สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบควบคุมเครื่องกำเนิดความร้อนทางการแพทย์

MICROWAVE HYPERTHERMIA CONTROL SYSTEM

โดย

นาย กุลชาติ เย็นฉ่ำ รหัส 47015161

นาย อดิศักดิ์ คำทิพย์ รหัส 47015195

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72746
วัน,เดือน,ปี 22 มิ.ย. 2550

b 11772189
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมเครื่องกำเนิดความร้อนทางการแพทย์

MICROWAVE HYPERTHERMIA CONTROL SYSTEM

โดย

นาย กุลชาติ เย็นฉ่ำ รหัส 47015161

นาย อดิศักดิ์ คำทิพย์ รหัส 47015195

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบควบคุมเครื่องกำเนิดความร้อนทางการแพทย์

MICROWAVE HYPERTHERMIA CONTROL SYSTEM

ผู้จัดทำ

1. นาย กุลชาติ เย็นฉ่ำ รหัส 47015161
2. นาย อดิศักดิ์ คำทิพย์ รหัส 47015195

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมเครื่องกำเนิดความร้อนทางการแพทย์

นาย กุลชาติ เย็นฉ่ำ รหัส 47015161
นาย อดิศักดิ์ คำทิพย์ รหัส 47015195
รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการพัฒนาระบบให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2,450MHzซึ่งได้มีการปรับปรุงให้เป็นระบบที่มีการควบคุมด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้เป็นเครื่องต้นแบบในการรักษาโรคมะเร็ง ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบนี้ได้แก่ หลอดแมคนีตรอนที่ทำหน้าที่จ่ายกำลังงานคลื่นไมโครเวฟ สายอากาศปล่อยคลื่น ระบบวัดอุณหภูมิ ระบบคอนโทรลเลอร์ โดยได้ทำการทดลองกับสารเนื้อเยื่อจำลอง ระบบการให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟสามารถที่จะควบคุมอุณหภูมิที่ความลึกประมาณ 2 ซม.จากผิวซึ่งเป็นความลึกที่ต้องการได้โดยการปรับศักดาไฟแรงสูงที่จ่ายให้แก่หลอดแมคนีตรอน โดยการใช้เทอร์โมคัปเปิลขนาดเล็กที่สามารถวัดอุณหภูมิได้ 3-4 ตำแหน่ง ซึ่งจะควบคุมอุณหภูมิได้ถูกต้องด้วยระบบคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MICROWAVE HYPERTHERMIA CONTROL SYSTEM

Mr. Kulachat Yencham ID. 47015161

Mr. Adisak Kamtip ID. 47015195

Assoc. Prof. Dr. Manas Sangworasilp

Educational Year 2006

Abstract

This thesis presents the development of the Microwave Hyperthermai System controlled by microcontroller. It operates at the microwave frequency rang 2,450 MHz. The system consists of a magnetron which generates the microwave power, an applicator, a temperature measurement system, and computer controller system. It is obvious that from the experimental tissue the system can control the temperature at the required depth of 2 cm. The system can varied output power by varying the high voltage supplied to the magnetron. A tiny 3-4 point thermocouple is calibrated to yield the precise temperature control.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ที่สำเร็จได้ ต้องขอขอบพระคุณ อาจารย์ รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำชี้แนะ และสนับสนุนในการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ รวมถึงการจัดหาเครื่องมือ อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการทดลอง ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สมาชิกกลุ่มทุกคนได้ฟันฝ่าอุปสรรคและปัญหามามากพอสมควร ดังนั้นคำชี้แนะในแต่ละครั้งจึงถือได้ว่ามีค่ายิ่งนอกจากนั้นขอขอบพระคุณ คุณ ภัทรพงษ์ (พี่โอ๋) ที่คอยช่วยเหลือในด้านต่างๆ ทุกด้าน รวมถึงเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ตลอดทั้งขอบคุณเพื่อนๆทุกคน ที่คอยช่วยเหลือแลกเปลี่ยนความคิดในด้านต่างๆ

สุดท้ายกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ให้กำเนิดและคอยสนับสนุนทุกอย่างและให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา คุณความดีที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกๆ ท่าน

คณะผู้จัดทำ
นายกุลชาติ เย็นฉ่ำ
นายอดิศักดิ์ คำทิพย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง **หน้า**

