,n}^2}{I_{o,1}^2}}\right)^2 + 1}} \cos \theta_{v_{s,1}, i_{s,1}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\frac{I_{o,2}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,3}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,4}^2}{I_{o,1}^2} + \dots + \frac{I_{o,n}^2}{I_{o,1}^2} + 1}} \cos \theta_{v_{s,1}, i_{s,1}}$$

$$PF_{input} = \frac{\cos \theta_{v_{s,1}, i_{s,1}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{I_{o,2}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,3}^2}{I_{o,1}^2} + \frac{I_{o,4}^2}{I_{o,1}^2} + \dots + \frac{I_{o,n}^2}{I_{o,1}^2}\right)}} \quad (3.23)$$

ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านเอาต์พุต : PF_{output}

$$PF_{output} = \frac{P_{output}}{S_{output}}$$

$$= \frac{\text{watt}_{output}}{\text{Volt}_{output} \times \text{Amp}_{output}}$$

$$= \frac{V_{o,1} I_{o,1} \cos \psi_{v_{o,1}, i_{o,1}} + V_{o,2} I_{o,2} \cos \psi_{v_{o,2}, i_{o,2}} + V_{o,3} I_{o,3} \cos \psi_{v_{o,3}, i_{o,3}} + \dots + V_{o,n} I_{o,n} \cos \psi_{v_{o,n}, i_{o,n}}}{\sqrt{(V_{o,1}^2 + V_{o,2}^2 + V_{o,3}^2 + \dots + V_{o,n}^2)} \times \sqrt{(I_{o,1}^2 + I_{o,2}^2 + I_{o,3}^2 + \dots + I_{o,n}^2)}}$$

$$PF_{output} = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} (V_{o,n} I_{o,n} \cos \psi_{v_{o,n}, i_{o,n}})}{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} (V_{o,n})^2} \times \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} (I_{o,n})^2}} \quad (3.24)$$

ค่า Distortion Factor : DTF Fundamental Power Factor : FPF และ Power Factor : PF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 DTF &= \frac{I_{o,1}}{I_o} \\
 &= \left(\frac{I_{o,1}}{I_o} \right) \left(\frac{I_o R}{I_o R} \right) \\
 &= \frac{I_{o,1} I_o R}{I_o^2 R}
 \end{aligned}$$

$$DTF = \frac{I_{o,1} I_o R}{P_o} \quad (3.25)$$

จากสมการกำลังไฟฟ้าที่ Fundamental ทางด้านอินพุต

$$P_1 = V_1 I_{o,1} \cos \theta_1$$

$$I_{o,1} = \frac{P_1}{V_1 \cos \theta_1}$$

จากสมการที่ 3.17

$$P_o = V_{o,1} I_{o,1} \cos \psi_{v_{o,1}, i_{o,1}} + V_{o,2} I_{o,2} \cos \psi_{v_{o,2}, i_{o,2}} + V_{o,3} I_{o,3} \cos \psi_{v_{o,3}, i_{o,3}} + \dots + V_{o,n} I_{o,n} \cos \psi_{v_{o,n}, i_{o,n}}$$

$$= V_{o,1} \left(\frac{P_1}{V_1 \cos \theta_1} \right) \cos \psi_{v_{o,1}, i_{o,1}} + V_{o,2} I_{o,2} \cos \psi_{v_{o,2}, i_{o,2}} + V_{o,3} I_{o,3} \cos \psi_{v_{o,3}, i_{o,3}} + \dots$$

$$+ V_{o,n} I_{o,n} \cos \psi_{v_{o,n}, i_{o,n}}$$

$$= V_{o,1} \left(\frac{P_1}{V_1 \cos \theta_1} \right) \cos \psi_{v_{o,1}, i_{o,1}} + \sum_{n=2}^{\infty} (V_{o,n} I_{o,n} \cos \psi_{v_{o,n}, i_{o,n}})$$

$$V_{o,1} \left(\frac{P_1}{V_1 \cos \theta_1} \right) \cos \psi_{v_{o,1}, i_{o,1}} = P_o - \sum_{n=2}^{\infty} (V_{o,n} I_{o,n} \cos \psi_{v_{o,n}, i_{o,n}})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\cos \theta_1 = \frac{V_{o,1} P_1 \cos \psi_{v_{o,1}, i_{o,1}}}{V_1 [P_o - \sum_{n=2}^{\infty} (V_{o,n} I_{o,n} \cos \psi_{v_{o,n}, i_{o,n}})]}$$

จะได้ว่า

$$FPF = \cos \theta_1 = \frac{V_{o,1} P_1 \cos \psi_{v_{o,1}, i_{o,1}}}{V_1 [P_o - \sum_{n=2}^{\infty} (V_{o,n} I_{o,n} \cos \psi_{v_{o,n}, i_{o,n}})]} \quad (3.26)$$

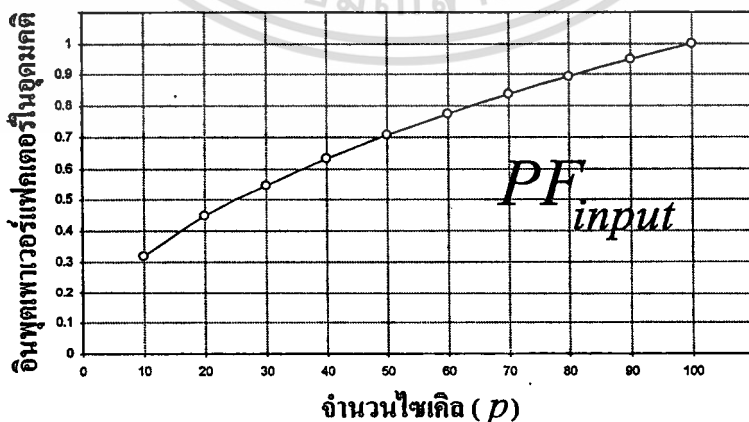
จากสมการ

$$PF = DTF \times FPF$$

จะได้ว่า

$$PF = \frac{I_{o,1} I_o R}{P_o} \times \frac{V_{o,1} P_1 \cos \psi_{v_{o,1}, i_{o,1}}}{V_1 [P_o - \sum_{n=2}^{\infty} (V_{o,n} I_{o,n} \cos \psi_{v_{o,n}, i_{o,n}})]} \quad (3.27)$$

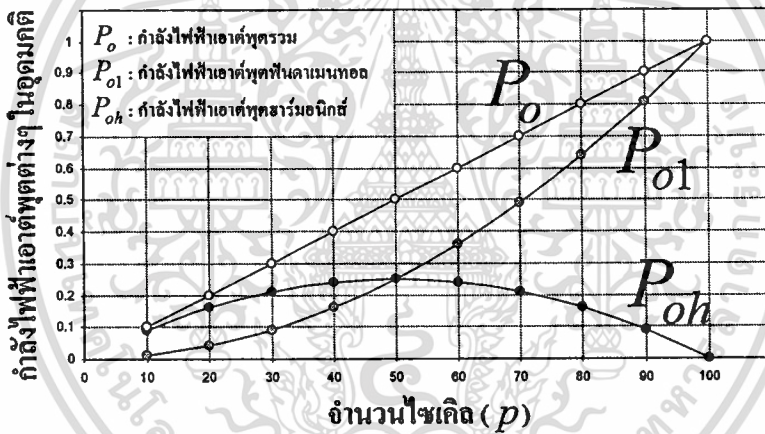
จากรูปที่ 3.22 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าอินพุตเพาเวอร์แฟคเตอร์ PF_{input} ที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามค่า p หรือ Duty cycle : α ที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ p' คงที่เท่ากับ 100 ไซเคิล



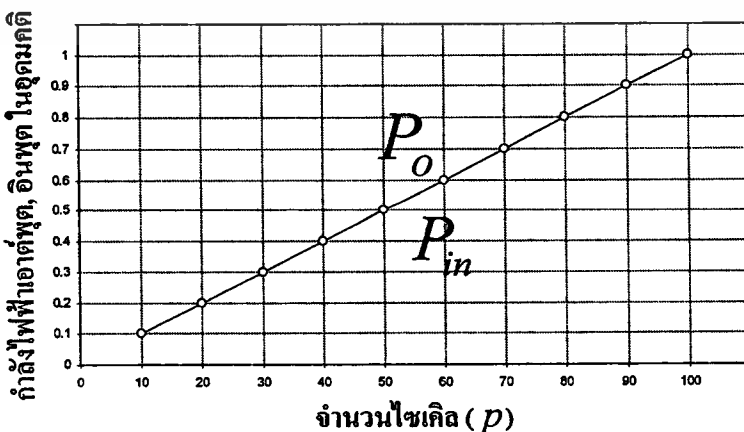
รูปที่ 3.22 ค่าอินพุตเพาเวอร์แฟคเตอร์ PF_{input} ที่ได้จากการซิมมูลาชันโดยวิธีไซเคิลคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.23 เป็นกราฟของการเกิดกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต : P_o ซึ่งเกิดจากผลรวมของกำลังไฟฟ้าของคลื่น Fundamental (P_{o1}) กับกำลังไฟฟ้าของคลื่น Harmonics (P_{oh}) ทั้งหมด ในรูปที่ 3.24 แสดงการเปรียบเทียบเพื่อให้เห็นความแตกต่างระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้าอินพุตและเอาต์พุต ที่ค่าจำนวนไซเคิล p ต่างๆ จะเห็นว่าเมื่อค่าจำนวนไซเคิล p เพิ่มขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าอินพุตและเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้น และค่ากำลังไฟฟ้าจะมีค่าเป็นศูนย์ ที่ค่าของกระแสและแรงดันไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าเป็นบวกเสมอ นั่นแสดงว่าโหลดชนิดที่เป็นความต้านทานจะไม่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับวงจร แต่จะรับกำลังไฟฟ้าแล้วเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าที่ได้ทั้งหมดเป็นพลังงานความร้อนออกมา ส่วนรูปที่ 3.25 เป็นกราฟของประสิทธิภาพ η ซึ่งในทางทฤษฎีจะมีค่าเท่ากับ 1 ตลอดช่วงของการเปลี่ยนแปลงค่าจำนวนไซเคิล p โดยไม่คิดการสูญเสียที่สวิตช์กำลัง และรูปที่ 3.26 เป็นกราฟของเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกสรวมของคลื่นกระแสของวิธีไซเคิลคอนโทรล ซึ่งเมื่อจำนวนไซเคิล p เพิ่มขึ้น ค่า $\%THDi$ จะมีค่าลดลง

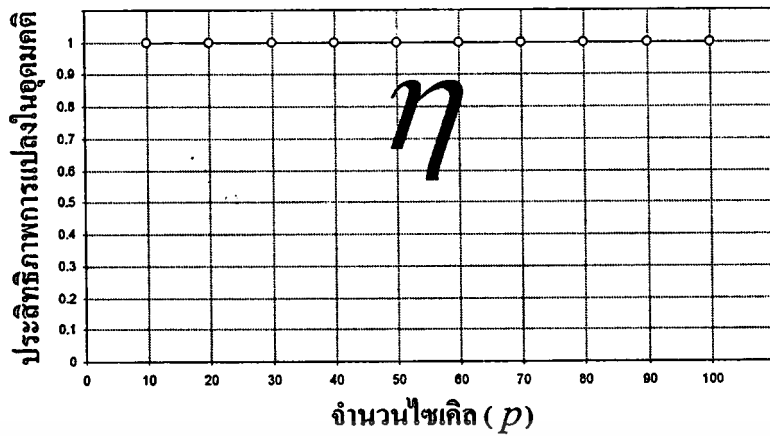


รูปที่ 3.23 ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o อันเนื่องมาจากคลื่น Fundamental P_{o1} และคลื่น Harmonics ที่ได้จากการซิมูเลทโดยวิธีไซเคิลคอนโทรล

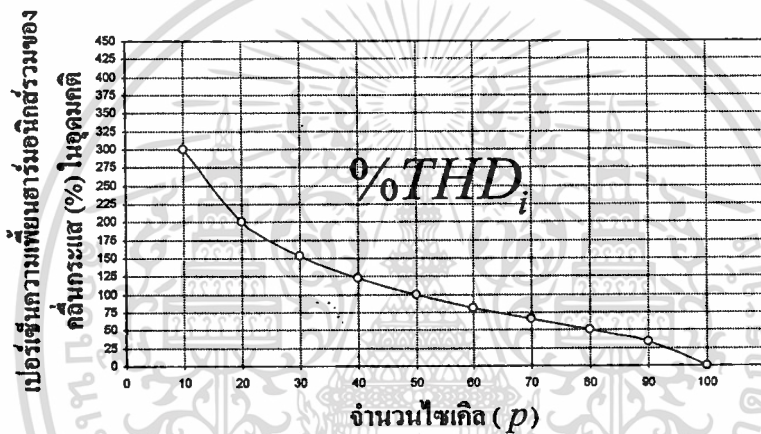


รูปที่ 3.24 ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o และอินพุต P_{in} ที่ได้จากการซิมูเลทโดยวิธีไซเคิลคอนโทรล

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 ค่าประสิทธิภาพ η ที่ได้จากการซิมมูลต์โดยวิธีไซเคิลคอนโทรล



รูปที่ 3.26 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์โมนิกสร่วมของคลื่นกระแสที่ได้จากการซิมมูลต์โดยวิธีไซเคิลคอนโทรล

3.8 สรุป

วิธีการควบคุมแบบไซเคิลคอนโทรล การเปลี่ยนค่าของจำนวนไซเคิล p ในช่วงการ ON ใน 1 คาบเวลาเอาต์พุต จะมีผลทำให้ค่าอินพุตเพาเวอร์แฟคเตอร์ PF_{input} กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o และค่ากำลังไฟฟ้าอินพุต P_{in} มีค่าสูงขึ้นตามค่า p ที่เพิ่มขึ้น โดยค่าประสิทธิภาพ η ซึ่งในทางทฤษฎีจะมีค่าเท่ากับ 1 ตลอดช่วงของการเปลี่ยนแปลงค่ามุมเฟส $(\pi - \phi)$ โดยไม่เกิดการสูญเสียที่สวิตช์กำลัง ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ฮาร์โมนิกสร่วมของกระแส $\%THDi$ จะมีค่าลดลงเมื่อค่า p เพิ่มขึ้น

บทที่ 4

การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าในระบบปิดโดยวิธีการปรับควบคุมเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้าด้วยวิธีเฟสคอนโทรลและไซเคิลคอนโทรล การอบอาหารด้วยรูปแบบการควบคุมระดับอุณหภูมิในช่วงระยะเวลาต่างๆ ของการอบตามที่ได้กำหนดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และคุณสมบัติของตู้อบไฟฟ้า

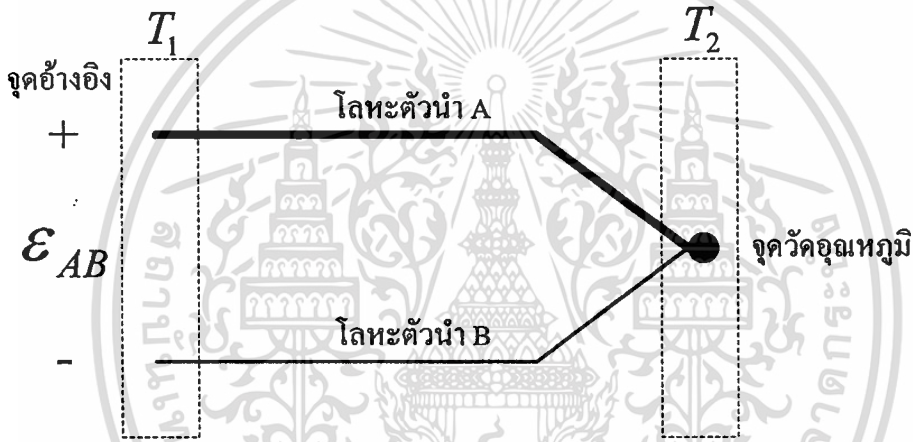
4.2 ตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า

การวัดอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าเป็นการวัดอุณหภูมิในอากาศ ซึ่งจะต้องใช้ตัวเซ็นเซอร์ชนิดวัดอุณหภูมิในอากาศ โดยในปัจจุบันมีด้วยกันหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติในการวัดและให้สัญญาณทางด้านเอาต์พุตแตกต่างกัน เช่น เทอร์โมคัปเปิลจะเปลี่ยนค่าของอุณหภูมิที่วัดได้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า อาร์ทีดีจะเปลี่ยนค่าของอุณหภูมิเป็นค่าความต้านทาน เทอร์มิสเตอร์จะเปลี่ยนค่าของอุณหภูมิเป็นค่าความต้านทาน และไอซีเซ็นเซอร์จะเปลี่ยนค่าของอุณหภูมิเป็นแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้า ซึ่งคุณสมบัติของตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิชนิดต่างๆ เหล่านี้จะแตกต่างกัน ดังนั้นในการเลือกตัวเซ็นเซอร์ไปใช้งานจึงควรพิจารณาจากสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของตัวเซ็นเซอร์ ลักษณะการติดตั้ง สภาพแวดล้อมที่นำไปติดตั้ง ความละเอียดของค่าอุณหภูมิ และช่วงของอุณหภูมิที่นำไปใช้งาน ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวเทอร์โมคัปเปิลเป็นตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า เพราะมีย่านของการวัดอุณหภูมิกว้าง ใช้งานง่าย มีความคงทนต่อสภาพแวดล้อม มีรูปแบบลักษณะโครงสร้างที่หลากหลายให้เลือกใช้งาน ราคาไม่แพง และให้สัญญาณทางด้านเอาต์พุตเป็นแรงดันไฟฟ้า ซึ่งตัวเทอร์โมคัปเปิลสามารถกำเนิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าได้เองโดยไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายแรงดันจากภายนอกจึงไม่มีปัญหาเรื่องความร้อนที่ตัวเทอร์โมคัปเปิล ดังนั้นเทอร์โมคัปเปิลจึงเป็นตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิที่เหมาะสมในการวัดอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า

4.3 ทฤษฎีของเทอร์โมคัปเปิล

เทอร์โมคัปเปิลเป็นตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิที่สามารถทนต่อสภาวะแวดล้อมได้ดี ราคาถูก มีหลายแบบหลายโครงสร้างให้เลือกใช้งาน และมีช่วงของการวัดอุณหภูมิกว้าง ดังนั้นตัวเทอร์โมคัปเปิลจึงเป็นตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยตัวเทอร์โมคัปเปิลทำมาจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลวดโลหะตัวนำ 2 ชนิดที่แตกต่างกัน แล้วนำปลายด้านหนึ่งของโลหะทั้ง 2 มาเชื่อมต่อปลายเข้าด้วยกันเป็นจุดต่อเพื่อวัดอุณหภูมิ และปลายของโลหะทั้ง 2 อีกด้านหนึ่งเปิดปลายไว้ ซึ่งเป็นจุดที่ใช้ในการอ้างอิง เมื่อค่าของอุณหภูมิที่จุดวัดอุณหภูมิและที่จุดอ้างอิงแตกต่างกันก็จะเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่ปลายจุดต่อที่เป็นจุดอ้างอิง ซึ่งมีขนาดของแรงดันไฟฟ้าอยู่ในย่านค่าน้อยๆ ซึ่งเรียกว่าแรงดันไฟฟ้าซีเบ็ค (Seebeck Voltage) โดยค่าแรงดันไฟฟ้านี้จะเปลี่ยนแปลงตามค่าผลต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิง ดังนั้นตัวเทอร์โมคัปเปิลจึงเป็นตัววัดอุณหภูมิที่สามารถสร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้าได้เองโดยไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายจากภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ค้นพบโดย โทมัส ซีเบ็ค (Thomas Seebeck) ซึ่งเป็นนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน โดยมีการค้นพบในปี ค.ศ. 1821



รูปที่ 4.1 ปรากฏการณ์ของซีเบ็ค (Seebeck Effect)

$$\varepsilon_{AB} = \alpha(T_2 - T_1) \quad (4.1)$$

เมื่อ ε_{AB} = ค่าแรงดันไฟฟ้าซีเบ็ค (Seebeck Voltage) มีหน่วยเป็น Volt

α = ค่าสัมประสิทธิ์ของซีเบ็ค (Seebeck Coefficient) ซึ่งเป็นค่าคงที่มีหน่วยเป็น Volt/°C

T_1 = ค่าของอุณหภูมิที่จุดอ้างอิงมีหน่วยเป็น °C

T_2 = ค่าของอุณหภูมิที่จุดวัดอุณหภูมิมิหน่วยเป็น °C

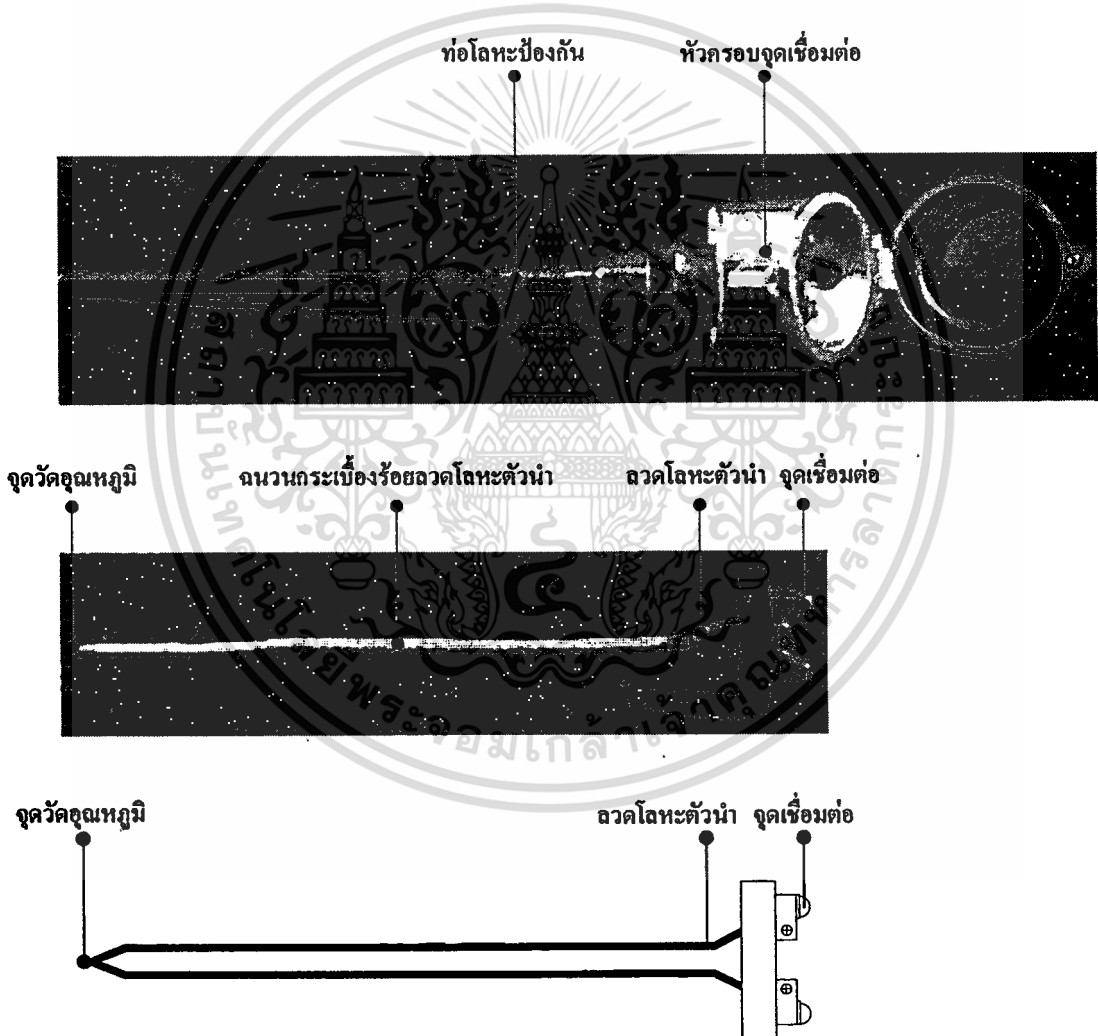
จากสมการที่ 4.1 เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าซีเบ็ค ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่จุดวัดอุณหภูมิและอุณหภูมิที่จุดอ้างอิง โดยถ้าตัวเทอร์โมคัปเปิลใช้ลวดโลหะตัวนำชนิดเดียวกันจะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าซีเบ็ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับศูนย์ และถ้าค่าของอุณหภูมิที่จุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงเท่ากันจะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับศูนย์เช่นกัน

4.4 โครงสร้างของเทอร์โมคัพเบิล

เทอร์โมคัพเบิลเป็นตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิที่ประกอบด้วยส่วนของลวดโลหะตัวนำ ส่วนของฉนวนกระเบื้องสำหรับร้อยลวดโลหะตัวนำ ส่วนของท่อโลหะป้องกัน ส่วนของหัวครอบจุดเชื่อมต่อ และส่วนของจุดเชื่อมต่อสายตัวนำสัญญาณของเทอร์โมคัพเบิล ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 โครงสร้างภายนอกและภายในของเทอร์โมคัพเบิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 เทอร์โมคัพเปิดชนิด K

4.4.1 ลวดโลหะตัวนำของเทอร์โมคัพเปิด

การเลือกวัสดุที่ใช้ทำลวดโลหะตัวนำของเทอร์โมคัพเปิดจะต้องคำนึงถึงลักษณะของการนำไปใช้งาน โดยโลหะที่ใช้ทำจะต้องไม่มีเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือสูญเสียของธาตุส่วนผสมเร็วและลวดโลหะตัวนำจะต้องให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตสูงและมีเสถียรภาพในการนำไปใช้งาน มีความแข็งแรงทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่นำไปติดตั้ง

4.4.2 ท่อโลหะป้องกันเทอร์โมคัพเปิด

ท่อโลหะป้องกันเทอร์โมคัพเปิดจะทำหน้าที่ช่วยเสริมความแข็งแรงของตัวเทอร์โมคัพเปิด และช่วยป้องกันสารกัดกร่อนที่จะมาสัมผัสกับตัวเทอร์โมคัพเปิดในสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่นำไปใช้งาน โดยสารกัดกร่อนจะทำให้คุณสมบัติของตัวเทอร์โมคัพเปิดเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น ดังนั้นเทอร์โมคัพเปิดโดยทั่วไปจึงใช้สแตนเลสแบบ 304 และ 306 ในการทำท่อโลหะป้องกันเทอร์โมคัพเปิด โดยปัจจัยที่ใช้ในการเลือกวัสดุที่นำมาทำท่อโลหะป้องกันเทอร์โมคัพเปิดคือ สภาพแวดล้อมที่นำตัวเทอร์โมคัพเปิด ไปติดตั้ง และระดับของอุณหภูมิที่ต้องการวัด

4.5 เทอร์โมคัพเปิดชนิด K

เทอร์โมคัพเปิดชนิด K ทำมาจากลวดโลหะตัวนำ 2 ชนิดที่แตกต่างกัน โดยเส้นหนึ่งจะเป็นสายตัวนำบวก ส่วนอีกเส้นหนึ่งจะเป็นสายตัวนำลบ โดยลวดโลหะตัวนำสายบวกทำจากโลหะผสมระหว่าง นิกเกิล 90% + โครเมียม 10% ส่วนลวดโลหะตัวนำสายลบทำจากโลหะผสมระหว่าง นิกเกิล 95% + 5% ของส่วนผสมระหว่างอะลูมิเนียม แมงกานีสและซิลิคอน โดยคุณสมบัติของเทอร์โมคัพเปิดชนิด K สามารถแบ่งออกเป็นข้อต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. ช่วงของการวัดอุณหภูมิอยู่ที่ -200 ถึง $+1,250$ °C
2. ใช้ได้ดีในสภาพแวดล้อมที่เป็นออกซิไดซิง(Oxidizing) และสภาวะปฏิกิริยาแบบเฉื่อย
3. ใช้ได้ดีในงานที่ต้องรับการแผ่รังสีความร้อน โดยตรงจากแหล่งกำเนิดความร้อน

4. ให้แรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตสูง
5. มีอายุการใช้งานโดยประมาณ 20 ปี เพราะเมื่อหลังจาก 20 ปีไปแล้วส่วนผสมที่ใช้ทำลวดโลหะตัวนำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น โดยส่วนผสมของเหล็กจะเพิ่มขึ้นและส่วนผสมของแมงกานีสจะลดลง ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติของแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงไป
6. เทอร์โมคัปเปิลชนิด K มีค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิประมาณ $2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ สำหรับชนิดมาตรฐานที่ย่านของอุณหภูมิ 0 ถึง $+1,250\text{ }^{\circ}\text{C}$
7. ค่าความไวของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ที่อุณหภูมิ $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะเท่ากับ $42\mu\text{V}$
8. ไม่เหมาะกับสภาพแวดล้อมที่จะต้องสัมผัสกับปฏิกิริยารีดิวซิงและออกซิไดซิงโดยตรง
9. ไม่เหมาะกับสภาพแวดล้อมที่มีไอของซัลเฟอร์
10. ไม่เหมาะกับสภาพแวดล้อมที่เป็นสุญญากาศ

4.6 การป้องกันสัญญาณรบกวนจากภายนอกของเทอร์โมคัปเปิล (Noise Prevention)

การป้องกันสัญญาณรบกวนของเทอร์โมคัปเปิลสามารถทำได้โดยการนำสายของตัวนำสัญญาณที่ต่อจากขั้วจุดเชื่อมต่อของเทอร์โมคัปเปิลไปที่วงจรมายแรงดันไฟฟ้า จะต้องทำการบิดสายนำสัญญาณให้เป็นเกลียว และหุ้มภายนอกของสายตัวนำสัญญาณด้วยสแตนเลสชิลด์ แล้วนำสแตนเลสชิลด์นี้ต่อลงกราวด์ของระบบ และลวดโลหะตัวนำสำหรับวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลและฉนวนกระเบื้องร้อยลวดโลหะตัวนำจะต้องใส่ไว้ในท่อโลหะป้องกันที่ทำจากสแตนเลสแล้วต่อลงกราวด์

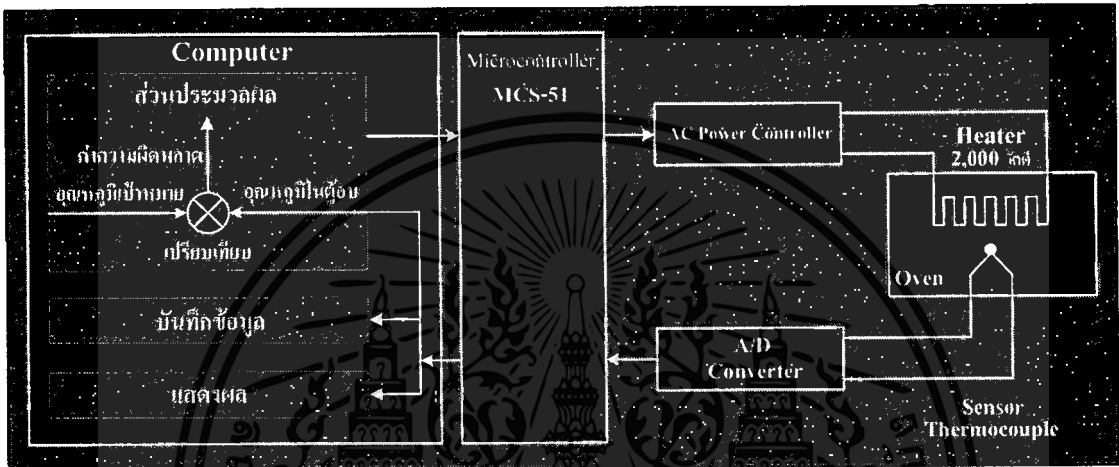
4.7 หลักการพร้อมขั้นตอนและโพลีวัชร์การควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดโดยวิธีการปรับเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า

4.7.1 หลักการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดโดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า

การควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดโดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนดังแสดงในรูปที่ 4.4 เป็นการควบคุมที่มีการอ่านค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าเข้ามาเพื่อเปรียบเทียบกับค่าของอุณหภูมิเป้าหมาย เพื่อคำนวณค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น แล้วนำค่าความผิดพลาดนี้มาตัดสินใจในการปรับเปลี่ยนค่าเปอร์เซ็นต์ ON โดยค่าความผิดพลาดนี้จะแบ่งออกได้เป็นสองประเภท คือ ค่าความผิดพลาดทางด้านบวก (+) และค่าความผิดพลาดทางด้านลบ (-) โดยเมื่อเกิดค่าความผิดพลาดทางด้านบวกขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้ามากกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้จะต้องทำการลดค่าเปอร์เซ็นต์ ON ลงตามค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น และเมื่อเกิดค่าความผิดพลาดทางด้านลบขึ้นซึ่งค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าน้อยกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้จะต้องทำการเพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์ ON ขึ้นตามค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น โดยในการกำหนดค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิทางด้านบวกและด้านลบจะขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบระบบควบคุมว่าจะกำหนดไว้ในช่วงใด ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดไว้ในช่วง $\pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ จากค่าอุณหภูมิเป้าหมาย



รูปที่ 4.4 การควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดโดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า

4.7.2 ขั้นตอนและโพลีชาร์ตแสดงการควบคุมอุณหภูมิแบบลูปปิด โดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า

1. กำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย ค่าเวลาทำงาน
2. ตรวจสอบสัญญาณเริ่มต้นการทำงาน
3. เมื่อได้รับสัญญาณเริ่มต้นการทำงาน เริ่มป้อนคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้าด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ ON เท่ากับ 100% เริ่มจับเวลาการทำงาน เริ่มต้นบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าลงฐานข้อมูล
4. ตรวจสอบค่าของอุณหภูมิในตู้อบเท่ากับค่าอุณหภูมิที่จุดเบรก หรือไม่
5. เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบเท่ากับค่าอุณหภูมิที่จุดเบรก ลดค่าเปอร์เซ็นต์ ON ลงตามที่ได้กำหนด
6. ตรวจสอบค่าของอุณหภูมิในตู้อบมากกว่าหรือเท่ากับค่าของอุณหภูมิเป้าหมายหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 7. เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบมากกว่าหรือเท่ากับค่าของอุณหภูมิเป้าหมายระบบจะหยุดการทำงานทันที ไม่ทำการรีเซ็ตค่าใหม่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดค่าเปอร์เซ็นต์ ON ลง โดยดูจากค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น

$$T_{error} = T_{oven} - T_{setp} \quad (4.2)$$

เมื่อ T_{error} = ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้ามีหน่วยเป็น °C

T_{oven} = ค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้ามีหน่วยเป็น °C

T_{setp} = ค่าของอุณหภูมิเป้าหมายมีหน่วยเป็น °C

โดยเมื่อ ค่า T_{error} เป็นบวก (+) : ค่าของอุณหภูมิในตู้อบมากกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมาย

ค่า T_{error} เป็นลบ (-) : ค่าของอุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมาย

ค่า T_{error} เป็นศูนย์ (0) : ค่าของอุณหภูมิในตู้อบเท่ากับค่าอุณหภูมิเป้าหมาย

8. ตรวจสอบค่าของอุณหภูมิในตู้อบต่ำกว่าค่าของอุณหภูมิเป้าหมาย หรือไม่

9. เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบต่ำกว่าค่าของอุณหภูมิเป้าหมาย เพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์ ON ขึ้น

โดยดูจากค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น

10. ตรวจสอบค่าของอุณหภูมิในตู้อบมากกว่าค่าของอุณหภูมิเป้าหมายหรือไม่

11. เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบมากกว่าค่าของอุณหภูมิเป้าหมาย ลดค่าเปอร์เซ็นต์ ON

ลง โดยดูจากค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น

12. ตรวจสอบค่าของอุณหภูมิในตู้อบต่ำกว่าค่าของอุณหภูมิเป้าหมายหรือไม่

13. เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบต่ำกว่าค่าของอุณหภูมิเป้าหมาย เพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์ ON

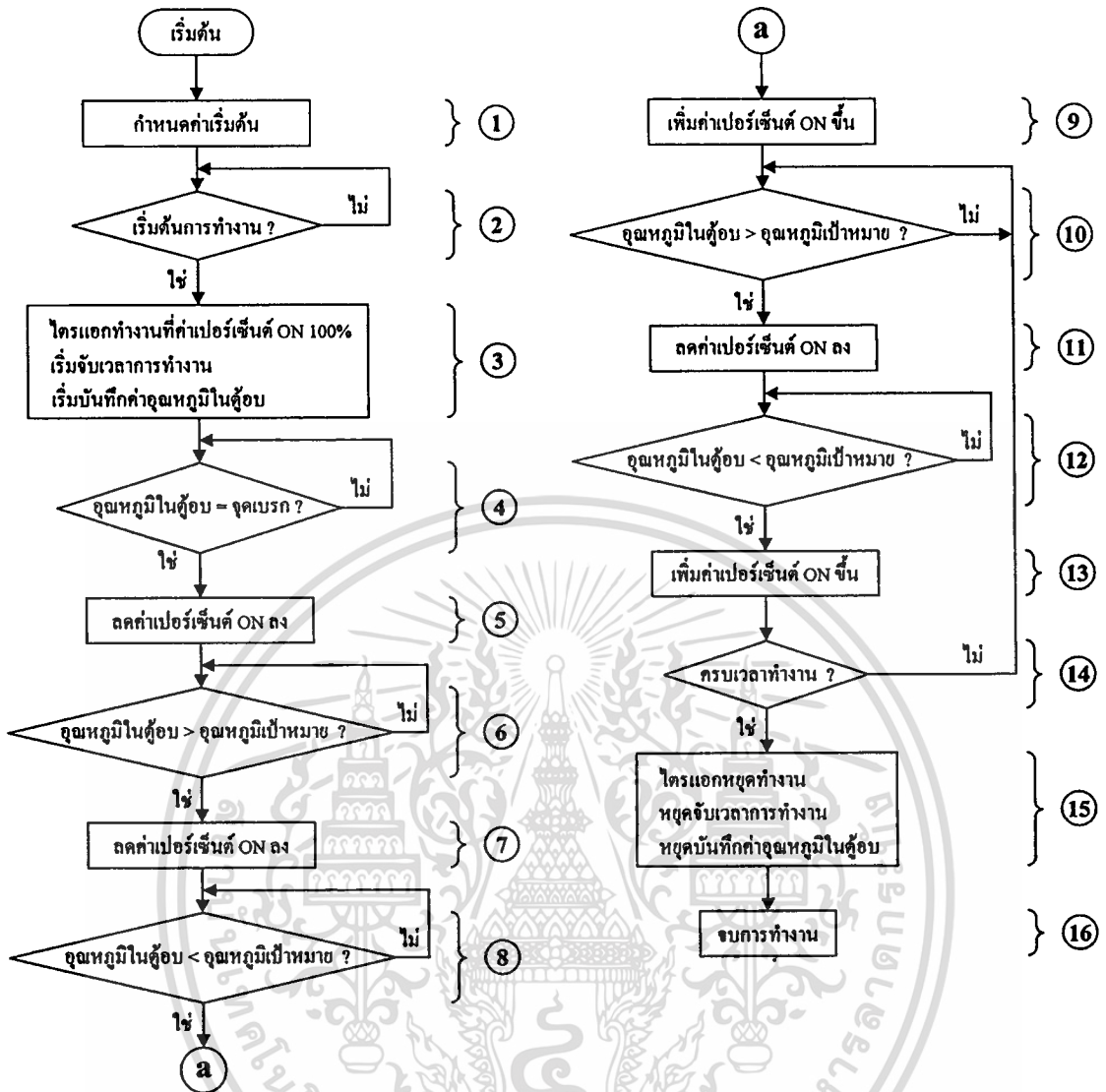
ขึ้น โดยดูจากค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น

14. ตรวจสอบเวลาการทำงานครบตามที่ได้กำหนดหรือไม่ โดยในการตรวจสอบจะทำพร้อมกับการควบคุมอุณหภูมิตลอดช่วงระยะเวลาการทำงาน

15. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด หยุดป้อนคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบ หยุดจับเวลาการทำงาน หยุดบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิลงฐานข้อมูล

16. จบขั้นตอนการทำงาน

โดยในรูปที่ 4.5 จะเป็นโพล์ชาร์ตแสดงถึงขั้นตอนของการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิด โดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า



รูปที่ 4.5 โพลัวร์ชาต์แสดงการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิด โดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของ กลิ่นแรงดัน ไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า

4.7.3 การอบอาหารด้วยรูปแบบการควบคุมระดับอุณหภูมิในช่วงระยะเวลาต่างๆ ของการอบ ตามที่ได้กำหนดไว้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

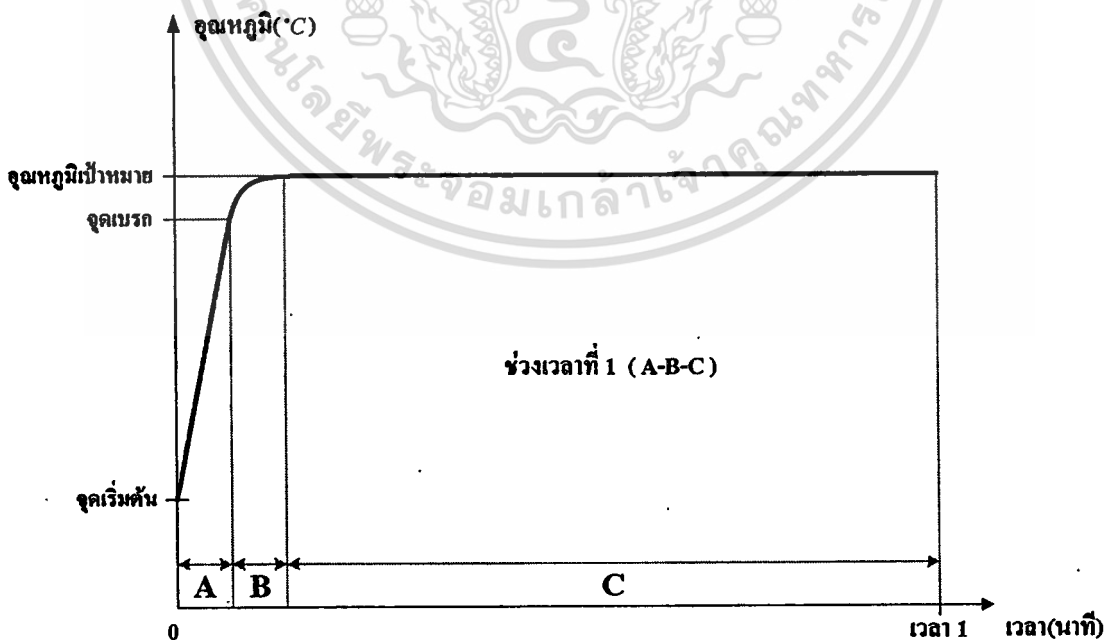
การอบอาหารด้วยวิธีการควบคุมระดับอุณหภูมิในช่วงระยะเวลาต่างๆ ของการอบตามที่ได้ กำหนดไว้ด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะเป็นการนำข้อบกพร่องของหลักการเดิมของตู้อบไฟฟ้า ที่ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างเพียงพอมาปรับปรุงให้มีความสามารถ มากขึ้น โดยหลักการของตู้อบไฟฟ้านี้อาศัยหลักการควบคุมการทำงานแบบดิจิทัลที่ใช้ คอมพิวเตอร์ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในการแสดงผล และควบคุมการทำงานในทุก ขั้นตอน ซึ่งเป็นข้อดีในการพัฒนาเพื่อควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ซึ่งต่างจากระบบเก่าที่ผู้ใช้งานจะต้องทำการปรับเปลี่ยนค่าการใช้งานเองในทุกขั้นตอนเช่น ค่าของอุณหภูมิเป้าหมายและค่าของเวลาการอบ เป็นต้น

การอบอาหารด้วยวิธีการควบคุมระดับอุณหภูมิในช่วงระยะเวลาต่างๆ ของการอบตามที่ได้กำหนดไว้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะใช้วิธีการกำหนดค่าของอุณหภูมิให้มีความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ออบ เพราะอาหารที่มีชนิด น้ำหนัก ขนาด และลักษณะที่แตกต่างกัน จะมีความต้องการค่าของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบไม่เหมือนกัน ทั้งยังมีช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมของการอบที่แตกต่างกันอีกด้วย เช่นในบางช่วงเวลาของการอบต้องการอุณหภูมิต่ำ บางช่วงเวลาต้องการอุณหภูมิปานกลาง และบางช่วงเวลาต้องการอุณหภูมิสูง ดังนั้นใน 1 คาบเวลาของการอบอาหารจึงสามารถแบ่งออกเป็นช่วงเวลาที่ต่างๆ ดังต่อไปนี้คือ

4.7.3.1 การอบอาหารแบบ 1 ช่วงเวลา

การอบอาหารแบบ 1 ช่วงเวลาเป็นรูปแบบของการควบคุมอุณหภูมิที่มีการกำหนดช่วงเวลาของการอบเท่ากับ 1 ช่วงเวลา ใน 1 คาบเวลาของการอบอาหาร โดยใน 1 คาบเวลาของการอบอาหารจะมีการกำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย 1 ค่า และค่าเวลาการอบ 1 ค่า ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และมีรายละเอียดอยู่ในตารางที่ 4.1 โดยการอบอาหารแบบ 1 ช่วงเวลา จะเป็นรูปแบบของการอบอาหารโดยทั่วไป ซึ่งเป็นการอบอาหารที่ต้องการค่าของอุณหภูมิเป้าหมายค่าเดียวตลอดช่วงระยะเวลาของการอบอาหาร



รูปที่ 4.6 การอบอาหารแบบ 1 ช่วงเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การอบอาหารแบบ 1 ช่วงเวลา