บทคัดย่อ.....I
สารบัญ.....III
สารบัญรูป.....V
สารบัญตาราง.....VII
สารบัญกราฟ.....VIII
บทที่ 1 บทนำ.....1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการทำงาน.....3
2.1 ชีววิทยาเบื้องต้นเกี่ยวกับระบบการให้ความร้อน.....3
2.2 หลักการสำคัญในการนำระบบความร้อนมาใช้รักษามะเร็ง.....4
2.3 การเลือกใช้ความถี่ที่ความลึกต่างๆ.....5
2.4 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับผลของความร้อนที่มีต่อเซลล์.....5
2.5 คลื่นคืออะไร.....6
2.6 คลื่นไมโครเวฟคืออะไร.....8
2.6.1 คลื่นไมโครเวฟ.....9
2.6.2 ลักษณะของคลื่นไมโครเวฟ.....9
2.7แหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ.....9
2.7.1 แม็กนีตรอน.....10
2.7.2 หลักการทำงานพื้นฐานของแม็กนีตรอน.....12
2.7.3 การควบคุมกำลังงานเอาท์พุทของหลอดแมกนีตรอน.....16
2.8 วงจรสร้างไฟฟ้าสูง.....17
2.9 พอร์ตขนานกับการวัดอุณหภูมิผ่านระบบบัส I²C.....18
2.9.1 DS1621ไอซีวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล.....20
2.9.2 การทำงานของ DS1621.....21
2.9.3 การทำงานในโหมดเทอร์โมสตัด.....23
2.10 สเต็ปมอเตอร์ (Stepping Motor).....25
2.10.1 การใช้งานสเต็ปมอเตอร์.....26
2.10.2 การควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์.....27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบเวฟไกด์สำหรับคัปปลิ้งคลื่นสู่สาย COAXIAL	
โดยใช้โปรแกรม COMSOL	31
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	42
3.2 วงจรควบคุมอุณหภูมิ	48
3.3 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์	50
บทที่ 4 ผลการทดลอง	52
4.1 โปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการควบคุมระบบ	53
4.2 ผลที่ได้จากการทดลองในการปล่อยคลื่นในไข่ขาวและตับหมู	63
บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	69
กิตติกรรมประกาศ	70
หนังสืออ้างอิง	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ....2
รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของคลื่น....6
รูปที่ 2.2 แสดงช่วงความยาวของคลื่นที่ช่วงต่างๆ....8
รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของหลอดแม็กนีตรอน(THE STRUCTURE OF MAGNETRON)....11
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะโครงสร้างภายในตัวหลอดแม็กนีตรอน....11
รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบโครงสร้างที่สำคัญภายในแม็กนีตรอน....12
รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการพุ่งออกของอิเล็กตรอน....13
รูปที่ 2.7 แสดงตำแหน่งการวางแม่เหล็กเพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก....14
รูปที่ 2.8 แสดงการหมุนวนของอิเล็กตรอนเนื่องจากสนามของแม่เหล็ก....14
รูปที่ 2.9 แสดงการเกิดการเรโซแนนซ์ภายในหลอดแม็กนีตรอน....15
รูปที่ 2.10 แสดงวงจรไฟสูงที่จ่ายให้แม็กนีตรอน....17
รูปที่ 2.11 การทำงานเบื้องต้นของตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบต่างๆ เพื่อส่งค่ามายังพอร์ตขนาน....19
รูปที่ 2.12 การจัดขาและการทำงานของ DS1621 ไอซีวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล....20
รูปที่ 2.13 ผังการทำงานเบื้องต้นโดยรวมของ DS1621 ไอซีวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล....21
รูปที่ 2.14 การทำงานในโหมดเทอร์โมสตัดของไอซี DS1621....24
รูปที่ 2.15 โครงสร้างภายในสเต็ปมอเตอร์....25
รูปที่ 2.16 การควบคุมระบบสเต็ปมอเตอร์....26
รูปที่ 2.17 การพันขดลวดบนสเตเตอร์ของสเต็ปมอเตอร์....27
รูปที่ 3.1 แสดงการเลือกใช้งานโปรแกรม....31
รูปที่ 3.2 แสดงการตั้งค่าความถี่ที่ใช้งาน....32
รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะท่อนำคลื่นในแบบ 2 มิติ....33
รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะท่อนำคลื่นในแบบ 3 มิติ....34
รูปที่ 3.5 แสดงการกำหนดคุณสมบัติให้ท่อนำคลื่น....35
รูปที่ 3.6 แสดงการกำหนดทิศทางเข้าของคลื่น....36
รูปที่ 3.7 แสดงการกำหนดอิลิเมนต์....37
รูปที่ 3.8 แสดงการตี MESH....38
รูปที่ 3.9 แสดงการประมวลผลของโปรแกรม....39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะของท่อนำคลื่นที่มีคลื่นภายใน....40
รูปที่ 3.11 แสดงท่อนำคลื่นที่ถูกสร้างขึ้นหลังจากการทดลองโดยใช้โปรแกรม....41
รูปที่ 3.12 แสดงอุปกรณ์ POWER SENSOR....42
รูป 3.13 แสดงการต่อใช้งาน POWER SENSOR....43
รูปที่ 3.14 แสดงสายสัญญาณ RG 214....44
รูปที่ 3.15 แสดงเครื่องวัด VSWR สายอากาศ....45
รูปที่ 3.16 แสดงผลการวัดสายสัญญาณ....45
รูปที่ 3.17 แสดงการต่อหลอดแมกนีตรอนที่ใช้ในการทดลอง....46
รูปที่ 3.18 แสดงชุดระบายความร้อนให้กับหลอดแม็กนีตรอน....47
รูปที่ 3.19 วงจรชุดควบคุมอุณหภูมิการทำงานของระบบ....48
รูปที่ 3.20 แสดงลายปริ้นของวงจรชุดควบคุมอุณหภูมิ....49
รูปที่ 3.21 แสดงชุดขับ Stepping Motor....50
รูปที่ 3.22 แสดงลายปริ้นของวงจรขับ Stepping Motor....51
รูปที่ 4.1 แสดง Flow Chart การทำงานของระบบ....52
รูปที่ 4.2 แสดงหน้าจอการทำงานของเครื่อง....62
รูปที่ 4.3 ภาพแสดงการทดลองกับไข่ขาว....63
รูปที่ 4.4 ภาพแสดงการทดลองกับตับหมู....64
รูปที่ 4.5 ภาพแสดงสายอากาศไมโครเวฟที่ใช้ในการทดลอง....65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 2.1 แสดงรูปแบบข้อมูลดิจิตอลตัวอย่างของอุณหภูมิที่วัดได้จาก DS1621.....22
ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนการหมุนของสเต็ปมอเตอร์แบบเวฟ (wave).....28
ตารางที่ 2.3 ขั้นตอนการหมุนของสเต็ปมอเตอร์แบบ 2 เฟส (2 Phase).....29
ตารางที่ 2.4 ขั้นตอนการหมุนของสเต็ปมอเตอร์แบบครึ่งสเต็ป (half step).....30
ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิของน้ำ.....67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญกราฟ

กราฟที่ **หน้า**

กราฟที่ 4.1 แสดงพลังงานของคลื่นไมโครเวฟ.....66
กราฟที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา.....68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ระบบการรักษามะเร็งโดยการให้ความร้อน (Hyperthermia Cancer Therapy) เป็นรูปแบบการรักษามะเร็งแบบใหม่ที่เป็นความหวังของมนุษยชาติ มีพื้นฐานและหลักการทางชีววิทยาที่สามารถพิสูจน์ทดลองและอธิบายได้ เมื่อไม่นานมานี้ผู้สามารถค้นพบเทคนิค ที่นำระบบการให้ความร้อน (Hypmrthermia) มารักษามะเร็งชนิดต่างๆได้ทั่วร่างกายและได้ผลรักษาที่น่าพอใจ อย่างไรก็ตามผลการทดลองทางคลิกที่ยังดำเนินอยู่ในขณะนี้เพื่อดูประสิทธิภาพในการรักษาวิธีที่ปลอดภัยในการให้ความร้อนที่ก้อนเนื้องอกและการตรวจวัด วิธีการรักษาเป็นสิ่งสำคัญต่อแนวทางเวชปฏิบัติในอนาคต

อนึ่งในภาษาไทยมีคำอยู่สองคำคือคำว่ารังสีรักษา (Radiotherapy) และเคมีบำบัด (Chemotherapy) ซึ่งสองคำนี้มีความหมายต่างจากการรักษามะเร็งด้วยความร้อนที่เรียกว่า Hyperthermia Cancer Therapy ซึ่งยังไม่มีศัพท์บัญญัติไว้ในภาษาไทย