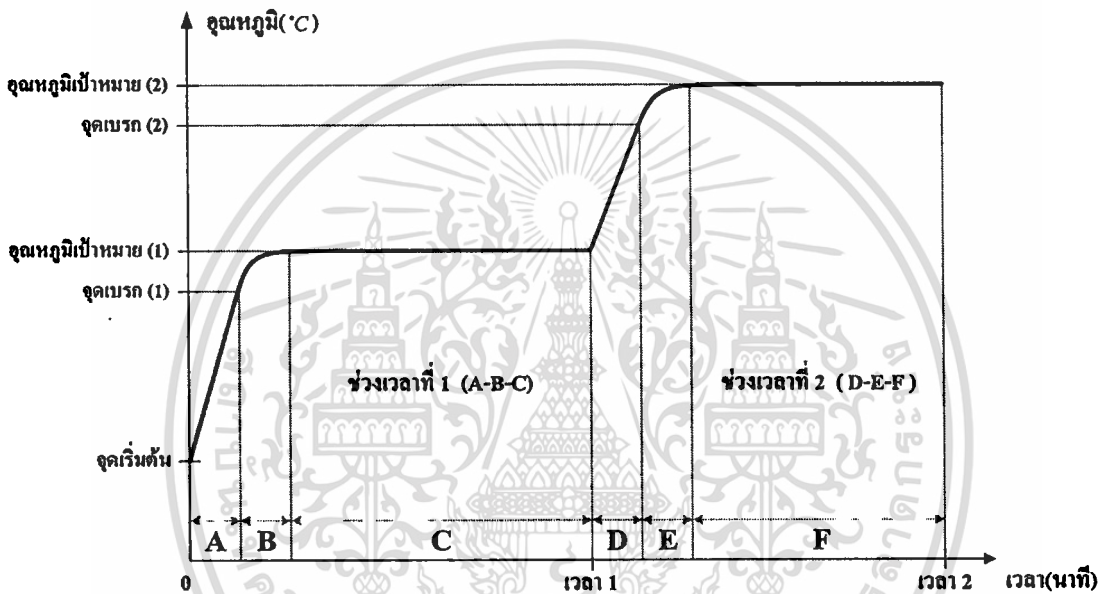
ช่วงการทำงาน	รายละเอียด
ช่วง A	<ul style="list-style-type: none"> • กำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย ค่าเวลาการอบ และค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบในช่วงเวลาที่ 1 • ตรวจสอบเริ่มต้นการอบปรุงอาหาร • เมื่อเริ่มต้นการอบปรุงอาหาร เริ่มป้อนคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับขดลวดความร้อนด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ ON เท่ากับ 100% เริ่มจับเวลาการทำงาน เริ่มต้นการบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิลงฐานข้อมูล • ตรวจสอบค่าอุณหภูมิในตู้อบเท่ากับค่าอุณหภูมิที่จุดเบรกหรือไม่
ช่วง B	<ul style="list-style-type: none"> • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบเท่ากับค่าอุณหภูมิที่จุดเบรก ลดค่าเปอร์เซ็นต์ ON ลง เพื่อไม่ให้ค่าของอุณหภูมิในตู้อบสูงกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมายมาก • ตรวจสอบค่าของอุณหภูมิในตู้อบมากกว่าหรือเท่ากับค่าอุณหภูมิเป้าหมายหรือไม่
ช่วง C	<ul style="list-style-type: none"> • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบมากกว่าหรือเท่ากับค่าอุณหภูมิเป้าหมาย • เข้าสู่กระบวนการควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบเท่ากับค่าของอุณหภูมิเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ในช่วงเวลาที่ 1 • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบมากกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมาย ลดค่าเปอร์เซ็นต์ ON ลงตามค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมาย เพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์ ON ขึ้นตามค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น • ตรวจสอบเวลาของการอบในช่วงเวลาที่ 1 ครบตามที่กำหนดหรือไม่ • เมื่อครบเวลาตามที่กำหนด หยุดป้อนคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบ หยุดจับเวลาการทำงาน หยุดบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิลงฐานข้อมูล • จบการทำงานใน 1 คาบเวลาของการอบปรุงอาหารแบบ 1 ช่วงเวลา

4.7.3.2 การอบอาหารแบบ 2 ช่วงเวลา

การอบอาหารแบบ 2 ช่วงเวลาเป็นรูปแบบของการควบคุมอุณหภูมิที่มีการกำหนดช่วงเวลาของการอบเท่ากับ 2 ช่วงเวลา ใน 1 คาบเวลาของการอบอาหาร โดยใน 1 คาบเวลาของการอบอาหารจะมีการกำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย 2 ค่า และค่าเวลาของการอบ 2 ค่า ดังแสดงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 และมีรายละเอียดอยู่ในตารางที่ 4.2 ซึ่งในแต่ละช่วงเวลาไม่จำเป็นต้องมีค่าของอุณหภูมิและค่าของเวลาการอบเท่ากัน โดยการอบอาหารแบบ 2 ช่วงเวลานั้นจะเป็นรูปแบบของการอบอาหารที่ให้ความสำคัญกับลักษณะของเนื้ออาหารภายในและภายนอกในเรื่องของสีและระดับความแห้งของเนื้ออาหาร โดยในช่วงเวลาที่ 1 จะเป็นการควบคุมระดับความแห้งของเนื้ออาหารภายในโดยไม่กระทบกับเนื้ออาหารภายนอก หรือเป็นการทำให้อาหารสุกถึงเนื้อใน โดยที่เนื้ออาหารภายนอกไม่ไหม้ และในช่วงเวลาที่ 2 จะเป็นการควบคุมระดับสีและระดับความแห้งของเนื้ออาหารภายนอก



รูปที่ 4.7 การอบอาหารแบบ 2 ช่วงเวลา

ตารางที่ 4.2 การอบอาหารแบบ 2 ช่วงเวลา

ช่วงการทำงาน	รายละเอียด
ช่วง A	<ul style="list-style-type: none"> กำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย ค่าเวลาการอบ และค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบ ในช่วงเวลาที่ 1 และช่วงเวลาที่ 2 ตรวจสอบเริ่มต้นการอบปรุงอาหาร เมื่อเริ่มต้นการอบปรุงอาหาร เริ่มป้อนคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ ON เท่ากับ 100% เริ่มจับเวลาการทำงาน เริ่มต้นการบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิลงฐานข้อมูล ตรวจสอบค่าอุณหภูมิในตู้อบเท่ากับค่าอุณหภูมิที่จุดเบรก (1) หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ช่วงการทำงาน	รายละเอียด
ช่วง B	<ul style="list-style-type: none"> • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบเท่ากับค่าอุณหภูมิที่จุดเบรก (1) ลดค่าเปอร์เซ็นต์ ON ลง เพื่อไม่ให้ค่าของอุณหภูมิในตู้อบสูงกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (1) มาก • ตรวจสอบค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้ามากกว่าหรือเท่ากับค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (1) หรือไม่
ช่วง C	<ul style="list-style-type: none"> • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบมากกว่าหรือเท่ากับค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (1) • เข้าสู่กระบวนการควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบเท่ากับค่าของอุณหภูมิเป้าหมาย (1) ที่ได้กำหนดไว้ ในช่วงเวลาที่ 1 • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบมากกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (1) ลดค่าเปอร์เซ็นต์ ON ลงตามค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (1) เพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์ ON ขึ้นตามค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น • ตรวจสอบเวลาของการอบในช่วงเวลาที่ 1 ครอบคลุมที่กำหนดหรือไม่
ช่วง D	<ul style="list-style-type: none"> • เมื่อครบเวลาตามที่กำหนดในช่วงเวลาที่ 1 เพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์ ON ขึ้นตามค่าที่ได้กำหนดในช่วงเริ่มต้นของช่วงเวลาที่ 2 • ตรวจสอบค่าของอุณหภูมิในตู้อบเท่ากับค่าอุณหภูมิที่จุดเบรก (2) หรือไม่
ช่วง E	<ul style="list-style-type: none"> • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบเท่ากับค่าอุณหภูมิที่จุดเบรก (2) ลดค่าเปอร์เซ็นต์ ON ลง เพื่อไม่ให้ค่าของอุณหภูมิในตู้อบสูงกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (2) มาก • ตรวจสอบค่าของอุณหภูมิในตู้อบมากกว่าหรือเท่ากับค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (2) หรือไม่
ช่วง F	<ul style="list-style-type: none"> • เมื่อค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบมากกว่าหรือเท่ากับค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (2) • เข้าสู่กระบวนการควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบเท่ากับค่าของอุณหภูมิเป้าหมาย (2) ที่ได้กำหนดไว้ ในช่วงเวลาที่ 2 • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบมากกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (2) ลดค่าเปอร์เซ็นต์ ON ลงตามค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (2) เพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์ ON ขึ้นตามค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น • ตรวจสอบเวลาของการอบในช่วงเวลาที่ 2 ครอบคลุมที่กำหนดหรือไม่

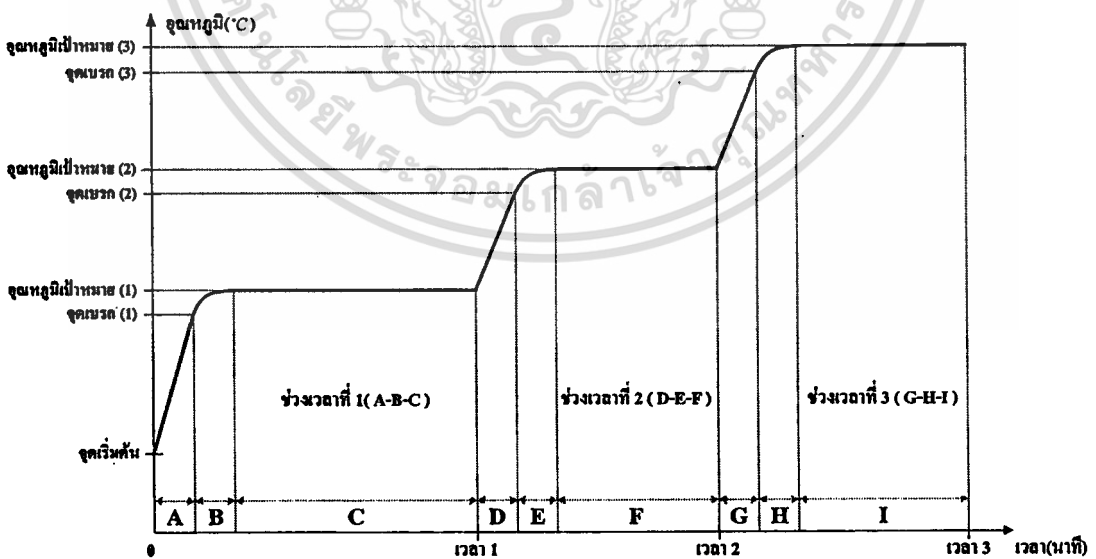
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ช่วงการทำงาน	รายละเอียด
ช่วง F	<ul style="list-style-type: none"> เมื่อครบเวลาที่กำหนด หยุดป้อนคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบ หยุดจับเวลาการทำงาน หยุดบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิลงฐานข้อมูล จบการทำงานใน 1 คาบเวลาของการอบปรุงอาหารแบบ 2 ช่วงเวลา

4.7.3.3 การอบอาหารแบบ 3 ช่วงเวลา

การอบอาหารแบบ 3 ช่วงเวลาเป็นรูปแบบของการควบคุมอุณหภูมิที่มีการกำหนดช่วงเวลาของการอบเท่ากับ 3 ช่วงเวลา ใน 1 คาบเวลาของการอบอาหาร โดยใน 1 คาบเวลาของการอบอาหารจะมีการกำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย 3 ค่า และค่าเวลาของการอบ 3 ค่า ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และมีรายละเอียดอยู่ในตารางที่ 4.3 ซึ่งในแต่ละช่วงเวลาไม่จำเป็นต้องมีค่าของอุณหภูมิและค่าของเวลาการอบเท่ากัน โดยการอบอาหารแบบ 3 ช่วงเวลานั้นจะเป็นรูปแบบของการอบอาหารที่ต้องการให้เนื้ออาหารภายในและภายนอกแห้งแต่ไม่ไหม้ โดยในช่วงเวลาที่ 1 จะเป็นการควบคุมระดับความแห้งของเนื้ออาหารภายในและภายนอก ในช่วงเวลาที่ 2 จะเป็นการเร่งให้เนื้ออาหารภายในและภายนอกแห้งเร็วขึ้น และในช่วงเวลาที่ 3 จะเป็นการควบคุมระดับสีและระดับความแห้งของเนื้ออาหารภายนอก



รูปที่ 4.8 การอบอาหารแบบ 3 ช่วงเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 การอบอาหารแบบ 3 ช่วงเวลา

ช่วงการทำงาน	รายละเอียด
ช่วง A	<ul style="list-style-type: none"> • กำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย ค่าเวลาการอบ และค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดัน ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบ ในช่วงเวลาที่ 1 ช่วงเวลาที่ 2 และช่วงเวลาที่ 3 • ตรวจสอบเริ่มต้นการอบปรุงอาหาร • เมื่อเริ่มต้นการอบปรุงอาหาร เริ่มป้อนคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ ON เท่ากับ 100% เริ่มจับเวลาการทำงาน เริ่มต้นการบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิลงฐานข้อมูล • ตรวจสอบค่าอุณหภูมิในตู้อบเท่ากับค่าอุณหภูมิที่จุดเบรก (1) หรือไม่
ช่วง B	<ul style="list-style-type: none"> • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบเท่ากับค่าอุณหภูมิที่จุดเบรก (1) ลดค่าเปอร์เซ็นต์ ON ลง เพื่อไม่ให้ค่าของอุณหภูมิในตู้อบสูงกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (1) มาก • ตรวจสอบค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้ามากกว่าหรือเท่ากับค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (1) หรือไม่
ช่วง C	<ul style="list-style-type: none"> • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบมากกว่าหรือเท่ากับค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (1) • เข้าสู่กระบวนการควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบเท่ากับค่าของอุณหภูมิเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ ในช่วงเวลาที่ 1 • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบมากกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (1) ลดค่าเปอร์เซ็นต์ ON ลงตามค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (1) เพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์ ON ขึ้นตามค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น • ตรวจสอบเวลาของการอบในช่วงเวลาที่ 1 ครบตามที่กำหนดหรือไม่
ช่วง D	<ul style="list-style-type: none"> • เมื่อครบเวลาตามที่กำหนดในช่วงเวลาที่ 1 เพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์ ON ขึ้นตามค่าที่ได้กำหนดในช่วงเริ่มต้นของช่วงเวลาที่ 2 • ตรวจสอบค่าของอุณหภูมิในตู้อบเท่ากับค่าอุณหภูมิที่จุดเบรก (2) หรือไม่
ช่วง E	<ul style="list-style-type: none"> • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบเท่ากับค่าอุณหภูมิที่จุดเบรก (2) ลดค่าเปอร์เซ็นต์ ON ลง เพื่อไม่ให้ค่าของอุณหภูมิในตู้อบสูงกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (2) มาก • ตรวจสอบค่าของอุณหภูมิในตู้อบมากกว่าหรือเท่ากับค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (2) หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

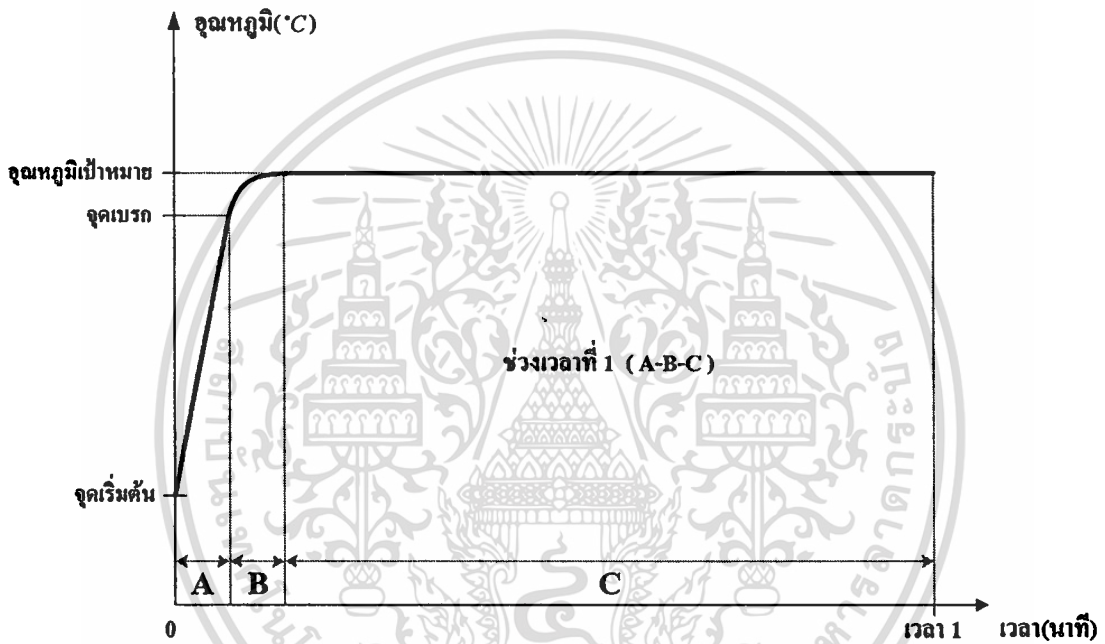
ช่วงการทำงาน	รายละเอียด
ช่วง F	<ul style="list-style-type: none"> • เมื่อค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบ ไฟฟ้ามากกว่าหรือเท่ากับค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (2) • เข้าสู่กระบวนการควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบเท่ากับค่าของอุณหภูมิเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ ในช่วงเวลาที่ 2 • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบมากกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (2) ลดค่าเปอร์เซ็นต์ ON ลงตามค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (2) เพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์ ON ขึ้นตามค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น • ตรวจสอบเวลาของการอบในช่วงเวลาที่ 2 ครบตามที่กำหนดหรือไม่
ช่วง G	<ul style="list-style-type: none"> • เมื่อครบเวลาตามที่กำหนดในช่วงเวลาที่ 2 เพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์ ON ขึ้นตามค่าที่ได้กำหนดในช่วงเริ่มต้นของช่วงเวลาที่ 3 • ตรวจสอบค่าของอุณหภูมิในตู้อบเท่ากับค่าอุณหภูมิที่จุดเบรก (3) หรือไม่
ช่วง H	<ul style="list-style-type: none"> • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบเท่ากับค่าอุณหภูมิที่จุดเบรก (3) ลดค่าเปอร์เซ็นต์ ON ลง เพื่อไม่ให้ค่าของอุณหภูมิในตู้อบสูงกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (3) มาก • ตรวจสอบค่าของอุณหภูมิในตู้อบมากกว่าหรือเท่ากับค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (3) หรือไม่
ช่วง I	<ul style="list-style-type: none"> • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบมากกว่าหรือเท่ากับค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (3) • เข้าสู่กระบวนการควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบเท่ากับค่าของอุณหภูมิเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ ในช่วงเวลาที่ 3 • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบมากกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (3) ลดค่าเปอร์เซ็นต์ ON ลงตามค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (3) เพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์ ON ขึ้นตามค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น • ตรวจสอบเวลาของการอบในช่วงเวลาที่ 3 ครบตามที่กำหนดหรือไม่ • เมื่อครบเวลาที่กำหนด หยุดป้อนคลื่นแรงดัน ไฟฟ้ากระแสสลับให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบ หยุดจับเวลาการทำงาน หยุดบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิลงฐานข้อมูล • จบการทำงานใน 1 คาบเวลาของการอบปรุงอาหารแบบ 3 ช่วงเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตกับการอบอาหาร

1. ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตกับช่วงของการควบคุมอุณหภูมิ

การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อนที่ค่าของอุณหภูมิเป้าหมายต่างๆ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงการควบคุม คือช่วงเร่งอุณหภูมิ (ช่วง A) ช่วงเบรกอุณหภูมิ (ช่วง B) และช่วงควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบให้เข้าใกล้อุณหภูมิเป้าหมาย (ช่วง C) ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.4 สำหรับวิธีเฟสคอนโทรล และตารางที่ 4.5 สำหรับวิธีไซเคิลคอนโทรล ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตกับช่วงของการควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 4.9 ช่วงของการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า

ตารางที่ 4.4 ช่วงของการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าของวิธีเฟสคอนโทรล

ช่วงการทำงาน	รายละเอียด
ช่วง A	<ul style="list-style-type: none"> ใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ ON เท่ากับ 100% (ไซเคิลเต็มใน 1 คาบเวลาของการควบคุม) เพื่อเร่งอุณหภูมิภายในตู้อบให้ถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมายเร็ว โดยในช่วงนี้จะใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 2,000 วัตต์
ช่วง B	<ul style="list-style-type: none"> เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบเท่ากับค่าอุณหภูมิที่จุดเบรก ลดค่าเปอร์เซ็นต์ ON ลง โดยทำการลดค่ามมูเฟสช่วง ON ลงอย่างเป็นขั้นตอนครั้งละ 5 ~10 องศา เพื่อไม่ให้ค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบสูงกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมายมาก หรือเป็นการควบคุมค่า Over shoot ให้มีค่าน้อยที่สุด โดยในช่วงนี้จะใช้กำลังไฟฟ้าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ช่วงการทำงาน	รายละเอียด
	และใช้เวลาน้อย
ช่วง C	<ul style="list-style-type: none"> • เข้าสู่กระบวนการควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบเข้าใกล้ค่าของอุณหภูมิเป้าหมายมากที่สุด • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบมากกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมาย ลดค่าเปอร์เซ็นต์ ON ลงตามค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมาย เพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์ ON ขึ้นตามค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น • โดยในช่วงนี้จะใช้กำลังไฟฟ้าน้อย แต่ใช้เวลานานกว่าช่วง A และช่วง B

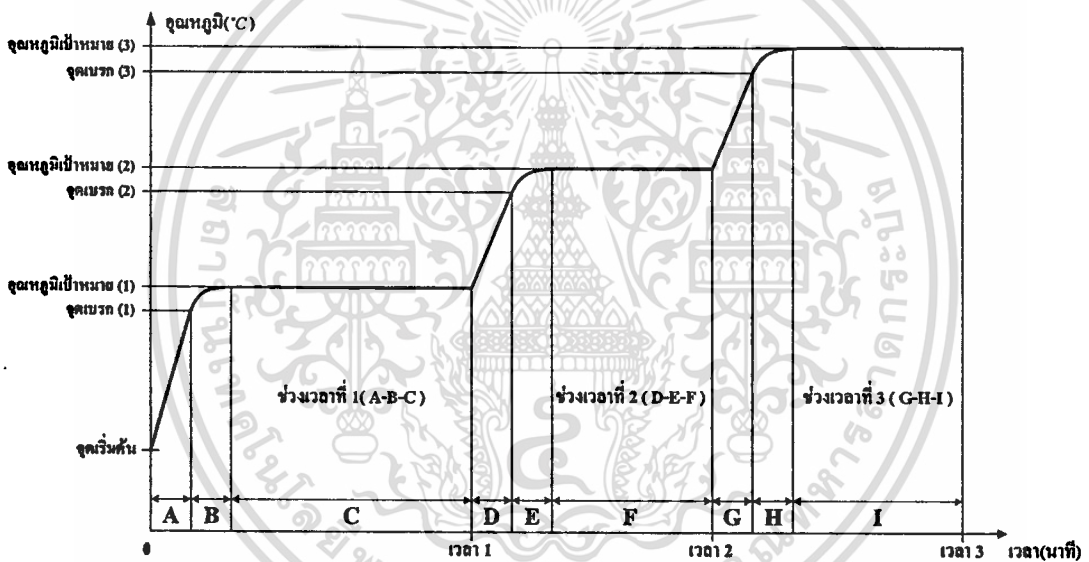
ตารางที่ 4.5 ช่วงของการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าของวิธีไซเคิลคอนโทรล

ช่วงการทำงาน	รายละเอียด
ช่วง A	<ul style="list-style-type: none"> • ใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ ON เท่ากับ 100% (100 ไซเคิลเต็มใน 1 คาบเวลาของการควบคุม) เพื่อเร่งอุณหภูมิภายในตู้อบให้ถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมายเร็ว โดยในช่วงนี้จะใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 2,000 วัตต์
ช่วง B	<ul style="list-style-type: none"> • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบเท่ากับค่าอุณหภูมิที่จุดเบรก ลดค่าเปอร์เซ็นต์ ON ลง โดยทำการลดค่าจำนวนไซเคิลช่วง ON ลงอย่างเป็นขั้นตอนครั้งละ 5 ~10 ไซเคิล เพื่อไม่ให้ค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบสูงกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมายมาก หรือเป็นการควบคุมค่า Over shoot ให้มีค่าน้อยที่สุด โดยในช่วงนี้จะใช้กำลังไฟฟาลดลง และใช้เวลาน้อย
ช่วง C	<ul style="list-style-type: none"> • เข้าสู่กระบวนการควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบเข้าใกล้ค่าของอุณหภูมิเป้าหมายมากที่สุด • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบมากกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมาย ลดค่าเปอร์เซ็นต์ ON ลง (ลดจำนวน ไซเคิล ON ลง) ตามค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น • เมื่อค่าของอุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมาย เพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์ ON ขึ้น (เพิ่มจำนวน ไซเคิล ON ขึ้น) ตามค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น • โดยในช่วงนี้จะใช้กำลังไฟฟ้าน้อย แต่ใช้เวลานานกว่าช่วง A และช่วง B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตกับช่วงเวลาของการอบอาหาร

การควบคุมระดับสีและระดับความแห้งของเนื้ออาหารภายในและภายนอก สามารถทำได้ โดยการกำหนดจำนวนช่วงเวลาของการอบอาหารใน 1 คาบเวลาของการอบ คือการอบอาหารแบบ 1 ช่วงเวลา 2 ช่วงเวลา และ 3 ช่วงเวลา โดยในแต่ละช่วงเวลามีค่าอุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่นำมาอบ ซึ่งจากรูปที่ 4.10 เป็นรูปแบบของการอบอาหารแบบ 3 ช่วงเวลา โดยในช่วงเวลาที่ 3 จะมีค่าของอุณหภูมิเป้าหมายมากกว่าช่วงเวลาที่ 2 และในช่วงเวลาที่ 2 จะมีค่าของอุณหภูมิเป้าหมายมากกว่าช่วงเวลาที่ 1 ดังนั้นเมื่อต้องการค่าของอุณหภูมิที่ใช้อบอาหารเพิ่มขึ้น ก็จะต้องเพิ่มค่าของเปอร์เซ็นต์ ON ขึ้น และเมื่อทำการเพิ่มค่าของเปอร์เซ็นต์ ON ขึ้น การจ่ายกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งการจ่ายกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตจะต้องมีความเหมาะสมในแต่ละช่วงเวลาของการอบอาหารเพื่อให้อาหารออกมาอร่อย สีสวยน่ารับประทาน



รูปที่ 4.10 ช่วงเวลาของการอบอาหาร

4.9 คุณสมบัติของตู้อบไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างตู้อบไฟฟ้าเพื่อใช้ในการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดโดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้าในช่วง $100^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ โดยในตารางที่ 4.6 จะเป็นรายละเอียดของตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อนที่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้น

ตารางที่ 4.6 คุณสมบัติของตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อน

หัวข้อ	รายละเอียด
1. ชนิดของตู้อบไฟฟ้า	ตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อน ใช้พัดลมเป็นตัวช่วยกระจายความร้อนจากขดลวดความร้อนให้ทั่วทั้งตู้อบ
2. ขนาดของตู้อบไฟฟ้า	ขนาดภายในห้องอบ 40(ก) x 37(ย) x 30(ส) ซม. ขนาดภายนอกห้องอบ 46(ก) x 43(ย) x 36(ส) ซม.
3. โครงสร้างของตู้อบไฟฟ้า	มีผนัง 2 ชั้น โดยผนังของตู้อบด้านในและด้านนอกทำจากสแตนเลสแบบเงา มีฉนวนกันความร้อนอยู่ระหว่างผนังทั้งสองด้าน
4. ระบบไฟฟ้า	230 โวลต์ 50-Hz 1 เฟส
5. ขดลวดความร้อน	2,000 วัตต์ จำนวน 1 ขด แบบครีปรูปตัวยู
6. ตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิ	เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K
7. ช่วงของอุณหภูมิใช้งาน	100 °C ~ 200 °C
8. ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิ	±2 °C
9. ระบบควบคุมการทำงาน	ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงาน แสดงผล และบันทึกผลของอุณหภูมิ
10. วิธีควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า	ใช้วิธีการปรับควบคุมเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า
11. การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อน	วิธีเฟสคอนโทรล และไซเคิลคอนโทรล
12. ฉนวนสำหรับป้องกันและรักษาความร้อน	ใช้แผ่นใยแก้วเป็นฉนวนกันความร้อน ภายในผนังของตู้อบทั้ง 5 ด้าน (บน , ล่าง , ซ้าย , ขวา และประตูตู้อบ) เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนภายในตู้อบออกสู่ภายนอก และช่วยทำให้อุณหภูมิภายในตู้อบถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมายเร็ว
13. มอเตอร์ของพัดลมกระจายความร้อน	ถอดมาจากพัดลมตั้งโต๊ะขนาด 16 นิ้ว
14. ใบพัดของพัดลมกระจายความร้อน	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 ซม. มีกรับของใบพัด 2 ด้าน ด้านละ 8 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วัสดุที่ใช้ทำตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อน

ชั้นนอก

1. แผ่นสแตนเลสแบบ 304 หนา 0.5 มม. ชนิดเงา ซึ่งใช้ทำผนังของตู้อบชั้นในและ

2. ท่อเหล็กแบบเหลี่ยมขนาดหน้ากว้าง 1 นิ้ว x 1 นิ้ว หนา 2 มม.

3. เทอร์โมคัทเปิด ชนิด K (CA) ซึ่งมีอุณหภูมิใช้งานสูงสุด 400 องศาเซลเซียส

4. สายเทอร์โมคัทเปิดชนิดป้องกันสัญญาณรบกวน

5. คอนเนคเตอร์สายเทอร์โมคัทเปิด

6. ขดลวดความร้อน(Heater) แบบครึ่งรูปถ้วย ขนาด 2,000 วัตต์ ทำจากสแตนเลสแบบ 304 รุ่น มีเนื้อยึด ชนิดใช้ในอากาศ

7. มอเตอร์ไฟฟ้าของพัดลมกระจายความร้อน ซึ่งถอดมาจากพัดลมตั้งโต๊ะขนาด 16 นิ้ว

8. ใบพัดของพัดลมกระจายความร้อนซึ่งทำจากแผ่นสแตนเลสแบบ 304 หนา 0.5 มม.

ชนิดเงา

9. ฐานรองตู้อบไฟฟ้า

10. บานพับประตูตู้อบ

11. ตัวล็อกประตูตู้อบ

12. ซีลยางขอบประตูตู้อบ

13. สายไฟ

14. หัวต่อสายไฟ

15. ฉนวนกันความร้อนแบบใยหิน

2. การคำนวณต้นทุนของตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อน

การคำนวณต้นทุนของตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อน จะประกอบด้วยส่วนของต้นทุนของ วัสดุคิบและต้นทุนของค่าดำเนินการดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การคำนวณต้นทุนของตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อน

ต้นทุนของตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อน			
รายการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวนที่ใช้	จำนวนเงินรวม (บาท)
1. แผ่นสแตนเลส 304 แบบเงา	2,500	1	2,500
2. ท่อเหล็กแบบเหลี่ยมหน้ากว้าง 1 นิ้ว x 1 นิ้ว หนา 1 มม.	330	2	660
3. เทอร์โมคัพเบิลชนิด K	300	1	300
4. สายเทอร์โมคัพเบิลยาว 1 เมตร	100	1	100
5. คอนเนคเตอร์ของสายเทอร์โมคัพเบิล	30	1	30
6. ขดลวดความร้อน(Heater) แบบกริปรูปตัวยู ขนาด 2,000 วัตต์	1,150	1	1,150
7. มอเตอร์ไฟฟ้าของพัดลมกระจายความร้อน	600	1	600
8. ใบพัดของพัดลมกระจายความร้อน	300	1	300
9. ฐานรองตู้อบ	50	4	200
10. บานพับประตูตู้อบ	62	2	124
11. ตัวล็อกประตูตู้อบ	500	1	500
12. ซีลยางขอบประตูตู้อบ	1,000	1	1,000
13. สายไฟยาว 1 เมตร	20	1	20
14. หัวต่อสายไฟ	25	1	25
15. นี้อัด	50	1	50
16. สกรูพ่นกันสนิม	80	1	80
17. สีพ่นสีดำชนิดทนความร้อน	165	1	165
18. ฉนวนกันความร้อนแบบใยหิน	350	1	350
19. ค่าตัดแผ่นสแตนเลส	10 บาทต่อ ครั้ง	136	1,360
20. ค่าพับแผ่นสแตนเลส	20 บาทต่อ ครั้ง	80	1,600
21. ค่าตัดท่อเหล็กแบบเหลี่ยม	5 บาทต่อครั้ง	36	180
22. ค่าเชื่อมโครงสร้างตู้อบ	300	2	600
		รวม	11,894

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขั้นตอนการสร้างตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อน

ขั้นตอนที่ 1 แนวคิดในการสร้างตู้อบไฟฟ้า

1. ให้ความร้อนคงที่ สม่ำเสมอทั่วทั้งตู้อบ
2. รักษาความชุ่มฉ่ำในเนื้ออาหารขณะทำการอบได้
3. ให้ความร้อนเร็ว
4. อุณหภูมิใช้งานอยู่ในช่วง 100 ~ 200 องศาเซลเซียส
5. มีการสูญเสียความร้อนภายในตู้อบออกสู่ภายนอกต่ำ
6. ใช้ขดลวดความร้อน (Heater) เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อน
7. ใช้เทอร์โมคัทเปิดเป็นตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิ
8. โครงสร้างแข็งแรงไม่เป็นสนิม

ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบตู้อบไฟฟ้า

1. การออกแบบ โครงสร้างหลักของตู้อบ
 - ขนาดของตู้อบ กว้าง 46 ซม. ลึก 43 ซม. สูง 36 ซม. แบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 ส่วน
 - ใช้ท่อเหล็กแบบเหลี่ยมหน้ากว้างขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้วหนา 2 มม.
2. การออกแบบประตูตู้อบ
 - ขนาดของประตูตู้อบ กว้าง 46 ซม. ยาว 36 ซม.
 - ใช้ท่อเหล็กแบบเหลี่ยมหน้ากว้างขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้วหนา 2 มม.
 - ผนังแบบ 2 ชั้น ติดตั้งฉนวนกันความร้อนระหว่างผนังทั้ง 2 ชั้น
 - ผนังชั้นนอกและชั้นในทำจากแผ่นสแตนเลส 304 หนา 0.5 มม.
3. การออกแบบผนังของตู้อบ
 - ผนังของตู้อบชั้นนอกและชั้นในทำจากแผ่นสแตนเลส 304 หนา 0.5 มม.
 - ผนัง 2 ชั้น มีพื้นที่ใส่ฉนวนกันความร้อนระหว่างผนังทั้ง 2 ชั้น
4. การออกแบบใบพัดของพัดลมกระจายความร้อน
 - ใบพัดแบบฐานกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัด 16 ซม.
 - ใบพัดมี 2 ด้าน มีครีบบของใบพัดด้านละ 8 ใบ ครีบบใบพัดเป็นแบบตรงตั้งฉากกับ

ฐาน

- ใบพัดทำจากแผ่นสแตนเลส 304 หนา 0.5 มม.

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างตู้อบไฟฟ้า

1. ตัดท่อเหล็กแบบเหลี่ยมตามความยาวที่ได้ออกแบบไว้ ในส่วนของโครงสร้างหลักของตู้อบ และประตูตู้อบ
2. เชื่อมท่อเหล็กแบบเหลี่ยมในส่วนของโครงสร้างหลักของตู้อบ และประตูตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 3. ใช้เครื่องเจีย เจียจุดเชื่อมให้เรียบ ขัดกระดาษทราย และทำความสะอาดผิวเหล็กก่อนการดำเนินการ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. พันสีรองพื้นกันสนิม 3 ชั้น และสีพื้นสีดำ 3 ชั้น ซึ่งเป็นสีทนความร้อน
5. ทำผนังของตู้อบชั้นในและชั้นนอก และผนังของประตูตู้อบ โดยตัดและพับแผ่นสแตนเลสชิ้นส่วนต่างๆ ตามที่ได้ออกแบบไว้
6. เจาะรูที่แผ่นสแตนเลส และ โครงสร้างหลักของตู้อบ โดยทำเกลียวที่รูของโครงสร้างหลักของตู้อบสำหรับหมุนยึดแผ่นสแตนเลสด้วยน็อต
7. นำแผ่นสแตนเลสที่ตัดแล้วไปติดตั้งที่โครงสร้างหลักของตู้อบและประตูตู้อบ โดยติดตั้งแผ่นฉนวนกันความร้อนไว้ระหว่างผนังชั้นในและชั้นนอก
8. ติดตั้งเทอร์โมคัทเปิดตรงผนังด้านบนของห้องอบภายในตู้อบไฟฟ้า
9. ตัดแผ่นสแตนเลสเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 ซม. ทำเป็นฐานของใบพัด ของพัดลมกระจายความร้อน
10. ตัดแผ่นสแตนเลสขนาด 7.5 x 3 ซม. จำนวน 16 ชิ้น ทำครีบบของใบพัด แล้วพับเป็นมุมฉาก 90 องศา
11. ติดตั้งครีบบของใบพัดเข้ากับฐานของใบพัด และติดตั้งใบพัดเข้ากับมอเตอร์พัดลม
12. ติดตั้งพัดลมกระจายความร้อนเข้ากับตู้อบตรงบริเวณพื้นที่ห้องกำเนิดความร้อน
13. ติดตั้งขดลวดความร้อนใต้ใบพัดตรงบริเวณพื้นที่ห้องกำเนิดความร้อน
14. ต่อสายไฟจากขดลวดความร้อน เทอร์โมคัทเปิด และพัดลมกระจายความร้อน ไปยังบอร์ดควบคุม
15. ติดตั้งฐานของตู้อบทั้งสี่มุม
16. ติดตั้งซีลยางขอบประตูตู้อบ
17. ติดตั้งตัวถือก๊อปประตูตู้อบ

ขั้นตอนที่ 4 การทดสอบตู้อบไฟฟ้า

1. ขั้นตอนในการทำการทดสอบการสร้างสัญญาณคลื่นแรงดันไฟฟ้าแบบเฟสคอนโทรลและไซเคิลคอนโทรล
 1. เชื่อมต่อวงจรกำลังส่วนต่างๆ
 2. เขียนโปรแกรมสร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรลด้วยโปรแกรมภาษาซี โดยใช้โปรแกรม Rkit-51 ของ Raisonance (RIDE)
 3. คอมพิวเตอร์และแอสเซมเบลอร์โปรแกรมที่ได้เขียนขึ้นด้วย RC-51 และ MA-51 จะได้เป็นไฟล์ * .hex ออกมา
 4. เปิดโปรแกรม Flash Magic แล้วทำการโหลดโปรแกรมที่ได้เขียนขึ้นที่มีนามสกุล * .hex ลงในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ติดตั้งอยู่บนบอร์ดควบคุมผ่านทางพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เขียนโปรแกรมมอนิเตอร์ด้วยโปรแกรมวิชวลเบสิก 6.0 (Visual Basic 6.0) เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งาน ใช้ในการควบคุมการทำงาน แสดงผล และบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูล(Microsoft Office Access 2003)

6. เปิดโปรแกรมมอนิเตอร์ที่ได้เขียนขึ้น

7. กำหนดค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดัน ไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้าบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

8. คอมพิวเตอร์ส่งค่าเปอร์เซ็นต์ ON ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ทางพอร์ตอนุกรม

9. ตั้งเริ่มต้นการทำงาน เพื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับตามค่าเปอร์เซ็นต์ ON ที่ได้กำหนดไว้ให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า

10. วัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าทางด้านแหล่งจ่ายและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด ขดลวดความร้อนของวงจรกำลัง

11. บันทึกสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ในรูปแบบของไฟล์ * .BMP ซึ่งเป็นไฟล์รูปภาพของคลื่นแรงดันไฟฟ้า และไฟล์ ASCII ซึ่งเป็นไฟล์ตัวเลขของคลื่นแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับ ลงแผ่นดิสเก็ต

12. นำข้อมูลที่บันทึกได้มาเปิดด้วยโปรแกรม Microsoft Office Excel 2003 แล้วลบส่วนที่เป็นข้อความด้านบนออกพร้อมทั้งบันทึกเป็นนามสกุล * .CSV (MS-DOS)

13. เขียนโปรแกรมเพื่ออ่านค่าของข้อมูลที่วัดได้ด้วยโปรแกรม Matlab เพื่อนำไปคำนวณหาค่าของกำลังไฟฟ้าอินพุต กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกสรวมของคลื่นกระแส ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านอินพุตและเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านเอาต์พุต ตลอดจนค่าประสิทธิภาพของวงจรกำลัง พร้อมทั้งแสดงสเปกตรัมความถี่ของคลื่นแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับที่ค่าเปอร์เซ็นต์ ON ต่างๆ

2. ขั้นตอนทำการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบในระบบปิด

1. เชื่อมต่อวงจรในส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน

2. เขียนโปรแกรมสร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรลและไซเคิลคอนโทรลด้วยโปรแกรมภาษาซี โดยใช้โปรแกรม Rkit-51 ของ Raisonance (RIDE)

3. คอมไพล์และแอสเซมเบลอร์ด้วย RC-51 และ MA-51 จะได้เป็นไฟล์ * . hex ออกมา

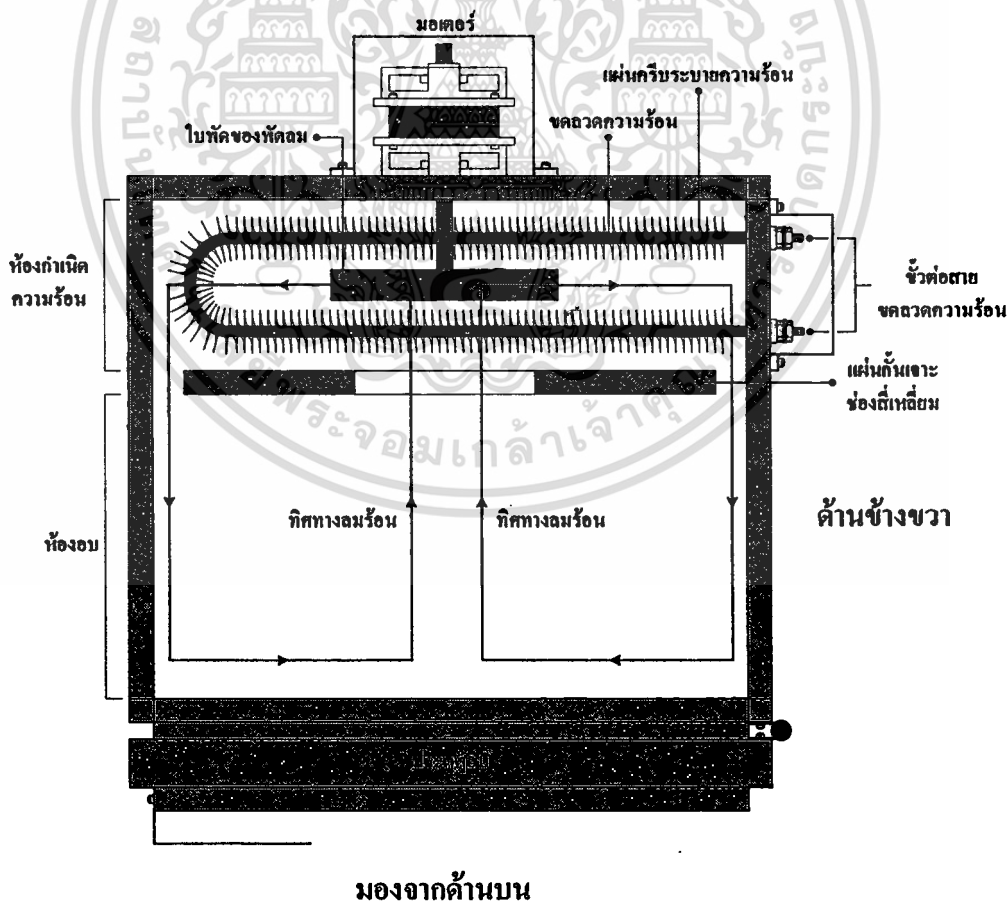
4. เปิดโปรแกรม Flash Magic แล้วโหลด โปรแกรมที่ได้เขียนขึ้นที่มีนามสกุล * . hex ลงในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ที่อยู่บนบอร์ดควบคุมผ่านทางพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์

5. เขียนโปรแกรมมอนิเตอร์ด้วยโปรแกรมวิชวลเบสิก 6.0 (Visual Basic 6.0) เพื่อใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้งาน ควบคุมการทำงาน แสดงผล และบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูล

6. เปิด โปรแกรมมอนิเตอร์
7. เลือกเมนูอาหารที่ต้องการอบ ผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ ON และค่าของเวลาการอบคอมพิวเตอร์จะกำหนดให้โดยอัตโนมัติ โดยที่ผู้ใช้งานไม่ต้องกำหนด
8. คอมพิวเตอร์ส่งค่าเปอร์เซ็นต์ ON ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม
9. ตั้งเริ่มต้นการทำงาน เพื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับตามค่าเปอร์เซ็นต์ ON ที่ได้กำหนดให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า และเริ่มต้นจับเวลาการทำงาน
10. ไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบสัญญาณตรวจจับจุดตัดศูนย์เพื่อเริ่มต้นสั่งการทำงานให้ไตรแอก ON-OFF คลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า
11. เทอร์โมคัพเปิดตรวจจับอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าแล้วแปลงเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าส่งเข้าวงจรรขยายแรงดันไฟฟ้า
12. วงจรรขยายแรงดันไฟฟ้าส่งค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ทำการขยายแล้วให้กับส่วนของ การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล
13. ส่วนของการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลส่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณดิจิตอลเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์
14. ไมโครคอนโทรลเลอร์คำนวณค่าสัญญาณดิจิตอลที่ได้รับมาเป็นค่าของอุณหภูมิแล้วส่งค่าของอุณหภูมิที่คำนวณได้เข้าคอมพิวเตอร์
15. คอมพิวเตอร์แสดงผลของอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า และบันทึกผลลงฐานข้อมูลในโปรแกรม Microsoft Office Access 2003
16. โปรแกรมมอนิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานจะทำการตรวจสอบเปรียบเทียบ และตัดสินใจในการควบคุมอุณหภูมิตามกระบวนการควบคุมอุณหภูมิที่ได้เขียนขึ้น
17. คอมพิวเตอร์ส่งค่าเปอร์เซ็นต์ ON ค่าใหม่ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม
18. คอมพิวเตอร์ตรวจสอบเวลาการทำงาน
19. เมื่อครบเวลาที่กำหนด คอมพิวเตอร์ส่งคำสั่งให้ไตรแอกหยุดนำกระแสผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์ หยุดการบันทึกข้อมูล ส่งสัญญาณเตือนให้ผู้ใช้งานรับรู้

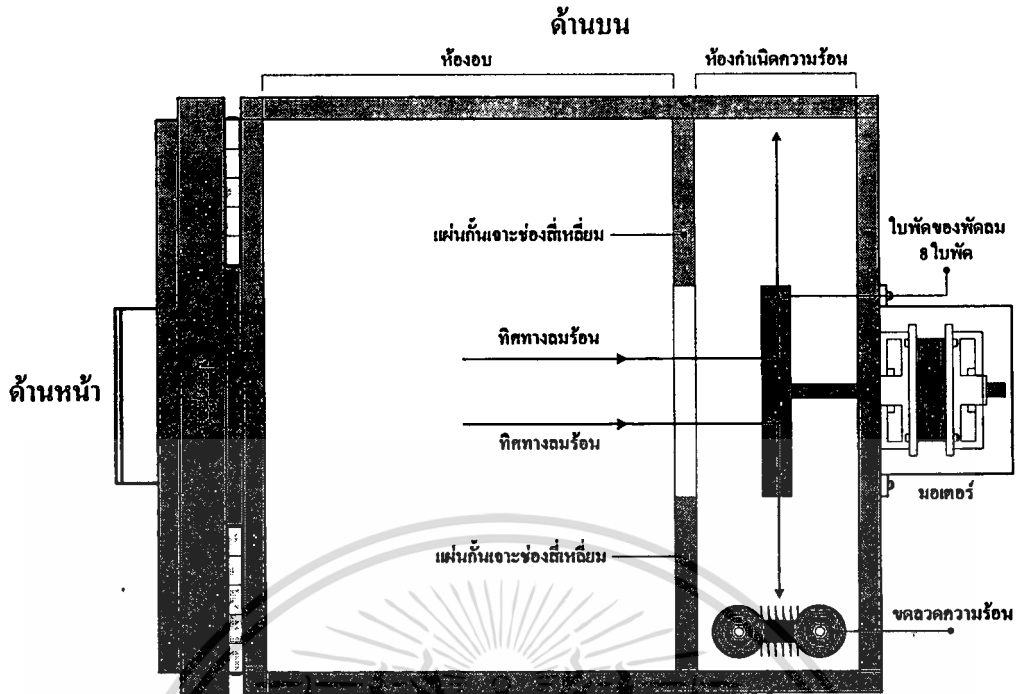
4.10 การหมุนวนของลมร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า

พื้นที่ภายในตู้อบไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนของห้องอบซึ่งอยู่ด้านหน้า และส่วนของห้องกำเนิดความร้อนซึ่งอยู่ด้านหลังดังแสดงในรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 การหมุนวนของลมร้อนจะเริ่มจากใบพัดของพัดลมกระจายความร้อนซึ่งติดตั้งอยู่ที่ห้องกำเนิดความร้อนจะดูดลมจากห้องอบเข้าหาตัวใบพัดภายในห้องกำเนิดความร้อนแล้วปล่อยลมออกทางครีbsd้านข้างของใบพัด โดยลมจะกระจายออกไปรอบทิศทางของใบพัดภายในห้องกำเนิดความร้อน ซึ่งจะเป่าผ่านชุดหลอดความร้อนซึ่งติดตั้งอยู่ที่ใบพัดของพัดลมดังแสดงในรูปที่ 4.13 และจากนั้นลมร้อนจะออกจากห้องกำเนิดความร้อนเข้าสู่ห้องอบทางด้านข้างทั้ง 2 ด้านของผนังตรงกลางซึ่งกั้นระหว่างห้องอบและห้องกำเนิดความร้อนภายในตู้อบ ซึ่งลมร้อนจะสัมผัสกับทุกชิ้นส่วนของชิ้นงานภายในห้องอบ และหลังจากนั้นลมร้อนภายในห้องอบจะถูกดูดกลับเข้าไปในห้องกำเนิดความร้อนอีกครั้ง ซึ่งลมร้อนจะมีการหมุนวนระหว่างห้องอบและห้องกำเนิดความร้อนตลอดช่วงระยะเวลาของการอบ ซึ่งเป็นการหมุนวนของลมร้อนภายในตู้อบไฟฟ้าในระบบปิด โดยจะมีลมเย็นจากภายนอกตู้อบเข้ามาภายในตู้อบน้อยมาก และลมร้อนภายในตู้อบออกสู่ภายนอกตู้อบน้อยมากเช่นกัน



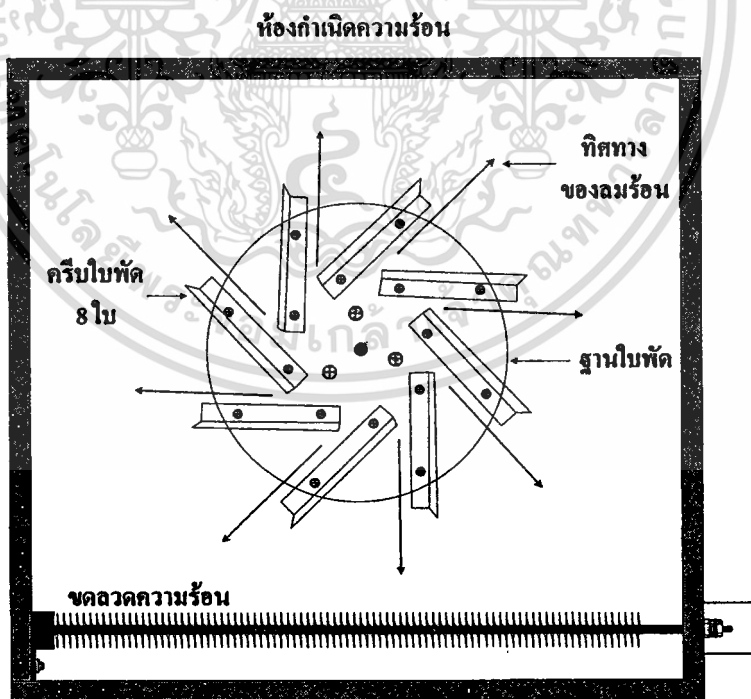
รูปที่ 4.11 ทิศทางของลมร้อนภายในตู้อบ ไฟฟ้าเมื่อมองจากด้านบนของตู้อบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



มองจากด้านข้างขวา

รูปที่ 4.12 ทิศทางของลมร้อนภายในตู้อบไฟฟ้าเมื่อมองจากด้านข้างขวาของตู้อบไฟฟ้า



มองจากด้านหน้าโดยเอาแผ่นกันเจาะช่องสี่เหลี่ยมออก

รูปที่ 4.13 ทิศทางของลมร้อนภายในห้องกำเนิดความร้อนเมื่อมองจากด้านหน้าของตู้อบ

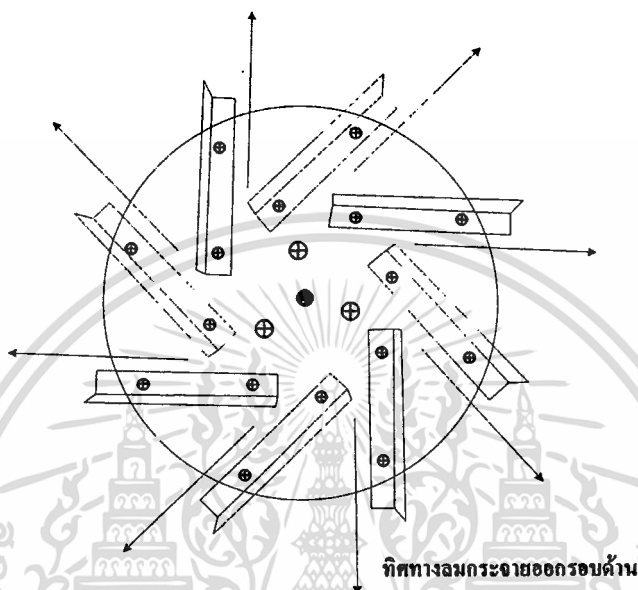
ไฟฟ้าโดยเอาแผ่นกันเจาะช่องสี่เหลี่ยมออก เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11 การออกแบบใบพัดของพัดลมกระจายความร้อน

1. หลักการออกแบบใบพัด

1. ใบพัดจะต้องสามารถสร้างแรงลมได้ในพื้นที่ของตู้อบแบบปิด
2. ใบพัดเมื่อทำงานจะต้องสามารถดูดลมจากด้านหน้าของใบพัดเข้าหาตัวใบพัด แล้ว

กระจายลมออกทางครีbsd้านข้างของใบพัดในทุกทิศทางได้ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 การกระจายลมร้อนออกทางครีbsd้านข้างของใบพัดรอบทิศทาง

3. ใบพัดจะต้องดูดลมและกระจายลมได้ดีและให้แรงลมในระดับที่เหมาะสมกับการใช้งานกับขนาดของตู้ไฟฟ้าที่ทำการวิจัย
4. ใบพัดจะต้องมีน้ำหนักเบา
5. ใบพัดจะต้องสามารถทนความร้อนในช่วงอุณหภูมิใช้งานได้
6. ใบพัดที่ออกแบบจะต้องมีความสมดุลในขณะที่หมุนใช้งาน
7. ใบพัดที่ออกแบบจะมีลักษณะของครีsbใบพัดทำมุมเอียงตามเข็มนาฬิกา เพราะขณะใช้งานใบพัดจะหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกา ซึ่งเป็นทิศทางเดียวกับการหมุนของมอเตอร์
8. วัสดุที่ใช้ทำใบพัดจะต้องทำความสะอาดง่าย ไม่เป็นสนิม เพราะใบพัดจะต้องสัมผัสกับไอน้ำและไอน้ำมันตลอดช่วงระยะเวลาของการอบ

2. วัสดุที่ใช้ทำใบพัด

ใช้แผ่นสแตนเลสแบบ 304 หนา 0.5 มม. แบบเงา

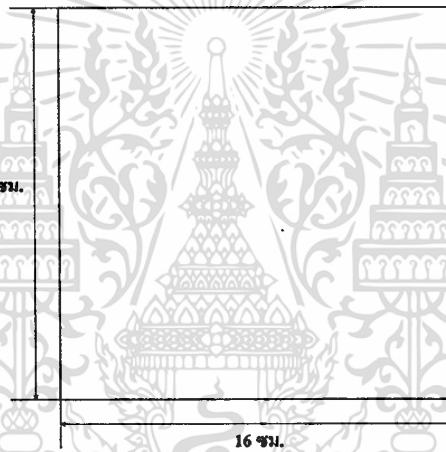
3. ขั้นตอนการออกแบบและสร้างใบพัด

ใบพัดของพัดลมกระจายความร้อนซึ่งติดตั้งอยู่ในตู้อบไฟฟ้าในส่วนของห้องกำเนิดความร้อน ซึ่งเป็นใบพัดที่ได้ออกแบบเป็นพิเศษที่สามารถสร้างแรงลมในตู้อบซึ่งเป็นพื้นที่ปิดได้ โดยตัวใบพัดจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ

1. ส่วนของฐานของใบพัด
2. ส่วนของครีบบของใบพัด

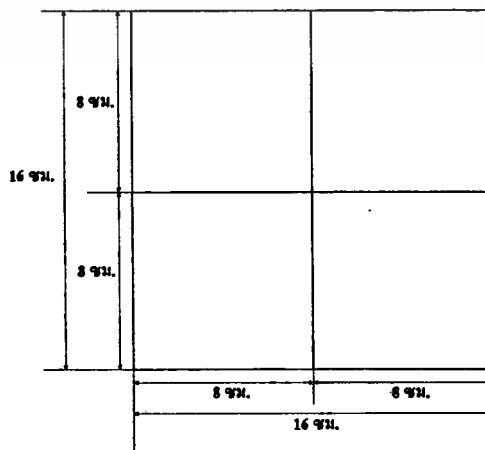
1. การออกแบบและสร้างฐานของใบพัด

1. ตัดแผ่นสแตนเลสเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 16 ซม. x 16 ซม. จำนวน 1 แผ่น ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แผ่นสแตนเลสรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสสำหรับทำฐานใบพัด

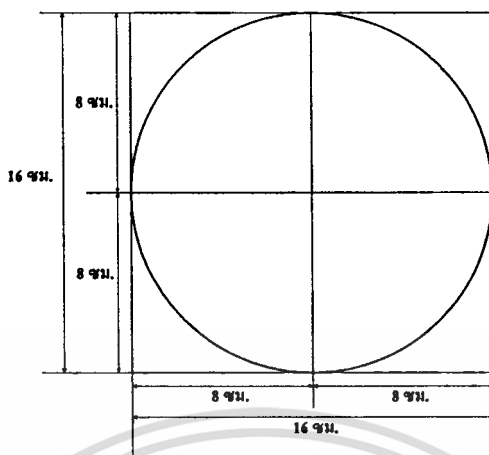
2. ลากเส้นจากจุดกึ่งกลางของด้านใดด้านหนึ่งไปยังจุดกึ่งกลางของด้านตรงข้ามดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 การลากเส้นแบ่งพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส

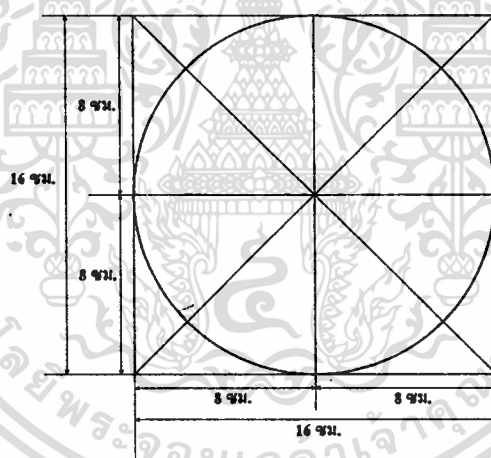
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใช้วงเวียนลากเส้นวงกลมวงใหญ่รัศมี 8 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 4.17



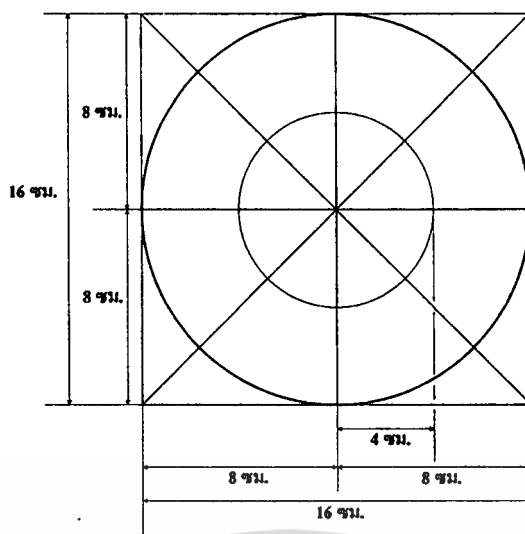
รูปที่ 4.17 การลากเส้นวงกลมวงใหญ่

4. ลากเส้นทแยงมุมของพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส จำนวน 2 เส้นดังแสดงในรูปที่ 4.18



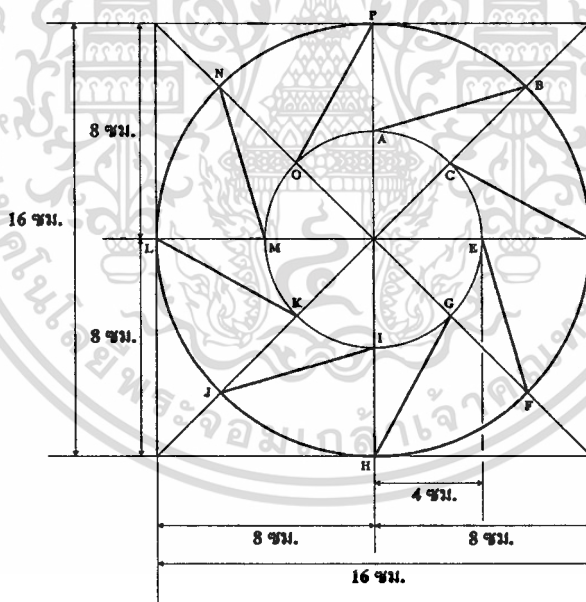
รูปที่ 4.18 การลากเส้นทแยงมุม

5. ใช้วงเวียนลากเส้นวงกลมวงเล็กรัศมี 4 ซม. ตรงจุดศูนย์กลางกลางของวงกลมขนาดใหญ่ดังแสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 การลากเส้นวงกลมวงเล็ก

6. ลากเส้นจากจุด A-B, C-D, E-F, G-H, I-J, K-L, M-N และ O-P ซึ่งใช้เป็นแนวเส้นสำหรับติดตั้งกริบของใบพัดจำนวน 8 ใบ ซึ่งมี 2 ด้านดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 การลากแนวเส้นติดตั้งกริบของใบพัด

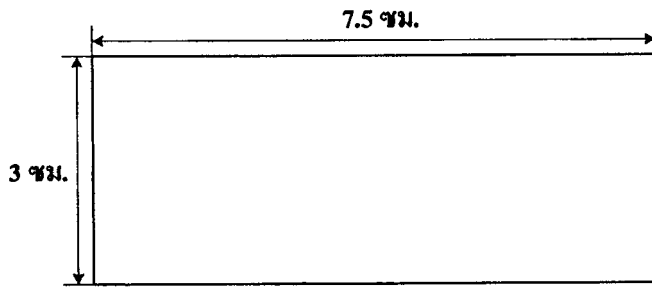
7. ตัดแผ่นสแตนเลสตามแนวขอบของวงกลมวงใหญ่

2. การออกแบบและสร้างกริบของใบพัด

1. ตัดแผ่นสแตนเลสเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 3 ซม. x 7.5 ซม. จำนวน 16 ชิ้น ดังแสดงใน

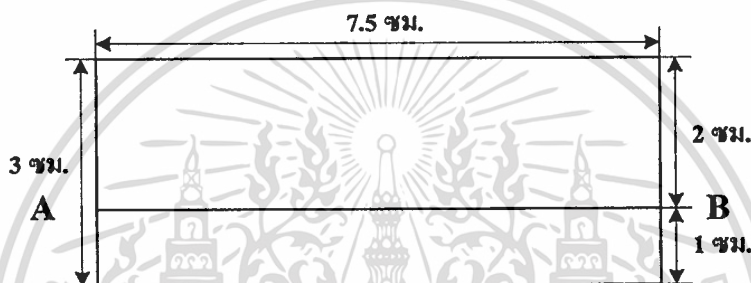
รูปที่ 4.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



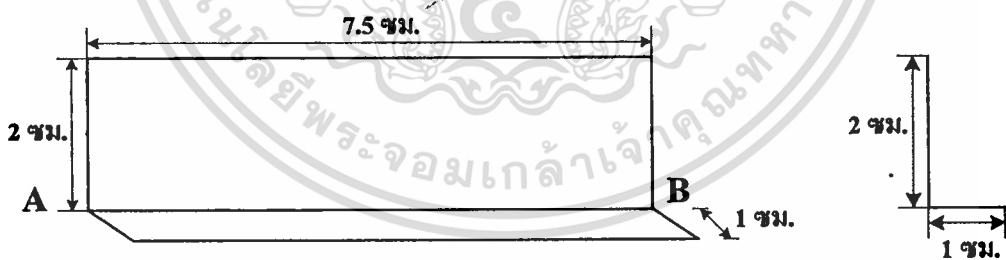
รูปที่ 4.21 แผ่นสแตนเลสรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

2. ลากเส้นแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 ส่วน ขนาด 2 ซม. x 7.5 ซม. และ ขนาด 1 ซม. x 7.5 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 แบ่งพื้นที่แผ่นสแตนเลสรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

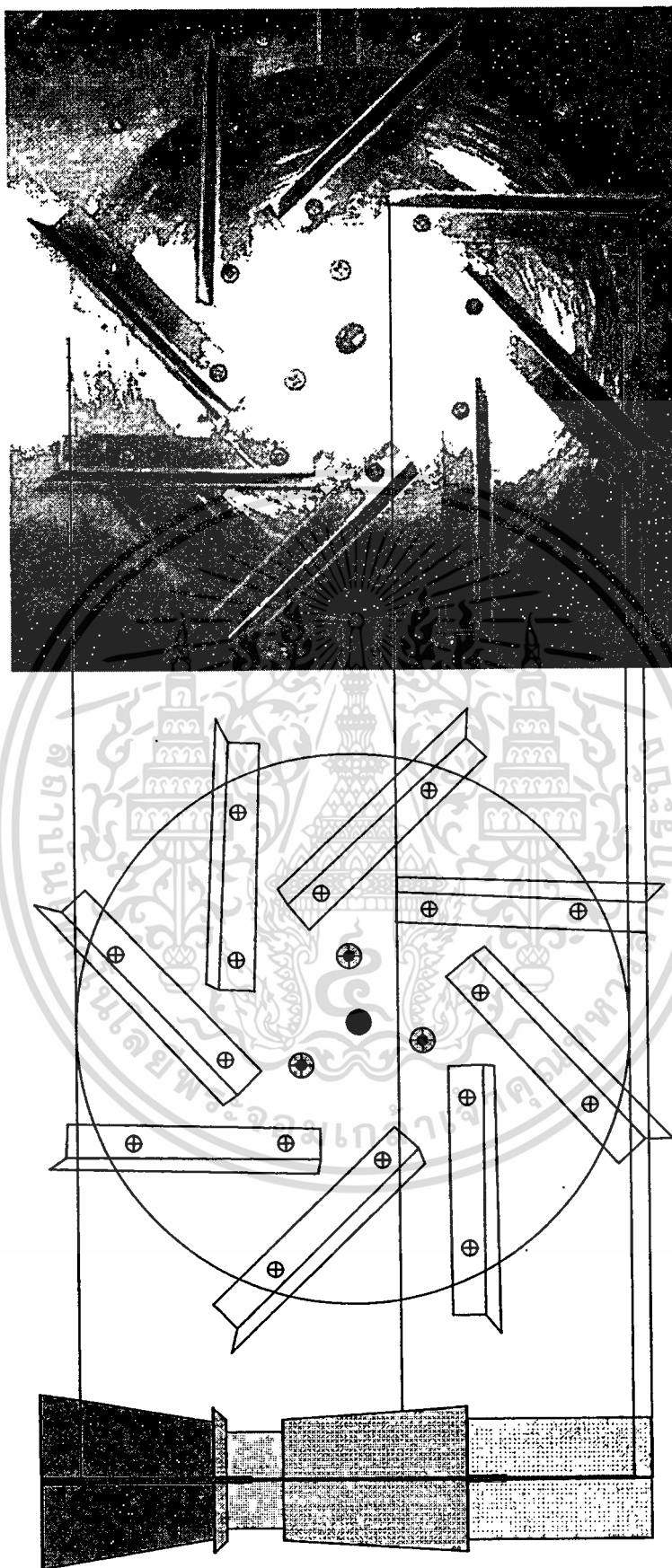
3. พับแผ่นสแตนเลสตามรอยที่ลากเส้นไว้เป็นมุมฉาก 90 องศา ทั้ง 16 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 แผ่นสแตนเลสรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเมื่อพับเป็นมุมฉาก 90 องศา

3. การติดตั้งครีบบของใบพัดเข้ากับฐานของใบพัด

นำครีบบของใบพัดติดตั้งตามแนวที่ได้ลากเส้นไว้บนฐานของใบพัด ดังแสดงในรูปที่ 4.24 ซึ่งใบพัดจะมีฐาน 1 แผ่น และมีครีบบติดตั้งอยู่ 2 ด้าน ด้านละ 8 ใบ เพื่อเพิ่มแรงลมให้มากขึ้น



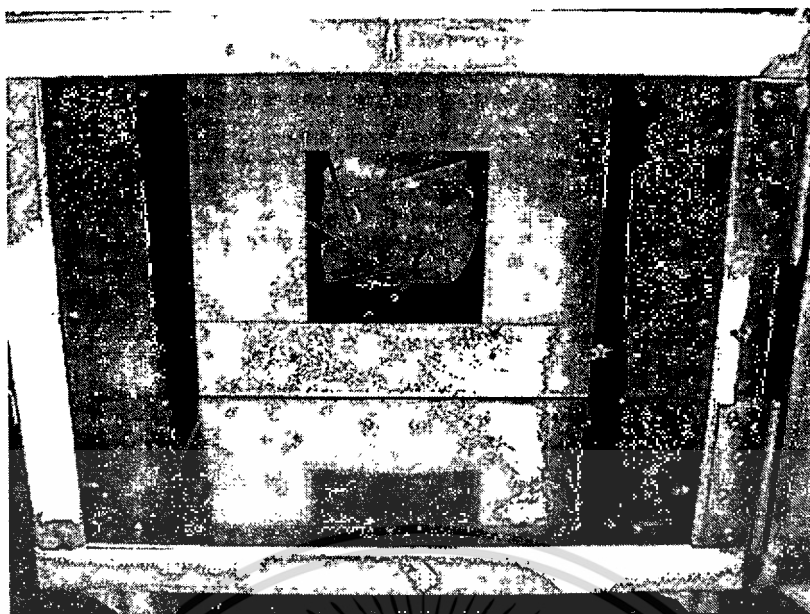
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.24 ใบพัดของพัดลมกระจายความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้าใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 4.25 เป็น โครงสร้างภายนอกของตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อน ส่วนรูปที่ 4.26 เป็น โครงสร้างภายในของตู้อบซึ่งแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 เป็น ส่วนของห้องอบซึ่งจะอยู่ด้านหน้า พื้นที่ส่วนนี้ใช้ในการอบอาหารและติดตั้งตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิ และส่วนที่ 2 เป็น ส่วนของห้องกำเนิดความร้อนซึ่งจะอยู่ด้านหลัง พื้นที่ส่วนนี้จะติดตั้งขดลวดความร้อนและพัดลมกระจายความร้อน โดยพัดลมจะดูดลมจากห้องอบเข้ามาที่ห้องกำเนิดความร้อนเพื่อเป่าผ่านไปที่ขดลวดความร้อนจากนั้นลมร้อนจะออกไปทางด้านซ้ายและด้านขวาของห้องกำเนิดความร้อนเข้าสู่ห้องอบ โดยลมร้อนนี้จะกระจายไปทั่วทั้งห้องอบ และจะถูกดูดกลับเข้ามาที่ห้องกำเนิดความร้อนอีกครั้ง ในรูปที่ 4.27 เป็น ขดลวดความร้อนแบบครีบริปตัวยูชนิดให้ความร้อนกับอากาศซึ่งติดตั้งอยู่ในห้องกำเนิดความร้อน โดยครีบริปจะเป็นตัวช่วยระบายความร้อนออกจากตัวขดลวดความร้อน ซึ่งจะทำให้ความร้อนออกมาจากขดลวดความร้อนเร็วกว่าแบบธรรมดาชนิดไม่มีครีบริป ในรูปที่ 4.28 เป็น ใบพัดของพัดลมที่ติดตั้งอยู่ในห้องกำเนิดความร้อน โดยหลักการทำงานของใบพัดนี้จะดูดลมทางด้านหน้าเข้าหาตัวใบพัดแล้วเป่าออกทางด้านข้างของใบพัด ในรูปที่ 4.29 เป็น ตัวเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (CA) ซึ่งทำหน้าที่เซ็นเซอร์อุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า ซึ่งวัดอุณหภูมิได้สูงสุด 400°C ในรูปที่ 4.30 เป็น มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 230 โวลต์ 50-Hz ของตู้อบไฟฟ้า ซึ่งติดตั้งอยู่ภายนอกตู้อบไฟฟ้า ในรูปที่ 4.31 เป็น บอร์ดควบคุมการทำงานซึ่งประกอบด้วย วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรขับไทรแอก วงจรวัดอุณหภูมิ วงจรสื่อสารอนุกรม และวงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์



รูปที่ 4.25 โครงสร้างภายนอกของตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 โครงสร้างภายในของตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อน

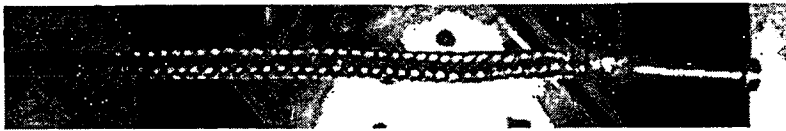


รูปที่ 4.27 ขดลวดความร้อนแบบกริบรูปตัวยูภายในตู้อบไฟฟ้า



รูปที่ 4.28 ใบทัดของพัดลมภายในตู้อบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 เทอร์โมคัทเปิดซึ่งใช้เป็นตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า



รูปที่ 4.30 มอเตอร์ของตู้อบไฟฟ้า



รูปที่ 4.31 บอร์ดควบคุมการทำงานในการสร้างรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าแบบเฟสคอนโทรลและไซเคิลคอนโทรล

4.12 โปรแกรมมอนิเตอร์

โปรแกรมมอนิเตอร์เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการแสดงฟังก์ชันการใช้งานต่างๆ เพื่อรับส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานและคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้คือ

4.12.1 โปรแกรมวิซวลเบสิก 6.0 (Visual Basic 6.0)

โปรแกรมวิซวลเบสิก 6.0 เป็นโปรแกรมที่ใช้เป็นเครื่องมือในการเขียนโปรแกรม แอปพลิเคชันต่างๆ เพื่อติดต่อกับผู้ใช้งาน ควบคุมการทำงาน และแสดงผล โดยคุณสมบัติของโปรแกรมนี้สามารถแบ่งออกเป็นข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เป็นโปรแกรมที่สามารถใช้เขียนโปรแกรมมอนิเตอร์ได้ เพราะมีเครื่องมือรองรับการทำงานในฟังก์ชันต่างๆ มากมาย
2. เป็นโปรแกรมที่สามารถติดต่อกับฐานข้อมูลต่างๆ ได้
3. เป็นโปรแกรมที่สามารถติดต่อกับสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกได้ โดยผ่านทางพอร์ตอนุกรม และพอร์ตนานาน
4. เป็นโปรแกรมที่มีเครื่องมือของการจับเวลา ซึ่งใช้ในการตั้งเวลาของการอบอาหาร
5. เป็นโปรแกรมที่สามารถเขียน อ่าน และทำความเข้าใจได้ง่าย
6. เป็นโปรแกรมที่สามารถสร้างไฟล์ที่ได้เขียนขึ้นเป็นไฟล์ *.EXE ได้
7. เป็นโปรแกรมที่สามารถสร้างแอปพลิเคชันได้ง่าย และรวดเร็ว
8. เป็นโปรแกรมที่สามารถสร้างเมนูการใช้งานได้ง่าย

4.12.2 ฟังก์ชันการทำงาน

1. การแสดงผล

1.1 แสดงสถานะการทำงานของตู้อบไฟฟ้า

การแสดงผลสถานะของตู้อบไฟฟ้าเป็นการบอกให้ผู้ใช้งานรู้ว่าตู้อบไฟฟ้าอยู่ในสถานะทำงาน หยุดทำงาน หรือทำงานเสร็จสิ้นแล้ว

1.2 แสดงเวลาของการอบอาหาร

การแสดงผลเวลาของการอบอาหารเป็นการบอกให้ผู้ใช้งานรู้ว่าตู้อบไฟฟ้าทำงานไปแล้วกี่นาที และเหลือเวลาอีกกี่นาทีจึงทำงานเสร็จสิ้น

1.3 แสดงผลของอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า

การแสดงผลค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า เป็นการแสดงผลของอุณหภูมิเพื่อให้ผู้ใช้งานรับรู้ถึงค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบขณะทำการอบอาหาร

2. การตั้งเวลาการอบอาหาร

การตั้งเวลาของการอบอาหารจะมีการกำหนดผ่านทางคอมพิวเตอร์ โดยผู้ใช้งานสามารถตั้งเวลาได้ทั้งแบบชั่วโมงและนาที ซึ่งจะเป็นการนับแบบเพิ่มค่าเวลา โดยโปรแกรมวิซวลเบสิก 6.0 จะแสดงหลักชั่วโมง หลักนาที และหลักวินาที

3. การบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูล

ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Microsoft Office Access 2003 เป็นฐานข้อมูล ซึ่งในการบันทึกข้อมูลจะกระทำผ่านทางโปรแกรมวิซวลเบสิก 6.0 โดยโปรแกรมวิซวลเบสิก 6.0 จะเป็นเอกสตัวรับข้อมูล แล้วนำข้อมูลนั้นจัดเก็บลงฐานข้อมูลศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า

ในการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าลงฐานข้อมูลนั้น เพื่อใช้ในการพล็อตกราฟของอุณหภูมิและทำการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ ซึ่งข้อมูลที่บันทึกนี้ยังสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการทดสอบสูตรอาหารได้อีกด้วย

3.2 การบันทึกข้อมูลสภาวะการทำงานของตู้อบไฟฟ้า

การบันทึกข้อมูลสภาวะของตู้อบไฟฟ้าในการทำงานแต่ละครั้ง เพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานของตู้อบไฟฟ้า และตรวจเช็คความผิดปกติที่เกิดขึ้น เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้นี้ไปตรวจสอบและแก้ไข

3.3 การบันทึกข้อมูลของผู้ใช้งาน

เป็นการบันทึกข้อมูลส่วนตัวของผู้ใช้งานและผลต่างๆ ของการทดสอบการทำอาหารในแต่ละครั้งเพื่อใช้ในการพัฒนาสูตรอาหาร เช่น ส่วนผสม ปริมาณที่ใช้ วิธีทำ วัน/เดือน/ปี ที่ทำการทดลอง และผลของการอบอาหาร

3.4 การบันทึกข้อมูลสูตรอาหาร

ซึ่งได้ทำการรวบรวมสูตรอาหารชนิดต่างๆ ไว้เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเรียกดูข้อมูลของการทำอาหารได้ เพื่อความสะดวก และรวดเร็ว ซึ่งจะประกอบด้วย ชื่อของอาหาร ส่วนผสม ปริมาณที่ใช้ วิธีทำ และภาพของอาหาร

4.12.3 วิธีควบคุมการอบอาหาร

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งวิธีการควบคุมการอบอาหารออกเป็น 2 วิธีใหญ่ๆ คือ

1. การควบคุมการอบอาหารแบบ Manual

การควบคุมแบบ Manual ผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่าต่างๆ ที่ใช้ในการอบได้เช่น ค่าของอุณหภูมิ ค่าของเวลา และจำนวนช่วงเวลาของการอบอาหาร เป็นต้น ซึ่งเป็นการอบอาหารโดยทั่วไป และเหมาะสำหรับผู้ใช้งานที่ต้องการทดลองทำอาหารในสูตรต่างๆ เอง

2. การควบคุมการอบอาหารแบบ Automatic

เป็นการควบคุมแบบอัตโนมัติที่ผู้ใช้งานไม่ต้องกำหนดค่าของอุณหภูมิที่ใช้ออบ และค่าของเวลาการอบเอง คอมพิวเตอร์จะกำหนดให้ เพียงผู้ใช้งานเลือกเมนูอาหาร และเลือกข้อมูลที่ต้องการอบ เช่น จำนวนอาหาร ขนาดหรือน้ำหนัก และชิ้นส่วนของอาหารที่นำมาอบ เป็นต้น จากนั้นจอคอมพิวเตอร์ให้ตรงกับอาหารที่นำมาอบ ซึ่งวิธีนี้จะเหมาะกับผู้ที่ต้องการความรวดเร็ว และไม่มีความถนัดในเรื่องการทำอาหาร โดยจะได้รสชาติของอาหารออกมาอร่อย และมีสีสวยน่ารับประทาน เพราะผู้ออกแบบระบบได้ทำการทดสอบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ เวลา และจำนวนช่วงเวลาของการอบ ที่เหมาะสมกับอาหารแต่ละชนิดไว้แล้ว โดยข้อมูลความสัมพันธ์นี้จะ

จัดเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.13 การประหยัดพลังงานของตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อน

ตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อนจะประกอบด้วยส่วนของพัดลมกระจายความร้อน และขดลวดความร้อน ซึ่งเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองพลังงาน โดยเฉพาะขดลวดความร้อน ดังนั้นจึงต้องออกแบบตู้อบไฟฟ้าให้ประหยัดพลังงาน โดยปัจจัยที่มีผลกับการประหยัดพลังงานของตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อน สามารถแบ่งได้ 3 ปัจจัยคือ

1. การออกแบบตู้อบไฟฟ้า
2. การแบ่งช่วงเวลาของการอบอาหาร
3. วิธีการควบคุมอุณหภูมิ

1. การออกแบบตู้อบไฟฟ้า

1. ออกแบบตู้อบไฟฟ้าเป็นแบบระบบปิด เพื่อป้องกันการรั่วไหลของความร้อนออกสู่ภายนอก
2. ออกแบบผนังของตู้อบไฟฟ้าเป็นแบบ 2 ชั้น
3. ใช้ฉนวนกันความร้อนชนิดความหนาแน่นสูงเพราะทำให้ตู้อบสามารถเก็บความร้อนไว้ได้
4. ใช้วัสดุชนิดเบาในการทำใบพัดของพัดลมกระจายความร้อน
5. ควบคุมความเร็วของพัดลมให้เหมาะสมกับค่าอุณหภูมิเป้าหมายและช่วงเวลาการอบ
6. เลือกใช้มอเตอร์กระจายความร้อนชนิดประหยัดพลังงาน
7. ออกแบบตู้อบไฟฟ้าให้สามารถปรับขนาดพื้นที่ของห้องอบให้เล็กลงได้กรณีของการอบชิ้นงานจำนวนน้อย
8. เลือกใช้ขดลวดความร้อนชนิดให้ความร้อนเร็วและสม่ำเสมอ
9. เลือกใช้ตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิภายในตู้อบชนิดตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเร็ว

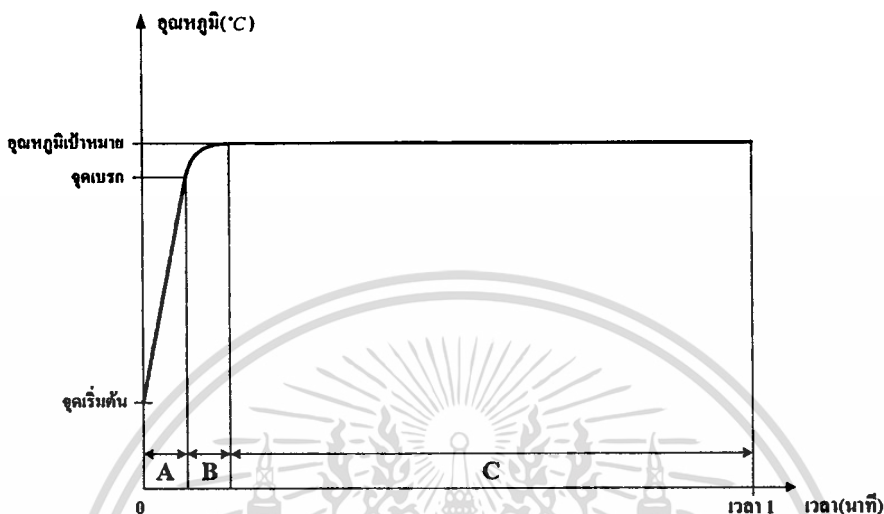
2. การแบ่งช่วงเวลาของการอบอาหาร

1. กำหนดจำนวนช่วงเวลาให้เหมาะสมกับอาหารที่นำมาอบ ซึ่งจะทำให้อาหารที่อบออกมาตรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ และประหยัดพลังงาน
2. กำหนดค่าอุณหภูมิและเวลาของการอบอาหารในแต่ละช่วงเวลาให้เหมาะสมกับอาหารที่นำมาอบเพื่อทำให้อาหารที่อบออกมาอร่อย สีสวยน่ารับประทาน และประหยัดพลังงาน
3. การกำหนดระดับสีและระดับความแห้งของเนื้ออาหาร โดยเมื่อกำหนดระดับสีของอาหารเข้มและแห้งมากก็จะใช้พลังงานมาก และเมื่อกำหนดระดับสีของอาหารอ่อนและแห้งน้อยก็จะใช้พลังงานน้อย แต่การประหยัดพลังงานจะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ดี โดยอาหารที่ผ่านการอบจะต้องออกมาดีและมีคุณภาพตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วิธีการควบคุมอุณหภูมิ

การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อนที่ค่าอุณหภูมิเป้าหมายใด จะทำการแบ่งช่วงของการควบคุมอุณหภูมิออกเป็น 3 ช่วง ดังแสดงในรูปที่ 4.32 ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ในตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.32 การแบ่งช่วงของการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าที่ค่าของอุณหภูมิเป้าหมายต่างๆ

ตารางที่ 4.8 การใช้พลังงานในแต่ละช่วงของการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า

ช่วงการควบคุม	รายละเอียด
ช่วง A	<ul style="list-style-type: none"> ใช้กำลังไฟฟ้าเต็ม 2,000 วัตต์ โดยใช้เปอร์เซ็นต์ ON เท่ากับ 100% เพื่อเร่งอุณหภูมิภายในตู้อบให้ถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมายเร็ว ซึ่งจะส่งผลให้เข้าสู่สภาวะคงที่เร็ว นั่นคืออาหารที่นำมาอบจะได้รับลมร้อนที่อุณหภูมิเป้าหมายเร็ว ซึ่งจะทำให้กระบวนการอบเสร็จสิ้นเร็วขึ้น ไม่เสียเวลาในช่วงเริ่มต้นของการอบ และทำให้ผลของการอบมีคุณภาพดีตรงตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้
ช่วง B	<ul style="list-style-type: none"> ใช้กำลังไฟฟ้าลดลงอย่างเป็นขั้นตอนจนถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมาย เพื่อเบรคค่าอุณหภูมิภายในตู้อบไม่ให้สูงกว่าค่าอุณหภูมิเป้าหมายมาก ซึ่งเป็นการควบคุมค่า Over Shoot ให้มีค่าน้อย โดยเมื่อค่า Over Shoot ให้มีค่ามากจะทำให้อุณหภูมิภายในตู้อบให้เข้าสู่จุดอุณหภูมิเป้าหมายช้า และเมื่อค่า Over Shoot ให้มีค่าน้อยจะทำให้อุณหภูมิภายในตู้อบให้เข้าสู่จุดอุณหภูมิเป้าหมายเร็ว
ช่วง C	<ul style="list-style-type: none"> ในช่วงนี้จะใช้กำลังไฟฟ้าน้อยแต่ใช้เวลานานกว่า ช่วง A และ ช่วง B นั่นคือจะใช้เปอร์เซ็นต์ ON น้อยที่สุดเพื่อให้อุณหภูมิภายในตู้อบเข้าใกล้อุณหภูมิเป้าหมายมากที่สุด โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน ± 2 องศาเซลเซียส

4.14 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของตู้อบไฟฟ้าที่ทำการวิจัย และตู้อบไฟฟ้าที่มีในท้องตลาดซึ่งใช้ในครัวเรือน

ในหลักการใหม่ของการทำวิจัยในเรื่องของตู้อบไฟฟ้าที่ใช้ในครัวเรือนที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งได้มีการใช้เทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน และรองรับความต้องการในรูปแบบต่างๆ ที่เพิ่มขึ้นในยุคปัจจุบัน ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับข้อแตกต่างระหว่างตู้อบไฟฟ้าในท้องตลาดและตู้อบไฟฟ้าที่ได้เสนอในงานวิจัยนี้ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.9 ดังนี้

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบหลักการการทำงานของตู้อบไฟฟ้าที่ทำการวิจัย และตู้อบไฟฟ้าในท้องตลาดที่ใช้ในครัวเรือน

หลักการการทำงานของตู้อบไฟฟ้า	
ตู้อบไฟฟ้าที่ทำการวิจัย	ตู้อบไฟฟ้าในท้องตลาด
1. ควบคุมการทำงานแบบดิจิทัลด้วยคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์	1. ควบคุมการทำงานแบบแอนาล็อก หรือดิจิทัลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
2. มีวิธีควบคุมการอบอาหาร 2 แบบ คือ การอบอาหารแบบธรรมดา (Manual) และ การอบอาหารแบบอัตโนมัติ (Automatic)	2. วิธีการอบอาหารทำได้ 1 แบบ คือ การอบอาหารแบบธรรมดา (Manual)
2. แสดงผลที่คอมพิวเตอร์และตู้อบไฟฟ้า	2. แสดงผลที่ตู้อบไฟฟ้า
3. บันทึกข้อมูลต่างๆ เช่น อุณหภูมิ เวลา และสถานะการทำงานในขณะนั้น เป็นต้น ลงในคอมพิวเตอร์ และสามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลังได้	3. ไม่มีการบันทึกข้อมูลใดๆ และไม่มีการเรียกดูข้อมูลย้อนหลังได้
4. มีรูปแบบการใช้งานง่าย สะดวก และรวดเร็ว เนื่องจากสามารถเข้าใจขั้นตอนการใช้งานในแต่ละขณะตามขั้นตอนที่แนะนำจากคอมพิวเตอร์บนจอแสดงผลได้	4. มีรูปแบบการใช้งานค่อนข้างยาก ต้องใช้เวลาในการศึกษาทำความเข้าใจเนื่องจากไม่มีจอเพื่อให้อ่านคำแนะนำใช้งาน
5. มีคำแนะนำทุกขั้นตอนของการทำงาน ซึ่งสามารถเรียกดูได้จากคอมพิวเตอร์	5. ต้องเปิดคู่มือเพื่อดูการใช้งานของเครื่องก่อนการใช้งาน
6. เรียกดูสูตรการปรุงอาหารต่างๆ พร้อมระดับอุณหภูมิและช่วงเวลาที่ใช้ในการอบอาหารนั้นๆ ได้จากคอมพิวเตอร์	6. ต้องเปิดอ่านคู่มือสูตรอาหารทุกครั้งที่มีการประกอบอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

หลักการงานของตู้อบไฟฟ้า	
ตู้อบไฟฟ้าที่ทำวิจัย	ตู้อบไฟฟ้าในท้องตลาด
7. มีระบบการควบคุมอุณหภูมิแบบโหมคพิเศษ กล่าวคือสามารถอบอาหารด้วยระดับอุณหภูมิและช่วงระยะเวลาในลักษณะรูปแบบต่างๆ ได้ตามที่ได้โปรแกรมไว้ นอกเหนือจากโหมคธรรมดาที่ใช้ระดับอุณหภูมิตั้งที่ไว้ค่าใดค่าหนึ่งตลอดช่วงระยะเวลาของการอบจนเสร็จสิ้น เพื่อที่จะทำให้ได้อาหารมีรสอร่อยและน่ารับประทาน โดยแบ่งรูปแบบของการอบอาหารออกเป็น 3 แบบ คือ การอบอาหารแบบ 1 ช่วงเวลา การอบอาหารแบบ 2 ช่วงเวลา และการอบอาหารแบบ 3 ช่วงเวลา	7. มีเพียงระบบการควบคุมอุณหภูมิในระดับคงที่ ที่ค่าใดค่าหนึ่งเพียงค่าเดียวตลอดช่วงระยะเวลาของการอบจนเสร็จสิ้น
8. เหมาะสำหรับผู้ใช้งานทั่วไป และผู้ใช้งานที่ไม่มี ความถนัดในเรื่องการอบปรุงอาหาร	8. ไม่เหมาะสมกับผู้ใช้งานที่ไม่มี ความถนัด ในเรื่องการอบปรุงอาหารและไม่มี ประสบการณ์ในการทำอาหาร

4.15 สรุป

1. เทอร์โมคัทเปิดเป็นตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิที่เหมาะสมในการวัดอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า เพราะมีย่านของการวัดอุณหภูมิกว้าง ใช้งานง่าย มีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ มีรูปแบบ ลักษณะโครงสร้างที่หลากหลายให้เลือกใช้งาน ราคา ไม่แพง และให้สัญญาณทางด้านเอาต์พุตเป็น แรงดันไฟฟ้า ซึ่งตัวเทอร์โมคัทเปิดสามารถกำเนิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าได้เองโดยไม่ต้องใช้ แหล่งจ่ายแรงดันจากภายนอกจึงไม่มีปัญหาเรื่องความร้อนที่ตัวเทอร์โมคัทเปิด