มีการศึกษาและประเมินผลบทบาทของระบบการให้ความร้อนในการรักษามะเร็ง ณ สถาบันต่าง ๆ ในประเทศที่มีการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์การแพทย์ทั่วโลก อาจจะพูดได้ว่าระบบการให้ความร้อน คือ การรักษามะเร็งโดยการเพิ่มอุณหภูมิของเซลล์มะเร็งให้ขึ้นไปถึง 41 ถึง 46 องศาเซลเซียส โดยการให้ความร้อนจากภายนอกแล้วรักษาอุณหภูมินี้ให้คงที่ไว้ตลอดช่วงเวลาที่เหมาะสม และต้องมีการควบคุมอุณหภูมิของเซลล์ปกติไม่ให้สูงจนเกินไป การทำเช่นนี้จะเป็นการรักษามะเร็งที่ นำมาช่วยเสริมให้วิธีการอื่นที่มีอยู่อันได้แก่ การรักษาทางเคมี การรักษาทางรังสี ฯลฯ ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าเดิม 25 % เป็น 60 – 70 % ซึ่งมีการพัฒนาระบบให้ความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้คลื่นไมโครเวฟซึ่งใช้สายอากาศปล่อยคลื่นแบบสล็อตอาร์เรย์ (Slot array) บนผิวทรงกลม

ความถี่คลื่นไมโครเวฟที่ใช้มีหลายค่าซึ่งการที่จะเลือก ใช้ความถี่ใดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะขนาด และตำแหน่งของเซลล์มะเร็ง โดยที่ความถี่ต่ำสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในร่างกายได้ลึกแต่ไม่สามารถโฟกัสสนามให้อยู่บริเวณแคบ ๆ ในขณะที่เลือกใช้ความถี่สูงๆ เช่น 915 MHz หรือ 2450 MHz สามารถโฟกัสสนามได้ดี แต่สามารถทะลุทะลวงเข้าไปในร่างกายได้บริเวณตื้น ๆ

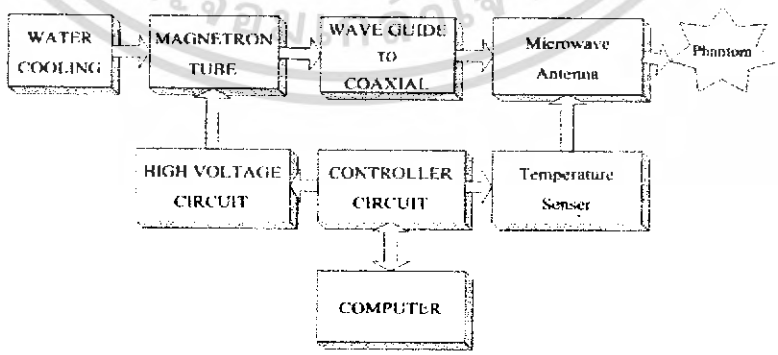
ถึงแม้ว่าจะมีหลักการในการใช้ระบบการให้ความร้อนรักษามะเร็งมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2503 แต่เทคนิคการให้ความร้อนและการตรวจวัดความร้อน ในผู้ป่วยนั้นพบว่าเป็นไปได้ด้วยความยากลำบาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอสมควร ดังนั้นแม้ว่านักฟิสิกส์และ วิศวกรได้พัฒนาเทคนิคของการผลิตเครื่องมือไฮเปอร์เมีย ได้แล้ว โดยมีแพทย์ประเมินประสิทธิภาพของการใช้ในคลินิก แต่ต้องการวิจัย และพัฒนาอีกมาก โดยเฉพาะในเรื่องวิธีการรักษามะเร็งที่อยู่ลึก (Deep-seated Tumors) สำหรับโครงการนี้ได้พัฒนาส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบ ให้เป็นระบบให้ความร้อนใช้คลื่นไมโครเวฟที่ควบคุมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ในการควบคุมระดับของอุณหภูมิให้ได้ตามความต้องการ โดยใช้คลื่นไมโครเวฟความถี่ 2,450 MHz โดยข้อมูลที่ได้จะใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาให้เป็นระบบที่สมบูรณ์ต่อไป