2. การปรับเปลี่ยนค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้วยวิธีเฟสคอนโทรล และไซเคิลคอนโทรลที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้าเพื่อควบคุมอุณหภูมิภายใน ตู้อบไฟฟ้า จะมีการปรับเปลี่ยนค่าของเปอร์เซ็นต์ ON หลังจากจบการทำงานใน 1 คาบของเวลาของ การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น จะไม่มีการปรับเปลี่ยนค่าของเปอร์เซ็นต์ ON ใน ระหว่างคาบเวลา โดย 1 คาบเวลาของการควบคุมแรงดันไฟฟ้าวิธีเฟสคอนโทรลจะเท่ากับ 1 ไซเคิล และสำหรับวิธีไซเคิลคอนโทรล 1 คาบเวลาจะเท่ากับ 100 ไซเคิล ดังนั้นวิธีเฟสคอนโทรลจะมีการ ปรับเปลี่ยนค่าของเปอร์เซ็นต์ ON ในทุกๆ 0.02 วินาที และสำหรับวิธีไซเคิลคอนโทรลจะมีการ ปรับเปลี่ยนค่าของเปอร์เซ็นต์ ON ในทุกๆ 2 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารหลวงวินเวสสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การอบอาหารด้วยวิธีการควบคุมระดับอุณหภูมิในช่วงระยะเวลาต่างๆ ของการอบตามที่ได้กำหนดไว้ด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เป็นรูปแบบของการอบอาหารที่ใช้ในการควบคุมระดับสีของเนื้ออาหารภายนอก และระดับความแห้งของเนื้ออาหารภายในและภายนอกที่นำมาอบ โดยในแต่ละช่วงเวลาไม่จำเป็นต้องกำหนดค่าของอุณหภูมิและเวลาของการอบเท่ากัน ซึ่งการกำหนดค่าของอุณหภูมิและเวลาของการอบจะขึ้นอยู่กับลักษณะของอาหาร ชนิดของอาหาร ขนาดของอาหาร จำนวนของอาหาร และความต้องการของผู้อบอาหาร โดยการอบแบบ 1 ช่วงเวลาจะเป็นการอบแบบทั่วไปที่ต้องการความรวดเร็วในการอบ การอบแบบ 2 ช่วงเวลาเป็นการอบที่ต้องการให้เนื้ออาหารภายในนุ่ม เนื้ออาหารภายนอกแห้งกรอบในระดับต่างๆ และมีสีสวยน่ารับประทาน และการอบอาหารแบบ 3 ช่วงเวลาต้องการให้เนื้ออาหารภายในและภายนอกแห้งกรอบในระดับต่างๆ ตามที่ต้องการ



บทที่ 5

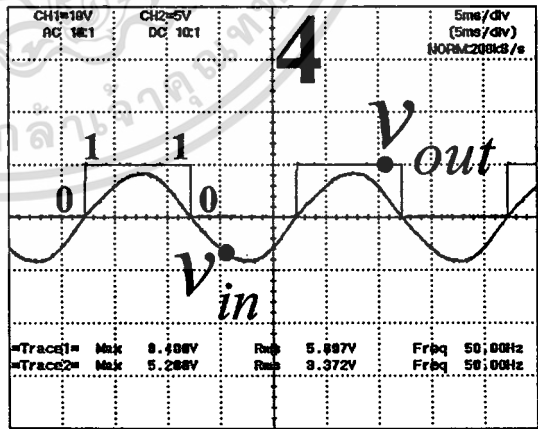
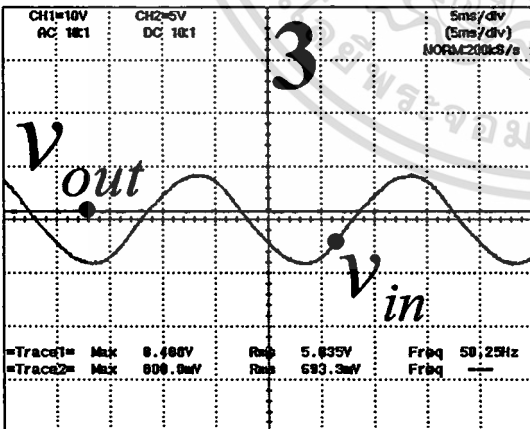
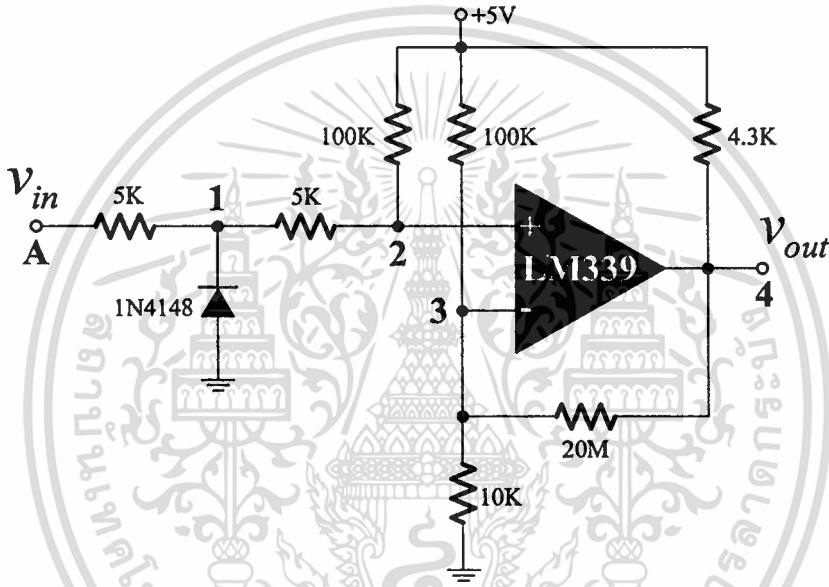
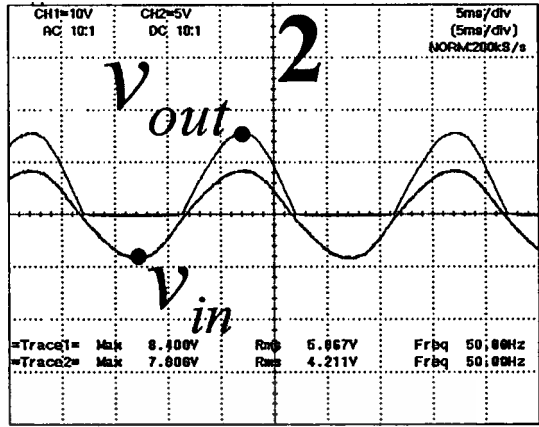
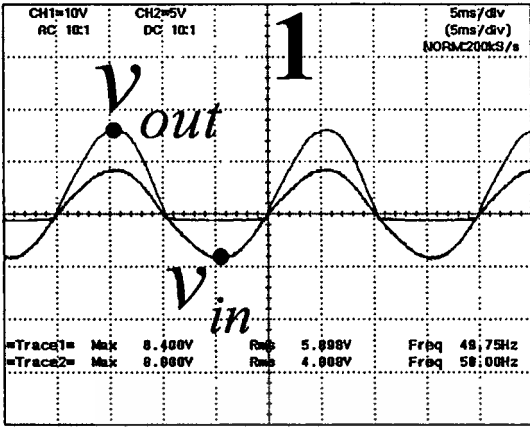
ผลการทดลองและผลการชิมมุเลท

5.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นส่วนของผลการทดลอง ในเรื่องการตรวจจับจุดตัดศูนย์ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรลและไซเคิลคอนโทรล โดยเปรียบเทียบกันระหว่างผลที่ได้จากการชิมมุเลทและผลที่ได้จากการทดลอง และผลของการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิด โดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้าด้วยวิธีเฟสคอนโทรลและไซเคิลคอนโทรล ซึ่งรูปแบบของการควบคุมอุณหภูมิใน 1 คาบเวลาของการอบสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบด้วยกันคือ การควบคุมอุณหภูมิแบบ 1 ช่วงเวลา การควบคุมอุณหภูมิแบบ 2 ช่วงเวลา และการควบคุมอุณหภูมิแบบ 3 ช่วงเวลา โดยในตอนท้ายได้แสดงตัวอย่างการใช้งานจริงของตู้อบไฟฟ้าโดยทำการอบชิ้นงานที่เป็น ขนมปังชนิดแผ่นตราฟาร์มเฮาส์ แผ่นสแต็กหมู และน่องไก่ เพื่อดูผลของการอบจริงทั้ง 3 กรณีสำหรับการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดพร้อมรูปถ่าย

5.2 การตรวจจับจุดตัดศูนย์ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

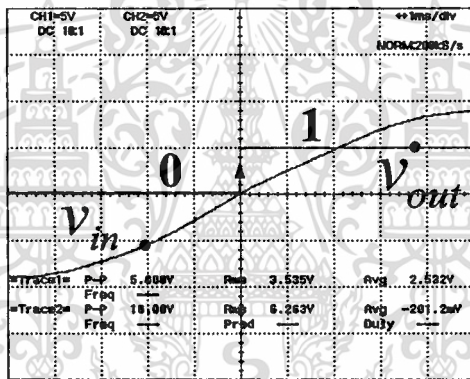
การตรวจจับจุดตัดศูนย์เป็นวิธีที่ใช้ในการหาตำแหน่งที่ค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเท่ากับ 0 โวลต์ โดยวงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์จะทำการแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 50-Hz ขนาด 6 โวลต์ ทางด้านอินพุตของวงจรให้เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเอาต์พุตของวงจรที่มีระดับแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ หรือ 0 โวลต์ ซึ่งระดับแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ นั้นเปรียบได้กับสัญญาณดิจิทัลลอจิก 1 ที่มีระดับแรงดันอยู่ระหว่าง 1.9 ~ 5.5 โวลต์ และระดับแรงดันไฟฟ้า 0 โวลต์ เปรียบได้กับสัญญาณดิจิทัลลอจิก 0 ที่มีระดับแรงดันอยู่ระหว่าง -0.5 ~ 0.9 โวลต์ ซึ่งสัญญาณที่ได้นี้จะป้อนให้กับพอร์ตอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่ออ่านค่าระดับของสัญญาณที่จะใช้ในการหาจุดอ้างอิงของจุดตัดศูนย์ของสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทั้งทางด้านซีกบวกและซีกลบของสัญญาณ สำหรับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เองนั้นไม่สามารถที่จะอ่านค่าของสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้โดยตรงจึงต้องใช้วงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์เป็นตัวแปลงสัญญาณจากคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมาเป็นคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถอ่านค่าได้ดังแสดงในรูปที่ 5.1



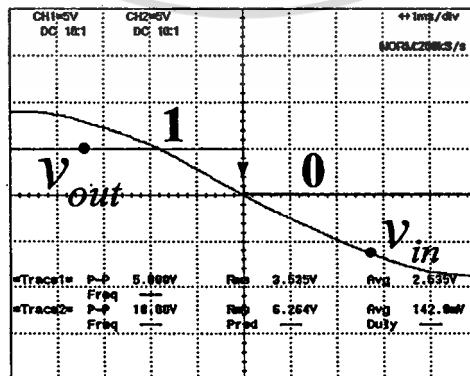
รูปที่ 5.1 วงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจจับจุดตัดศูนย์จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถสร้างรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสคอนโทรลและไซเคิลคอนโทรลได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ โดยวิธีเฟสคอนโทรลจะเริ่มต้นช่วงเวลาช่วง OFF ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับชีกบวตรงตำแหน่งจุดตัดศูนย์ที่ระดับลอจิกเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1 ดังแสดงในรูปที่ 5.2 และชีกลบที่ระดับลอจิกเปลี่ยนจาก 1 ไปเป็น 0 ดังแสดงในรูปที่ 5.3 ส่วนวิธีการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีไซเคิลคอนโทรลจะเริ่มต้น ON ลูกคลื่นทางด้านชีกบวตรงตำแหน่งจุดตัดศูนย์ที่ระดับลอจิกเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1 และจะเริ่มนับจำนวนลูกคลื่นช่วง ON และช่วง OFF ที่ระดับลอจิกเปลี่ยนจาก 1 ไปเป็น 0 โดยจุดสิ้นสุดของคาบเวลาจะอยู่ที่ตำแหน่งที่ระดับลอจิกเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1 ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกันกับจุดเริ่มต้น ON ลูกคลื่น นั่นคือจุดเริ่มต้นของคาบเวลาจะเริ่มที่ชีกบว และจุดสิ้นสุดของคาบเวลาจะจบลงที่ชีกลบของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทั้งวิธีเฟสคอนโทรลและไซเคิลคอนโทรล เพื่อความสมบูรณ์ของลูกคลื่นแรงดันไฟฟ้าในทุกๆ 1 คาบเวลาของการควบคุม



รูปที่ 5.2 คลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตและเอาต์พุตของวงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์ขณะลอจิกเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1



รูปที่ 5.3 คลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตและเอาต์พุตของวงจรตรวจจับจุดตัดศูนย์ขณะลอจิก

เปลี่ยนจาก 1 ไปเป็น 0 สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

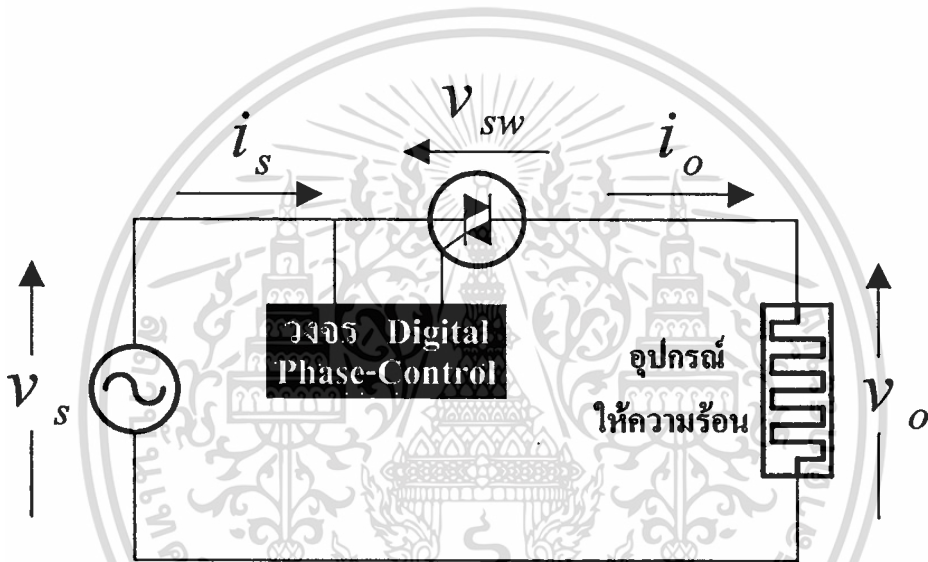
5.3 การเปรียบเทียบผลจากการซิมูเลทและผลจากการทดลองของคลื่นแรงดัน และกระแสพร้อมสเปกตรัมที่ค่าเปอร์เซ็นต์ ON ต่างๆ กรณีเฟสคอนโทรล

5.3.1 ขั้นตอนในการทำการทดลอง

ในการทดลองควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรลใช้วงจรทดลองดังแสดงในรูปที่ 5.4 ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เชื่อมต่อวงจรกำลังส่วนต่างๆ ตามรูปที่ 5.4
2. เขียนโปรแกรมสร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรลด้วย

โปรแกรมภาษาซี โดยใช้โปรแกรม Rkit-51 ของ Raisonance (RIDE)



รูปที่ 5.4 วงจรกำลังในการสร้างรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรล

3. คอมไพล์และแอสเซมเบลอร์โปรแกรมที่ได้เขียนขึ้นด้วย RC-51 และ MA-51 จะได้เป็นไฟล์ * .hex ออกมา

4. เปิดโปรแกรม Flash Magic แล้วทำการโหลดโปรแกรมที่ได้เขียนขึ้นที่มีนามสกุล * .hex ลงในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ติดตั้งอยู่บนบอร์ดควบคุมผ่านทางพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์

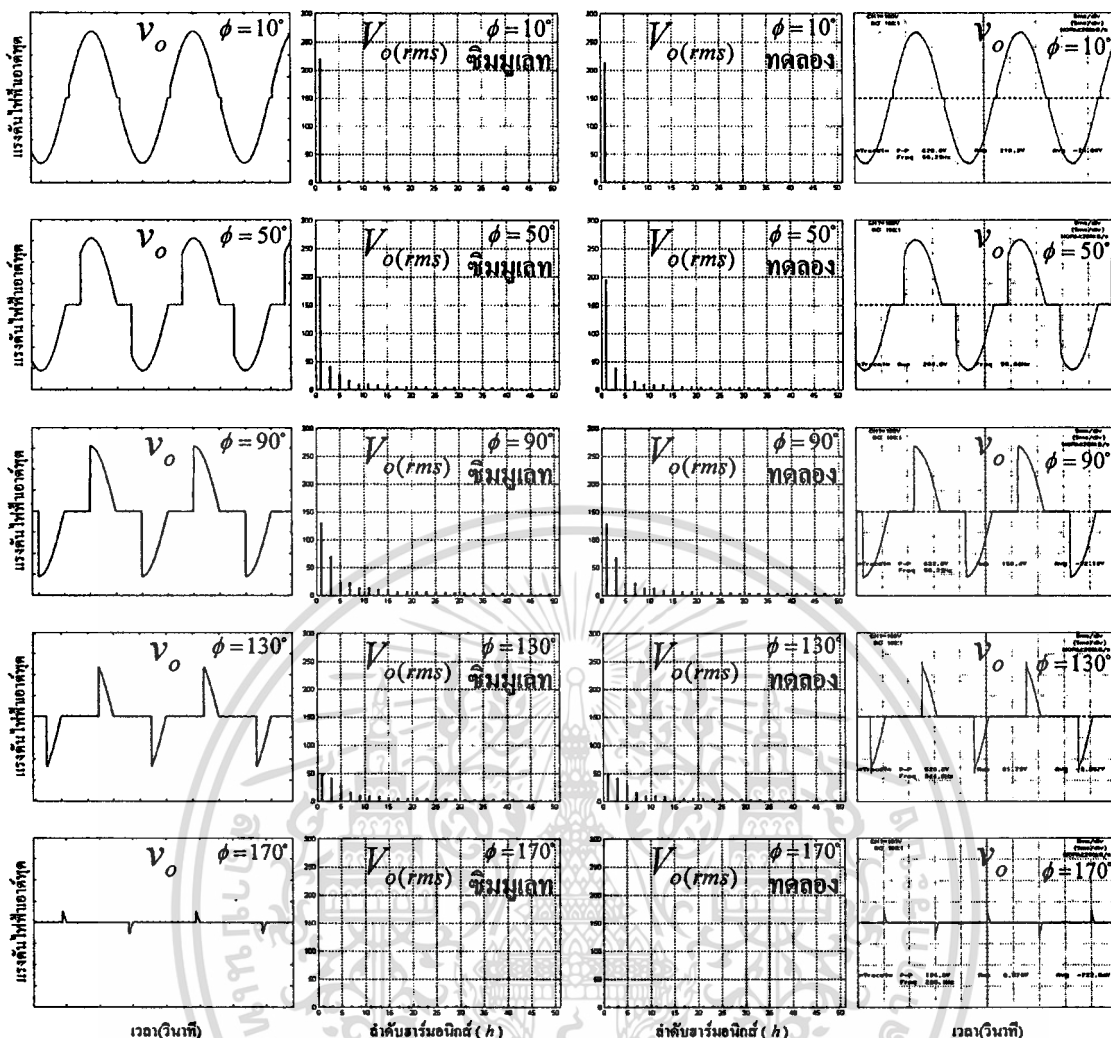
5. เขียนโปรแกรมมอนิเตอร์ด้วยโปรแกรมวิซวลเบสิก 6.0 (Visual Basic 6.0) เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งาน ใช้ในการควบคุมการทำงาน แสดงผล และบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูล (Microsoft Office Access 2003)

6. เปิดโปรแกรมมอนิเตอร์ที่ได้เขียนขึ้น
7. กำหนดค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้าบนหน้าจอคอมพิวเตอร์
8. คอมพิวเตอร์ส่งค่าเปอร์เซ็นต์ ON ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ทางพอร์ตอนุกรม
9. สั่งเริ่มต้นการทำงาน เพื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับตามค่าเปอร์เซ็นต์ ON ที่ได้กำหนดไว้ให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า
10. วัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าทางค่านแหล่งจ่ายและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดขดลวดความร้อนของวงจรกำลัง
11. บันทึกสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ในรูปแบบของไฟล์ * .BMP ซึ่งเป็นไฟล์รูปภาพของคลื่นแรงดันไฟฟ้า และไฟล์ ASCII ซึ่งเป็นไฟล์ตัวเลขของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ลงแผ่นดิสเก็ต
12. นำข้อมูลที่บันทึกได้มาเปิดด้วย โปรแกรม Microsoft Office Excel 2003 แล้วลบส่วนที่เป็นข้อความด้านบนออกพร้อมทั้งบันทึกเป็นนามสกุล * .CSV (MS-DOS)
13. เขียนโปรแกรมเพื่ออ่านค่าของข้อมูลที่วัดได้ด้วยโปรแกรม Matlab เพื่อนำไปคำนวณหาค่าของกำลังไฟฟ้าอินพุต กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกสักรวมของคลื่นกระแส ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านอินพุตและเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านเอาต์พุต ตลอดจนค่าประสิทธิภาพของวงจรกำลัง พร้อมทั้งแสดงสเปกตรัมความถี่ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ค่าเปอร์เซ็นต์ ON ต่างๆ

5.3.2 ผลการทดลองและผลการขมิมุเลท

5.3.2.1 การเปรียบเทียบผลของสเปกตรัมจากการขมิมุเลทและผลจากการทดลองของคลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตวิธีเฟสคอนโทรล

จากรูปที่ 5.5 เป็นสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดขดลวดความร้อนทางด้านเอาต์พุตของวงจรกำลังวิธีเฟสคอนโทรล ที่มุมเฟส (ϕ) เท่ากับ 10° , 50° , 90° , 130° และ 170° จะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มค่ามุมเฟส (ϕ) ขึ้นจะส่งผลให้แถบสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตมีค่าลดลง โดยเฉพาะแถบสเปกตรัมของ Fundamental นั่นคือค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าน้อยลงเมื่อเพิ่มค่ามุมเฟส (ϕ) ขึ้น ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างผลที่ได้จากการขมิมุเลทและผลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งปรากฏว่าได้ผลที่ใกล้เคียงกัน

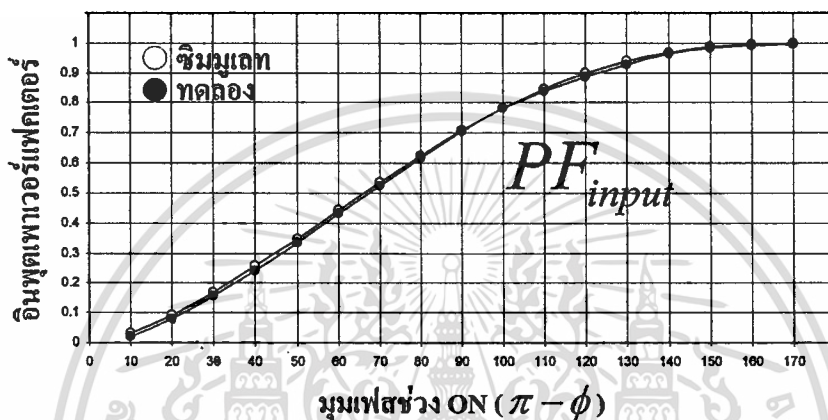


รูปที่ 5.5 การเปรียบเทียบคลื่นและสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตที่มุมเฟส (ϕ) เท่ากับ 10° , 50° , 90° , 130° และ 170° ที่ได้จากการจิมมูลทและการทคตองโดยวิธีฟูริเยร์คอนโวลูท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

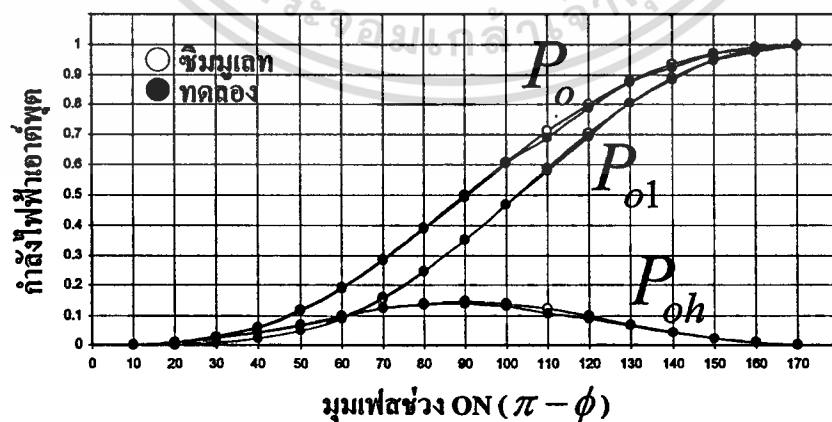
5.3.2.2 การเปรียบเทียบผลจากการซิมมูลต์และผลจากการทดลองของกำลังไฟฟ้าทางด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้า ค่าประสิทธิภาพ ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมของกระแส ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านแหล่งจ่าย ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่โหลดขดลวดความร้อน วิธีเฟสคอนโทรล

ในรูปที่ 5.6 เป็นกราฟที่แสดงค่าของเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านอินพุตของวิธีเฟสคอนโทรลที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามค่ามุมเฟส ($\pi - \phi$) ที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.6 ค่าอินพุตเพาเวอร์แฟคเตอร์ PF_{input} ที่ได้จากการซิมมูลต์และการทดลองโดยวิธีเฟสคอนโทรล

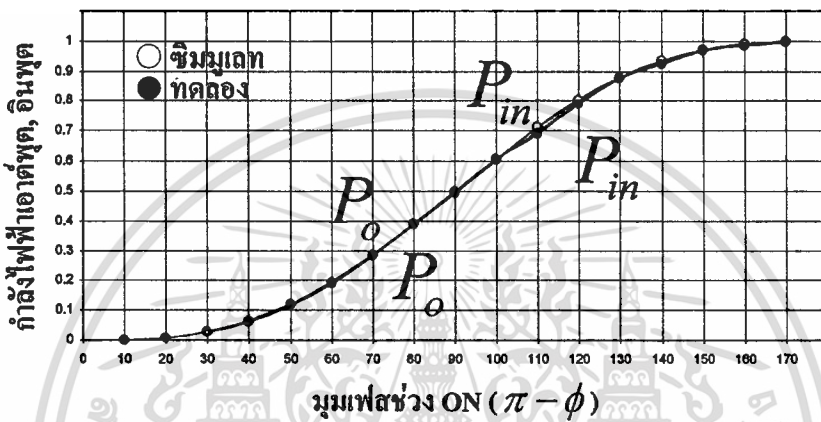
ในรูปที่ 5.7 จะเป็นกราฟแสดงให้เห็นการเกิดกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o ซึ่งได้จากผลรวมของกำลังไฟฟ้าของคลื่น Fundamental (P_{o1}) กับกำลังไฟฟ้าของคลื่น Harmonics (P_{oh}) ทั้งหมด



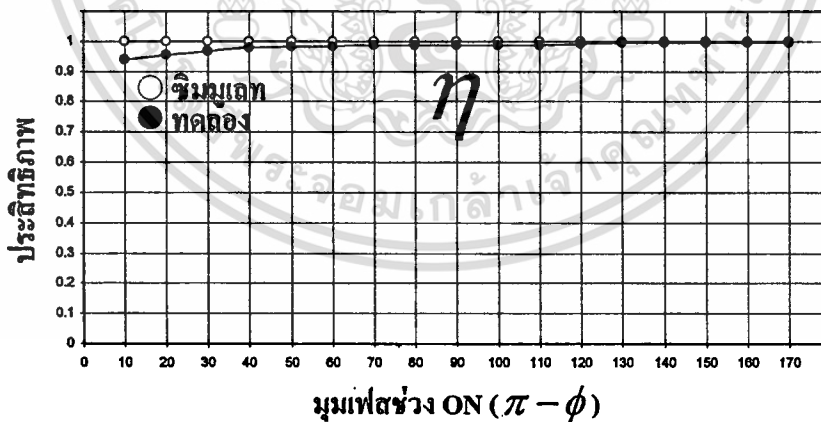
รูปที่ 5.7 ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o อันเนื่องมาจากคลื่น Fundamental P_{o1} และคลื่น Harmonics P_{oh} ที่ได้จากการซิมมูลต์และการทดลองโดยวิธีเฟสคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบเพื่อให้เห็นความแตกต่างระหว่างปริมาณกำลังไฟฟ้าอินพุตและเอาต์พุต ที่ค่าของมุมเฟส ($\pi - \phi$) ต่างๆ จะเห็นว่าเมื่อค่ามุมเฟส ($\pi - \phi$) เพิ่มขึ้น ค่ากำลังไฟฟ้าอินพุตและเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพ η เพิ่มขึ้นด้วยดังในรูปที่ 5.9 และค่ากำลังไฟฟ้าจะมีค่าเป็นศูนย์ ที่ค่าของกระแสและแรงดัน ไฟฟ้ามี่ค่าเป็นศูนย์ ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าเป็นบวกเสมอ นั้นแสดงว่า โหลดชนิดที่เป็นความต้านทานจะไม่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับวงจร แต่จะรับกำลังไฟฟ้าแล้วเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าที่ได้ทั้งหมดเป็นพลังงานความร้อนออกมา



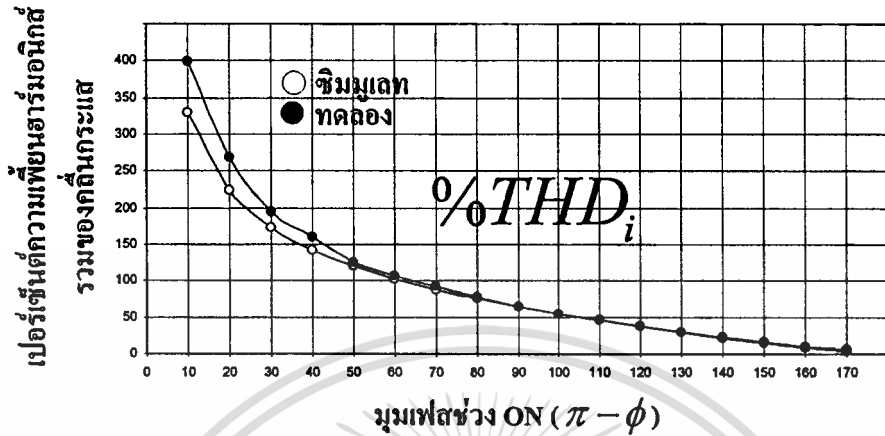
รูปที่ 5.8 ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o และอินพุต P_{in} ที่ได้จากการซิมมูลเตทและการทดลองโดยวิธีเฟสคอนโทรล



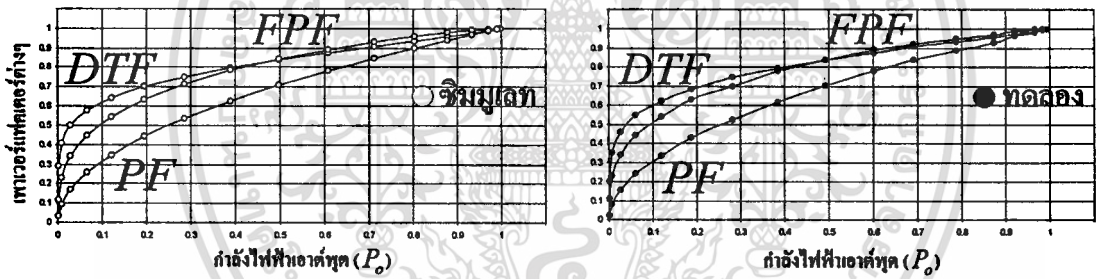
รูปที่ 5.9 ค่าประสิทธิภาพ η ที่ได้จากการซิมมูลเตทและการทดลองโดยวิธีเฟสคอนโทรล

ส่วนรูปที่ 5.10 เป็นกราฟของเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมของคลื่นกระแส %THDi ของวิธีเฟสคอนโทรล ซึ่งเมื่อค่ามุมเฟส ($\pi - \phi$) เพิ่มขึ้น ค่า %THDi จะมีค่าลดลง ในรูปที่ 5.11 จะแสดงผลการคำนวณเพื่อแสดงให้เห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่า DTF, FPF และ PF ขณะปรับ

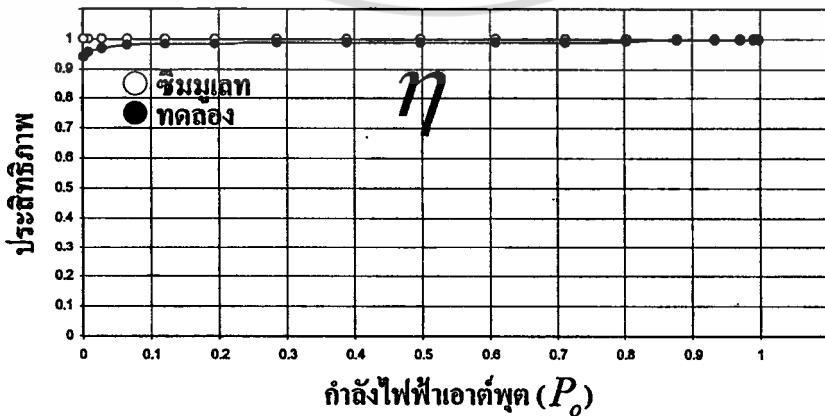
เพิ่มกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o ส่วนรูปที่ 5.12 จะแสดงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพ η ที่ได้จากการซิมมูลต์และการทดลอง ที่กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o ต่างๆ



รูปที่ 5.10 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกสรวมของคลื่นกระแสที่ได้จากการซิมมูลต์และการทดลองโดยวิธีเฟสคอนโทรล



รูปที่ 5.11 ค่า DTF , FPF , PF vs. P_o ที่ได้จากการซิมมูลต์และการทดลองโดยวิธีเฟสคอนโทรล



รูปที่ 5.12 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพ η ที่ได้จากการซิมมูลต์และการทดลองที่ค่าต่างๆ ของกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o โดยวิธีเฟสคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

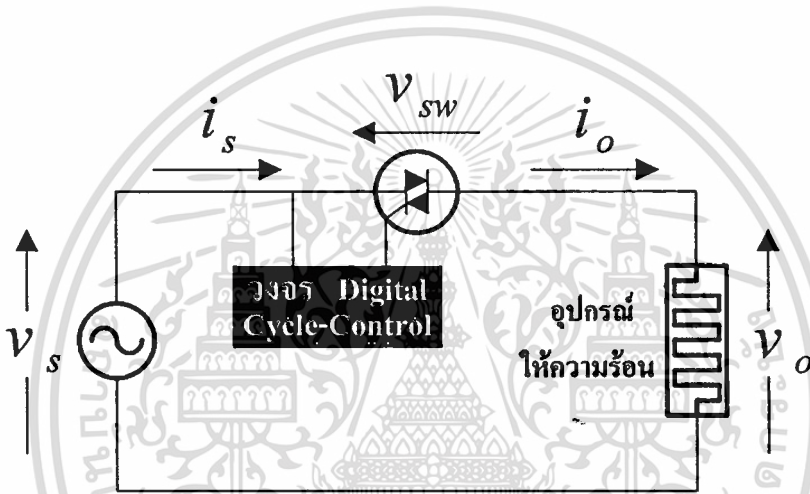
5.4 การเปรียบเทียบผลจากการชิมูเลทและผลจากการทดลองของคลื่นแรงดัน และกระแสพร้อมสเปกตรัม ที่ค่าเปอร์เซ็นต์ ON ต่างๆ กรณีใช้เกิลคอนโทรล

5.4.1 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีใช้เกิลคอนโทรลใช้วงจรทดลองดังรูปที่ 5.13 ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เชื่อมต่อวงจรกำลังส่วนต่างๆ ตามรูปที่ 5.13
2. เขียนโปรแกรมสร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีใช้เกิลคอนโทรลด้วย

โปรแกรมภาษาซี โดยใช้โปรแกรม Rkit-51 ของ Raisonance (RIDE)



รูปที่ 5.13 วงจรหลักในการสร้างรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีใช้เกิลคอนโทรล

3. คอมไพล์และแอสเซมเบลอร์โปรแกรมที่ได้เขียนขึ้นด้วย RC-51 และ MA-51 จะได้เป็นไฟล์ *.hex ออกมา

4. เปิดโปรแกรม Flash Magic แล้วทำการโหลดโปรแกรมที่ได้เขียนขึ้นที่มีนามสกุล *.hex ลงในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ติดตั้งอยู่บนบอร์ดควบคุมผ่านทางพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์

5. เขียนโปรแกรมมอนิเตอร์ด้วยโปรแกรมวิซวลเบสิก 6.0 (Visual Basic 6.0) เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งาน ใช้ในการควบคุมการทำงาน แสดงผล และบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูล (Microsoft Office Access 2003)

6. เปิดโปรแกรมมอนิเตอร์ที่ได้เขียนขึ้น

7. กำหนดค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ป้อนให้กับขด

ลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้าบนหน้าจอกอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

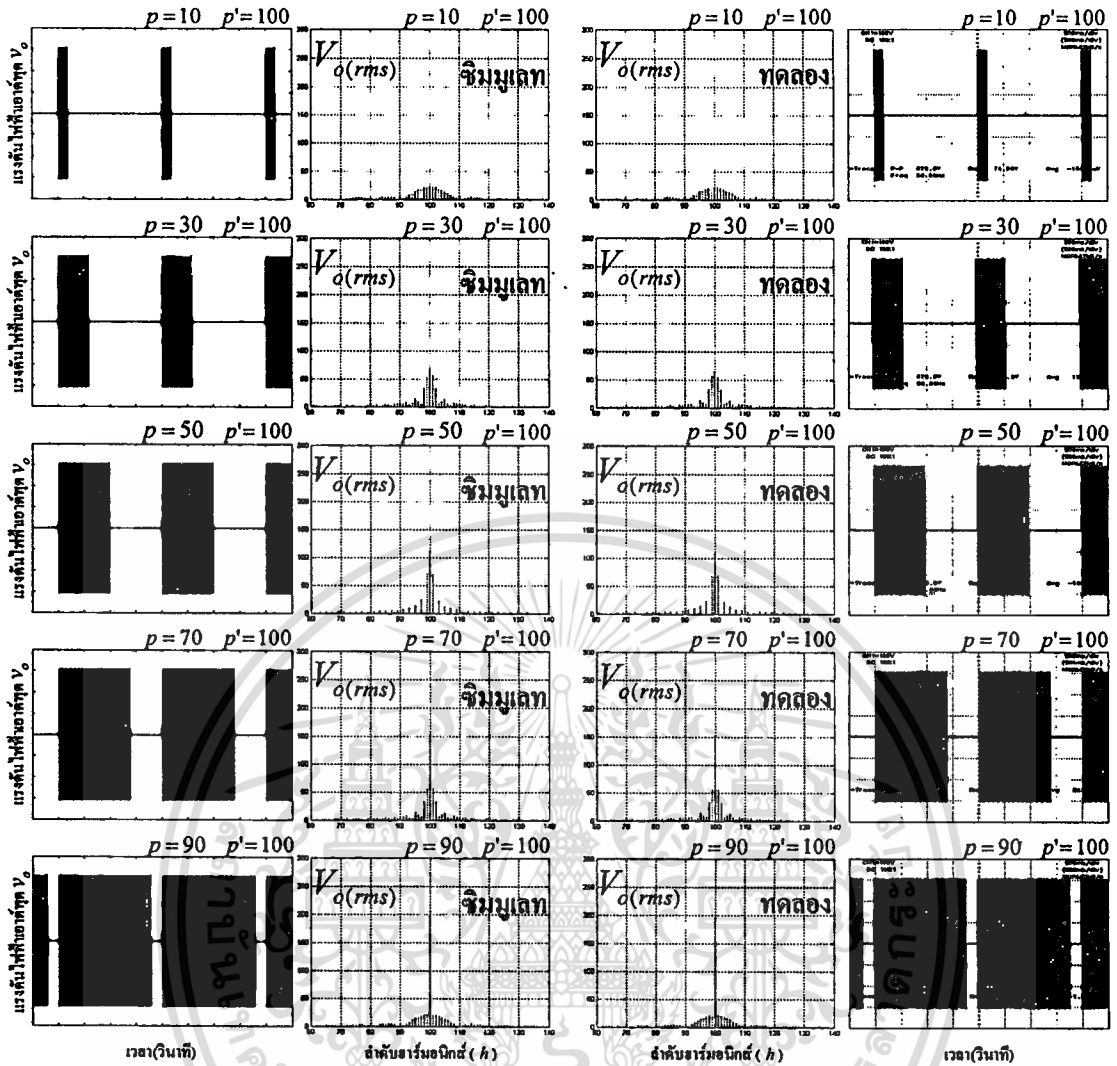
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. คอมพิวเตอร์ส่งค่าเปอร์เซ็นต์ ON ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ทางพอร์ตอนุกรม
9. ตั้งเริ่มต้นการทำงาน เพื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับตามค่าเปอร์เซ็นต์ ON ที่ได้กำหนดไว้ให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า
10. วัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าทางด้านแหล่งจ่ายและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดขดลวดความร้อนของวงจรกำลัง
11. บันทึกสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ในรูปแบบของไฟล์ * .BMP ซึ่งเป็นไฟล์รูปภาพของคลื่นแรงดันไฟฟ้า และไฟล์ ASCII ซึ่งเป็นไฟล์ตัวเลขของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ลงแผ่นดิสเก็ต
12. นำข้อมูลที่บันทึกได้มาเปิดด้วยโปรแกรม Microsoft Office Excel 2003 แล้วลบส่วนที่เป็นข้อความด้านบนออกพร้อมทั้งบันทึกเป็นนามสกุล * .CSV (MS-DOS)
13. เขียนโปรแกรมเพื่ออ่านค่าของข้อมูลที่วัดได้ด้วยโปรแกรม Matlab เพื่อนำไปคำนวณหาค่าของกำลังไฟฟ้าอินพุต กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกสักรวมของคลื่นกระแส ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ทางด้านอินพุตและเพาเวอร์แฟกเตอร์ทางด้านเอาต์พุต ตลอดจนค่าประสิทธิภาพของวงจรกำลัง พร้อมทั้งแสดงสเปกตรัมความถี่ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ค่าเปอร์เซ็นต์ ON ต่างๆ

5.4.2 ผลการทดลองและผลการขมิบมูล

5.4.2.1 การเปรียบเทียบผลของสเปกตรัมจากการขมิบมูลและผลจากการทดลองของคลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตวิธีไซเคิลคอนโทรล

จากรูปที่ 5.14 เป็นสเปกตรัมของคลื่นแรงดันเอาต์พุต V_o โดยวิธีไซเคิลคอนโทรล ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของจำนวนไซเคิลการ ON (p) เท่ากับ 10 , 30 , 50 , 70 และ 90 ตามลำดับ โดยกำหนดให้ค่าจำนวนไซเคิลการ ON ทั้งหมด p' เท่ากับ 100 คงที่ตลอด พบว่าเมื่อค่าจำนวนไซเคิลการ ON (p) เพิ่มขึ้นจะมีผลโดยตรงกับ Fundamental ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น และจากกราฟจะประกอบไปด้วยสเปกตรัมของ Fundamental และ Harmonics ซึ่งสเปกตรัมของ Harmonics นี้จะมีค่าความถี่ที่สูงกว่า และต่ำกว่าความถี่ Fundamental ซึ่งจะต่างจากวิธีเฟสคอนโทรล ที่มีสเปกตรัมของ Harmonics ที่มีค่าความถี่สูงกว่า Fundamental เท่านั้น ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างผลที่ได้จากการขมิบมูลและผลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งปรากฏว่าได้ผลที่ใกล้เคียงกัน

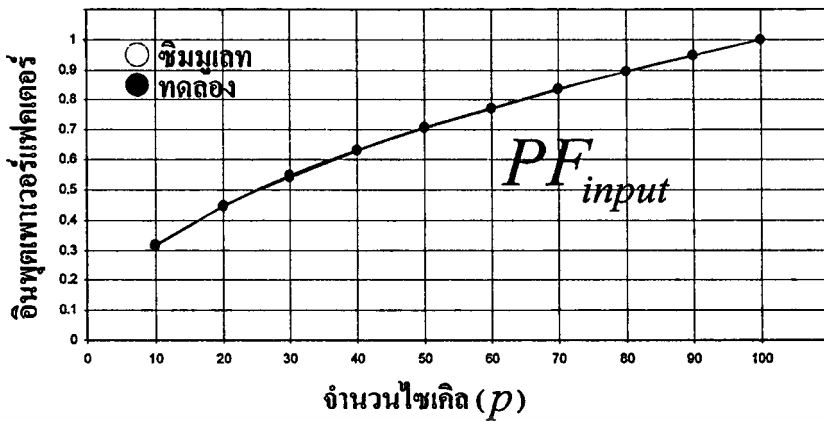


รูปที่ 5.14 การเปรียบเทียบคลื่นและสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตที่ค่าจำนวนไซเคิล p เท่ากับ 10, 30, 50, 70 และ 90 ไซเคิลที่ได้จากการจิมมูเลทและการทดลองโดยวิธีไซเคิลคอนโทรล

5.4.2.2 การเปรียบเทียบผลจากการจิมมูเลทและผลจากการทดลองของกำลังไฟฟ้าทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้า ค่าประสิทธิภาพ ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมของกระแส ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านแหล่งจ่าย ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่โหลดขดลวดความร้อน วิธีไซเคิลคอนโทรล

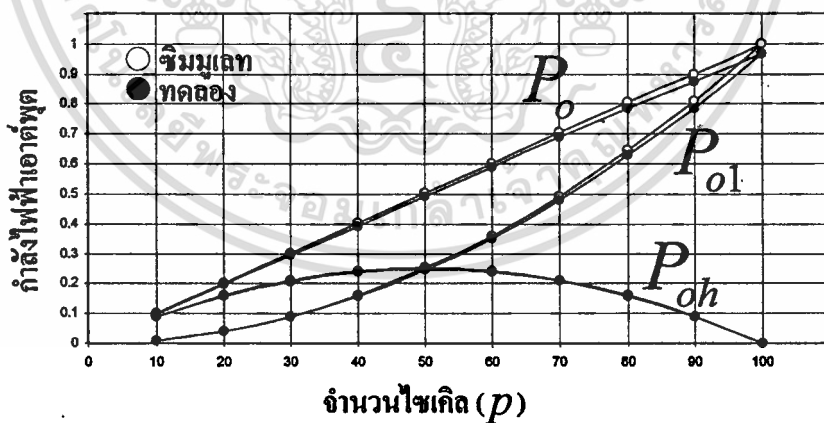
ในรูปที่ 5.15 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านอินพุต PF_{input} ที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนไซเคิลการ ON (p) หรือ Duty cycle : α ที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ p' คงที่เท่ากับ 100 ไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

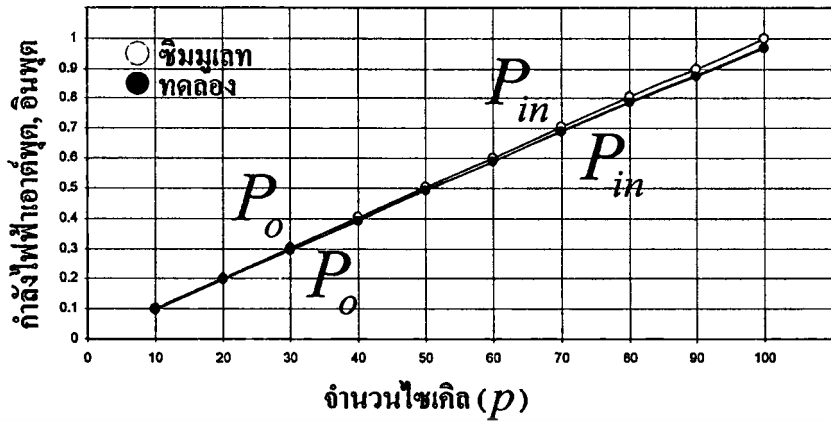


รูปที่ 5.15 ค่าอินพุตเพาเวอร์แฟคเตอร์ PF_{input} ที่ได้จากการซิมมูลเตทและการทดลองโดยวิธีไซเคิลคอนโทรล

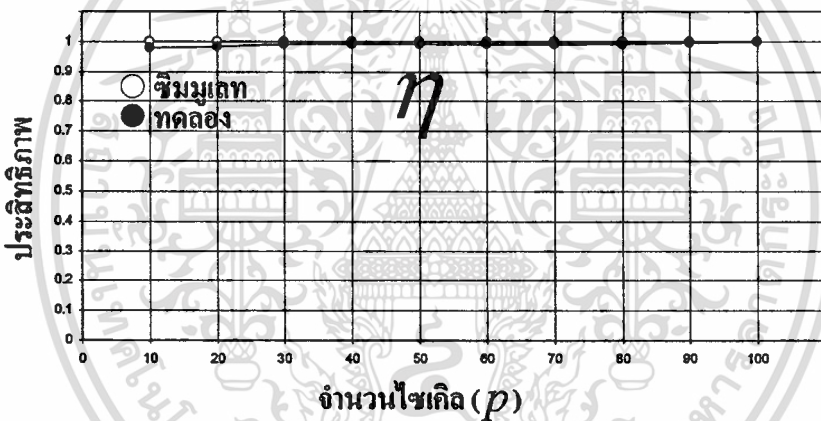
ในรูปที่ 5.16 จะเป็นกราฟแสดงให้เห็นการเกิดกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o ซึ่งได้จากผลรวมของกำลังไฟฟ้าของคลื่น Fundamental (P_{o1}) กับกำลังไฟฟ้าของคลื่น Harmonics (P_{oh}) ทั้งหมด ส่วนรูปที่ 5.17 จะแสดงถึงปริมาณของกำลังไฟฟ้าอินพุตและเอาต์พุตที่ค่าการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ของ p จะเห็นได้ว่าที่ค่า p เท่ากับ 100 ไซเคิล ค่ากำลังไฟฟ้าที่เอาต์พุตและอินพุตจะมีค่าเท่ากันนั้น หมายถึงที่ p เท่ากับ 100 จะได้ค่าประสิทธิภาพ η ในทางทฤษฎีเท่ากับ 1 ดังแสดงในรูปที่ 5.18



รูปที่ 5.16 ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o อันเนื่องมาจากคลื่น Fundamental P_{o1} และคลื่น Harmonics P_{oh} ที่ได้จากการซิมมูลเตทและการทดลองโดยวิธีไซเคิลคอนโทรล

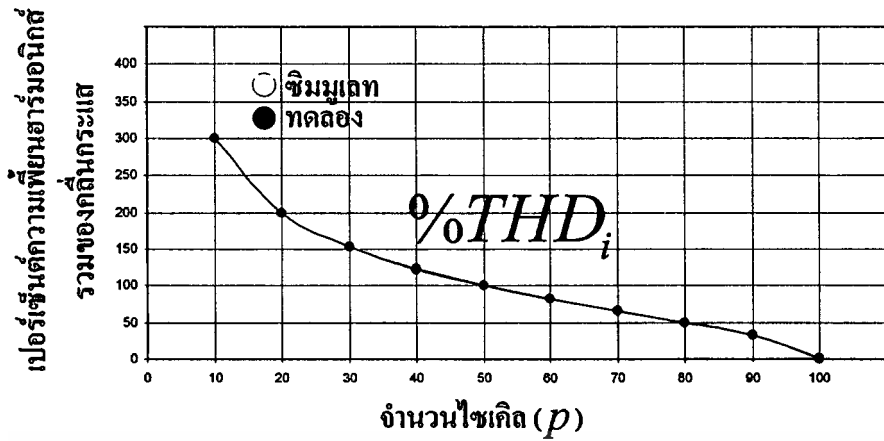


รูปที่ 5.17 ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o และอินพุต P_{in} ที่ได้จากการซิมมูลเตทและการทดลองโดยวิธีไซเคิลคอนโทรล

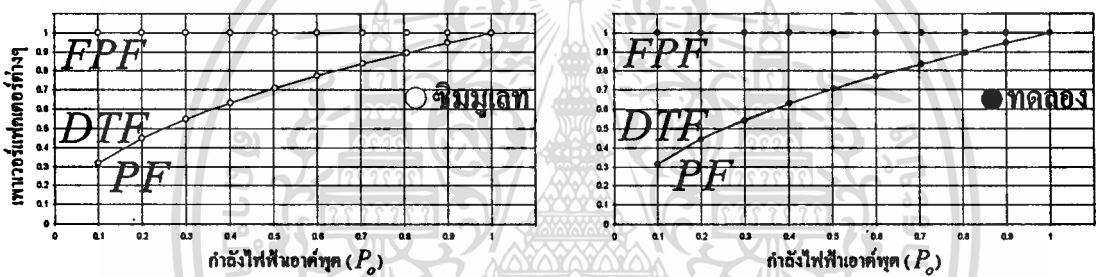


รูปที่ 5.18 ค่าประสิทธิภาพ η ที่ได้จากการซิมมูลเตทและการทดลองโดยวิธีไซเคิลคอนโทรล

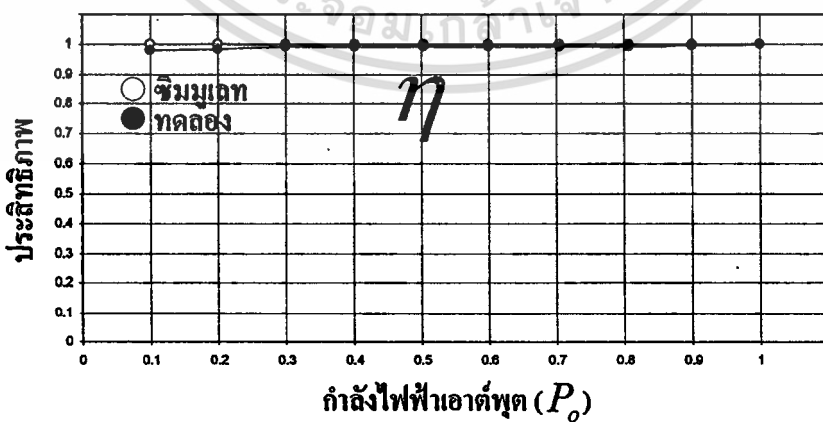
สำหรับรูปที่ 5.19 จะแสดงค่าค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกสรวมของคลื่นกระแส %THDi ของวิธีไซเคิลคอนโทรล ซึ่งจะมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อทำการ ON ที่ 100 เปอร์เซ็นต์เต็ม นั้นหมายความว่าไม่มีการเกิดฮาร์มอนิกส์ขึ้น และค่าของ %THDi จะมีค่ามากที่สุดที่เปอร์เซ็นต์การ ON เท่ากับ 10 และเมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองและการซิมมูลเตท มาเปรียบเทียบกับกันจะเห็นได้ว่าค่า %THDi จากการทดลองจะมีค่ามากกว่า %THDi จากการซิมมูลเตทเล็กน้อย ในรูปที่ 5.20 จะแสดงผลการเปรียบเทียบค่า DTF , FPF และ PF ระหว่างค่าที่คำนวณได้จากการซิมมูลเตท และค่าที่วัดได้จริงจากการทดลอง ส่วนรูปที่ 5.21 เป็นการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพ η และกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o ของวิธีไซเคิลคอนโทรล



รูปที่ 5.19 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์โมนิกสรวมของคลื่นกระแสที่ได้จากการชิมมูเลทและการทดลอง โดยวิธีไซเคิลคอนโทรล



รูปที่ 5.20 ค่า DTF , FPF , PF vs. P_o ที่ได้จากการชิมมูเลทและการทดลอง โดยวิธีไซเคิลคอนโทรล



รูปที่ 5.21 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพ η ที่ได้จากการชิมมูเลทและการทดลองที่ค่าต่างๆ ของกำลังไฟเ้าต์พุต P_o โดยวิธีไซเคิลคอนโทรล

5.5 ผลของอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าที่มีการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดที่กำลังไฟฟ้าของขดลวดความร้อน 2,000 วัตต์ กรณีเฟสคอนโทรล

5.5.1 ขั้นตอนทำการทดลอง

1. เชื่อมต่อวงจรในส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน
2. เขียน โปรแกรมสร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรลด้วยโปรแกรมภาษาซี โดยใช้โปรแกรม Rkit-51 ของ Raisonance (RIDE)
3. คอมไพล์และแอสเซมเบลอร์ด้วย RC-51 และ MA-51 จะได้เป็นไฟล์ * .hex ออกมา
4. เปิดโปรแกรม Flash Magic แล้วโหลดโปรแกรมที่ได้เขียนขึ้นที่มีนามสกุล * . hex ลงในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ที่อยู่บนบอร์ดควบคุมผ่านทางพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์
5. เขียนโปรแกรมมอนิเตอร์ด้วยโปรแกรมวิซวลเบสิก 6.0 (Visual Basic 6.0) เพื่อใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้งาน ควบคุมการทำงาน แสดงผล และบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูล
6. เปิดโปรแกรมมอนิเตอร์
7. เลือกเมนูอาหารที่ต้องการอบ ผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ ON และค่าของเวลาการอบคอมพิวเตอร์จะกำหนดให้โดยอัตโนมัติ โดยที่ผู้ใช้งานไม่ต้องกำหนด
8. คอมพิวเตอร์ส่งค่าเปอร์เซ็นต์ ON ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม
9. ตั้งเริ่มต้นการทำงาน เพื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับตามค่าเปอร์เซ็นต์ ON ที่ได้กำหนดให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า และเริ่มต้นจับเวลาการทำงาน
10. ไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบสัญญาณตรวจจับจุดตัดศูนย์เพื่อเริ่มต้นตั้งการทำงานให้ไครแอก ON-OFF คลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า
11. เทอร์โมคัพเปิดตรวจจับอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าแล้วแปลงเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าส่งเข้าวงจรขยายแรงดันไฟฟ้า
12. วงจรขยายแรงดันไฟฟ้าส่งค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ทำการขยายแล้วให้กับส่วนของการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล
13. ส่วนของการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลส่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณดิจิตอลเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์
14. ไมโครคอนโทรลเลอร์คำนวณค่าสัญญาณดิจิตอลที่ได้รับมาเป็นค่าของอุณหภูมิแล้วส่งค่าของอุณหภูมิที่คำนวณได้เข้าคอมพิวเตอร์
17. คอมพิวเตอร์แสดงผลของอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า และบันทึกผลลงฐานข้อมูลใน

โปรแกรม Microsoft Office Access 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18. โปรแกรมมอนิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานจะทำการตรวจสอบ เปรียบเทียบ และตัดสินใจในการควบคุมอุณหภูมิตามกระบวนการควบคุมอุณหภูมิที่ได้เขียนขึ้น

19. คอมพิวเตอร์ส่งค่าเปอร์เซ็นต์ ON ค่าใหม่ให้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม

20. คอมพิวเตอร์ตรวจสอบเวลาการทำงาน

21. เมื่อครบเวลาที่กำหนด คอมพิวเตอร์ส่งคำสั่งให้ไครเอทหยุดนำกระแสผ่านทาง ไมโครคอนโทรลเลอร์ หยุดการบันทึกข้อมูล ส่งสัญญาณเตือนให้ผู้ใช้งานรับรู้

5.5.2 ผลการทดลอง

5.5.2.1 การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าแบบ 1 ช่วงเวลา กรณีเฟสคอนโทรล

จากรูปที่ 5.22 เป็นกราฟของอุณหภูมิในตู้อบซึ่งเป็นการควบคุมอุณหภูมิในระบบ ปิดโดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดัน ไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนขนาด 2,000 วัตต์ แบบ 1 ช่วงเวลา กรณีเฟสคอนโทรล กำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) เท่ากับ 100°C ทำการทดลอง 20 นาที มีค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งรายละเอียดของการควบคุมอุณหภูมิแสดงในตารางที่ 5.1 ส่วนรูปที่ 5.23 เป็นกราฟของอุณหภูมิในตู้อบซึ่งเป็นการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิด โดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดัน ไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนขนาด 2,000 วัตต์ แบบ 1 ช่วงเวลา กรณีเฟสคอนโทรล กำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) เท่ากับ 150°C ทำการทดลอง 20 นาที มีค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งรายละเอียดของการควบคุมอุณหภูมิแสดงในตารางที่ 5.2 ในรูปที่ 5.24 เป็นกราฟของอุณหภูมิในตู้อบซึ่งเป็นการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิด โดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดัน ไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนขนาด 2,000 วัตต์ แบบ 1 ช่วงเวลา กรณีเฟสคอนโทรล กำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) เท่ากับ 200°C ทำการทดลอง 20 นาที มีค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งรายละเอียดของการควบคุมอุณหภูมิแสดงในตารางที่ 5.3

5.5.2.2 การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าแบบ 2 ช่วงเวลา กรณีเฟสคอนโทรล

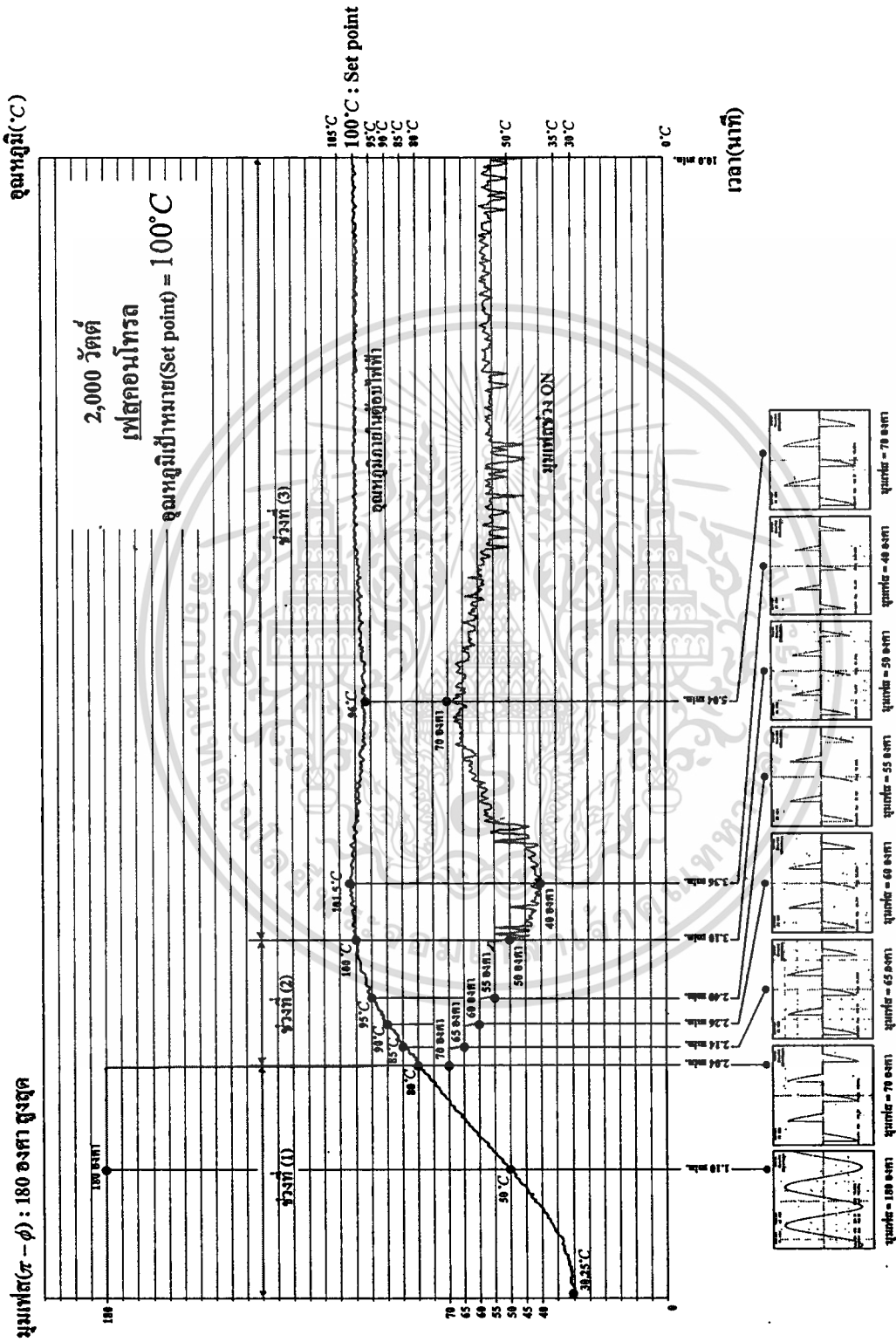
จากรูปที่ 5.25 เป็นกราฟของอุณหภูมิในตู้อบซึ่งเป็นการควบคุมอุณหภูมิในระบบ ปิดโดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดัน ไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนขนาด 2,000 วัตต์ แบบ 2 ช่วงเวลา กรณีเฟสคอนโทรล โดยในช่วงเวลาที่ 1 กำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) เท่ากับ 125°C ทำการทดลอง 20 นาที และในช่วงเวลาที่ 2 กำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) เท่ากับ 200°C ทำการทดลอง 20 นาที มีค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งรายละเอียดของการควบคุมอุณหภูมิแสดงในตารางที่ 5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2.3 การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าแบบ 3 ช่วงเวลา กรณีเฟสคอนโทรล

จากรูปที่ 5.26 เป็นกราฟของอุณหภูมิในตู้อบซึ่งเป็นการควบคุมอุณหภูมิในระบบ ปิดโดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขด ลวดความร้อนขนาด 2,000 วัตต์ แบบ 3 ช่วงเวลา กรณีเฟสคอนโทรล โดยในช่วงเวลาที่ 1 กำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) เท่ากับ 125°C ทำการทดลอง 20 นาที ในช่วงเวลาที่ 2 กำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) เท่ากับ 150°C ทำการทดลอง 20 นาที และในช่วงเวลาที่ 3 กำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) เท่ากับ 200°C ทำการทดลอง 20 นาที มีค่าความ ผิดพลาดของอุณหภูมิไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งรายละเอียดของการควบคุมอุณหภูมิแสดงในตารางที่ 5.5





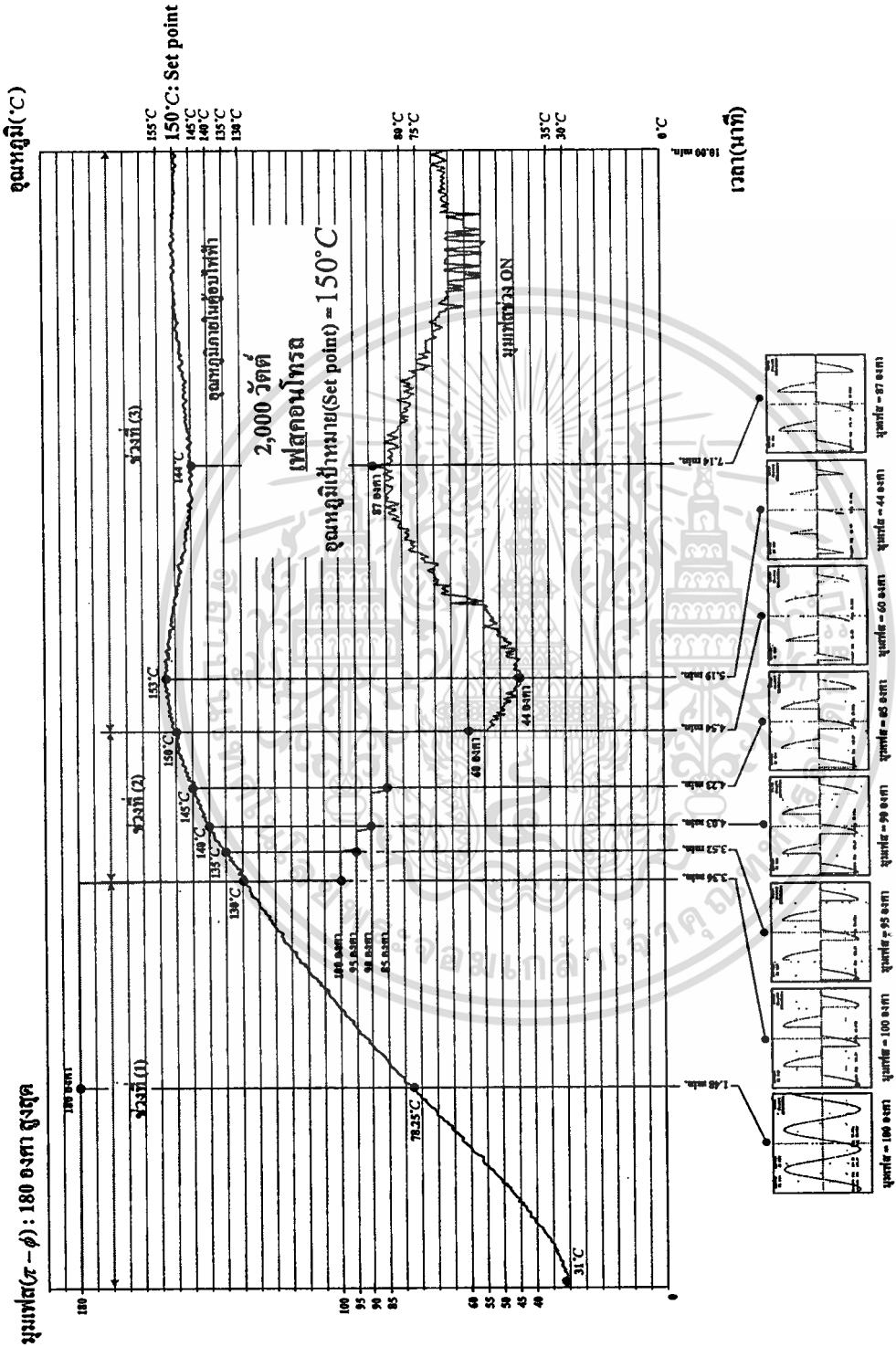
รูปที่ 5.22 กราฟของอุณหภูมิภายในระบบปิดแบบ 1 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) 100°C วิธีเฟสคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 1 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย 100°C วิธีเฟสคอนโทรล

ช่วงการควบคุม	อุณหภูมิในตู้อบ ($^{\circ}\text{C}$)	มุมเฟสช่วง ON	เปอร์เซ็นต์ ON (%)	รายละเอียด
ช่วงที่ (1)	$0^{\circ}\text{C} \sim 79.00^{\circ}\text{C}$	180	100.00	ป้องกันคลื่นแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวด ความร้อนที่คำนวณเฟสช่วง ON 180 องศา เมื่ออุณหภูมิในตู้อบอยู่ในช่วง 0°C จนถึง 79.00°C เพื่อให้อุณหภูมิในตู้อบ ถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมายเร็ว และใช้เวลาที่ เหมาะสม
ช่วงที่ (2)	$80.00^{\circ}\text{C} \sim 84.00^{\circ}\text{C}$	70	38.89	ลดคำนวณเฟสช่วง ON ลง ตามช่วงของ อุณหภูมิที่กำหนดอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อ ควบคุมค่าของอุณหภูมิในตู้อบไม่ให้สูง กว่าอุณหภูมิเป้าหมายมากกว่าค่าที่ได้ กำหนดที่ 3°C
	$85.00^{\circ}\text{C} \sim 89.00^{\circ}\text{C}$	65	36.11	
	$90.00^{\circ}\text{C} \sim 94.00^{\circ}\text{C}$	60	33.33	
	$95.00^{\circ}\text{C} \sim 99.00^{\circ}\text{C}$	55	30.56	
ช่วงที่ (3)	มากกว่า 110.00°C	0	0	ปรับเปลี่ยนคำนวณเฟสช่วง ON ตามค่าของ อุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้ เพื่อควบคุมอุณหภูมิ ในตู้อบให้เข้าใกล้ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่ง เมื่ออุณหภูมิในตู้อบมากกว่าอุณหภูมิ เป้าหมายจะทำการลดคำนวณเฟสช่วง ON ลง และเมื่ออุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่า อุณหภูมิเป้าหมาย จะทำการเพิ่มคำนวณ เฟสช่วง ON ขึ้นตามกระบวนการที่ได้ กำหนด โดยการปรับคำนวณเฟสช่วง ON จะปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามค่าของ อุณหภูมิในตู้อบที่เปลี่ยนแปลง 0.25°C
	105.00°C	26	14.44	
	104.00°C	30	16.67	
	103.00°C	34	18.89	
	102.00°C	38	21.11	
	101.00°C	42	23.33	
	100.75°C	43	23.89	
	100.50°C	44	24.44	
	100.25°C	45	25.00	
	100.00°C	50	27.78	
	99.75°C	55	30.56	
	99.50°C	56	31.11	
	99.25°C	57	31.67	
	99.00°C	58	32.22	
	98.00°C	62	34.44	
	97.00°C	66	114.00	
96.00°C	70	38.89		
95.00°C	74	41.11		
น้อยกว่า 90.00°C	180	100.00		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.23 กราฟของอุณหภูมิภายในตู้อบในระบอบปิดแบบ 1 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย(Set point) 150 °C วิธีเฟสคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 1 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย 150°C วิธีเฟสคอนโทรล

ช่วงการควบคุม	อุณหภูมิในตู้อบ ($^{\circ}\text{C}$)	มุมเฟสช่วง ON	เปอร์เซ็นต์ ON (%)	รายละเอียด
ช่วงที่ (1)	$0^{\circ}\text{C} \sim 129.00^{\circ}\text{C}$	180	100.00	ป้องกันแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวด ความร้อนที่คำนวณเฟสช่วง ON 180 องศา เมื่ออุณหภูมิในตู้อบอยู่ในช่วง 0°C จนถึง 129.00°C เพื่อให้อุณหภูมิในตู้อบถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมายเร็ว และใช้เวลาที่เหมาะสม
ช่วงที่ (2)	$130.00^{\circ}\text{C} \sim 134.00^{\circ}\text{C}$	100	55.56	ลดค่ามุมเฟสช่วง ON ลง ตามช่วงของ อุณหภูมิที่กำหนดอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อควบคุมค่าของอุณหภูมิในตู้อบไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิเป้าหมายมากกว่าค่าที่ได้ กำหนดที่ 5°C
	$135.00^{\circ}\text{C} \sim 139.00^{\circ}\text{C}$	95	52.78	
	$140.00^{\circ}\text{C} \sim 144.00^{\circ}\text{C}$	90	50.00	
	$145.00^{\circ}\text{C} \sim 149.00^{\circ}\text{C}$	85	47.22	
ช่วงที่ (3)	มากกว่า 160.00°C	0	0	ปรับเปลี่ยนค่ามุมเฟสช่วง ON ตามค่าของ อุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้ เพื่อควบคุมอุณหภูมิในตู้อบให้เข้าใกล้ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิในตู้อบมากกว่าอุณหภูมิเป้าหมายจะทำการลดค่ามุมเฟสช่วง ON ลง และเมื่ออุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่าอุณหภูมิเป้าหมาย จะทำการเพิ่มค่ามุมเฟสช่วง ON ขึ้นตามกระบวนการที่ได้ กำหนด โดยการปรับค่ามุมเฟสช่วง ON จะปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามค่าของ อุณหภูมิในตู้อบที่เปลี่ยนแปลง 0.25°C
	154.00°C	40	22.22	
	153.00°C	44	24.44	
	152.00°C	48	26.67	
	151.00°C	52	28.89	
	150.75°C	53	29.44	
	150.50°C	54	30.00	
	150.25°C	55	30.56	
	150.00°C	60	33.33	
	149.75°C	65	36.11	
	149.50°C	66	36.67	
	149.25°C	67	37.22	
	149.00°C	68	37.78	
	148.00°C	72	40.00	
	147.00°C	76	42.22	
146.00°C	80	44.44		
น้อยกว่า 140.00°C	180	100.00		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 1 ช่วงเวลาที่อุณหภูมิเป้าหมาย 200°C วิธีเฟสคอนโทรล

ช่วงการควบคุม	อุณหภูมิในตู้อบ ($^{\circ}\text{C}$)	นวมเฟสช่วง ON	เปอร์เซ็นต์ ON (%)	รายละเอียด
ช่วงที่ (1)	$0^{\circ}\text{C} \sim 185.00^{\circ}\text{C}$	180	100.00	ป้อนคลื่นแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวด ความร้อนที่คำนวณเฟสช่วง ON 180 องศา เมื่ออุณหภูมิในตู้อบอยู่ในช่วง 0°C จนถึง 185.00°C เพื่อให้อุณหภูมิในตู้อบถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมายเร็ว และใช้เวลาที่เหมาะสม
ช่วงที่ (2)	$186.00^{\circ}\text{C} \sim 190.00^{\circ}\text{C}$	115	63.89	ลดคำนวณเฟสช่วง ON ลง ตามช่วงของ อุณหภูมิที่กำหนดอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อควบคุมค่าของอุณหภูมิในตู้อบไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิเป้าหมายมากกว่าค่าที่ได้ กำหนดที่ 5°C
	$191.00^{\circ}\text{C} \sim 195.00^{\circ}\text{C}$	110	61.11	
	$196.00^{\circ}\text{C} \sim 199.00^{\circ}\text{C}$	105	58.33	
ช่วงที่ (3)	มากกว่า 210.00°C	0	0	ปรับเปลี่ยนคำนวณเฟสช่วง ON ตามค่าของ อุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้ เพื่อควบคุมอุณหภูมิในตู้อบให้เข้าใกล้ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิในตู้อบมากกว่าอุณหภูมิเป้าหมายจะทำการลดคำนวณเฟสช่วง ON ลง และเมื่ออุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่าอุณหภูมิเป้าหมาย จะทำการเพิ่มคำนวณเฟสช่วง ON ขึ้นตามกระบวนการ ที่ได้ กำหนด โดยการปรับคำนวณเฟสช่วง ON จะปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามค่าของ อุณหภูมิในตู้อบที่เปลี่ยนแปลง 0.25°C
	203.00°C	64	35.56	
	202.00°C	68	37.78	
	201.00°C	72	40.00	
	200.75°C	73	40.56	
	200.50°C	74	41.11	
	200.25°C	75	41.67	
	200.00°C	80	44.44	
	199.75°C	85	47.22	
	199.50°C	86	47.78	
	199.25°C	87	48.33	
	199.00°C	88	48.89	
	198.00°C	92	51.11	
197.00°C	96	53.33		
น้อยกว่า 190.00°C	180	100.00		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 2 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย 125°C , 200°C

วิธีเฟสคอนโทรล

ช่วงการควบคุม	อุณหภูมิในตู้อบ ($^{\circ}\text{C}$)	นวมเฟสช่วง ON	เปอร์เซ็นต์ ON (%)	รายละเอียด
ช่วงที่ (1)	$0^{\circ}\text{C} \sim 104.00^{\circ}\text{C}$	180	100.00	ป้องกันแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวด ความร้อนที่คำนวณเฟสช่วง ON 180 องศา เมื่ออุณหภูมิในตู้อบอยู่ในช่วง 0°C จนถึง 104.00°C เพื่อให้อุณหภูมิในตู้อบถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมายเร็ว และใช้เวลาที่เหมาะสม
ช่วงที่ (2)	$105.00^{\circ}\text{C} \sim 109.00^{\circ}\text{C}$	90	50	ลดค่านวมเฟสช่วง ON ลง ตามช่วงของอุณหภูมิที่กำหนดอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อควบคุมค่าของอุณหภูมิในตู้อบไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิเป้าหมายมากกว่าค่าที่ได้กำหนดที่ 5°C
	$110.00^{\circ}\text{C} \sim 114.00^{\circ}\text{C}$	85	47.22	
	$115.00^{\circ}\text{C} \sim 119.00^{\circ}\text{C}$	80	44.44	
	$120.00^{\circ}\text{C} \sim 124.00^{\circ}\text{C}$	75	41.67	
ช่วงที่ (3)	มากกว่า 135.00°C	0	0	ปรับเปลี่ยนค่านวมเฟสช่วง ON ตามค่าของอุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้ เพื่อควบคุมอุณหภูมิในตู้อบให้เข้าใกล้ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย โดยมีความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิในตู้อบมากกว่าอุณหภูมิเป้าหมาย จะทำการลดค่านวมเฟสช่วง ON ลง และเมื่ออุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่าอุณหภูมิเป้าหมาย จะทำการเพิ่มค่านวมเฟสช่วง ON ขึ้นตามกระบวนการที่ได้กำหนด โดยการปรับค่านวมเฟสช่วง ON จะปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามค่าของอุณหภูมิในตู้อบที่เปลี่ยนแปลง 0.25°C
	130.00°C	35	19.44	
	129.00°C	39	21.67	
	128.00°C	43	23.89	
	127.00°C	47	26.11	
	126.00°C	51	28.33	
	125.75°C	52	28.89	
	125.50°C	53	29.44	
	125.25°C	54	30.00	
	125.00°C	59	32.78	
	124.75°C	64	35.56	
	124.50°C	65	36.11	
	124.25°C	66	36.67	
	124.00°C	67	37.22	
	123.00°C	71	39.44	
122.00°C	75	41.67		
121.00°C	79	43.89		
120.00°C	83	46.11		
น้อยกว่า 115.00°C	180	100.00		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 (ต่อ)

ช่วงการควบคุม	อุณหภูมิในตู้อบ ($^{\circ}\text{C}$)	มุมเฟสช่วง ON	เปอร์เซ็นต์ ON (%)	รายละเอียด
ช่วงที่ (1)	$125^{\circ}\text{C} \sim 150.00^{\circ}\text{C}$	145	80.56	ป้องกันแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวด ความร้อนที่ค่ามุมเฟสช่วง ON 145 องศา เมื่ออุณหภูมิในตู้อบอยู่ในช่วง 125°C จนถึง 150.00°C เพื่อให้อุณหภูมิในตู้อบถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมายเร็ว
ช่วงที่ (2)	$151.00^{\circ}\text{C} \sim 155.00^{\circ}\text{C}$	140	77.78	ลดค่ามุมเฟสช่วง ON ลง ตามช่วงของ อุณหภูมิที่กำหนดอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อควบคุมค่าของอุณหภูมิในตู้อบไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิเป้าหมายมากกว่าค่าที่ได้ กำหนดที่ 5°C
	$156.00^{\circ}\text{C} \sim 160.00^{\circ}\text{C}$	135	75.00	
	$161.00^{\circ}\text{C} \sim 165.00^{\circ}\text{C}$	130	72.22	
	$166.00^{\circ}\text{C} \sim 170.00^{\circ}\text{C}$	125	69.44	
	$171.00^{\circ}\text{C} \sim 175.00^{\circ}\text{C}$	120	66.67	
	$176.00^{\circ}\text{C} \sim 180.00^{\circ}\text{C}$	115	63.89	
	$181.00^{\circ}\text{C} \sim 185.00^{\circ}\text{C}$	110	61.11	
	$186.00^{\circ}\text{C} \sim 190.00^{\circ}\text{C}$	105	58.33	
	$191.00^{\circ}\text{C} \sim 195.00^{\circ}\text{C}$	100	55.56	
ช่วงที่ (3)	มากกว่า 203.00°C	0	0	ปรับเปลี่ยนค่ามุมเฟสช่วง ON ตามค่าของ อุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้ เพื่อควบคุมอุณหภูมิในตู้อบให้เข้าใกล้ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิในตู้อบมากกว่าอุณหภูมิเป้าหมาย จะทำการลดค่ามุมเฟสช่วง ON ลง และเมื่ออุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่าอุณหภูมิเป้าหมาย จะทำการเพิ่มค่ามุมเฟสช่วง ON ขึ้นตามกระบวนการที่ได้ กำหนด โดยการปรับค่ามุมเฟสช่วง ON จะปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามค่าของ อุณหภูมิในตู้อบที่เปลี่ยนแปลง 0.25°C
	203.00°C	59	32.78	
	202.00°C	63	35.00	
	201.00°C	67	37.22	
	200.75°C	68	37.78	
	200.50°C	69	38.33	
	200.25°C	70	38.89	
	200.00°C	75	41.67	
	199.75°C	80	44.44	
	199.50°C	81	45.00	
	199.25°C	82	45.55	
	199.00°C	83	46.11	
	198.00°C	87	48.33	
197.00°C	91	50.56		
น้อยกว่า 197.00°C	180	100.00		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 3 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย 125°C , 150°C , 200°C

วิธีเฟสคอนโทรล

ช่วงการควบคุม	อุณหภูมิในตู้อบ ($^{\circ}\text{C}$)	มุมเฟสช่วง ON	เปอร์เซ็นต์ ON (%)	รายละเอียด
ช่วงที่ (1)	$0^{\circ}\text{C} \sim 104.00^{\circ}\text{C}$	180	100.00	ป้อนคลื่นแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวด ความร้อนที่ค่ามุมเฟสช่วง ON 180 องศา เมื่ออุณหภูมิในตู้อบอยู่ในช่วง 0°C จนถึง 104.00°C เพื่อให้อุณหภูมิในตู้อบถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมายเร็ว และใช้เวลาที่เหมาะสม
ช่วงที่ (2)	$105.00^{\circ}\text{C} \sim 109.00^{\circ}\text{C}$	90	50.00	ลดค่ามุมเฟสช่วง ON ลง ตามช่วงของอุณหภูมิที่กำหนดอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อควบคุมค่าของอุณหภูมิในตู้อบไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิเป้าหมายมากกว่าค่าที่ได้ กำหนดที่ 5°C
	$110.00^{\circ}\text{C} \sim 114.00^{\circ}\text{C}$	85	47.22	
	$115.00^{\circ}\text{C} \sim 119.00^{\circ}\text{C}$	80	44.44	
	$120.00^{\circ}\text{C} \sim 124.00^{\circ}\text{C}$	75	41.67	
ช่วงที่ (3)	มากกว่า 135.00°C	0	0	ปรับเปลี่ยนค่ามุมเฟสช่วง ON ตามค่าของอุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้ เพื่อควบคุมอุณหภูมิในตู้อบให้เข้าใกล้ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิในตู้อบมากกว่าอุณหภูมิเป้าหมาย จะทำการลดค่ามุมเฟสช่วง ON ลง และเมื่ออุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่าอุณหภูมิเป้าหมาย จะทำการเพิ่มค่ามุมเฟสช่วง ON ขึ้นตามกระบวนการที่ได้ กำหนด โดยการปรับค่ามุมเฟสช่วง ON จะปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามค่าของอุณหภูมิในตู้อบที่เปลี่ยนแปลง 0.25°C
	130.00°C	35	19.44	
	129.00°C	39	21.67	
	128.00°C	43	23.89	
	127.00°C	47	26.11	
	126.00°C	51	28.33	
	125.75°C	52	28.89	
	125.50°C	53	29.44	
	125.25°C	54	30.00	
	125.00°C	59	32.78	
	124.75°C	64	35.56	
	124.50°C	65	36.11	
	124.25°C	66	36.67	
	124.00°C	67	37.22	
	123.00°C	71	39.44	
	122.00°C	75	41.67	
121.00°C	79	43.89		
120.00°C	83	46.11		
น้อยกว่า 115.00°C	180	100		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 (ต่อ)

ช่วงการควบคุม	อุณหภูมิในตู้อบ (°C)	มมเฟสช่วง ON	เปอร์เซ็นต์ ON (%)	รายละเอียด
ช่วงที่ (1)	0 °C ~ 94.00 °C	130	72.22	ป้องกันแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวดความร้อนที่ค่ามมเฟสช่วง ON 130 องศา เมื่ออุณหภูมิในตู้อบอยู่ในช่วง 0 °C จนถึง 94.00 °C เพื่อให้อุณหภูมิในตู้อบถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมายเร็ว
ช่วงที่ (2)	95.00 °C ~ 99.00 °C	125	69.44	ลดค่ามมเฟสช่วง ON ลง ตามช่วงของอุณหภูมิที่กำหนดอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อควบคุมค่าของอุณหภูมิในตู้อบไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิเป้าหมายมากกว่าค่าที่ได้กำหนดที่ 5 °C
	100.00 °C ~ 104.00 °C	120	66.67	
	105.00 °C ~ 109.00 °C	115	63.89	
	110.00 °C ~ 114.00 °C	110	61.11	
	115.00 °C ~ 119.00 °C	105	58.33	
	120.00 °C ~ 124.00 °C	100	55.56	
	125.00 °C ~ 129.00 °C	95	52.78	
	130.00 °C ~ 134.00 °C	90	50.00	
	135.00 °C ~ 139.00 °C	85	47.22	
	140.00 °C ~ 144.00 °C	80	44.44	
145.00 °C ~ 149.00 °C	75	41.67		
ช่วงที่ (3)	มากกว่า 160.00 °C	0	100	ปรับเปลี่ยนค่ามมเฟสช่วง ON ตามค่าของอุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้ เพื่อควบคุมอุณหภูมิในตู้อบให้เข้าใกล้ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน ±2 °C ซึ่งเมื่ออุณหภูมิในตู้อบมากกว่าอุณหภูมิเป้าหมายจะทำการลดค่ามมเฟสช่วง ON ลง และเมื่ออุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่าอุณหภูมิเป้าหมาย จะทำการเพิ่มค่ามมเฟสช่วง ON ขึ้นตามกระบวนการที่กำหนด โดยการปรับค่ามมเฟสช่วง ON จะปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามค่าของอุณหภูมิในตู้อบที่เปลี่ยนแปลง 0.25 °C
	153.00 °C	49	27.22	
	152.00 °C	53	29.44	
	151.00 °C	57	31.67	
	150.75 °C	58	32.22	
	150.50 °C	59	32.78	
	150.25 °C	60	33.33	
	150.00 °C	65	36.11	
	149.75 °C	70	38.89	
	149.50 °C	71	39.44	
	149.25 °C	72	40.00	
	149.00 °C	73	40.56	
148.00 °C	77	42.78		
น้อยกว่า 140.00 °C	180	100		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 (ต่อ)

ช่วงการควบคุม	อุณหภูมิในตู้อบ ($^{\circ}\text{C}$)	มุมเฟสช่วง ON	เปอร์เซ็นต์ ON (%)	รายละเอียด
ช่วงที่ (1)	$0^{\circ}\text{C} \sim 150.00^{\circ}\text{C}$	180	100.00	ป้องกันแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวด ความร้อนที่ค่ามุมเฟสช่วง ON 180 องศา เมื่ออุณหภูมิในตู้อบอยู่ในช่วง 0°C จนถึง 150.00°C เพื่อให้อุณหภูมิในตู้อบถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมายเร็ว
ช่วงที่ (2)	$151.00^{\circ}\text{C} \sim 155.00^{\circ}\text{C}$	140	77.78	ลดค่ามุมเฟสช่วง ON ลง ตามช่วงของ อุณหภูมิที่กำหนดอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อควบคุมค่าของอุณหภูมิในตู้อบไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิเป้าหมายมากกว่าค่าที่ได้ กำหนดที่ 5°C
	$156.00^{\circ}\text{C} \sim 160.00^{\circ}\text{C}$	135	75.00	
	$161.00^{\circ}\text{C} \sim 165.00^{\circ}\text{C}$	130	72.22	
	$166.00^{\circ}\text{C} \sim 170.00^{\circ}\text{C}$	125	69.44	
	$171.00^{\circ}\text{C} \sim 175.00^{\circ}\text{C}$	120	66.67	
	$176.00^{\circ}\text{C} \sim 180.00^{\circ}\text{C}$	115	63.89	
	$181.00^{\circ}\text{C} \sim 185.00^{\circ}\text{C}$	110	61.11	
	$186.00^{\circ}\text{C} \sim 190.00^{\circ}\text{C}$	105	58.33	
	$191.00^{\circ}\text{C} \sim 195.00^{\circ}\text{C}$	100	55.56	
ช่วงที่ (3)	มากกว่า 210.00°C	0	0	ปรับเปลี่ยนค่ามุมเฟสช่วง ON ตามค่าของ อุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้ เพื่อควบคุมอุณหภูมิในตู้อบให้เข้าใกล้ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิในตู้อบมากกว่าอุณหภูมิเป้าหมาย จะทำการลดค่ามุมเฟสช่วง ON ลง และเมื่ออุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่าอุณหภูมิเป้าหมาย จะทำการเพิ่มค่ามุมเฟสช่วง ON ขึ้นตามกระบวนการ การที่ได้ กำหนด โดยการปรับค่ามุมเฟสช่วง ON จะปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามค่าของ อุณหภูมิในตู้อบที่เปลี่ยนแปลง 0.25°C
	203.00°C	59	32.78	
	202.00°C	63	35.00	
	201.00°C	67	37.22	
	200.75°C	68	37.78	
	200.50°C	69	38.33	
	200.25°C	70	38.89	
	200.00°C	75	41.67	
	199.75°C	80	44.44	
	199.50°C	81	45.00	
	199.25°C	82	45.56	
	199.00°C	83	46.11	
	198.00°C	87	48.33	
197.00°C	91	50.56		
น้อยกว่า 190.00°C	180	100		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 ผลของอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าที่มีการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดที่กำลังไฟฟ้าของ ขดลวดความร้อน 2,000 วัตต์ กรณีไซเคิลคอนโทรล

5.6.1 ขั้นตอนทำการทดลอง

1. เชื่อมต่อวงจรในส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน
2. เขียนโปรแกรมสร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีไซเคิลคอนโทรล
3. คอมไพเลอร์และแอสเซมเบลอร์ด้วย RC-51 และ MA-51 จะได้เป็นไฟล์ * .hex
4. เปิดโปรแกรม Flash Magic แล้วโหลดโปรแกรมที่ได้เขียนขึ้นที่มีนามสกุล * .hex ลงในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ที่อยู่บนบอร์ดควบคุมผ่านทางพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์
5. เขียนโปรแกรมมอนิเตอร์ด้วยโปรแกรมวิซวลเบสิก 6.0 (Visual Basic 6.0)
6. เปิดโปรแกรมมอนิเตอร์
7. เลือกเมนูอาหารที่จะอบ ผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ ON และค่าของเวลาการอบคอมพิวเตอร์จะกำหนดให้โดยอัตโนมัติ โดยที่ผู้ใช้งานไม่ต้องกำหนด
8. คอมพิวเตอร์ส่งค่าเปอร์เซ็นต์ ON ให้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ทางพอร์ตอนุกรม
9. สั่งเริ่มดำเนินการทำงาน เพื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับตามค่าเปอร์เซ็นต์ ON ที่กำหนดให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า และเริ่มจับเวลา
10. ไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจสอบสัญญาณตรวจจับจุดตัดศูนย์เพื่อเริ่มต้นสั่งการทำงานให้ ไดรแอก ON-OFF คลื่นแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้า
11. เทอร์มิคัพเปิดตรวจจับอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าแล้วส่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์มิคัพเปิดให้กับส่วนของวงจรขยายแรงดันไฟฟ้า
12. วงจรขยายแรงดันไฟฟ้าส่งค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ทำการขยายแล้วให้กับส่วนของการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล
13. ส่วนของการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลส่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณดิจิตอลเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์
14. ไมโครคอนโทรลเลอร์คำนวณค่าสัญญาณดิจิตอลที่ได้รับมาเป็นค่าของอุณหภูมิแล้วส่งค่าของอุณหภูมิที่คำนวณได้เข้าคอมพิวเตอร์
15. คอมพิวเตอร์แสดงผลของอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า และบันทึกผลลงฐานข้อมูล
16. โปรแกรมมอนิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานจะทำการตรวจสอบ เปรียบเทียบและตัดสินใจในการควบคุมอุณหภูมิตามกระบวนการควบคุมอุณหภูมิที่ได้เขียนขึ้น
17. คอมพิวเตอร์ส่งค่าเปอร์เซ็นต์ ON ให้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ทางพอร์ตอนุกรม
18. คอมพิวเตอร์ตรวจสอบเวลาการทำงาน
19. เมื่อครบเวลาที่กำหนด คอมพิวเตอร์ส่งคำสั่งให้ไดรแอกหยุดนำกระแสผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์ หยุดการบันทึกข้อมูล ส่งสัญญาณเตือนให้ผู้ใช้งานรับรู้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
20. ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.2 ผลการทดลอง