บล็อคไดอะแกรมของระบบ

โครงสร้างของระบบของโครงงานนี้ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่ 1 ซึ่งจะอธิบายหลักการทำงานดังนี้ การทดลองเป็นการให้ความร้อนไปทำลายเซลล์มะเร็ง ด้วยคลื่นไมโครเวฟ หลอดแม็กนีตรอน(MAGNETRON TUBE)เป็นตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟซึ่งมีความถี่ 2.45 GHz และมีวงจรไฟแรงสูง(HIGH VOLTAGE CIRCUIT)เป็นแหล่งจ่ายซึ่งจะมีแรงดันไฟ 3.3 โวลท์ เป็นไฟจุดไส้หลอดซึ่งอยู่ตรงกลางของหลอดแม็กนีตรอนและ 4,000 โวลท์ จ่าย ไฟเข้าขั้วแคโทด และแอโนด ของหลอด คลื่นจะถูกส่งผ่านเข้ามาทาง ท่อนำคลื่นและส่งผ่านเข้ามาทางสายโคแอคเชียล (WAVE GUIDE TO COAXIAL) เพื่อที่จะส่งออกไปที่เสาอากาศเพื่อที่จะปล่อยคลื่นไปทำลายเซลล์มะเร็ง และวงจรทำความเย็น(WATERCOOLING)ทำหน้าที่ระบายความร้อนให้หลอดแม็กนีตรอน ส่วนวงจรควบคุม(CONTROLLERCIRCUIT)จะทำหน้าที่ ควบคุมแหล่งจ่ายไฟแรงสูงตามขนาดแรงดันที่ระบบต้องการทำงาน และควบคุมเทอร์โมคัปเปิล(THERMOCOUPLE)เพื่อเป็นตัววัดอุณหภูมิ ต่อไป



รูปที่ 1.1 แสดงบล็อคไดอะแกรมการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับระบบการให้ความร้อน

ในบทนี้จะกล่าวถึงประวัติการศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับการให้ความร้อน การให้ความร้อนรักษามะเร็ง เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาและออกแบบระบบการให้ความร้อนโดยใช้ คลื่นไมโครเวฟต่อไป

2.1 ชีววิทยาเบื้องต้นเกี่ยวกับระบบการให้ความร้อน

มะเร็งเป็นการตายอันดับสองรองจากโรคหัวใจ โดยประมาณแล้วว่าประชากร 1 ใน 4 จะต้องมีโอกาสสัมผัสกับ มะเร็ง ในช่วงหนึ่งช่วงใดของชีวิต แม้ว่าจะมีความพยายามในการรักษา แต่ก็สามารถช่วยชีวิตผู้เคราะห์ร้ายได้เพียงครึ่ง วิธีการรักษาโรคมะเร็งที่ได้ถูก รื้อฟื้นขึ้นมาใหม่เมื่อไม่นาน มานี้ คือการใช้ความร้อน เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของเนื้องอกให้อยู่ในช่วง 42 - 45 องศา ซึ่งวิธีนี้เรียกว่า "Hyperthermia"

ในปี 1866 W.Busch แพทย์ชาวเยอรมันได้มีรายงานเป็นครั้งแรกพบว่าเซลล์ของก้อนเนื้องอกที่ตายไปมีความสัมพันธ์กับอาการเป็นไข้ตัวร้อนของคนป่วย แต่รายงานด้านค้นคว้าก็ไม่ได้ดำเนินมาอย่างต่อเนื่องในช่วงปี 1900 – 1960 ในปี 1960 ได้มีการก่อตั้งองค์การระหว่างชาติเพื่อการศึกษา "Hyperthermia" ประเทศเข้าร่วมหลายร้อยประเทศ และในการประชุมครั้งที่ 4 ที่เดนมาร์กในปี 1984 ตามรายงานของ G.M Hahn ได้ยืนยันว่าอุณหภูมิ 42 – 45 องศา สามารถทำลายเซลล์มะเร็งได้ แต่ทั้งนี้ต้องมีการศึกษาถึงกลไกและอิทธิพลของเซลล์รอบๆ ปัญหาที่ว่าจะมีวิธีให้ความร้อนเฉพาะก้อนเนื้องอกได้อย่างไรการแสดงผลความร้อน ปริมาณการให้ความร้อนจึงเป็นการท้าทายสำหรับวิศวกรเป็นอย่างยิ่งนอกจากนี้ยังต้องอาศัยความร่วมมือกันเป็นอย่างดีของวิศวกร นักฟิสิกส์ นักชีววิทยาและแพทย์