5.6.2.1 การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าแบบ 1 ช่วงเวลา กรณีไซเคลคอนโทรล

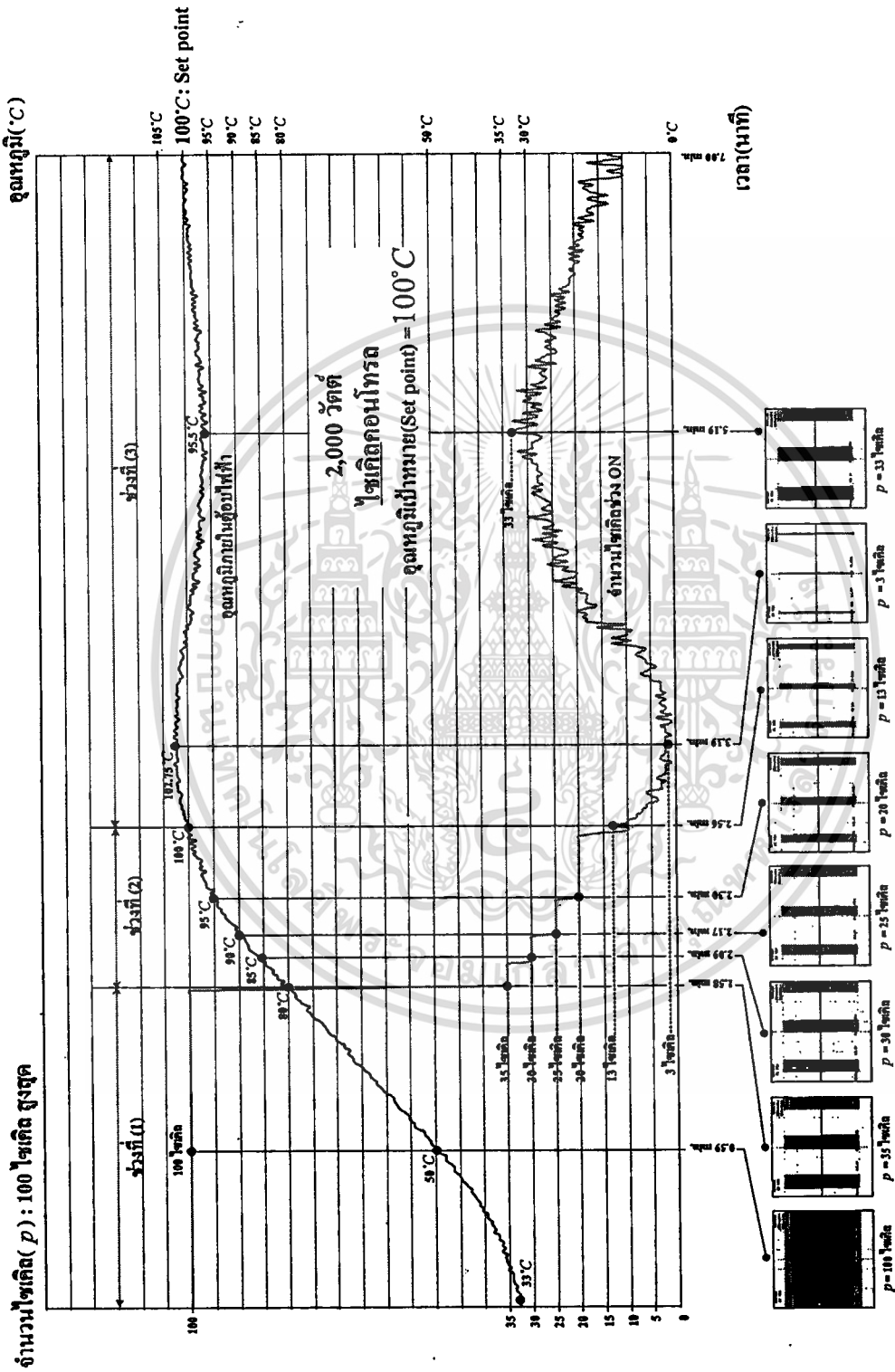
ในรูปที่ 5.27 เป็นกราฟของการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดโดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนขนาด 2,000 วัตต์ แบบ 1 ช่วงเวลา กรณีไซเคลคอนโทรล กำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) เท่ากับ 100°C ทำการทดลอง 20 นาที มีค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งรายละเอียดของการควบคุมอุณหภูมิแสดงในตารางที่ 5.6 ในรูปที่ 5.28 เป็นกราฟของการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดโดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนขนาด 2,000 วัตต์ แบบ 1 ช่วงเวลา กรณีไซเคลคอนโทรล กำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) เท่ากับ 150°C ทำการทดลอง 20 นาที มีค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งรายละเอียดของการควบคุมอุณหภูมิแสดงในตารางที่ 5.7 ในรูปที่ 5.29 เป็นกราฟของการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดโดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนขนาด 2,000 วัตต์ แบบ 1 ช่วงเวลา กรณีไซเคลคอนโทรล กำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) เท่ากับ 200°C ทำการทดลอง 20 นาที มีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งรายละเอียดของการควบคุมอุณหภูมิแสดงในตารางที่ 5.8

5.6.2.2 การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าแบบ 2 ช่วงเวลา กรณีไซเคลคอนโทรล

จากรูปที่ 5.30 เป็นกราฟของการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดโดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนขนาด 2,000 วัตต์ แบบ 2 ช่วงเวลา กรณีไซเคลคอนโทรล โดยในช่วงเวลาที่ 1 กำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) เท่ากับ 125°C ทำการทดลอง 20 นาที และในช่วงเวลาที่ 2 กำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) เท่ากับ 200°C ทำการทดลอง 20 นาที มีค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งรายละเอียดของการควบคุมอุณหภูมิแสดงในตารางที่ 5.9

5.6.2.3 การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าแบบ 3 ช่วงเวลา กรณีไซเคลคอนโทรล

จากรูปที่ 5.31 เป็นกราฟของการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดโดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนขนาด 2,000 วัตต์ แบบ 3 ช่วงเวลากรณีไซเคลคอนโทรล โดยในช่วงเวลาที่ 1 กำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) เท่ากับ 125°C ทำการทดลอง 20 นาที ในช่วงเวลาที่ 2 กำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) เท่ากับ 150°C ทำการทดลอง 20 นาที และในช่วงเวลาที่ 3 กำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) เท่ากับ 200°C ทำการทดลอง 20 นาที มีค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งรายละเอียดของการควบคุมอุณหภูมิแสดงในตารางที่ 5.10

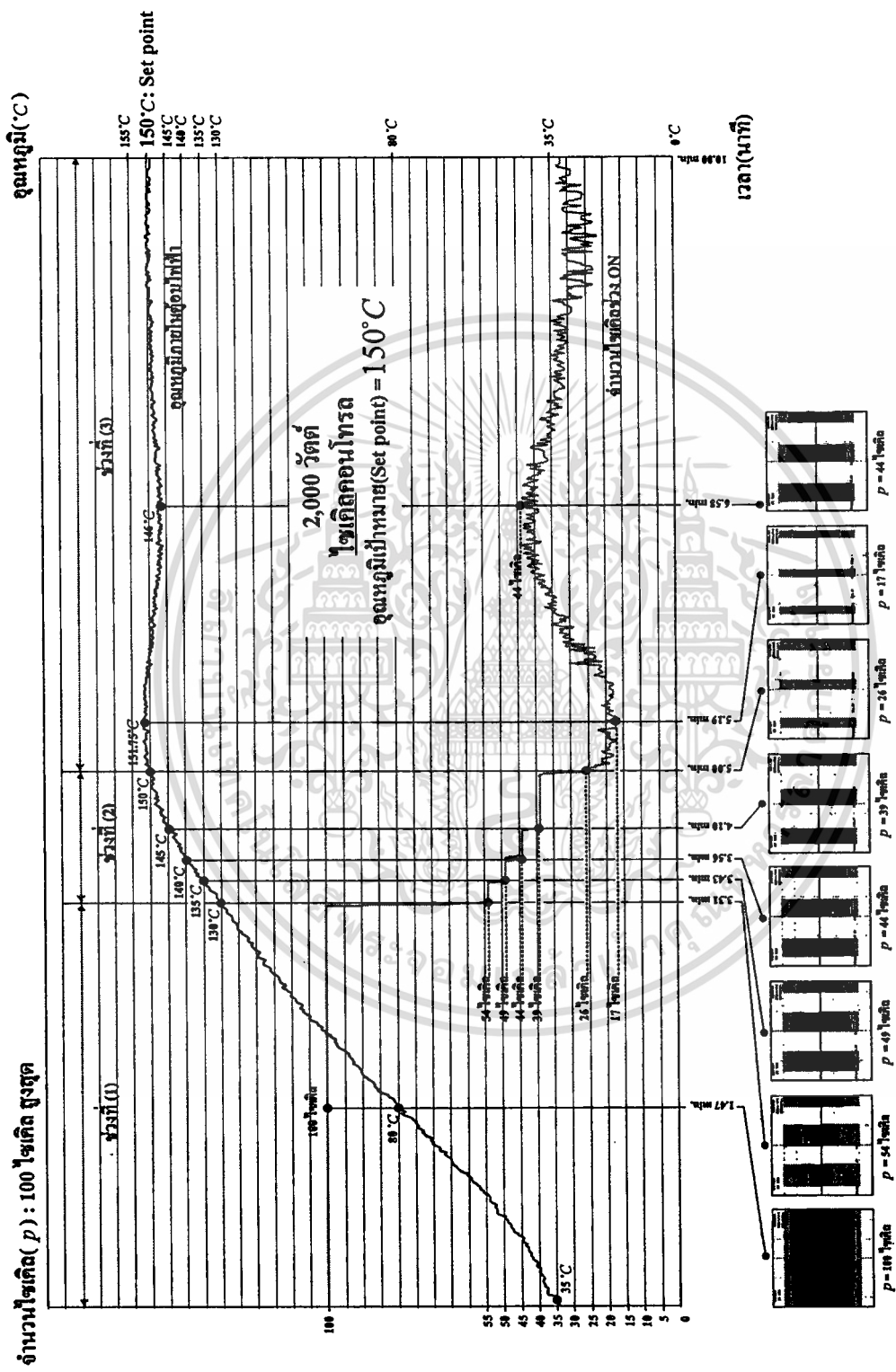


รูปที่ 5.27 กราฟของอุณหภูมิภายในระบบบิวดแบบ 1 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย(Set point) 100 °C วิธีไซเด็คคอนโทรล

ตารางที่ 5.6 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 1 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย 100°C วิธีไซเคิลคอนโทรล

ช่วงการควบคุม	อุณหภูมิในตู้บ ($^{\circ}\text{C}$)	จำนวนไซเคิล ON	เปอร์เซ็นต์ ON (%)	รายละเอียด
ช่วงที่ (1)	$0^{\circ}\text{C} \sim 79.00^{\circ}\text{C}$	100	100	ป้อนคลื่นแรงดันให้กับขดลวด ความร้อนที่ค่าจำนวนไซเคิล ON 100 ไซเคิล เมื่ออุณหภูมิในตู้บอยู่ในช่วง 0°C จนถึง 79.00°C เพื่อให้อุณหภูมิในตู้บถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมายเร็ว และใช้เวลาที่เหมาะสม
ช่วงที่ (2)	$80.00^{\circ}\text{C} \sim 84.00^{\circ}\text{C}$	35	35	ลดค่าจำนวนไซเคิล ON ลง ตามช่วงของอุณหภูมิที่กำหนดอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อควบคุมค่าของอุณหภูมิในตู้บไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิเป้าหมายมากกว่าค่าที่ได้กำหนดที่ 5°C
	$85.00^{\circ}\text{C} \sim 89.00^{\circ}\text{C}$	30	30	
	$90.00^{\circ}\text{C} \sim 94.00^{\circ}\text{C}$	25	25	
	$95.00^{\circ}\text{C} \sim 99.00^{\circ}\text{C}$	20	20	
ช่วงที่ (3)	มากกว่า 110.00°C	0	0	ปรับเปลี่ยนค่าจำนวนไซเคิล ON ตามค่าของอุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้ เพื่อควบคุมอุณหภูมิในตู้บให้เข้าใกล้ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิในตู้บมากกว่าอุณหภูมิเป้าหมายจะทำการลดค่าจำนวนไซเคิล ON ลง และเมื่ออุณหภูมิในตู้บน้อยกว่าอุณหภูมิเป้าหมาย จะทำการเพิ่มค่าจำนวนไซเคิล ON ขึ้นตามกระบวนการที่ได้กำหนด โดยการปรับค่าจำนวนไซเคิล ON จะปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามค่าของอุณหภูมิในตู้บที่เปลี่ยนแปลง 0.25°C
	104.00°C	3	3	
	103.00°C	3	3	
	102.00°C	3	3	
	101.00°C	7	7	
	100.75°C	8	8	
	100.50°C	9	9	
	100.25°C	10	10	
	100.00°C	13	13	
	99.75°C	16	16	
	99.50°C	17	17	
	99.25°C	18	18	
	99.00°C	19	19	
	98.00°C	23	23	
	97.00°C	27	27	
	96.00°C	31	31	
95.00°C	35	35		
น้อยกว่า 90.00°C	100	100		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.28 กราฟของอุณหภูมิภายในระบบปิดแบบ 1 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย (Set point) 150 °C วิธีไซเคิลคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 1 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย 150°C วิธีไซเคิลคอนโทรล

ช่วงการควบคุม	อุณหภูมิในตู้อบ ($^{\circ}\text{C}$)	จำนวนไซเคิล ON	เปอร์เซ็นต์ ON (%)	รายละเอียด
ช่วงที่ (1)	$0^{\circ}\text{C} \sim 129.00^{\circ}\text{C}$	100	100	ป้อนคลื่นแรงดันให้กับขดลวด ความร้อนที่ค่าจำนวนไซเคิล ON 100 ไซเคิล เมื่ออุณหภูมิในตู้อบอยู่ในช่วง 0°C จนถึง 129.00°C เพื่อให้อุณหภูมิในตู้อบถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมายเร็ว และใช้เวลาที่เหมาะสม
ช่วงที่ (2)	$130.00^{\circ}\text{C} \sim 134.00^{\circ}\text{C}$	54	54	ลดค่าจำนวนไซเคิล ON ลง ตามช่วงของอุณหภูมิที่กำหนดอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อควบคุมค่าของอุณหภูมิในตู้อบไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิเป้าหมายมากกว่าค่าที่ได้กำหนดที่ 5°C
	$135.00^{\circ}\text{C} \sim 139.00^{\circ}\text{C}$	49	49	
	$140.00^{\circ}\text{C} \sim 144.00^{\circ}\text{C}$	44	44	
	$145.00^{\circ}\text{C} \sim 149.00^{\circ}\text{C}$	39	39	
ช่วงที่ (3)	มากกว่า 160.00°C	0	0	ปรับเปลี่ยนค่าจำนวนไซเคิล ON ตามค่าของอุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้ เพื่อควบคุมอุณหภูมิในตู้อบให้เข้าใกล้ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิในตู้อบมากกว่าอุณหภูมิเป้าหมายจะทำการลดค่าจำนวนไซเคิล ON ลง และเมื่ออุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่าอุณหภูมิเป้าหมาย จะทำการเพิ่มค่าจำนวนไซเคิล ON ขึ้นตามกระบวนการที่ได้กำหนด โดยการปรับค่าจำนวนไซเคิล ON จะปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามค่าของอุณหภูมิในตู้อบที่เปลี่ยนแปลง 0.25°C
	154.00°C	8	8	
	153.00°C	12	12	
	152.00°C	16	16	
	151.00°C	20	20	
	150.75°C	21	21	
	150.50°C	22	22	
	150.25°C	23	23	
	150.00°C	26	26	
	149.75°C	29	29	
	149.50°C	30	30	
	149.25°C	31	31	
	149.00°C	32	32	
	148.00°C	36	36	
	147.00°C	40	40	
146.00°C	44	44		
น้อยกว่า 140.00°C	100	100		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 1 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย 200°C วิธีไซเคิลคอนโทรล

ช่วงการควบคุม	อุณหภูมิในตู้อบ ($^{\circ}\text{C}$)	จำนวนไซเคิล ON	เปอร์เซ็นต์ ON (%)	รายละเอียด
ช่วงที่ (1)	$0^{\circ}\text{C} \sim 190.00^{\circ}\text{C}$	100	100	ป้อนคลื่นแรงดันให้กับขดลวด ความร้อนที่ค่าจำนวนไซเคิล ON 100 ไซเคิล เมื่ออุณหภูมิในตู้อบอยู่ในช่วง 0°C จนถึง 190.00°C เพื่อให้อุณหภูมิในตู้อบถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมายเร็ว และใช้เวลาที่เหมาะสม
ช่วงที่ (2)	$191.00^{\circ}\text{C} \sim 195.00^{\circ}\text{C}$	70	70	ลดค่าจำนวนไซเคิล ON ลง ตามช่วงของอุณหภูมิที่กำหนดอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อควบคุมค่าของอุณหภูมิในตู้อบไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิเป้าหมายมากกว่าค่าที่ได้กำหนดที่ 5°C
	$196.00^{\circ}\text{C} \sim 199.00^{\circ}\text{C}$	60	60	
ช่วงที่ (3)	มากกว่า 210.00°C	0	0	ปรับเปลี่ยนค่าจำนวนไซเคิล ON ตามค่าของอุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้ เพื่อควบคุมอุณหภูมิในตู้อบให้เข้าใกล้ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิในตู้อบมากกว่าอุณหภูมิเป้าหมายจะทำการลดค่าจำนวนไซเคิล ON ลง และเมื่ออุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่าอุณหภูมิเป้าหมาย จะทำการเพิ่มค่าจำนวนไซเคิล ON ขึ้นตามกระบวนการที่ได้กำหนด โดยการปรับค่าจำนวนไซเคิล ON จะปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามค่าของอุณหภูมิในตู้อบที่เปลี่ยนแปลง 0.25°C
	204.00°C	20	20	
	203.00°C	24	24	
	202.00°C	28	28	
	201.00°C	32	32	
	200.75°C	33	33	
	200.50°C	34	34	
	200.25°C	35	35	
	200.00°C	40	40	
	199.75°C	45	45	
	199.50°C	46	46	
	199.25°C	47	47	
	199.00°C	48	48	
	198.00°C	52	52	
	197.00°C	56	56	
	196.00°C	60	60	
195.00°C	64	64		
194.00°C	68	68		
น้อยกว่า 190.00°C	100	100		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 2 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย 125°C , 200°C

วิธีไซเคิลคอนโทรล

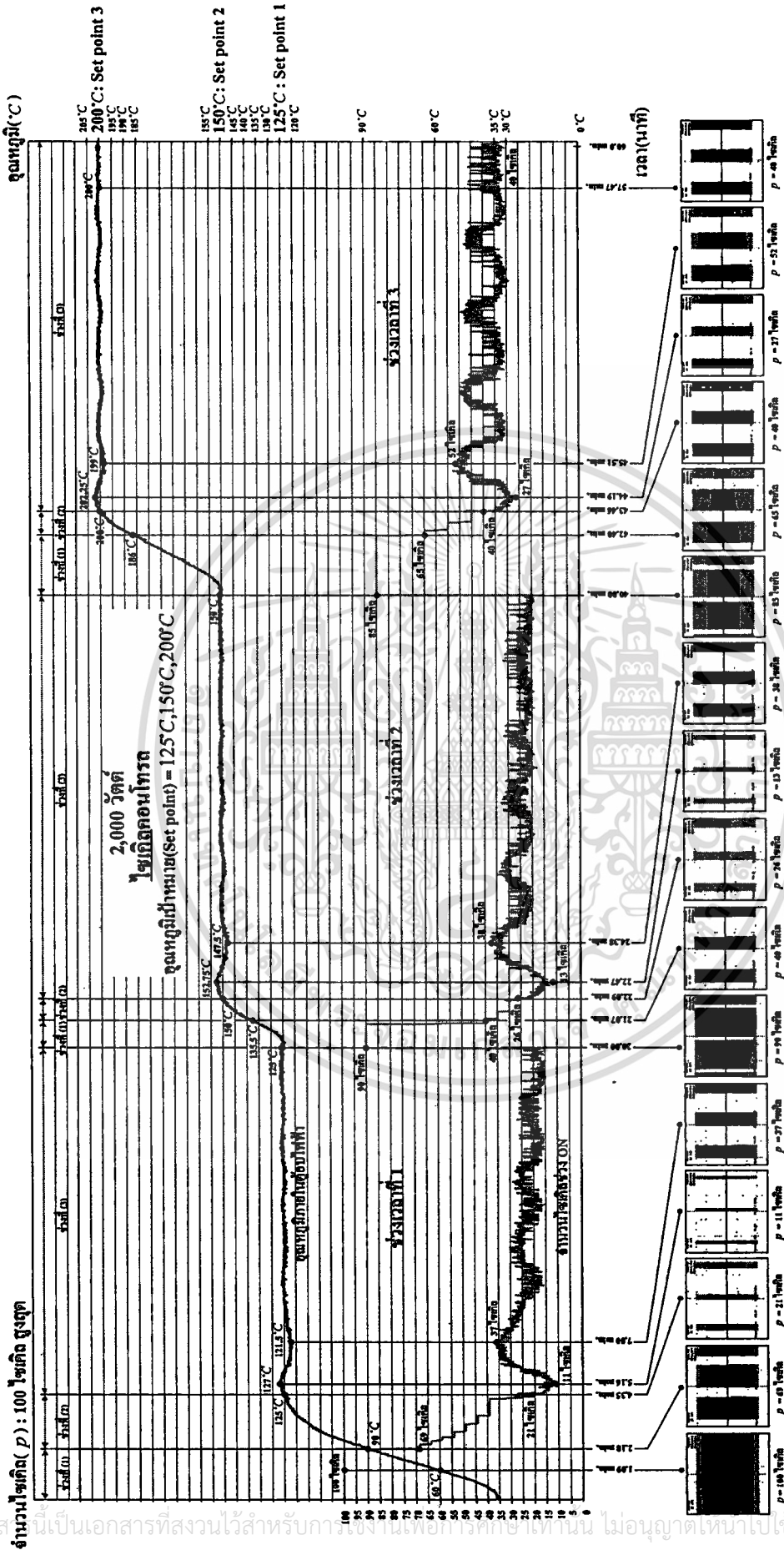
ช่วงการควบคุม	อุณหภูมิในตู้อบ ($^{\circ}\text{C}$)	จำนวนไซเคิล ON	เปอร์เซ็นต์ ON (%)	รายละเอียด
ช่วงที่ (1)	$0^{\circ}\text{C} \sim 89.00^{\circ}\text{C}$	100	100	ป้อนคลื่นแรงดันให้ขดลวดความร้อนที่ค่าจำนวนไซเคิล ON 100 ไซเคิล เมื่ออุณหภูมิในตู้อบอยู่ในช่วง 0°C จนถึง 89.00°C เพื่อให้อุณหภูมิในตู้อบถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมายเร็วและใช้เวลาที่เหมาะสม
ช่วงที่ (2)	$90.00^{\circ}\text{C} \sim 94.00^{\circ}\text{C}$	69	69	ลดค่าจำนวนไซเคิล ON ลง ตามช่วงของอุณหภูมิที่กำหนดอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อควบคุมค่าของอุณหภูมิในตู้อบไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิเป้าหมายมากกว่าค่าที่ได้กำหนดที่ 5°C
	$95.00^{\circ}\text{C} \sim 99.00^{\circ}\text{C}$	64	64	
	$100.00^{\circ}\text{C} \sim 104.00^{\circ}\text{C}$	59	59	
	$105.00^{\circ}\text{C} \sim 109.00^{\circ}\text{C}$	54	54	
	$110.00^{\circ}\text{C} \sim 114.00^{\circ}\text{C}$	49	49	
	$115.00^{\circ}\text{C} \sim 119.00^{\circ}\text{C}$	44	44	
	$120.00^{\circ}\text{C} \sim 124.00^{\circ}\text{C}$	39	39	
ช่วงที่ (3)	มากกว่า 135.00°C	0	0	ปรับเปลี่ยนค่าจำนวนไซเคิล ON ตามค่าของอุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้ เพื่อควบคุมอุณหภูมิในตู้อบให้เข้าใกล้ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิในตู้อบมากกว่าอุณหภูมิเป้าหมายจะทำการลดค่าจำนวนไซเคิล ON ลง และเมื่ออุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่าอุณหภูมิเป้าหมาย จะทำการเพิ่มค่าจำนวนไซเคิล ON ขึ้นตามกระบวนการที่ได้กำหนด โดยการปรับค่าจำนวนไซเคิล ON จะปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามค่าของอุณหภูมิในตู้อบที่เปลี่ยนแปลง 0.25°C
	130.00°C	3	3	
	129.00°C	3	3	
	128.00°C	7	7	
	127.00°C	11	11	
	126.00°C	15	15	
	125.75°C	16	16	
	125.50°C	17	17	
	125.25°C	18	18	
	125.00°C	21	21	
	124.75°C	24	24	
	124.50°C	25	25	
	124.25°C	26	26	
	124.00°C	27	27	
	123.00°C	31	31	
	122.00°C	35	35	
	121.00°C	39	39	
120.00°C	43	43		
น้อยกว่า 115.00°C	100	100		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 (ต่อ)

ช่วงการควบคุม	อุณหภูมิในตู้อบ ($^{\circ}\text{C}$)	จำนวนไซเคิล ON	เปอร์เซ็นต์ ON (%)	รายละเอียด
ช่วงที่ (1)	$125^{\circ}\text{C} \sim 185.00^{\circ}\text{C}$	94	94	ป้อนคลื่นแรงดันให้กับขดลวด ความร้อนที่ค่าจำนวนไซเคิล ON 94 ไซเคิล เมื่ออุณหภูมิในตู้อบอยู่ในช่วง 125°C จนถึง 185.00°C เพื่อให้อุณหภูมิในตู้อบถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมายเร็ว และใช้เวลาที่เหมาะสม
ช่วงที่ (2)	$186.00^{\circ}\text{C} \sim 190.00^{\circ}\text{C}$	75	75	ลดค่าจำนวนไซเคิล ON ลง ตามช่วงของอุณหภูมิที่กำหนดอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อควบคุมค่าของอุณหภูมิในตู้อบไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิเป้าหมายมากกว่าค่าที่ได้กำหนดที่ 5°C
	$191.00^{\circ}\text{C} \sim 195.00^{\circ}\text{C}$	65	65	
	$196.00^{\circ}\text{C} \sim 199.00^{\circ}\text{C}$	55	55	
ช่วงที่ (3)	มากกว่า 210.00°C	0	0	ปรับเปลี่ยนค่าจำนวนไซเคิล ON ตามค่าของอุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้เพื่อควบคุมอุณหภูมิในตู้อบให้เข้าใกล้ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิในตู้อบมากกว่าอุณหภูมิเป้าหมายจะทำการลดค่าจำนวนไซเคิล ON ลง และเมื่ออุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่าอุณหภูมิเป้าหมาย จะทำการเพิ่มค่าจำนวนไซเคิล ON ขึ้นตามกระบวนการที่ได้กำหนด โดยการปรับค่าจำนวนไซเคิล ON จะปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามค่าของอุณหภูมิในตู้อบที่เปลี่ยนแปลง 0.25°C
	204.00°C	20	20	
	203.00°C	24	24	
	202.00°C	28	28	
	201.00°C	32	32	
	200.75°C	33	33	
	200.50°C	34	34	
	200.25°C	35	35	
	200.00°C	40	40	
	199.75°C	45	45	
	199.50°C	46	46	
	199.25°C	47	47	
	199.00°C	48	48	
	198.00°C	52	52	
	197.00°C	56	56	
196.00°C	60	60		
น้อยกว่า 190.00°C	100	100		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.31 กราฟของอุณหภูมิภายในระบบปิดแบบ 3 ช่วงเวลา ที่อุณหภูมิเป้าหมาย(Set point) 125 °C , 150 °C , 200 °C วิธีไซเคิลคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 การควบคุมอุณหภูมิแบบ 3 ช่วงเวลาที่อุณหภูมิเป้าหมาย 125°C , 150°C , 200°C

วิธีไหลเกิดคอนโทรล

ช่วงการควบคุม	อุณหภูมิในตู้อบ ($^{\circ}\text{C}$)	จำนวนไซเคิล ON	เปอร์เซ็นต์ ON (%)	รายละเอียด
ช่วงที่ (1)	$0^{\circ}\text{C} \sim 89.00^{\circ}\text{C}$	100	100	ป้อนคลื่นแรงดันให้ขดลวด ความร้อนที่ค่าจำนวนไซเคิล ON 100 ไซเคิล เมื่ออุณหภูมิในตู้อบอยู่ใน ช่วง 0°C จนถึง 89.00°C เพื่อให้อุณหภูมิในตู้อบถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมายเร็วและใช้เวลาที่เหมาะสม
ช่วงที่ (2)	$90.00^{\circ}\text{C} \sim 94.00^{\circ}\text{C}$	69	69	ลดค่าจำนวนไซเคิล ON ลง ตามช่วงของอุณหภูมิที่กำหนดอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อควบคุมค่าของอุณหภูมิในตู้อบไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิเป้าหมายมากกว่าค่าที่ได้กำหนดที่ 5°C
	$95.00^{\circ}\text{C} \sim 99.00^{\circ}\text{C}$	64	64	
	$100.00^{\circ}\text{C} \sim 104.00^{\circ}\text{C}$	59	59	
	$105.00^{\circ}\text{C} \sim 109.00^{\circ}\text{C}$	54	54	
	$110.00^{\circ}\text{C} \sim 114.00^{\circ}\text{C}$	49	49	
	$115.00^{\circ}\text{C} \sim 119.00^{\circ}\text{C}$	44	44	
ช่วงที่ (3)	มากกว่า 135.00°C	0	0	ปรับเปลี่ยนค่าจำนวนไซเคิล ON ตามค่าของอุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้ เพื่อควบคุมอุณหภูมิในตู้อบให้เข้าใกล้ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิในตู้อบมากกว่าอุณหภูมิเป้าหมายจะทำการลดค่าจำนวนไซเคิล ON ลง และเมื่ออุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่าอุณหภูมิเป้าหมาย จะทำการเพิ่มค่าจำนวนไซเคิล ON ขึ้นตามกระบวนการที่ได้กำหนด โดยการปรับค่าจำนวนไซเคิล ON จะปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามค่าของอุณหภูมิในตู้อบที่เปลี่ยนแปลง 0.25°C
	130.00°C	3	3	
	129.00°C	3	3	
	128.00°C	7	7	
	127.00°C	11	11	
	126.00°C	15	15	
	125.75°C	16	16	
	125.50°C	17	17	
	125.25°C	18	18	
	125.00°C	21	21	
	124.75°C	24	24	
	124.50°C	25	25	
	124.25°C	26	26	
	124.00°C	27	27	
	123.00°C	31	31	
122.00°C	35	35		
121.00°C	39	39		
120.00°C	43	43		
น้อยกว่า 115.00°C	100	100		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 (ต่อ)

ช่วงการควบคุม	อุณหภูมิในตู้อบ ($^{\circ}\text{C}$)	จำนวนไซเคิล ON	เปอร์เซ็นต์ ON (%)	รายละเอียด
ช่วงที่ (1)	$125^{\circ}\text{C} \sim 134.00^{\circ}\text{C}$	90	90	ป้อนคลื่นแรงดันให้กับขดลวด ความร้อนที่ค่าจำนวนไซเคิล ON 90 ไซเคิล เมื่ออุณหภูมิในตู้อบอยู่ในช่วง 125°C จนถึง 134.00°C เพื่อให้อุณหภูมิในตู้อบถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมายเร็ว และใช้เวลาที่เหมาะสม
ช่วงที่ (2)	$135.00^{\circ}\text{C} \sim 139.00^{\circ}\text{C}$	40	40	ลดค่าจำนวนไซเคิล ON ลง ตามช่วงของอุณหภูมิที่กำหนดอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อควบคุมค่าของอุณหภูมิในตู้อบไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิเป้าหมายมากกว่าค่าที่ได้กำหนดที่ 5°C
	$140.00^{\circ}\text{C} \sim 144.00^{\circ}\text{C}$	35	35	
	$145.00^{\circ}\text{C} \sim 149.00^{\circ}\text{C}$	30	30	
ช่วงที่ (3)	มากกว่า 160.00°C	0	0	ปรับเปลี่ยนค่าจำนวนไซเคิล ON ตามค่าของอุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้ เพื่อควบคุมอุณหภูมิในตู้อบให้เข้าใกล้ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย โดยมีความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิในตู้อบมากกว่าอุณหภูมิเป้าหมายจะทำการลดค่าจำนวนไซเคิล ON ลง และเมื่ออุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่าอุณหภูมิเป้าหมาย จะทำการเพิ่มค่าจำนวนไซเคิล ON ขึ้นตามกระบวนการที่ได้กำหนด โดยการปรับค่าจำนวนไซเคิล ON จะปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามค่าของอุณหภูมิในตู้อบที่เปลี่ยนแปลง 0.25°C
	154.00°C	8	8	
	153.00°C	12	12	
	152.00°C	16	16	
	151.00°C	20	20	
	150.75°C	21	21	
	150.50°C	22	22	
	150.25°C	23	23	
	150.00°C	26	26	
	149.75°C	29	29	
	149.50°C	30	30	
	149.25°C	31	31	
	149.00°C	32	32	
	148.00°C	36	36	
	147.00°C	40	40	
146.00°C	44	44		
น้อยกว่า 140.00°C	100	100		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 (ต่อ)

ช่วงการควบคุม	อุณหภูมิในตู้อบ ($^{\circ}\text{C}$)	จำนวนไซเคิล ON	เปอร์เซ็นต์ ON (%)	รายละเอียด
ช่วงที่ (1)	$150^{\circ}\text{C} \sim 185.00^{\circ}\text{C}$	85	85	ป้อนคลื่นแรงดันให้กับขดลวด ความร้อนที่ค่าจำนวนไซเคิล ON 85 ไซเคิล เมื่ออุณหภูมิในตู้อบอยู่ในช่วง 150°C จนถึง 185.00°C เพื่อให้อุณหภูมิในตู้อบถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมายเร็ว และใช้เวลาที่เหมาะสม
ช่วงที่ (2)	$186.00^{\circ}\text{C} \sim 190.00^{\circ}\text{C}$	65	65	ลดค่าจำนวนไซเคิล ON ลง ตามช่วงของอุณหภูมิที่กำหนดอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อควบคุมค่าของอุณหภูมิในตู้อบไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิเป้าหมายมากกว่าค่าที่ได้กำหนดที่ 5°C
	$191.00^{\circ}\text{C} \sim 195.00^{\circ}\text{C}$	55	55	
	$196.00^{\circ}\text{C} \sim 199.00^{\circ}\text{C}$	45	45	
ช่วงที่ (3)	มากกว่า 210.00°C	0	0	ปรับเปลี่ยนค่าจำนวนไซเคิล ON ตามค่าของอุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้ เพื่อควบคุมอุณหภูมิในตู้อบให้เข้าใกล้ค่าอุณหภูมิเป้าหมาย โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิในตู้อบมากกว่าอุณหภูมิเป้าหมายจะทำการลดค่าจำนวนไซเคิล ON ลง และเมื่ออุณหภูมิในตู้อบน้อยกว่าอุณหภูมิเป้าหมาย จะทำการเพิ่มค่าจำนวนไซเคิล ON ขึ้นตามกระบวนการที่ได้กำหนด โดยการปรับค่าจำนวนไซเคิล ON จะปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามค่าของอุณหภูมิในตู้อบที่เปลี่ยนแปลง 0.25°C
	204.00°C	20	20	
	203.00°C	24	24	
	202.00°C	28	28	
	201.00°C	32	32	
	200.75°C	33	33	
	200.50°C	34	34	
	200.25°C	35	35	
	200.00°C	40	40	
	199.75°C	45	45	
	199.50°C	46	46	
	199.25°C	47	47	
	199.00°C	48	48	
	198.00°C	52	52	
	197.00°C	56	56	
196.00°C	60	60		
น้อยกว่า 190.00°C	100	100		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 ตัวอย่างการใช้งานจริงของการอบชิ้นงานที่เป็น ขนมปังชนิดแผ่นตราฟาร์มเฮ้าส์ แผ่นสเต็กหมู และน่องไก่ สำหรับการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดพร้อมรูปถ่าย

5.7.1 ข้อมูลจากการใช้งานจริงสำหรับการอบขนมปังชนิดแผ่นตราฟาร์มเฮ้าส์พร้อมรูปถ่าย

ขนมปังทานเนย

ส่วนผสม

- | | |
|---------------------------------|--------------|
| 1. ขนมปังชนิดแผ่นตราฟาร์มเฮ้าส์ | 3 แผ่น |
| 2. เนยเทียมตราเบสท์ฟู้ดส์ | 3 ช้อน โຕี๋ะ |
| 3. น้ำตาลทรายขาวตรามิตรผล | 3 ช้อนชา |

วิธีทำ

- เตรียมขนมปังชนิดแผ่น
- ทานเนยบนหน้าขนมปังด้านใดด้านหนึ่งให้ทั่วทั้งแผ่น
- โรยน้ำตาลทรายขาวลงบนหน้าขนมปังที่ได้ทานเนยไว้พอประมาณ
- นำขนมปังเข้าตู้อบไฟฟ้า โดยวางไว้บนตะแกรง
- เลือกโปรแกรมการอบ โดยเลือกเมนูการอบขนมปังแบบกรอบปานกลางจากคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นกระบวนการอบแบบอัตโนมัติ โดยคอมพิวเตอร์จะกำหนดค่าอุณหภูมิและเวลาอบเอง ผู้ใช้งานเพียงเลือกเมนูอาหารที่จะอบเท่านั้น ซึ่งคอมพิวเตอร์จะกำหนดค่าอุณหภูมิในการอบที่ 200 °C เป็นเวลา 10 นาที

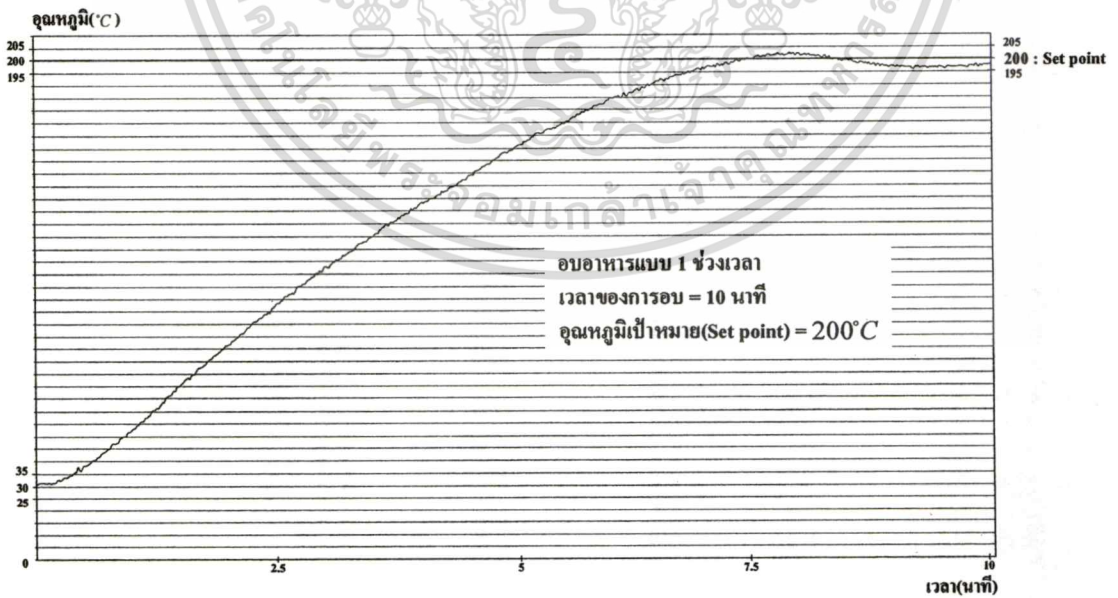
ตารางที่ 5.11 รายละเอียดของการอบขนมปังชนิดแผ่นตราฟาร์มเฮ้าส์

รายการ	รายละเอียด
1. อาหารที่นำมาอบ	ขนมปังชนิดแผ่นตราฟาร์มเฮ้าส์แบบมีขอบ
2. น้ำหนักรวมของอาหารที่อบ	72 กรัม
3. จำนวนของอาหารที่อบ	3 แผ่น
4. ระดับความแห้งของการอบ	แห้งปานกลาง แบบกรอบนอกนุ่มใน
5. รูปแบบของการอบ	แบบ 1 ช่วงเวลา
6. อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบ	200 °C : 10 นาที (กรอบนอกนุ่มใน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.32 ขนมปังชนิดแผ่นตราฟาร์มเฮาส์เมื่ออบเสร็จแล้ว



รูปที่ 5.33 กราฟของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบขนมปังชนิดแผ่นตราฟาร์มเฮาส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.12 สรุปผลของการอบขนมปังชนิดแผ่นตราฟาร์มเข้าสู่ตามกระบวนการที่ได้กำหนด

รายการ	รายละเอียด
1. ลักษณะของเนื้ออาหาร	ผิวภายนอกของขนมปังกรอบกำลังดีไม่แข็งจนเกินไป ส่วนเนื้อขนมปังด้านในยังเหนียวนุ่มเหมือนเดิม ซึ่งจุดนี้เป็นจุดเด่นของกระบวนการอบอาหารที่ได้ออกแบบไว้
2. รสชาติของอาหาร	มีรสชาติของเนยที่ทาและรสหวานของน้ำตาลทรายขาวที่โรยบนขนมปัง โดยรวมรสชาติอร่อย
3. กลิ่นของอาหาร	มีกลิ่นหอมของเนื้อขนมปังที่ได้ผ่านการอบและกลิ่นเนยที่ทา
4. สีของอาหาร	สีผิวหน้าของขนมปังมีสีเหลืองเข้มของเนยที่ทาและบางส่วนมีสีน้ำตาลอ่อนๆ ส่วนเนื้อด้านในยังเป็นสีขาวเหมือนเดิม

5.7.2 ข้อมูลจากการใช้งานจริงสำหรับการอบแผ่นสติกหมูปพร้อมรูปถ่าย

ส่วนผสม

- | | |
|----------------------|------------|
| 1. แผ่นหมูสันคอ | 1 ชิ้น |
| 2. พริกไทยดำป่น | 1 ช้อนชา |
| 3. น้ำตาลทรายขาว | 1 ช้อนชา |
| 4. น้ำมันพืช | 2 ช้อนโต๊ะ |
| 5. กระทียมสับละเอียด | 1 ช้อนโต๊ะ |
| 6. ซอสปรุงรส | 2 ช้อนชา |

วิธีทำ

- เตรียมแผ่นหมูสันคอที่ใช้ทำสติก หนาประมาณครึ่งนิ้ว แล้วทูปด้วยน้ำมันหมู
- นำแผ่นหมูสันคอกลุกกับกระทียม พริกไทยดำ ซอสปรุงรส น้ำตาลทรายขาว และน้ำมันพืช แล้วหมักทิ้งไว้ 1-2 ชั่วโมง
- นำแผ่นหมูสันคอที่หมักไว้คลุกกับน้ำมันพืชอีกครั้ง แล้วนำไปวางไว้บนตะแกรงในตู้อบไฟฟ้า
- เลือกโปรแกรมการอบ โดยเลือกเมนูการอบสติกหมูจากคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นกระบวนการอบแบบอัตโนมัติ โดยคอมพิวเตอร์จะกำหนดค่าอุณหภูมิและเวลาอบเอง ผู้ใช้งานเพียงเลือกเมนูที่จะอบเท่านั้น ซึ่งคอมพิวเตอร์จะใช้กระบวนการอบแบบ 2 ช่วงเวลา โดยในช่วงเวลาที่ 1 จะกำหนดค่าอุณหภูมิในการอบ 125 °C เป็นเวลา 20 นาที และในช่วงเวลาที่ 2 จะกำหนดค่าอุณหภูมิในการอบ 200 °C เป็นเวลา 12 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

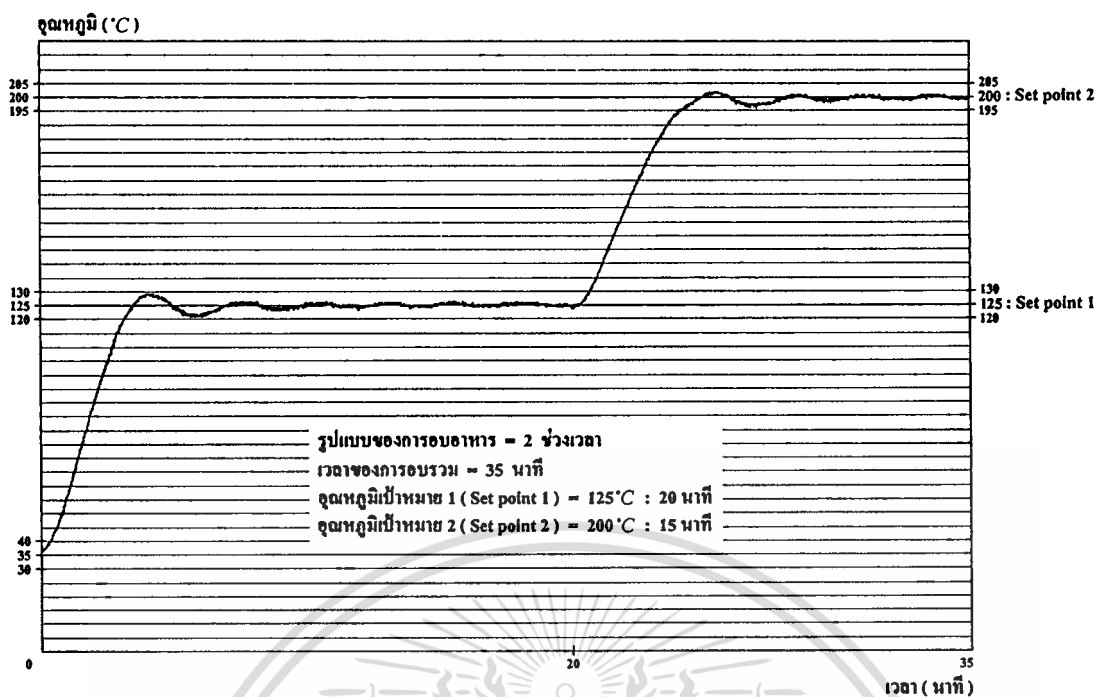
ตารางที่ 5.13 รายละเอียดของการอบแผ่นสติกหมู

รายการ	ข้อมูลการอบ
1. อาหารที่นำมาอบ	แผ่นหมูสันคอ
2. น้ำหนักของอาหารที่อบ	235 กรัม
3. จำนวนของอาหารที่อบ	1 ชิ้น
4. ระดับความแห้งของการอบ	แห้งกลาง
6. รูปแบบของการอบ	แบบ 2 ช่วงเวลา
7. อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบ	125°C : 20 นาที (เนื้อภายในค่อยๆ สุก) 200°C : 15 นาที (เนื้อภายนอกสีสวยน่ารับประทาน)



รูปที่ 5.34 แผ่นสติกหมูเมื่ออบเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.35 กราฟของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแผ่นสติกหมู

ตารางที่ 5.14 สรุปผลของการอบแผ่นสติกหมูตามกระบวนการที่ได้กำหนด

รายการ	รายละเอียด
1. ลักษณะของเนื้ออาหาร	เนื้อภายในไม่แห้ง มีน้ำของเนื้อ เมื่อลองรับประทาน เนื้อนุ่ม ไม่แข็งกระด้าง ส่วนเนื้อภายนอกไม่แห้งจนเกินไป มีน้ำของเนื้อไหลเยิ้มออกมา ดูน่ารับประทาน ซึ่งจุดนี้เป็นจุดเด่นของกระบวนการอบอาหารที่ได้ออกแบบไว้
2. รสชาติของอาหาร	มีรสหวานของเนื้อผสมรสเค็มกำลังดี และมีความเผ็ดร้อนของพริกไทยดำ โดยรวมรสชาติอร่อย
3. กลิ่นของอาหาร	มีกลิ่นหอมของหมูสติกที่ได้ผ่านการอบ กลิ่นพริกไทยดำ และกลิ่นกระเทียม เมื่อรับประทานจะมีกลิ่นหอมของหมูย่าง ซึ่งช่วยเพิ่มรสชาติของอาหารให้เด่นขึ้น
4. สีของอาหาร	ภายในของหมูสติกจะมีสีน้ำตาลอ่อนสลับเข้มเล็กน้อย ดูแล้วน่ารับประทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7.3 ข้อมูลจากการใช้งานจริงสำหรับการอบน่องไก่พร้อมรูปถ่าย

น่องไก่อบ

ส่วนผสม

- | | | |
|-----------------------|---|----------|
| 1. น่องไก่ | 3 | ชิ้น |
| 2. พริกไทยดำป่น | 1 | ช้อนชา |
| 3. กระเทียมสับละเอียด | 1 | ช้อนโต๊ะ |
| 4. ซอสปรุงรส | 2 | ช้อนชา |
| 5. น้ำปลา | 1 | ช้อนชา |
| 6. น้ำมันพืช | 1 | ช้อนโต๊ะ |

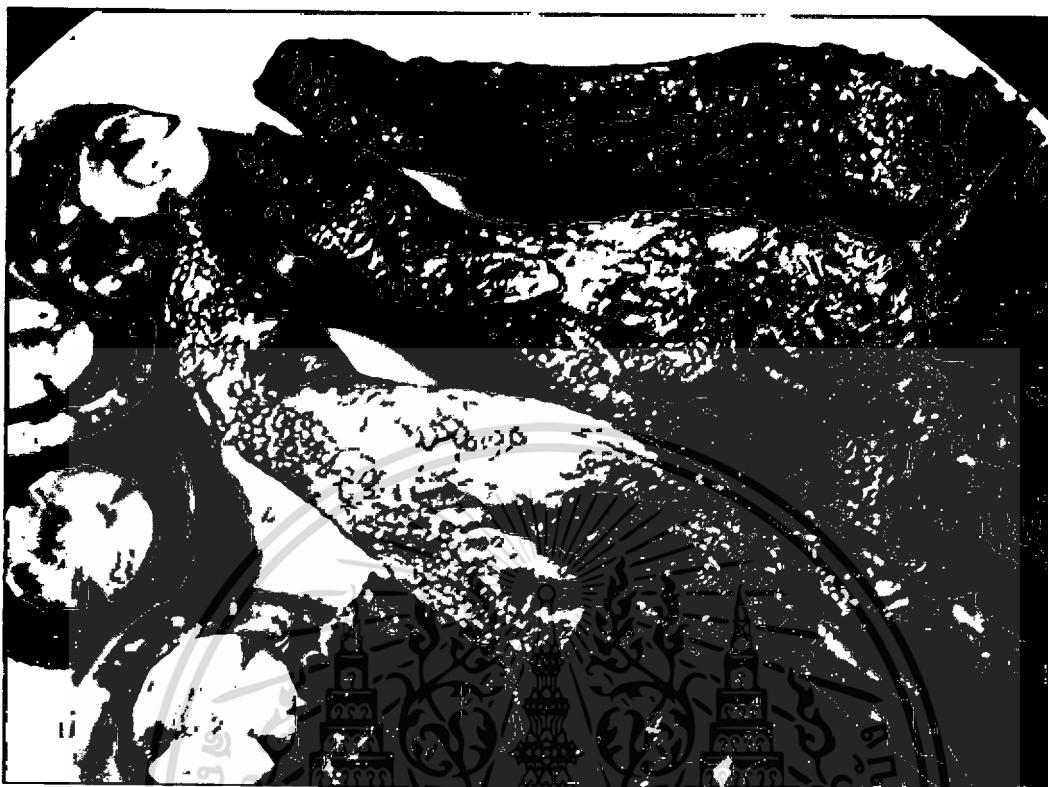
วิธีทำ

1. เตรียมน่องไก่
2. นำน่องไก่คลุกกับกระเทียม พริกไทยดำ น้ำปลา และซอสปรุงรส แล้วหมักทิ้งไว้ 1-2 ชั่วโมง
3. นำน่องไก่ที่หมักไว้แล้วคลุกกับน้ำมันพืช แล้วนำไปวางไว้บนตะแกรงในคูอบไฟฟ้า
4. เลือกโปรแกรมการอบ โดยเลือกเมนูการอบน่องไก่จากหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นกระบวนการอบแบบอัตโนมัติโดยคอมพิวเตอร์จะกำหนดค่าอุณหภูมิและเวลาการอบเอง ผู้ใช้งานเพียงเลือกเมนูที่จะอบเท่านั้น ซึ่งคอมพิวเตอร์จะใช้กระบวนการอบแบบ 3 ช่วงเวลา โดยในช่วงเวลาที่ 1 จะกำหนดค่าอุณหภูมิในการอบ 125°C เป็นเวลา 50 นาที ในช่วงเวลาที่ 2 จะกำหนดค่าอุณหภูมิในการอบ 150°C เป็นเวลา 30 นาที และในช่วงเวลาที่ 3 จะกำหนดค่าอุณหภูมิในการอบ 200°C เป็นเวลา 10 นาที

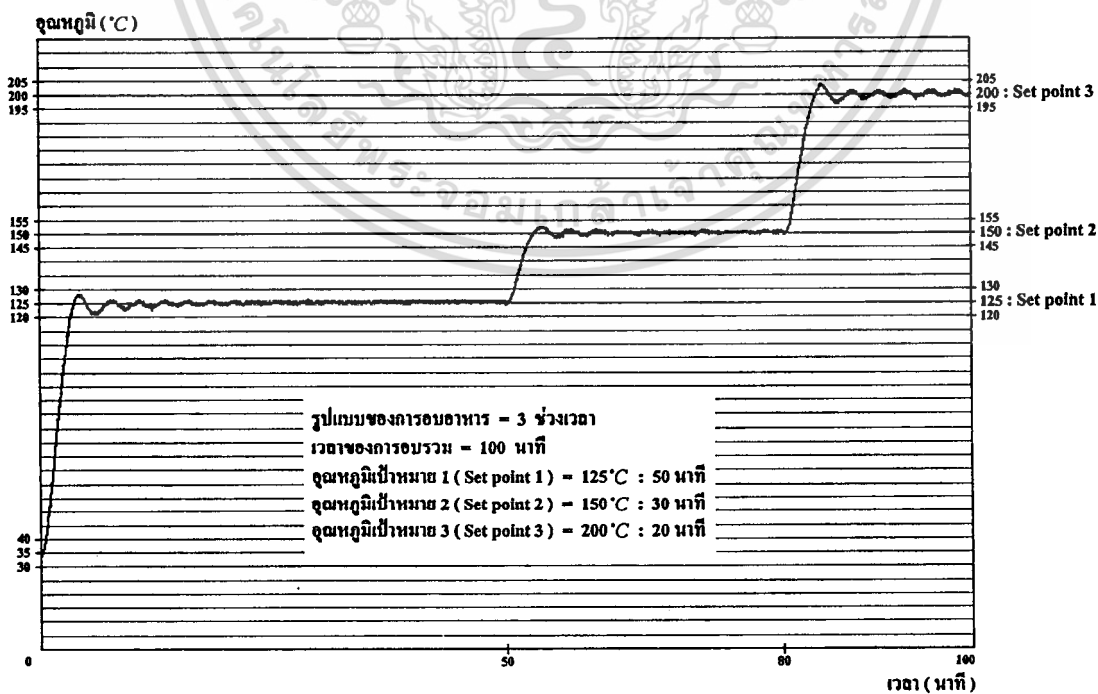
ตารางที่ 5.15 รายละเอียดของการอบน่องไก่

รายการ	ข้อมูลการอบ
1. อาหารที่นำมาอบ	น่องไก่
2. น้ำหนักของอาหารที่อบ	350 กรัม
3. จำนวนของอาหารที่อบ	3 ชิ้น
4. ระดับความแห้งของการอบ	แห้งมาก
5. รูปแบบของการอบ	แบบ 3 ช่วงเวลา
6. อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบ	125°C : 50 นาที (เนื้อภายในค่อยๆ แห้ง) 150°C : 30 นาที (เร่งเนื้อภายในให้แห้งเร็วขึ้น) 200°C : 10 นาที (กรอบนอก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.36 น่องไก่เมื่ออบเสร็จแล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 5.37 กราฟของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบน่องไก้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.16 สรุปผลของการอบนึ่งไก่อ่ตามกระบวนการที่ได้กำหนด

รายการ	รายละเอียด
1. ลักษณะของเนื้ออาหาร	เนื้อภายในนุ่ม เนื้อภายนอกแห้งกรอบปานกลาง หนังไก่กรอบไม่มีไขมันติดได้ผิวหนัง
2. รสชาติของอาหาร	มีรสเค็มพอเหมาะ ความกรอบของหนังและเนื้อภายนอกเป็นสิ่งที่ช่วยเพิ่มรสชาติของอาหาร
3. กลิ่นของอาหาร	หอมกลิ่นกระเทียมและพริกไทยดำ
4. สีของอาหาร	สีเหลืองเข้มน้ำตาลอ่อนสวยน่ารับประทาน

5.8 สรุป

1. การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสลับด้วยวิธีเฟสคอนโทรล

การเปลี่ยนค่ามุมเฟส $(\pi - \phi)$ ของวิธีการแบบเฟสคอนโทรล มีผลกับค่าของเพาเวอร์แฟคเตอร์อินพุต PF_{input} กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o กำลังไฟฟ้าอินพุต P_{in} และประสิทธิภาพ η ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่ามุมเฟส $(\pi - \phi)$ ที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมของคลื่นกระแส %THDi จะมีค่าลดลงตามค่ามุมเฟส $(\pi - \phi)$ ที่เพิ่มขึ้น

2. การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสลับด้วยวิธีไซเคิลคอนโทรล

การเปลี่ยนค่าของจำนวนไซเคิล p ในช่วงการ ON ใน 1 คาบเวลาเอาต์พุต จะมีผลทำให้ค่าของเพาเวอร์แฟคเตอร์อินพุต PF_{input} กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o กำลังไฟฟ้าอินพุต P_{in} และประสิทธิภาพ η ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่า p ที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมของคลื่นกระแส %THDi จะมีค่าลดลงเมื่อค่า p เพิ่มขึ้น และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าของเพาเวอร์แฟคเตอร์อินพุต PF_{input} และค่าประสิทธิภาพ η ที่ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o เดียวกันปรากฏว่าวิธีการควบคุมแบบเฟสคอนโทรลจะมีค่าใกล้เคียงกับวิธีไซเคิลคอนโทรล

3. ค่าประสิทธิภาพการแปลงทางไฟฟ้าและค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางด้านอินพุตของแหล่งจ่ายการไฟฟ้าของตู้อบที่ใช้วิธีการเฟสและไซเคิลคอนโทรล จะมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกันมาก สิ่งที่ต่างกันของทั้ง 2 วิธีการ จะอยู่ทางด้านอินพุตคือ วิธีเฟสคอนโทรลจะให้ค่า DTF สูงกว่าวิธีไซเคิลคอนโทรล ขณะที่วิธีไซเคิลคอนโทรลจะให้ค่า FPF สูงกว่าวิธีเฟสคอนโทรล การควบคุมด้วยวิธีไซเคิลคอนโทรล สำหรับกรณีจำนวนไซเคิลใน 1 period มีค่ามาก ถ้า Duty cycle มีค่ามาก จะมีผลดีในเรื่องการปรับวัตต์เอาต์พุตในแต่ละ step ได้ละเอียด แต่ถ้า Duty cycle มีค่าน้อยจะไม่สามารถให้ความต่อเนื่องของวัตต์เอาต์พุตได้ดี แต่สำหรับกรณีจำนวนไซเคิลใน 1 period มีค่าน้อย แม้ Duty

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cycle จะมีค่ามาก ก็จะไม่สามารถให้ความละเอียดของการปรับวัตต์เอาต์พุตได้ดี แต่ในกรณีนี้จะมีข้อดีในเรื่องของความต่อเนื่องของการปรับวัตต์เอาต์พุต ส่วนในกรณีวิธีเฟสคอนโทรลจะไม่มีปัญหาในเรื่องดังกล่าวทั้ง 2 ประการ

จากผลการเปรียบเทียบลักษณะคลื่นแรงดันเอาต์พุต (v_o) ที่ได้จากวิธีการควบคุมแบบเฟสคอนโทรลและไซเคิลคอนโทรลนั้นปรากฏว่า วิธีเฟสคอนโทรลจะให้ลักษณะแรงดันเอาต์พุต (v_o) ที่มีค่า DTF มากกว่าค่า DTF ของวิธีการควบคุมแบบไซเคิลคอนโทรล ซึ่งหมายความว่าลักษณะคลื่นแรงดันเอาต์พุต (v_o) ที่ได้จากวิธีเฟสคอนโทรลจะมีความเพี้ยนน้อยกว่าวิธีไซเคิลคอนโทรล หรือจะกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือวิธีเฟสคอนโทรล จะให้คลื่นแรงดันเอาต์พุต (v_o) ใกล้เคียงไซน์มากกว่าวิธีไซเคิลคอนโทรล ซึ่งการที่ DTF มีค่าสูงย่อมมีโอกาสดังผลให้ Power Factor(PF) โดยรวมมีค่าสูงขึ้น

ส่วนของ Fundamental Power Factor(FPF) นั้น วิธีไซเคิลคอนโทรลจะให้ค่ามากกว่าวิธีเฟสคอนโทรล ซึ่งหมายความว่า คลื่น Fundamental ของแรงดันและกระแสของวิธีไซเคิลคอนโทรลจะอินเฟส(inphase) กันมากกว่าวิธีเฟสคอนโทรล ซึ่งการที่ FPF มีค่าสูงย่อมมีโอกาสดังผลให้ Power Factor(PF) โดยรวมมีค่าสูงขึ้น จะเห็นว่าการควบคุมแบบเฟสคอนโทรลและไซเคิลคอนโทรลนั้นจะให้ข้อดีกันคนละด้าน กล่าวคือวิธีเฟสคอนโทรลจะให้ข้อดีในเรื่องของ DTF ที่สูงกว่า ขณะที่วิธีไซเคิลคอนโทรลจะให้ค่า FPF ที่สูงกว่า ซึ่งวิธีการควบคุมทั้งแบบเฟสคอนโทรล และไซเคิลคอนโทรลนั้น เมื่อนำค่าผลคูณระหว่าง DTF และ FPF มาพิจารณาแล้วปรากฏว่าได้ค่า Power Factor(PF) เท่ากัน

4. การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้หลักการคิจิตอล ด้วยวิธีการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดโดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้องกันให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้าด้วยวิธีเฟสคอนโทรลและไซเคิลคอนโทรล ซึ่งค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิเป้าหมาย และสามารถปรับควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วง $100^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ ที่ค่ากำลังไฟฟ้าของขดลวดความร้อน 2,000 วัตต์ โดยมีค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ เมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่ และมีระยะเวลาที่เหมาะสมในช่วงตั้งแต่เริ่มต้น ON ในครั้งแรกจนถึงค่าอุณหภูมิเป้าหมาย พร้อมทั้งมีค่าของ Overshoot น้อย ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้

5. การอบอาหารด้วยรูปแบบการควบคุมระดับอุณหภูมิในช่วงระยะเวลาต่างๆ ของการอบตามที่ได้กำหนดไว้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1. การอบอาหารแบบ 1 ช่วงเวลา

เป็นการอบอาหารแบบธรรมดาทั่วไปที่ต้องการความรวดเร็วในการอบ ซึ่งไม่เน้นในเรื่องของสี และระดับความแห้งของเนื้ออาหารภายในและภายนอก ดังนั้นการอบอาหารแบบ 1 ช่วงเวลาไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงเหมาะสำหรับอาหารที่มีขนาดชิ้นเล็กถึงปานกลาง ไม่เหมาะสำหรับอาหารที่มีขนาดชิ้นใหญ่เพราะอาจทำให้เนื้ออาหารภายในไม่สุก หรือเนื้ออาหารภายนอกอาจไหม้ก่อนเนื้ออาหารภายในสุก

2. การอบอาหารแบบ 2 ช่วงเวลา

เป็นรูปแบบของการอบอาหารที่ต้องการให้อาหารที่อบออกมากรอบนอกนุ่มใน มีสีสวยน่ารับประทาน โดยในช่วงเวลาที่ 1 จะทำให้เนื้ออาหารภายในค่อยๆ สุกอย่างช้าๆ โดยไม่กระทบกับเนื้อภายนอก และในช่วงเวลาที่ 2 จะทำให้เนื้ออาหารภายนอกแห้งกรอบในระดับต่างๆ ตามที่ต้องการ และมีสีสวยน่ารับประทาน ดังนั้นการอบอาหารแบบ 2 ช่วงเวลาจึงเหมาะสำหรับอาหารที่สุกช้า มีขนาดชิ้นปานกลางถึงชิ้นใหญ่

3. การอบอาหารแบบ 3 ช่วงเวลา

เป็นรูปแบบของการอบอาหารที่ต้องการให้เนื้ออาหารภายในและภายนอกแห้งกรอบในระดับต่างๆ โดยในช่วงเวลาที่ 1 จะทำให้เนื้ออาหารภายในค่อยๆ สุกอย่างช้าๆ โดยไม่กระทบกับเนื้อภายนอก ในช่วงเวลาที่ 2 จะทำให้เนื้ออาหารภายในแห้งเร็วขึ้น โดยเนื้ออาหารภายนอกเริ่มแห้งมากขึ้น และในช่วงเวลาที่ 3 จะทำให้เนื้ออาหารภายนอกแห้งและกรอบในระดับต่างๆ ดังนั้นการอบอาหารแบบ 3 ช่วงเวลาจึงเหมาะสำหรับอาหารที่มีขนาดชิ้นเล็กถึงปานกลาง

6. การใช้งานจริงของการอบชิ้นงานที่เป็น ขนมปังชนิดแผ่นตราฟาร์มเฮ้าส์ แผ่นสเต็กหมู และ น่องไก่ สำหรับการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิด

1. ขนมปังชนิดแผ่นตราฟาร์มเฮ้าส์

เมื่อทำการอบขนมปังชนิดแผ่นตราฟาร์มเฮ้าส์ตามกระบวนการที่ได้กำหนด โดยใช้รูปแบบการอบแบบ 1 ช่วงเวลา ซึ่งจะทำให้เนื้อขนมปังกรอบนอกนุ่มใน มีสีสวยน่ารับประทาน ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ที่ได้ทำการทดลอง

2. แผ่นสเต็กหมู

เมื่อทำการอบแผ่นสเต็กหมูตามกระบวนการที่ได้กำหนด โดยใช้รูปแบบการอบแบบ 2 ช่วงเวลา ซึ่งจะทำให้เนื้อภายในไม่แห้ง มีน้ำของหมู เมื่อลองรับประทาน เนื้อนุ่มไม่แข็งกระด้าง ส่วนเนื้อภายนอกมีน้ำของหมูไหลเยิ้มออกมา และมีสีสวยน่ารับประทาน ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ที่ได้ทำการทดลอง

3. น่องไก่อบ

เมื่อทำการอบน่องไก่อบตามกระบวนการที่ได้กำหนด โดยใช้รูปแบบการอบแบบ 3 ช่วงเวลา ซึ่งทำให้เนื้อภายในนุ่ม เนื้อภายนอกแห้งกรอบปานกลาง หนังไก่กรอบไม่มีไขมันติดใต้ผิวหนัง ส่วนของหนังและเนื้อภายนอกมีสีเหลืองแซมน้ำตาลอ่อนสวยน่ารับประทาน ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ที่ได้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทำวิจัยในเรื่องของการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรลและ ไซเคิลคอนโทรล หลักการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดโดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้าด้วยวิธีเฟสคอนโทรล และ ไซเคิลคอนโทรล การอบอาหารด้วยรูปแบบการควบคุมระดับอุณหภูมิในช่วงระยะเวลาต่างๆ ของการอบตามที่ได้กำหนดไว้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถสรุปเป็นข้อต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้วยวิธีเฟสคอนโทรล

การเปลี่ยนค่ามุมเฟส ($\pi - \phi$) ของวิธีการแบบเฟสคอนโทรล มีผลกับค่าของเพาเวอร์แฟคเตอร์อินพุต PF_{input} กำลังไฟฟ้าอินพุต P_{in} กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o และประสิทธิภาพ η ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่ามุมเฟส ($\pi - \phi$) ที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมของคลื่นกระแส $\%THDi$ จะมีค่าลดลงตามค่ามุมเฟส ($\pi - \phi$) ที่เพิ่มขึ้น

2. การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้วยวิธีไซเคิลคอนโทรล

การเปลี่ยนค่าของจำนวนไซเคิล p ในช่วงการ ON ใน 1 คาบเวลาเอาต์พุต จะมีผลทำให้ค่าของเพาเวอร์แฟคเตอร์อินพุต PF_{input} กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o กำลังไฟฟ้าอินพุต P_{in} และประสิทธิภาพ η มีค่าสูงขึ้นตามค่า p ที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมของคลื่นกระแส $\%THDi$ จะมีค่าลดลงเมื่อค่า p เพิ่มขึ้น

3. เปรียบเทียบผลของการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรลและ ไซเคิลคอนโทรล

1. ค่าประสิทธิภาพการแปลงทางไฟฟ้าและค่าตัวประกอบกำลังทางด้านอินพุตของแหล่งจ่ายการไฟฟ้าของตู้อบที่ใช้วิธีการเฟสและ ไซเคิลคอนโทรล จะมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกันมากที่สุดที่ต่างกันของทั้ง 2 วิธีการ จะอยู่ทางด้านอินพุตคือ วิธีเฟสคอนโทรลจะให้ค่า DTF สูงกว่าวิธี ไซเคิลคอนโทรล ขณะที่วิธีไซเคิลคอนโทรลจะให้ค่า FPF สูงกว่าวิธีเฟสคอนโทรล การควบคุมด้วยวิธี ไซเคิลคอนโทรล สำหรับกรณีจำนวนไซเคิลใน 1 period มีค่ามาก ถ้า Duty cycle มีค่ามาก จะมีผลดีในเรื่องการปรับวัตต์เอาต์พุตในแต่ละ step ได้ละเอียด แต่ถ้า Duty cycle มีค่าน้อยจะไม่สามารถให้ความต่อเนื่องของวัตต์เอาต์พุตได้ดี แต่สำหรับกรณีจำนวนไซเคิลใน 1 period มีค่าน้อยการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้ Duty cycle จะมีค่ามาก ก็จะไม่สามารทำให้ความละเอียดของการปรับวัตต์เอาต์พุตได้ดี แต่ในกรณีนี้จะมีข้อดีในเรื่องของความต่อเนื่องของการปรับวัตต์เอาต์พุต ส่วนในกรณีวิธีเฟสคอนโทรล จะไม่มีปัญหาในเรื่องดังกล่าวทั้ง 2 ประการ

2. จากผลการเปรียบเทียบลักษณะคลื่นแรงดันเอาต์พุต(v_o) ที่ได้จากวิธีการควบคุมแบบเฟสคอนโทรลและไซเคิลคอนโทรลนั้นปรากฏว่า วิธีเฟสคอนโทรลจะให้ลักษณะแรงดันเอาต์พุต(v_o) ที่มีค่า DTF มากกว่าค่า DTF ของวิธีการควบคุมแบบไซเคิลคอนโทรล ซึ่งหมายความว่าลักษณะคลื่นแรงดันเอาต์พุต(v_o) ที่ได้จากวิธีเฟสคอนโทรลจะมีความเพี้ยนน้อยกว่าวิธีไซเคิลคอนโทรล หรือจะกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือวิธีเฟสคอนโทรล จะให้คลื่นแรงดันเอาต์พุต(v_o) โกล่เพียง ไซน์มากกว่าวิธีไซเคิลคอนโทรล ซึ่งการที่ DTF มีค่าสูงย่อมมีโอกาสส่งผลให้ Power Factor(PF) โดยรวมมีค่าสูงขึ้น

3. ส่วนของ Fundamental Power Factor(FPF) นั้น วิธีไซเคิลคอนโทรลจะให้ค่ามากกว่าวิธีเฟสคอนโทรล ซึ่งหมายความว่า คลื่น Fundamental ของแรงดันและกระแสของวิธีไซเคิลคอนโทรลจะอินเฟส(inphase) กันมากกว่าวิธีเฟสคอนโทรล ซึ่งการที่ FPF มีค่าสูงย่อมมีโอกาสส่งผลให้ Power Factor(PF) โดยรวมมีค่าสูงขึ้น จะเห็นว่าการควบคุมแบบเฟสคอนโทรลและไซเคิลคอนโทรลนั้น จะให้ข้อดีกันคนละด้าน กล่าวคือวิธีเฟสคอนโทรลจะให้ข้อดีในเรื่องของ DTF ที่สูงกว่า ขณะที่วิธีไซเคิลคอนโทรลจะให้ค่า FPF ที่สูงกว่า ซึ่งวิธีการควบคุมทั้งแบบเฟสคอนโทรล และไซเคิลคอนโทรลนั้น เมื่อนำค่าผลคูณระหว่าง DTF และ FPF มาพิจารณาแล้วปรากฏว่าได้ค่า Power Factor(PF) เท่ากัน

4. การเปรียบเทียบคุณสมบัติของตู้อบไฟฟ้าที่ทำการวิจัย และตู้อบไฟฟ้าที่มีในท้องตลาดซึ่งใช้ในครัวเรือน

ในหลักการใหม่ของการทำวิจัยในเรื่องของตู้อบไฟฟ้าที่ใช้ในครัวเรือนที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งได้มีการใช้เทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน และรองรับความต้องการในรูปแบบต่างๆ ที่เพิ่มขึ้นในยุคปัจจุบัน ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับข้อแตกต่างระหว่างตู้อบไฟฟ้าในท้องตลาด และตู้อบไฟฟ้าที่ได้เสนอในงานวิจัยนี้ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.1 ดังนี้

ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบหลักการทำงานของตู้อบไฟฟ้าที่ทำการวิจัย และตู้อบไฟฟ้าในท้องตลาดที่ใช้ในครัวเรือน

หลักการทำงานของตู้อบไฟฟ้า	
ตู้อบไฟฟ้าที่ทำการวิจัย	ตู้อบไฟฟ้าในท้องตลาด
1. ควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์	1. ควบคุมการทำงานแบบธรรมดา
2. วิธีควบคุมการอบอาหารทำได้ 2 แบบ คือ การอบอาหารแบบธรรมดา (Manual) และ การอบอาหารแบบอัตโนมัติ (Automatic)	2. วิธีการอบอาหารทำได้ 1 แบบ คือ การอบอาหารแบบธรรมดา (Manual)
2. แสดงผลที่คอมพิวเตอร์	2. แสดงผลที่ตู้อบไฟฟ้า
3. บันทึกข้อมูลต่างๆ เช่น อุณหภูมิ เวลา และสภาวะการทำงานในขณะนั้น เป็นต้น ลงในคอมพิวเตอร์ และสามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลังได้	3. ไม่มีการบันทึกข้อมูลใดๆ และ ไม่มีการเรียกดูข้อมูลย้อนหลังได้
4. มีรูปแบบการใช้งานง่าย สะดวก และรวดเร็ว เนื่องจากสามารถเข้าใจขั้นตอนการใช้งานในแต่ละขณะตามขั้นตอนชี้แนะจากคอมพิวเตอร์บนจอแสดงผลได้	4. มีรูปแบบการใช้งานค่อนข้างยาก ต้องใช้เวลาในการศึกษาทำความเข้าใจเนื่องจากไม่มีจอเพื่อให้อ่านชี้แนะขณะใช้งาน
5. มีคำแนะนำทุกขั้นตอนของการทำงาน ซึ่งสามารถเรียกดูได้จากคอมพิวเตอร์	5. ต้องเปิดคู่มือเพื่อดูการใช้งานของเครื่องก่อนการใช้งาน
6. เรียกดูสูตรการปรุงอาหารต่างๆ พร้อมระดับอุณหภูมิและช่วงเวลาที่ใช้ในการอบอาหารนั้นๆ ได้จากคอมพิวเตอร์	6. ต้องเปิดอ่านคู่มือสูตรอาหารทุกครั้งที่มีการประกอบอาหาร
7. มีระบบการควบคุมอุณหภูมิแบบโหมคพิเศษ กล่าวคือสามารถอบอาหารด้วยระดับอุณหภูมิและช่วงระยะเวลาในลักษณะรูปแบบต่างๆ ได้ตามที่ได้อโปรแกรมไว้ นอกเหนือจากโหมคธรรมดาที่ใช้ระดับอุณหภูมิกึ่งที่ไว้ค่าใดค่าหนึ่งตลอดช่วงระยะเวลาของการอบจนเสร็จสิ้น เพื่อที่จะทำให้ได้อาหารมีรสอร่อยและน่ารับประทาน โดยแบ่งรูปแบบของการอบอาหารออกเป็น 3 แบบ คือ การอบอาหารแบบ 1 ช่วงเวลา การอบอาหารแบบ 2 ช่วงเวลา และการอบอาหารแบบ 3 ช่วงเวลา	7. มีเพียงระบบการควบคุมอุณหภูมิในระดับคงที่ ที่ค่าใดค่าหนึ่งเพียงค่าเดียวตลอดช่วงระยะเวลาของการอบจนเสร็จสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 (ต่อ)

หลักการทำงานของตู้อบไฟฟ้า	
หลักการใหม่	หลักการเก่า
8. เหมาะสำหรับผู้ใช้งานทั่วไป และผู้ใช้งานที่ไม่มี ความถนัดในเรื่องการอบปรุงอาหาร	8. ไม่เหมาะสมกับผู้ใช้งานที่ไม่มี ความถนัด ในเรื่องการอบปรุงอาหารและไม่มี ประสบการณ์ในการทำอาหาร

5. ค่าความละเอียดของการปรับควบคุมเปอร์เซ็นต์ ON ของการควบคุมแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับวิธีเฟสคอนโทรล และไซเคิลคอนโทรล

1. วิธีเฟสคอนโทรลจะมีการกำหนดค่ามุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย 50-Hz ให้กับ โหลดทุกๆ ไซเคิล โดยมีการควบคุมค่ามุมเฟสช่วง OFF (ϕ) ในช่วง $0^\circ \sim 180^\circ$ ทั้งทางด้านซีกบวกและซีกลบของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้น 1 คาบเวลาของการควบคุมวิธีเฟสคอนโทรลจะเท่ากับ 1 ไซเคิล ซึ่งใช้เวลาเท่ากับ 20,000 μ S ดังนั้นครั้ง ไซเคิลจึงใช้เวลาเท่ากับ 10,000 μ S จะได้ว่า 1° จะใช้เวลาเท่ากับ 55.56 μ S เพราะฉะนั้นความละเอียดของการปรับค่ามุมเฟสจึงเท่ากับ 1° หรือสามารถปรับค่าความละเอียดได้ 180 ค่า

2. วิธีไซเคิลคอนโทรลจะทำหน้าที่ตัดต่อแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย 50-Hz ให้กับ โหลดเป็นช่วงๆ โดยใช้วิธีการควบคุมจำนวนไซเคิลที่ ON (p) ใน 1 คาบเวลา โดยในงานวิจัยนี้ได้ กำหนดจำนวนไซเคิลเต็มใน 1 คาบเวลา (p') เท่ากับ 100 ไซเคิล ซึ่งใช้เวลาเท่ากับ 2,000 ms ดังนั้น การปรับค่าความละเอียดของวิธีไซเคิลคอนโทรลจึงสามารถปรับได้ 100 ค่า หรือ 100 ไซเคิล โดยการควบคุมใน 1 คาบเวลาจะต้องมีอย่างน้อย 1 ไซเคิลที่หายไป ซึ่งใช้เวลาเท่ากับ 20 ms ดังนั้นการควบคุมแรงดันไฟฟ้าวิธีไซเคิลคอนโทรลจึงเป็นการควบคุมแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งต่างจากวิธีเฟสคอนโทรลที่เป็นการควบคุมแบบต่อเนื่อง

6. เครื่องต้นแบบของตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อนที่ได้สร้างขึ้น

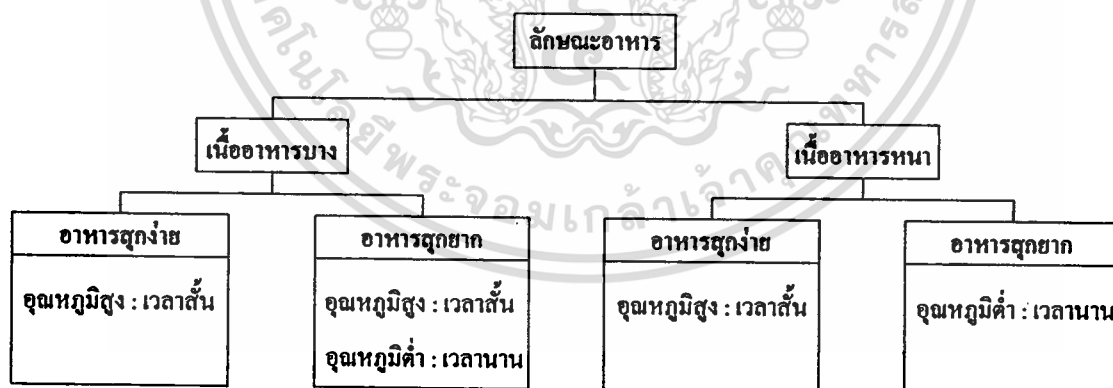
ตู้อบไฟฟ้าแบบลมร้อนที่ได้สร้างขึ้น สามารถนำไปใช้งานได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถเก็บความร้อนและไอน้ำจากอาหารขณะอบได้เป็นอย่างดี มีการสูญเสียความร้อนออกสู่ภายนอกตู้อบต่ำ ซึ่งทำให้การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าทำได้ง่ายกว่าตู้อบไฟฟ้าแบบธรรมดาทั่วไป และทำให้ค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมายเร็ว มีค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิต่ำ

7. การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า

การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้หลักการดิจิทัล ด้วยวิธีการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิดโดยวิธีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ ON ของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนให้กับขดลวดความร้อนภายในตู้อบไฟฟ้าด้วยวิธีเฟสคอนโทรลและไซเคิลคอนโทรล ซึ่งค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิเป้าหมาย และสามารถปรับควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วง $100^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ ที่ค่ากำลังไฟฟ้าของขดลวดความร้อน 2,000 วัตต์ โดยมีค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิไม่เกิน $\pm 2^{\circ}\text{C}$ เมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่ และมีระยะเวลาที่เหมาะสมในช่วงตั้งแต่เริ่มต้น ON ในครั้งแรกจนถึงค่าอุณหภูมิเป้าหมาย พร้อมทั้งมีค่าของ Overshoot น้อย ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้

8. การอบอาหารด้วยรูปแบบการควบคุมระดับอุณหภูมิในช่วงระยะเวลาต่างๆ ของการอบตามที่ได้กำหนดไว้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การควบคุมระดับดีและระดับความแห้งของเนื้ออาหารสามารถทำได้โดยการกำหนดค่าของอุณหภูมิตอบให้มีความสัมพันธ์กับค่าเวลาของการอบ โดยการแบ่งช่วงเวลาของการอบใน 1 คาบเวลาของการอบอาหารทั้งหมดออกเป็นช่วงๆ คือ แบบ 1 ช่วงเวลา แบบ 2 ช่วงเวลา และแบบ 3 ช่วงเวลา ซึ่งการกำหนดค่าอุณหภูมิและเวลาของการอบอาหารในแต่ละช่วงเวลาจะขึ้นอยู่กับประเภทหรือลักษณะของอาหารที่นำมาอบซึ่งประกอบด้วย 2 ปัจจัยใหญ่คือ ลักษณะความหนาของเนื้ออาหาร และลักษณะอาหารสุกง่ายสุกยากซึ่งแสดงดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ของลักษณะอาหาร ค่าอุณหภูมิตอบและเวลาของการอบอาหาร

1. การอบอาหารแบบ 1 ช่วงเวลา

1. ใน 1 คาบเวลาของการอบมีเพียง 1 ช่วงเวลา โดยจะมีค่าของอุณหภูมิเป้าหมาย 1 ค่า และค่าเวลาการอบ 1 ค่า ตลอดระยะเวลาของการอบ

2. รูปแบบของการอบอาหารแบบ 1 ช่วงเวลา เหมาะกับการอบอาหารขนาดชิ้นบางถึงขนาดชิ้นปานกลาง ซึ่ง ไม่เหมาะกับการอบอาหารขนาดชิ้นหนา

3. รูปแบบของการอบอาหารแบบ 1 ช่วงเวลา ไม่สามารถควบคุมระดับสีและระดับความแห้งของเนื้ออาหารได้พร้อมกัน ดังนั้นจึงต้องใช้รูปแบบของการอบอาหารแบบ 2 ช่วงเวลา และแบบ 3 ช่วงเวลา ในการกำหนดค่าของอุณหภูมิที่ใช้ออบให้มีความสัมพันธ์กับเวลาของการอบ เพื่อให้อาหารออกมาอร่อย สีสวยน่ารับประทาน

4. กรณีตัวอย่างการอบขนมปังชนิดแผ่นตราฟาร์มเฮาส์

อบแบบเนื้อขนมปังกรอบนอกนุ่มใน

ใช้อุณหภูมิต่ำ และใช้เวลาอบสั้น เพื่อเร่งให้เนื้อขนมปังภายนอกแห้งกรอบในระยะเวลาอันสั้น โดยไม่กระทบกับเนื้อขนมปังภายใน จึงทำให้เนื้อขนมปังภายในยังเป็นสีขาว และเหนียวนุ่มเหมือนเดิม

อบแบบเนื้อขนมปังกรอบนอกกรอบใน

ใช้อุณหภูมิต่ำ และใช้เวลาอบนาน เพื่อให้เนื้อขนมปังภายในค่อยๆ แห้งอย่างช้าๆ โดยไม่กระทบกับเนื้อขนมปังภายนอก แต่ไม่สามารถควบคุมระดับสีของเนื้ออาหารภายนอกได้ เพราะถ้าใช้อุณหภูมิต่ำ และใช้เวลาอบสั้นถึงปานกลาง จะทำให้เนื้อขนมปังภายนอกมีสีเหลืองเข้มสวย แต่เนื้อภายในยังไม่กรอบ ซึ่งไม่สามารถเก็บไว้ได้นานเพราะจะทำให้เนื้อขนมปังเหนียวรับประทานแล้วไม่กรอบอร่อย

2. การอบอาหารแบบ 2 ช่วงเวลา

1. ใน 1 คาบเวลาของการอบมี 2 ช่วงเวลา โดยจะมีค่าของอุณหภูมิเป้าหมาย 2 ค่า และค่าเวลาการอบ 2 ค่า ตลอดระยะเวลาของการอบ โดยค่าอุณหภูมิในช่วงเวลาที่ 2 มีค่าสูงกว่าช่วงเวลาที่ 1 แต่มีค่าเวลาการอบน้อยกว่าช่วงเวลาที่ 1

2. การอบอาหารแบบ 2 ช่วงเวลา เหมาะกับการอบอาหารขนาดชิ้นบาง และขนาดชิ้นหนา ทั้งอาหารแบบสุกง่ายและสุกยาก

3. สามารถทำให้เนื้ออาหารภายในนุ่มไม่แห้ง และเนื้ออาหารภายนอกกรอบเล็กน้อย

4. สามารถควบคุมระดับสีและระดับความแห้งของเนื้ออาหารได้

5. ช่วงเวลาการทำงานใน 1 คาบเวลาของการอบแบบ 2 ช่วงเวลา

ช่วงเวลาที่ 1 ใช้อุณหภูมิต่ำถึงปานกลาง เพื่อควบคุมลักษณะของเนื้ออาหารภายใน เนื้ออาหารภายในสุกหรือแห้งอย่างช้าๆ โดยยังมีความชื้นของเนื้ออาหารหลงเหลืออยู่ และไม่กระทบกับเนื้ออาหารภายนอก ซึ่งยังเป็นสีขาวนวล และแห้งเล็กน้อย

ช่วงเวลาที่ 2 ใช้อุณหภูมิอบสูง เพื่อควบคุมลักษณะของเนื้ออาหารภายนอก เนื้ออาหารภายในสุก นุ่ม มีความชุ่มฉ่ำของน้ำจากเนื้ออาหาร ส่วนเนื้ออาหารภายนอกแห้งมากขึ้น ขอบของอาหารกรอบเล็กน้อย และมีสีสวยน่ารับประทาน

6. รูปแบบของการอบอาหารแบบ 2 ช่วงเวลา สามารถทำให้เนื้ออาหารกรอบนอกนุ่มในได้ แต่ไม่เหมาะกับการทำให้เนื้ออาหารกรอบนอกและกรอบใน พร้อมกับการควบคุมระดับสีของเนื้ออาหารภายนอก ดังนั้นจึงต้องใช้รูปแบบของการอบอาหารแบบ 3 ช่วงเวลา ในการกำหนดค่าของอุณหภูมิที่ใช้ออบให้มีความสัมพันธ์กับเวลาของการอบ เพื่อให้อาหารออกมารอบนอกกรอบในอร่อย สีสวยน่ารับประทาน

7. กรณีตัวอย่างการอบสเต็กหมู ซึ่งอบแบบเนื้ออาหารภายในนุ่มฉ่ำน้ำ เนื้ออาหารภายนอกเปียกชุ่ม ขอบนอกของเนื้อกรอบ

ช่วงเวลาที่ 1 ใช้อุณหภูมิต่ำ และใช้เวลาอบปานกลาง เพื่อให้เนื้ออาหารภายในค่อยๆ สุกหรือแห้งอย่างช้าๆ โดยไม่กระทบกับเนื้ออาหารภายนอก จึงทำให้เนื้อภายนอกยังเป็นสีขาวยัง

ช่วงเวลาที่ 2 ใช้อุณหภูมิอบสูง และใช้เวลาอบสั้น ทำให้เนื้ออาหารภายในแห้งเพิ่มขึ้น โดยที่เนื้ออาหารภายนอกมีน้ำของเนื้อไหลเยิ้มออกมา ขอบนอกของเนื้อกรอบ และสีของเนื้ออาหารภายนอกเข้มขึ้น สวยน่ารับประทาน

3. การอบอาหารแบบ 3 ช่วงเวลา

1. ใน 1 คาบเวลาของการอบมี 3 ช่วงเวลา โดยจะมีค่าของอุณหภูมิเป้าหมาย 3 ค่า และค่าเวลาการอบ 3 ค่า ตลอดระยะเวลาของการอบ โดยค่าอุณหภูมิในช่วงเวลาที่ 3 มีค่าสูงกว่าช่วงเวลาที่ 2 และช่วงเวลาที่ 1 แต่ค่าเวลาการอบของช่วงเวลาที่ 3 น้อยกว่าช่วงเวลาที่ 2 และช่วงเวลาที่ 1 นั่นคือเมื่ออุณหภูมิอบสูงขึ้น เวลาการอบจะลดลง

2. การอบอาหารแบบ 3 ช่วงเวลา เหมาะกับการอบอาหารขนาดชิ้นบางถึงปานกลาง แบบสุกยาก

3. สามารถทำให้เนื้ออาหารภายในนุ่มแห้ง และเนื้ออาหารภายนอกแห้งกรอบ

4. สามารถควบคุมระดับสีและระดับความแห้งของเนื้ออาหารได้

5. ช่วงเวลาการทำงานใน 1 คาบเวลาของการอบแบบ 3 ช่วงเวลา

ช่วงเวลาที่ 1 ใช้อุณหภูมิต่ำเพื่อควบคุมลักษณะของเนื้ออาหารภายใน เนื้ออาหารภายในสุกหรือแห้งอย่างช้าๆ โดยยังมีความชื้นของเนื้ออาหารหลงเหลืออยู่ และไม่กระทบกับเนื้ออาหารภายนอก ซึ่งยังเป็นสีขาวนวล และแห้งเล็กน้อย

ช่วงเวลาที่ 2 ใช้อุณหภูมิอบปานกลาง เพื่อควบคุมลักษณะของเนื้ออาหารภายใน เนื้ออาหารภายในแห้งเร็วขึ้น ส่วนเนื้ออาหารภายนอกแห้งมากขึ้น และสีเข้มขึ้น

ช่วงเวลาที่ 3 ใช้อุณหภูมิอบสูง เพื่อควบคุมลักษณะของเนื้ออาหารภายนอก เนื้ออาหารภายใน สุก นุ่ม แห้ง ส่วนเนื้ออาหารภายนอกแห้ง และมีสีเข้มสวยน่ารับประทาน

6. กรณีตัวอย่างการอบน่องไก่ ซึ่งอบแบบเนื้อในนุ่มแห้งและเนื้อนอกกรอบ

ช่วงเวลาที่ 1 ทำให้เนื้ออาหารภายในค่อยๆ สุกหรือแห้งอย่างช้าๆ โดยไม่กระทบกับเนื้ออาหารภายนอกซึ่งมีสีขาวนวล