ประวัติของระบบการให้ความร้อนยุคประวัติศาสตร์ การแพทย์แผนปัจจุบันโดยสรุปก็คือความก้าวหน้าและความสนใจของมนุษย์ในช่วงระยะแรกต่อการนำความร้อนมาใช้ในการรักษามะเร็งนั้นมีน้อยเนื่องจากความยากลำบากทางเทคนิค และการพัฒนาก้าวหน้าอย่างรวดเร็วของการรักษาด้วยวิธีอื่น ได้แก่การผ่าตัด รังสีรักษา และเคมีบำบัด จึงต้องให้ความสนใจค่อไฮเปอร์เธอร์เมียไม่มากเท่าที่ควร แต่เมื่อเวลาผ่านไปมนุษย์ก็ตระหนักถึงข้อจำกัดการรักษาหลักทั้ง 3 วิธีดังกล่าว ยกตัวอย่างเช่น ปัญหาของมะเร็งระยะลุกลามที่ผ่าตัดไม่ได้ ปัญหาของเซลล์มะเร็งที่ดื้อต่อรังสี ดื้อยาและอาการข้างเคียงที่เกิดจากรังสีและยาเป็นต้น ในปี ค.ศ. 1967 Cavaliere แพทย์ชาวอิตาเลียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นผู้สรุปว่าเซลล์มะเร็งมีความไวต่อความร้อนมากกว่าเซลล์ปกติ จึงเป็นการจุดประกายให้หวนมาวิจัยและพัฒนานำความร้อนมาใช้รักษามะเร็งอีกครั้ง ผลจากการสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่เพิ่มเพียงไม่กี่องศาจะมีผลอย่างมากต่อเซลล์และเนื้อเยื่อและยืนยันว่าความร้อนมีผลต่อการทำลายเซลล์มะเร็งแน่นอนโดยเฉพาะในช่วง 41-46 องศาเซลเซียส

2.2 หลักการสำคัญในการนำระบบความร้อนมาใช้รักษามะเร็ง

สาเหตุสำคัญที่ทำให้มีการนำระบบการให้ความร้อนมาใช้ในการรักษามะเร็ง มีดังนี้

1. เซลล์ดื้อต่อมะเร็ง (ซึ่งเป็นปัญหาของการรักษาทางรังสี) จะถูกทำลายได้ง่ายโดยความร้อน
2. ความร้อนจะเพิ่มประสิทธิภาพการทำลายเซลล์มะเร็งของรังสีและเซลล์มะเร็งบางชนิดได้และจะยับยั้งขบวนการฟื้นตัวของเซลล์หลังการใช้รังสีและยา หลักการเพิ่มประสิทธิภาพการทำลายเซลล์มะเร็งจึงเป็นทั้งแบบแอดดิทีฟ และวินเนิร์จีสติก
3. เซลล์มะเร็งในร่างกายจะถูกทำลายโดยความร้อนได้ง่ายกว่าเซลล์ปกติ เนื่องจากสภาพแวดล้อมของเซลล์มะเร็งได้แก่ สภาพออกซิเจนต่ำ สภาพความเป็นกรดสูง เซลล์ขาดอาหารเส้นเลือดที่ไปเลี้ยงไม่สมบูรณ์เท่าเซลล์ปกติ
4. การวิจัยเบื้องต้นทางคลินิกพบว่า เซลล์มะเร็งที่ได้รับความร้อน 41 – 45 องศาเซลเซียส มีการตอบสนองที่ดีต่อการรักษากว่า 70 % โดยที่อาการแทรกซ้อนไม่มากขึ้น แต่การให้ความร้อนแก่คนไข้แบบทั้งตัวที่อุณหภูมิเกินกว่า 42 องศาเซลเซียสเป็นเรื่องยากและมีอาการแทรกซ้อน

2.3 การเลือกใช้ความถี่ที่ความลึกต่างๆ

ความลึกของการทะลุทะลวงของคลื่นไมโครเวฟ จะน้อยลงเอความถี่ของคลื่นที่ใช้เพิ่มขึ้น เนื่องจากคลื่นความถี่สูงกวาสามารถทำให้เกิดสภาพของสนามไฟฟ้าที่สูงกว่า ในตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน นั่นคือพลังงานที่ถูกดูดกลืนจะสูงขึ้นตามสมการ