ช่วงเวลาที่ 2 เร่งให้เนื้ออาหารภายในสุกหรือแห้งเร็วขึ้น โดยเนื้ออาหารภายนอกเริ่มแห้ง

ช่วงเวลาที่ 3 ทำให้เนื้ออาหารภายนอก และหนังไก่แห้งกรอบในระดับต่างๆ ไม่หลงเหลือไขมันติดได้ผิวหนัง และเนื้อสีเหลืองเข้มสวยน่ารับประทาน

9. การใช้งานจริงของการอบชิ้นงานที่เป็น ขนมปังชนิดแผ่นตราฟาร์มเฮ้าส์ แผ่นสเต็กหมู และน่องไก่ สำหรับการควบคุมอุณหภูมิในระบบปิด

1. เมื่อทำการอบขนมปังชนิดแผ่นตราฟาร์มเฮ้าส์ โดยใช้รูปแบบของการอบแบบ 1 ช่วงเวลาซึ่ง ใช้อุณหภูมิในการอบ 200°C เป็นเวลา 10 นาที สามารถสรุปผลของการอบได้ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 สรุปผลของการอบขนมปังชนิดแผ่นตราฟาร์มเฮ้าส์ตามกระบวนการที่ได้กำหนด

รายการ	รายละเอียด
1. ลักษณะของเนื้ออาหาร	ผิวภายนอกของขนมปังกรอบกำลังดีไม่แข็งจนเกินไป ส่วนเนื้อขนมปังด้านในยังเหนียวนุ่มเหมือนเดิม ซึ่งจุดนี้เป็นจุดเด่นของกระบวนการอบอาหารที่ได้ออกแบบไว้
2. รสชาติของอาหาร	มีรสชาติของเนยที่ทาและรสหวานของน้ำตาลทรายขาวที่โรยบนขนมปัง โดยรวมรสชาติอร่อย
3. กลิ่นของอาหาร	มีกลิ่นหอมของเนื้อขนมปังที่ได้ผ่านการอบและกลิ่นเนยที่ทา
4. สีของอาหาร	สีผิวหน้าของขนมปังมีสีเหลืองเข้มของเนยที่ทาและบางส่วนมีสีน้ำตาลอ่อนๆ ส่วนเนื้อด้านในยังเป็นสีขาวเหมือนเดิม

2. เมื่อทำการอบแผ่นสเต็กหมู โดยใช้รูปแบบของการอบแบบ 2 ช่วงเวลา ซึ่งใช้อุณหภูมิในการอบช่วงที่ 1 เท่ากับ 125°C เป็นเวลา 20 นาที และใช้อุณหภูมิในการอบช่วงที่ 2 เท่ากับ 200°C เป็นเวลา 12 นาที สามารถสรุปผลของการอบได้ดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 สรุปผลของการอบแผ่นสติกหมูตามกระบวนการที่ได้กำหนด

รายการ	รายละเอียด
1. ลักษณะของเนื้ออาหาร	เนื้อภายในไม่แห้ง มีน้ำของเนื้อ เมื่อลองรับประทาน เนื้อนุ่มไม่แข็งกระด้าง ส่วนเนื้อภายนอกไม่แห้งจนเกินไป มีน้ำของเนื้อไหลซึมออกมา คูน่ารับประทาน ซึ่งจุดนี้เป็นจุดเด่นของกระบวนการอบอาหารที่ได้ออกแบบไว้
2. รสชาติของอาหาร	มีรสหวานของเนื้อผสมรสเค็มกำลังดี และมีความเผ็ดร้อนของพริกไทยดำ โดยรวมรสชาติอร่อย
3. กลิ่นของอาหาร	มีกลิ่นหอมของหมูสติกที่ได้ผ่านการอบ กลิ่นพริกไทยดำ และกลิ่นกระเทียม เมื่อรับประทานจะมีกลิ่นหอมของหมูย่าง ซึ่งช่วยเพิ่มรสชาติของอาหารให้เด่นขึ้น
4. สีของอาหาร	ภายในของหมูสติกจะมีสีน้ำตาลอ่อนสลับเข้มเล็กน้อย คูน่ารับประทาน

3. เมื่อทำการอบน่องไก่ โดยใช้รูปแบบของการอบแบบ 3 ช่วงเวลา ซึ่งใช้อุณหภูมิในการอบช่วงที่ 1 เท่ากับ 125°C เป็นเวลา 50 นาที ใช้อุณหภูมิในการอบช่วงที่ 2 เท่ากับ 150°C เป็นเวลา 30 นาที และใช้อุณหภูมิในการอบช่วงที่ 3 เท่ากับ 200°C เป็นเวลา 10 นาที สามารถสรุปผลของการอบได้ดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 สรุปผลของการอบน่องไก่ตามกระบวนการที่ได้กำหนด

รายการ	รายละเอียด
1. ลักษณะของเนื้ออาหาร	เนื้อภายในนุ่ม เนื้อภายนอกแห้งกรอบปานกลาง หนังไก่กรอบ ไม่มีไขมันติดใต้ผิวหนัง
2. รสชาติของอาหาร	มีรสเค็มพอเหมาะ ความกรอบของหนังและเนื้อภายนอกเป็นสิ่งที่ช่วยเพิ่มรสชาติของอาหาร
3. กลิ่นของอาหาร	หอมกลิ่นกระเทียมและพริกไทยดำ
4. สีของอาหาร	สีเหลืองแฉมน้ำตาลอ่อนสวยน่ารับประทาน

10. การอบอาหารของตู้อบไฟฟ้ากรณีใช้ลมร้อนและไม่ใช้ลมร้อน

ตารางที่ 6.5 เปรียบเทียบผลของการอบอาหารกรณีใช้ลมร้อนและไม่ใช้ลมร้อน

การอบอาหารของตู้อบไฟฟ้า	
กรณีใช้ลมร้อน	กรณีไม่ใช้ลมร้อน
1. ควบคุมอุณหภูมิง่าย เพราะสามารถเพิ่มหรือลดอุณหภูมิภายในตู้อบได้เร็ว	1. ควบคุมอุณหภูมียาก เพราะไม่สามารถเพิ่มหรือลดอุณหภูมิภายในตู้อบได้อย่างเร็ว
2. ความร้อนภายในตู้อบคงที่สม่ำเสมอทั้งตู้อบ	2. ความร้อนภายในตู้อบไม่คงที่สม่ำเสมอทั้งตู้อบ
3. อุณหภูมิภายในตู้อบถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมายเร็ว	3. อุณหภูมิภายในตู้อบถึงจุดอุณหภูมิเป้าหมายช้า
4. สามารถควบคุมระดับสีและระดับความแห้งของเนื้ออาหารภายในและภายนอกได้ดี เพราะทุกส่วนของชิ้นงานสัมผัสกับลมร้อนเท่ากัน	4. ควบคุมระดับสีและระดับความแห้งของเนื้ออาหารภายในและภายนอกได้ยาก เพราะทุกส่วนของชิ้นงานสัมผัสกับความร้อนไม่เท่ากัน
5. ชิ้นงานสัมผัสกับลมร้อนได้ทั่วถึงทุกชิ้นส่วนเท่ากัน	5. ชิ้นงานสัมผัสกับความร้อนไม่ทั่วถึงทุกชิ้นส่วน
6. อบไล่ไขมันออกจากชิ้นงานได้ดีและเร็ว เพราะทุกส่วนของชิ้นงานสัมผัสกับลมร้อนเท่ากันตลอดเวลาของการอบ	6. อบไล่ไขมันได้น้อยและช้า เพราะทุกส่วนของชิ้นงานสัมผัสกับความร้อนไม่เท่ากันตลอดเวลาของการอบ
7. อาหารที่อบไหม้ยาก เพราะอาหารไม่ได้สัมผัสกับความร้อนโดยตรง	7. อาหารที่อบไหม้ง่าย เพราะอาหารสัมผัสกับความร้อนโดยตรง
8. เหมาะกับตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิที่ตอบสนองช้าจนถึงเร็ว เพราะความร้อนภายในตู้อบสัมผัสกับตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิมีน้อย	8. ไม่เหมาะกับตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิที่ตอบสนองช้า เพราะเมื่ออุณหภูมิภายในตู้อบลดลงแต่อุณหภูมิที่ตัวเซ็นเซอร์ยังไม่ลดลงซึ่งจะทำให้ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิมีน้อย
9. ไม่มีปัญหาเรื่องตำแหน่งติดตั้งตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิภายในตู้อบเพราะอุณหภูมิภายในตู้อบคงที่สม่ำเสมอทั้งตู้อบ	9. ต้องเลือกตำแหน่งในการติดตั้งตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิภายในตู้อบให้เหมาะสมเพราะอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งภายในตู้อบไม่เท่ากันซึ่งอาจทำให้ค่าของอุณหภูมิที่วัดได้และค่าของอุณหภูมิที่แท้จริงต่างกันมาก
10. ไม่เหมาะกับการอบอาหารชนิดผง	10. เหมาะกับการอบอาหารชนิดผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. เมื่อต้องการค่าความละเอียดของอุณหภูมิมากขึ้นจะต้องเปลี่ยนตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิลเป็นตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิแบบ RTD แทน
2. การส่งงานผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์อาจใช้หน้าจอแบบทัสกรีนแทนหน้าจอแบบธรรมดา เพราะหน้าจอแบบทัสกรีนสามารถสั่งการทำงานต่างๆ ได้โดยการกดหรือสัมผัสที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง ไม่จำเป็นต้องใช้เมาส์หรือคีย์บอร์ดในการสั่งการทำงานเพื่อความสะดวกและรวดเร็ว
3. การสื่อสารกับคอมพิวเตอร์อาจใช้พอร์ตสื่อสารแบบ USB แทนพอร์ตสื่อสารแบบอนุกรม เพราะในอนาคตเครื่องคอมพิวเตอร์อาจจะมีการยกเลิกการใช้งานในส่วนของพอร์ตสื่อสารแบบอนุกรม และในปัจจุบันนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์เปลี่ยนมาใช้พอร์ตสื่อสารแบบ USB มากขึ้นในการโหลดโปรแกรมลงในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ และการใช้งานในด้านต่างๆ
4. อาจใช้วิธีการควบคุมความเร็วของพัดลมในการเร่งหรือเบรคค่าอุณหภูมิภายในตู้อบในช่วงจังหวะต่างๆ เพื่อให้ค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบเข้าใกล้ค่าอุณหภูมิเป้าหมายมากที่สุด หรือมีค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิน้อยลง
5. อาจติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลมากกว่า 1 ตัวภายในตู้อบไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่างๆ เพื่อวัดอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้าที่จุดต่างๆ ซึ่งจะได้อุณหภูมิเฉลี่ยของตู้อบไฟฟ้า

บรรณานุกรม

- [1] B. W. WILLIAMS. **Power Electronics Devices, Drives, Applications and Passive Components**. 2nd ED. Hong Kong : ELBS, Inc.1992
- [2] KJELD THORBORG. **Power Electronics**. New Jersey : Prentice Hall, Inc.1988
- [3] John G. Kassakian, Martin F. Schlecht and George C. Verghese. **Principle of Power Electronics Devices**. America : Addison-Wesley Publishing Company, Inc.1991
- [4] John G. Kassakian, Martin F. Schlecht and George C. Verghese. **Principle of Power Electronics Devices**. America : Addison-Wesley Publishing Company, Inc.1991
- [5] MARVIN J. FISHER. **Power Electronics**. America :PWS-KENT Publishing Company, Inc.1991
- [6] F.F. Mazda, DFH, MPhil, DMS, MBIM, CEng and FIEE. **Power Electronics Handbook Components, circuit and applications**. 2nd ED, Great Britain : Butterworth-Heinemann Ltd, Inc.1993
- [7] K.A. Nigim, G. T. Heydt, “**Shifting Of Load Harmonic in the Single Phase AC-to-AC Phase Control converters**”, IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, Vol. 1, May 2003, pp.355–358
- [8] K.E. Addoweesh, M.S. Al-Khalidi, “**AC chopping technique with phase and voltage control**”, IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, June 1993, pp.684–688
- [9] Longya Xu, “**Dynamic model of an integral-cycle controlled single-phase induction machine**”, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 7, No.4, Dec 1992, pp.761–767
- [10] M.Syed Jamil Asghar, “**Fine Power Control by Discontinuous Phase-Controlled Switching**”, IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, Vol. 46, No.3, March 1999, pp.402–405
- [11] M.Syed Jamil Asghar, “**Smooth speed control of single-phase induction motors by integral-cycle switching**”, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 14, No.4, Dec 1999, pp.1094 –1099



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมสร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสลัดวิธีเฟสคอนโทรลและไซเคิลคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมสร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสกลับวิธีเฟสคอนโทรล

```
;*****
```

```
; กำหนดชื่อบิตของไมโครคอนโทรลเลอร์
```

```
;*****
```

```
BEEP          BIT          P3.0
OPTO_ON       BIT          P3.1
OPTO_OFF      BIT          P3.2
MCU1         BIT          P3.3
SQ_IN        BIT          P3.4
TRIAC        BIT          P3.5
```

```
;*****
```

```
; กำหนดชื่อพื้นที่เก็บข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์
```

```
;*****
```

```
VALUE_TH0    EQU          21H
VALUE_TL0    EQU          22H
```

```
;*****
```

```
; โปรแกรมหลัก
```

```
;*****
```

```
START:      ORG          0000H
            MOV          SP,#70H
            CLR          BEEP
            MOV          P0,#00000000B
            MOV          P1,#00000000B
            MOV          P2,#00000000B
            MOV          P3,# 00000000B
            LCALL       DELAY_1s
            MOV          P0,#11111111B
            MOV          P1,#11111111B
            MOV          P2,#11111111B
            MOV          P3,#11111111B
            SETB       BEEP
            MOV          TMOD,#00010001B
            MOV          TL0,#00H
            MOV          TH0,#00H
            MOV          IE,#10010000B
            MOV          SCON,#40H
```

```

        SETB         REN
        SETB         OPTO_ON
PHASE1:  JNB         OPTO_ON,ZEROS_01
PHASE2:  MOV         A,P1
        MOV         VALUE_TH0,A
        MOV         TH0,VALUE_TH0
        MOV         P2,TH0
        MOV         VALUE_TL0,#00H
        MOV         TL0,VALUE_TL0
        MOV         P0,TL0
        LJMP        PHASE1
ZEROS_01: SETB        SQ_IN
ZEROS_02: JNB         SQ_IN,ZEROS_03
        LJMP        ZEROS_02
ZEROS_03: JB          SQ_IN,FULL_ON1
        LJMP        ZEROS_03
FULL_ON1: CLR         TRIAC
        CLR         BEEP
        LCALL        DELAY_1s
        SETB        BEEP
        SETB        OPTO_OFF
FULL_ON2: JNB         OPTO_OFF,FULL_ON3
        LJMP        FULL_ON2
FULL_ON3: SETB        SQ_IN
FULL_ON4: JNB         SQ_IN,FULL_ON5
        LJMP        FULL_ON4
FULL_ON5: JB          SQ_IN,FULL_ON6
        LJMP        FULL_ON5
FULL_ON6: SETB        TRIAC
        CLR         BEEP
        LCALL        DELAY_100ms
        LCALL        DELAY_100ms
        LCALL        DELAY_100ms
        SETB        BEEP
        SETB        OPTO_ON
FULL_ON7: JNB         OPTO_ON,FULL_ON8

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      A,P1
MOV      VALUE_TH0,A
MOV      TH0,VALUE_TH0
MOV      P2,TH0
MOV      VALUE_TL0,#00H
MOV      TL0,VALUE_TL0
MOV      P0,TL0
LJMP     FULL_ON7
FULL_ON8: CLR      BEEP
          LCALL    DELAY_1s
          SETB    BEEP
          SETB    SQ_IN
FULL_ON9: JNB     SQ_IN,FULL_ON10
          LJMP    FULL_ON9
FULL_ON10: JB     SQ_IN,POSITIVE_02
          LJMP    FULL_ON10
;*****
;      สร้างคลื่นเฟสคอนโทรลซีกบวก (+)
;*****
POSITIVE_01: JB     SQ_IN,POSITIVE_02
          LJMP    POSITIVE_01
POSITIVE_02: SETB   TRIAC
          SETB   TR0
POSITIVE_03: JNB   TF0,POSITIVE_03
POSITIVE_04: CLR   TRIAC
          CLR   TR0
          CLR   TF0
          MOV   TL0,VALUE_TL0
          MOV   TH0,VALUE_TH0
;*****
;      สร้างคลื่นเฟสคอนโทรลซีกลบ (-)
;*****
NAGATIVE_01: JNB   SQ_IN,NAGATIVE_02
          LJMP    NAGATIVE_01
NAGATIVE_02: SETB   TRIAC
          SETB   TR0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

NAGATIVE_03: JNB          TF0,NAGATIVE_03
NAGATIVE_04: CLR          TRIAC
              CLR          TR0
              CLR          TF0
              MOV          TL0,VALUE_TL0
              MOV          TH0,VALUE_TH0
              LCALL        PHASE_0
              LJMPL        POSITIVE_01

```

```

;*****

```

```

;          ส่วนรับข้อมูล

```

```

;*****

```

```

PHASE_0:     SETB         OPTO_OFF
              JNB         OPTO_OFF,PHASE_2
PHASE_1:     MOV          A,P1
              MOV          VALUE_TH0,A
              MOV          TH0,VALUE_TH0
              MOV          P2,TH0
              MOV          VALUE_TL0,#00H
              MOV          TL0,VALUE_TL0
              MOV          P0,TL0
              RET
PHASE_2:     SETB         SQ_IN
PHASE_3:     JNB         SQ_IN,PHASE_4
              LJMPL        PHASE_3
PHASE_4:     JB          SQ_IN,PHASE_5
              LJMPL        PHASE_4
PHASE_5:     SETB         TRIAC
              CLR          BEEP
              LCALL        DELAY_100ms
              LCALL        DELAY_100ms
              LCALL        DELAY_100ms
              SETB         BEEP
              SETB         OPTO_ON
PHASE_6:     JNB         OPTO_ON,ZERO_04
PHASE_7:     MOV          A,P1
              MOV          VALUE_TH0,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      TH0,VALUE_TH0
MOV      P2,TH0
MOV      VALUE_TL0,#00H
MOV      TL0,VALUE_TL0
MOV      P0,TL0
LJMP     PHASE_6
ZERO_04: CLR      BEEP
          LCALL    DELAY_1s
          SETB     BEEP
          SETB     SQ_IN
ZERO_05: JNB      SQ_IN,ZERO_06
          LJMP     ZERO_05
ZERO_06: JB       SQ_IN,ZERO_07
          LJMP     ZERO_06
ZERO_07: RET

```

```

;*****
;          DELAY 1ms
;*****
DELAY_1ms: MOV      R6,#0E5H
DELAY_1ms_1: NOP
              NOP
              DJNZ   R6,DELAY_1ms_1
              NOP
              NOP
              NOP
              RET

```

```

;*****
;          DELAY 10ms
;*****
DELAY_10ms: MOV      R7,#010
DELAY_10ms_1: MOV     R6,#0E6H
DELAY_10ms_2: NOP
              NOP
              DJNZ   R6,DELAY_10ms_2
              DJNZ   R7,DELAY_10ms_1

```

RET

;*****

; DELAY 100ms

;*****

DELAY_100ms: MOV R7,#0100

DELAY_100ms_1: MOV R6,#0E6H

DELAY_100ms_2: NOP

NOP

DJNZ R6,DELAY_100ms_2

DJNZ R7,DELAY_100ms_1

RET

;*****

; DELAY 1s

;*****

DELAY_1s: MOV R5,#100

DELAY_1s_1: LCALL DELAY_10ms

DJNZ R5,DELAY_1s_1

RET

END

โปรแกรมสร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับวิธีไซเคิลคอนโทรล

```
;*****
```

```
; กำหนดชื่อบิตของไมโครคอนโทรลเลอร์
```

```
;*****
```

```
BEEP      BIT      P3.0
OPTO_ON   BIT      P3.1
OPTO_OFF  BIT      P3.2
MCU       BIT      P3.3
SQ_IN     BIT      P3.4
TRIAC     BIT      P3.5
```

```
;*****
```

```
; กำหนดชื่อพื้นที่เก็บข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์
```

```
;*****
```

```
ON_CYCLE  EQU      30H
OFF_CYCLE EQU      31H
KEEP_ON   EQU      32H
KEEP_OFF  EQU      33H
```

```
;*****
```

```
; โปรแกรมหลัก
```

```
;*****
```

```
ORG      0000H
START:   MOV      SP,#70H
         CLR      BEEP
         MOV      P0,#00000000B
         MOV      P1,#00000000B
         MOV      P2,#00000000B
         MOV      P3,# 00000000B
         LCALL   DELAY_1s
         MOV      P0,#11111111B
         MOV      P1,#11111111B
         MOV      P2,#11111111B
         MOV      P3,#11111111B
         SETB    BEEP
         MOV      TMOD,#00010001B
         MOV      TLO,#00H
         MOV      TH0,#00H
```

```

MOV        IE,#10010000B
MOV        SCON,#40H
SETB      REN
SETB      OPTO_ON
PHASE1:   JNB        OPTO_ON,ZEROS_01
PHASE2:   MOV        A,P1
MOV        ON_CYCLE,A
CLR        C
MOV        A,#64H
SUBB      A,ON_CYCLE
MOV        OFF_CYCLE,A
MOV        P0,ON_CYCLE
MOV        P2,OFF_CYCLE
LJMP      PHASE1
ZEROS_01: SETB      SQ_IN
ZEROS_02: JNB        SQ_IN,ZEROS_03
LJMP      ZEROS_02
ZEROS_03: JB         SQ_IN,FULL_ON1
LJMP      ZEROS_03
FULL_ON1: CLR        TRIAC
CLR        BEEP
LCALL     DELAY_1s
SETB      BEEP
SETB      OPTO_OFF
FULL_ON2: JNB        OPTO_OFF,FULL_ON3
LJMP      FULL_ON2
FULL_ON3: SETB      SQ_IN
FULL_ON4: JNB        SQ_IN,FULL_ON5
LJMP      FULL_ON4
FULL_ON5: JB         SQ_IN,FULL_ON6
LJMP      FULL_ON5
FULL_ON6: SETB      TRIAC
LR         BEEP
LCALL     DELAY_100ms
LCALL     DELAY_100ms
LCALL     DELAY_100ms

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        SETB      BEEP
        SETB      OPTO_ON
FULL_ON7:  JNB      OPTO_ON,FULL_ON8
        MOV      A,P1
        MOV      ON_CYCLE,A
        CLR      C
        MOV      A,#64H
        SUBB     A,ON_CYCLE
        MOV      OFF_CYCLE,A
        MOV      P0,ON_CYCLE
        MOV      P2,OFF_CYCLE
        LJMP     FULL_ON7
FULL_ON8:  CLR      BEEP
        LCALL    DELAY_1s
        SETB     BEEP
        SETB     SQ_IN
FULL_ON9:  JNB      SQ_IN,FULL_ON10
        LJMP     FULL_ON9
FULL_ON10: JB      SQ_IN,TRIAC_ON
        LJMP     FULL_ON10
;*****
; สร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้า และนับจำนวนไซเคิลช่วง ON
;*****
ON_01:    JNB      SQ_IN,ON_02
        LJMP     ON_01
ON_02:    JB      SQ_IN,TRIAC_ON
        LJMP     ON_02
TRIAC_ON: CLR      TRIAC
        MOV      KEEP_ON,#00H
ON_03:    JB      SQ_IN,ON_04
        LJMP     ON_03
ON_04:    MOV      P0,ON_CYCLE
ON_05:    JNB      SQ_IN,ON_06
        LJMP     ON_05
ON_06:    INC      KEEP_ON
        MOV      A,KEEP_ON

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                CJNE        A,ON_CYCLE,ON_03
;*****
; สร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้า และนับจำนวนไซเคิลช่วง OFF
;*****
OFF_01:        JNB         SQ_IN,OFF_02
                LJMP        OFF_01
OFF_02:        JB         SQ_IN,TRIAC_OFF
                LJMP        OFF_02
TRIAC_OFF:    SETB        TRIAC
                MOV         KEEP_OFF,#00H
OFF_03:        JB         SQ_IN,OFF_04
                LJMP        OFF_03
OFF_04:        MOV         P2,OFF_CYCLE
OFF_05:        JNB         SQ_IN,OFF_06
                LJMP        OFF_05
OFF_06:        INC         KEEP_OFF
                MOV         A,KEEP_OFF
                CJNE        A,OFF_CYCLE,OFF_03
                LCALL       CYCLE_0
                LJMP        ON_01
;*****
;          ส่วนรับข้อมูล
;*****
CYCLE_0:      SETB        OPTO_OFF
                JNB         OPTO_OFF,ZC_04
CYCLE_1:      MOV         A,P1
                MOV         ON_CYCLE,A
                CLR         C
                MOV         A,#64H
                SUBB        A,ON_CYCLE
                MOV         OFF_CYCLE,A
                MOV         P0,ON_CYCLE
                MOV         P2,OFF_CYCLE
                RET
ZC_04:        SETB        SQ_IN
ZC_05:        JNB         SQ_IN,ZC_06

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรรณการศึกษเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                LJMPC          ZC_05
ZC_06:         JBC          SQ_IN,CYCLE_2
                LJMPC          ZC_06
CYCLE_2:      SETBC          TRIAC
                MOV           P0,#00000000B
                CLRC          BEEP
                LCALL         DELAY_1s
                SETBC          BEEP
                SETBC          OPTO_ON
CYCLE_3:      JNBC          OPTO_ON,ZC_07
CYCLE_4:      MOV           A,P1
                MOV           ON_CYCLE,A
                CLRC          C
                MOV           A,#64H
                SUBBC         A,ON_CYCLE
                MOV           OFF_CYCLE,A
                MOV           P0,ON_CYCLE
                MOV           P2,OFF_CYCLE
                LJMPC         CYCLE_3
ZC_07:        SETBC          SQ_IN
ZC_08:        JNBC          SQ_IN,ZC_09
                LJMPC         ZC_08
ZC_09:        JBC          SQ_IN,ZC_10
                LJMPC         ZC_09
ZC_10:        LJMPC         TRIAC_ON

```

```

;*****
;
;           DELAY 1ms
;*****

```

```

DELAY_1ms:    MOV           R6,#0E5H
DELAY_1ms_1:  NOP
                NOP
                DJNZ         R6,DELAY_1ms_1
                NOP
                NOP
                NOP

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

RET
;*****
;           DELAY 10ms
;*****
DELAY_10ms:  MOV       R7,#010
DELAY_10ms_1: MOV       R6,#0E6H
DELAY_10ms_2: NOP
              NOP
              DJNZ      R6,DELAY_10ms_2
              DJNZ      R7,DELAY_10ms_1
              RET
;*****
;           DELAY 100ms
;*****
DELAY_100ms:  MOV       R7,#0100
DELAY_100ms_1: MOV       R6,#0E6H
DELAY_100ms_2: NOP
              NOP
              DJNZ      R6,DELAY_100ms_2
              DJNZ      R7,DELAY_100ms_1
              RET
;*****
;           DELAY 1s
;*****
DELAY_1s:     MOV       R5,#100
DELAY_1s_1:   LCALL      DELAY_10ms
              DJNZ      R5,DELAY_1s_1
              RET
END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. รักศักดิ์ ยี่ร้อสา 2548. “ตู้อบไฟฟ้า 50-Hz ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์โดยอาศัยหลักการเฟสและไซเคิลคอนโทรล.” หน้า 73-76. ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28. ภูเก็ต : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28 28th Electrical Engineering Conference (EECON 28)



ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

สารบัญบทความ

สถานการณ์การเติบโต/ถดถอย/ประสาน

ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)

การหมักขยะมูลฝอย

อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)

หมักพวงคัสเตน

ไฟฟ้ากำลัง (PW)

ตรวจสุขภาพเชิงนวัตกรรม

การนำไฟฟ้า (CM)

Author Index

การพัฒนาระบบสารสนเทศในโรงงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตู้อบไฟฟ้า 50-Hz ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์โดยอาศัยหลักการเฟสและไซเคิลคอนโทรล

Computerized 50-Hz Electric Oven Using Phase and Cycle Controls

รศ.กศก. ชีวธนา วิริยะ ทิเชษฐจำริญ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทร. 0-2737-3000 ต่อ 3516 E-mail: raksak_puk@yahoo.com, kpviriya@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการควบคุมเชิงดิจิทัล เพื่อสร้างคลื่นแรงดันเอาต์พุตในลักษณะเฟส และไซเคิลคอนโทรลจากแหล่งจ่าย 50-Hz เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของทั้ง 2 ระบบ สำหรับกรณีที่มีโหลดเป็นตู้อบ โดยได้นำเสนอรูปแบบการปล่อย [%] การ ON-OFF ของคลื่นทั้ง 2 ลักษณะ เพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบ ให้มีค่าคงที่ ที่ $200^{\circ}\text{C} \pm 2.5\%$ ซึ่งปรากฏว่าสามารถให้ผลการทำงานที่ดีทั้ง 2 กรณี

Abstract

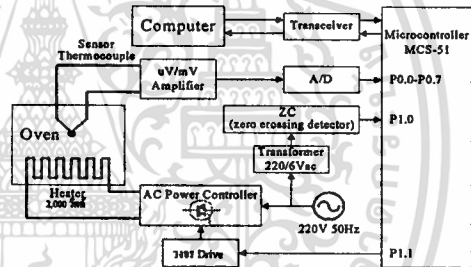
This paper presents a digital control approach used to generate two kinds of phase - and cycle - controlled waveforms for the load of oven with a 50-Hz utility voltage supplied from the input side in order to compare the electrical characteristics of the two systems. The [%] ON-OFF control pattern of the two waveforms for a constant oven temperature at $200^{\circ}\text{C} \pm 2.5\%$ is also proposed with a successful result.

Keywords: phase and cycle controls, temperature control, verification

1. คำนำ

การควบคุมปริมาณการถ่ายเทกำลังงานไฟฟ้า จากแหล่งจ่าย การไฟฟ้า 50-Hz ไปยังคลื่นโหลดหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ สามารถทำได้ 2 วิธีการคือ การควบคุมโดยวิธีเฟสคอนโทรลและไซเคิลคอนโทรล [1] และ [2] ซึ่งจะให้ผลการควบคุมทางไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกันมาก ในบทความวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้า โดยให้โหลดเป็นตู้อบ ซึ่งมี Heater เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนภายในตู้อบ โดยจะทำการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบด้วยวิธีเฟสคอนโทรล และไซเคิลคอนโทรลในเชิงดิจิทัลเปรียบเทียบกัน ซึ่งจะใช้ Microcontroller MCS-51 เป็นตัวทำหน้าที่ในการควบคุม และติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์และโหลด โดยในขั้นตอนแรกจะทำการวิเคราะห์หลักการสร้างคลื่นเอาต์พุตทั้งวิธีเฟสคอนโทรลและไซเคิลคอนโทรล ด้วยโปรแกรมที่แสดงขั้นตอนการทำงานในแต่ละ step อย่างละเอียดจากนั้นจะนำเอากราฟที่ได้ทั้ง 2 ลักษณะนี้ไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาแนวความคิดแปลกใหม่ต่างๆ เปรียบ

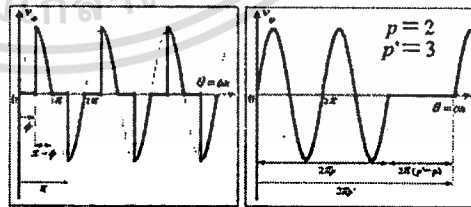
เทียบกัน และผลที่ได้ก็นำไปคำนวณหาค่าต่างๆ ทางไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางไฟฟ้าของวิธีการควบคุมทั้ง 2 ลักษณะนี้ และเป้าหมายสุดท้ายจะเป็นการนำเสนอเทคนิครูปแบบการปล่อยคลื่นด้วย [%] การ ON-OFF ต่างๆ จากคลื่นที่ได้สร้างขึ้นจริงทั้ง 2 วิธีการเพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบที่กำลังไฟฟ้า Heater สูงสุด 2,000 วัตต์ซึ่งปรากฏว่าสามารถควบคุมอุณหภูมิสูงสุดให้คงที่ ที่ $200^{\circ}\text{C} \pm 2.5\%$ โดยเครื่องต้นแบบสามารถใช้งานได้จริง



รูปที่ 1 ตู้อบไฟฟ้าควบคุมด้วยวิธีเฟสคอนโทรล และไซเคิลคอนโทรล

2. หลักการสร้างคลื่นแรงดันไฟดับโดยวิธีเฟสคอนโทรล และไซเคิลคอนโทรลในเชิงดิจิทัล

ลักษณะคลื่นที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบ สามารถทำได้ 2 ลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3 โดยมีขั้นตอนแสดง



รูปที่ 2 คลื่นแรงดันด้านเอาต์พุต (เฟสคอนโทรล) รูปที่ 3 คลื่นแรงดันด้านเอาต์พุต (ไซเคิลคอนโทรล)

รายละเอียดของการทำงานด้วยโปรแกรมและวิธีการปล่อยคลื่นเอาต์พุตในแต่ละช่วงดังโปรแกรมรูปที่ 4 และรูปที่ 5 พร้อมทั้งคำอธิบายในแต่ละช่วงเวลาในตารางที่ 1 ทั้งในกรณีคลื่นเฟส และไซเคิลคอนโทรล

ต่างๆ ในกรณีเฟสคอนโทรลเป็น $f, 3f, 5f, 7f, 9f, \dots$, $(2k+1)f$ โดยที่ $k=0, 1, 2, 3, \dots, 150$ และจะได้องค์ประกอบ Harmonic ต่างๆ กรณีไซเคิลคอนโทรลเป็น $0.01f, 0.02f, \dots, 0.98f, 0.99f, f, 1.01f, 1.02f, 1.03f, \dots, kf/100$ โดยที่ $k=1, 2, 3, \dots, 200$ จากองค์ประกอบ Harmonic ต่างๆ ที่ได้วิเคราะห์ในหัวข้อที่ 3 สำหรับกรณีคลื่นในลักษณะเฟสคอนโทรล และไซเคิลคอนโทรลสามารถนำมาตรวจสอบความถูกต้องของสมการแรงดันด้านเอาต์พุต v_o ได้โดยการรวมคลื่นจาก Harmonic เหล่านี้ รวม 3 ชั้นคอนโมในแนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 6 และ 7 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าสามารถรวมได้คลื่นเฟสคอนโทรล และไซเคิลคอนโทรลพอดีในชั้นคอนตักท้ายของทั้ง 2 กรณี

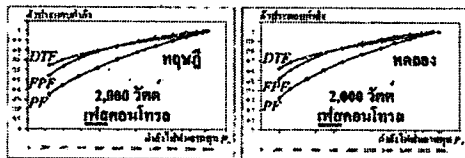
4. การคำนวณและทดลองเพื่อหาค่าตัวประกอบกำลัง PF

และประสิทธิภาพ η

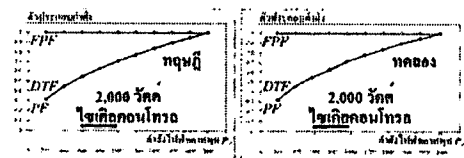
จากสมการแรงดันเอาต์พุต v_o ที่ได้ในตารางที่ 2 ในหัวข้อที่ 3 ทั้งกรณีเฟสคอนโทรล และไซเคิลคอนโทรลสามารถนำไปคำนวณหาขนาดแรงดันสเตปคริมของ Fundamental และ Harmonic ที่ความถี่ต่างๆ ได้โดยใช้โปรแกรม Matlab ช่วยคำนวณจากข้อมูลของคลื่นทั้ง 2 ลักษณะ ทั้งกรณีคลื่นจากทฤษฎี และคลื่นที่ได้จากการทดลองจริงเพื่อนำมาพิจารณาคุณสมบัติต่างๆ ทางไฟฟ้าของระบบให้ความร้อนเช่น DTF, FPF, PF และ η โดยใช้สมการในตารางที่ 3 โดยในรูปที่ 8 จะแสดงผลการคำนวณเพื่อแสดงให้เห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่า DTF, FPF และ PF จะแปรเพิ่มกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต P_o จาก 200 จนถึง 2,000 วัตต์ ส่วนในรูปที่ 9 เป็นรูปที่ได้จากการทดลองจริงในลักษณะที่ตนเองคิดว่ากันเพื่อเป็นการเปรียบเทียบ และยืนยันผลที่ได้จากการคำนวณในเชิงทฤษฎีว่ามีความถูกต้อง ในทางตรงกัน รูปที่ 10 และรูปที่ 11 จะแสดงผลการเปรียบเทียบ ค่า FPF, DTF และ PF ระหว่างค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี

ตารางที่ 3 สมการ DTF, FPF, PF และ η vs. P_o

$DTF = \frac{I_{o1}}{I_o} = \frac{I_{o1}^2}{I_o^2} = \frac{I_{o1}^2}{I_o^2}$	$PF = \frac{P_o}{P_i} = \frac{V_o I_{o1} \cos \theta_o}{V_i I_o} = \frac{V_o I_{o1} \cos \theta_o}{V_i I_o}$
$FPF = \cos \theta_o = \frac{V_o I_{o1} \cos \theta_o}{V_i I_o}$	$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{V_o I_{o1} \cos \theta_o}{V_i I_o}$



รูปที่ 8 ค่า DTF, FPF, PF vs. P_o (เฟสคอนโทรล) รูปที่ 9 ค่า DTF, FPF, PF vs. P_o (ไซเคิลคอนโทรล)



รูปที่ 10 ค่า FPF, DTF, PF vs. P_o (ไซเคิลคอนโทรล) รูปที่ 11 ค่า FPF, DTF, PF vs. P_o (ไซเคิลคอนโทรล)

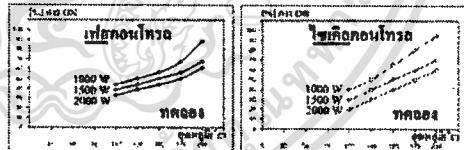
และค่าที่วัดได้จริงจากการทดลอง รูปที่ 12 และรูปที่ 13 จะแสดงผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพ η การแปลงทางไฟฟ้า จากด้านอินพุตไปยังด้านเอาต์พุตสำหรับกรณีเฟสคอนโทรล และไซเคิลคอนโทรลพร้อมทั้งมีการยืนยันเปรียบเทียบผลที่ได้จากทฤษฎีและการทดลองที่ขนาด Heater 2,000 วัตต์เช่นกัน



รูปที่ 12 ค่า η vs. P_o (เฟสคอนโทรล) รูปที่ 13 ค่า η vs. P_o (ไซเคิลคอนโทรล)

5. ขั้นตอนและผลการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบ

จากคลื่นแรงดันเอาต์พุต v_o ที่สร้างขึ้นในหัวข้อที่ 3 สามารถนำมาทดสอบหาค่าความชื้นขั้นระหว่าง [%] การ ON กับอุณหภูมิที่ค่าวัตต์ต่างๆ เช่นที่ 1,000, 1,500 และ 2,000 วัตต์ได้ดังแสดงในรูปที่ 14 และ



รูปที่ 14 [%] การ ON-OFF vs. อุณหภูมิตู้อบ (เฟสคอนโทรล) รูปที่ 15 [%] การ ON-OFF vs. อุณหภูมิตู้อบ (ไซเคิลคอนโทรล)

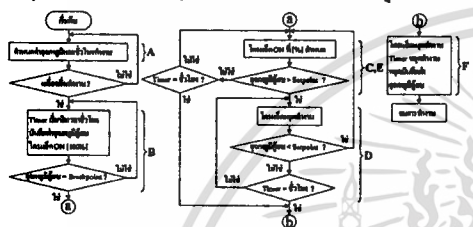
ตารางที่ 4 รูปแบบการปล่อยคลื่นกรณีเฟสและไซเคิลคอนโทรล

ชื่อเงื่อนไข	จำ A: ลักษณะการปล่อยคลื่น จำ B: Time เป็นขั้วลบและเปิด, [100%] ON, ความชื้น $(T_{(oven)} - T_{(Breakpoint)})$ จำ C: ความชื้น $(T_{(Breakpoint)})$, [10%] ON, ความชื้น $(T_{(oven)} > T_{(Breakpoint)})$ จำ D: เป็น OFF, ความชื้น $(T_{(oven)} < T_{(Breakpoint)})$ จำ E: ความชื้น $(T_{(oven)} < T_{(Breakpoint)})$, [10%] ON, ความชื้น $(T_{(oven)} > T_{(Breakpoint)})$ จำ F: ความชื้นเริ่มต่ำในกระบวนการนี้ให้ Shut down เมื่อ
	จำ A: ลักษณะการปล่อยคลื่น จำ B: Time เป็นขั้วลบและเปิด, [100%] ON, ความชื้น $(T_{(oven)} - T_{(Breakpoint)})$ จำ C: ความชื้น $(T_{(Breakpoint)})$, [70%] ON, ความชื้น $(T_{(oven)} > T_{(Breakpoint)})$ จำ D: เป็น OFF, ความชื้น $(T_{(oven)} < T_{(Breakpoint)})$ จำ E: ความชื้น $(T_{(oven)} < T_{(Breakpoint)})$, [70%] ON, ความชื้น $(T_{(oven)} > T_{(Breakpoint)})$ จำ F: ความชื้นเริ่มต่ำในกระบวนการนี้ให้ Shut down เมื่อ
ข้อสังเกต	

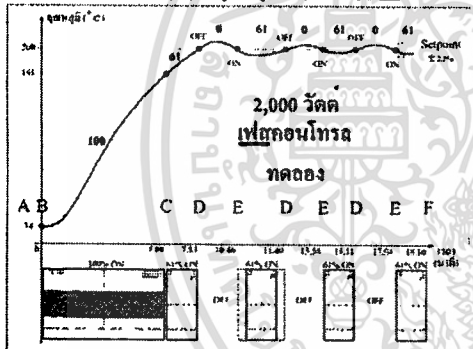
PE001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

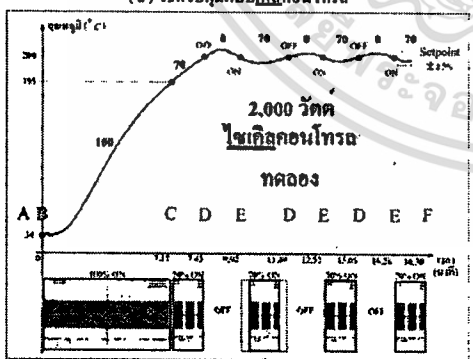
รูปที่ 15 สำหรับกรณีเฟสคอนโทรล และไซเคิลคอนโทรล ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้ สามารถนำไปกำหนดรูปแบบการปล่อยคลื่นใน 1 คาบเวลา ได้ด้วยโปรแกรมในรูปที่ 16 พร้อมทั้งค่าอธิบายในแต่ละช่วงเวลา ดังในตารางที่ 4 โดยสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบ ด้วยรูปแบบการปล่อย [%] การ ON ของคลื่นแรงดันเอาต์พุตได้ ในทำนองเดียวกันแต่จะต่างกันที่ตัวเลขของ [%] การ ON ระหว่าง 61% กับ 70% ที่กำลังไฟฟ้าสูงสุดของ Heater 2,000 วัตต์ และทั้ง 2 กรณีนี้สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบได้ที่ ค่ากำหนด(Setpoint) 200°C ±2.5% เท่ากันดังรูปที่ 17



รูปที่ 16 โปรแกรมควบคุมอุณหภูมิในตู้อบวิธีเฟสและไซเคิลคอนโทรล



(a) วิธีควบคุมแบบเฟสคอนโทรล



(b) วิธีควบคุมแบบไซเคิลคอนโทรล

รูปที่ 17 กราฟเปรียบเทียบการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบที่ 200°C กำลังไฟฟ้า 2,000 วัตต์ (a) เฟสคอนโทรล (b) ไซเคิลคอนโทรล

5. สรุป

(1) ประสิทธิภาพ และตัวประกอบกำลังด้านอินพุตของแหล่งจ่ายการไฟฟ้าของตู้อบที่ใช้วิธีการเฟส และไซเคิลคอนโทรล จะมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกันมาก ถึงที่ต่างกันของทั้ง 2 วิธีการ จะอยู่ทางด้านอินพุตคือ วิธีเฟสคอนโทรลจะให้ค่า DTF สูงกว่าวิธีไซเคิลคอนโทรล ขณะที่วิธีไซเคิลคอนโทรลจะให้ค่า PPF สูงกว่าวิธีเฟสคอนโทรล

(2) การควบคุมด้วยวิธีไซเคิลคอนโทรล สำหรับกรณีจำนวนไซเคิลใน 1 คาบเวลา มีค่ามาก ถ้า Duty cycle มีค่ามาก จะมีผลดีในเรื่องการปรับวัตต์เอาต์พุตในแต่ละ step ได้ละเอียด แต่ถ้า Duty cycle มีค่าน้อยจะไม่สามารถให้ความต่อเนื่องของวัตต์เอาต์พุตได้ดี แต่สำหรับกรณีจำนวนไซเคิลใน 1 คาบเวลา มีค่าน้อย แม้ Duty cycle จะมีค่ามาก ก็จะไม่สามารถให้ความละเอียดของการปรับวัตต์เอาต์พุตได้ดี แต่ในกรณีนี้จะมีข้อดีในเรื่องของความต่อเนื่องของการปรับวัตต์เอาต์พุต ส่วนในกรณีวิธีเฟสคอนโทรลจะไม่มีปัญหาในเรื่องดังกล่าวทั้ง 2 ประการ

(3) ตู้อบสามารถควบคุมอุณหภูมิโดยหลักการดิจิทัล ให้มีค่าเกือบคงที่เท่ากับค่ากำหนด ที่อุณหภูมิสูงสุด 200°C ±2.5% ตรงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้และสามารถใช้งานได้จริง

เอกสารอ้างอิง

[1] K. A. Nigim, G. T. Heydt, "Shifting Of Load Harmonic in the Single Phase AC-to-AC Phase Control converters", IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, Vol. 1,pp.355-358, May 2003.
 [2] M.Syed Jamil Asghar, "Fine Power Control by Discontinuous Phase-Controlled Switching", IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, Vol.46, No.3., pp.402-405, March 1999.

ประวัติผู้เขียนบทความ



นอรรถศักดิ์ ชัยธาดา การศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ปัจจุบันเป็นนักศึกษาระดับปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นอรรถวิเศษ ธีระฐิติวิทยุ การศึกษาระดับปริญญาโท-เอก จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยโคคัส และมหาวิทยาลัยมณี ประเทศญี่ปุ่น ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทอร์วอร์อิลิกทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายรักศักดิ์ ชีร้อสา
วัน เดือน ปีเกิด	2 กรกฎาคม พ.ศ. 2517 ที่จังหวัดภูเก็ต
ที่อยู่	16 หมู่5 ถ.เทพกระษัตรี ต.เกาะแก้ว อ.เมือง จ.ภูเก็ต 83000 โทร.08-4717-5193
ประวัติการศึกษา	2539 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย 2546 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) ระบบควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ 2.) การเขียนโปรแกรมอินเตอร์ด้วยภาษาวิซวลเบสิก 6.0 3.) การเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยภาษาซี และภาษาแอสเซมบลี 4.) การควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 5.) การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้