P = พลังงานที่ถูกดูดกลืน

σ = ค่าความนำของสารตัวกลาง

E = ค่าขนาดของสนามไฟฟ้า

สำหรับความถี่ที่ใช้ในการแพทย์ที่ผลิตออกมาทางด้านการค้า ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงความถี่ 13.56 , 27.12 , 40.68 , 433 , 915 และ 2450 MHz และที่กำลังเป็นที่นิยมขณะนี้คือ 915 และ 2450 MHz โดยมีกำลังของคลื่นตั้งแต่ 10 ถึง 500 วัตต์ ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้เกิดความร้อนมากกว่า 43 องศาเซลเซียส ที่ความลึกประมาณ 2 ถึง 3 เซนติเมตร ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบและการโฟกัสของสายอากาศปล่อยคลื่นไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับผลของความร้อนที่มีต่อเซลล์

ปัจจุบันในการรักษามะเร็งเราพุ่งจุดสนใจไปที่การพยายาม ทำลาย เซลล์เนื้อร้าย ซึ่งระบบการให้ความร้อนเป็นวิธีการที่สามารถทำได้ เป็นเพราะการไวต่อความร้อนของเซลล์มะเร็งเองอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมทางกายภาพของเซลล์มะเร็งนั่นเอง

สภาพของเซลล์มะเร็งที่ไวต่อความร้อนได้แก่ การมีอาหารมาเลี้ยงเซลล์ไม่เพียงพอสภาพภายในเซลล์เป็นกรดและการขาดแคลนออกซิเจน สำหรับขบวนการเมตาริซึมภายในเซลล์

การให้ความร้อนจะช่วยเสริมให้การใช้รังสีเอ็กซ์และโดยการใช้ยาเพราะว่าการรักษาโดยวิธีการดั้งเดิมร่วมกับการใช้ความร้อน สามารถจะยับยั้งเซลล์มะเร็งได้ดีกว่าการรักษาโดยวิธีการอย่างเดิมเพียงวิธีเดียว ซึ่งได้มีการทดลองกับหนูแล้วได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนแก่เนื้องอกไม่ใช้ว่าจะสามารถ ทำให้เนื้องอกรับอุณหภูมิได้อย่างสม่ำเสมอเพราะมีระบบไหลเวียนโลหิตช่วยระบบความร้อนนั้นเองและการไหลเวียนนี้ก็ไม่ได้มีอัตราคงที่สม่ำเสมอ จึงทำให้การกระจายความร้อนไม่คงที่

แพทย์ชาวโรมันและกรีซพบถึงความสัมพันธ์ระหว่างอาการเป็นไข้ตัวร้อนมีผลช่วยให้กระบวนการรักษาโรค ในช่วงยังไม่มียาสมัยใหม่ในการรักษาโรคได้มีข้อสมมุติฐานว่าอาการไข้ตัวร้อนช่วยให้ความเจ็บไข้หรือโรคภัยบางอย่างหายได้ แต่อย่างไรก็ดี ในปัจจุบันนี้พบว่าไม่ได้ผล ดังนั้นนักเพราะเชื้อแบคทีเรียสามารถปรับตัวให้อยู่ในอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิร่างกาย

อุณหภูมิร่างกายที่สูงจากการเป็นไข้ตัวร้อนจะยับยั้งการเจริญและแพร่พันธุ์ของเชื้อไวรัสบางชนิด แต่ก็ไม่แน่ใจว่าการค้นพบความสัมพันธ์ดังกล่าวจริงๆแล้วจะเป็นวิธีการรักษาโรคที่เกิดจากเชื้อไวรัสหรือแบคทีเรียหรือไม่ ทราบชัดเจนแต่เพียงว่าอาการไข้สูงมาก มากกว่า 42 องศา จะมีผลทำให้คนไข้ช็อคสั่นสะท้านไปทั้งตัวพิษไข้ไปทำลายสมอง ซึ่งอาจจะถึงตายได้

ในช่วงศตวรรษที่ผ่านมา ในห้องทดลองของอเมริกาและอีกหลายประเทศได้มีการทดลองและศึกษาผลของการใช้ความร้อนทั้งการให้ความร้อนอย่างเดียวและการให้ความร้อนกับการฉายรังสีเอ็กซ์ หรือ ร่วมกับการใช้ยาบำบัดมะเร็ง โดยการทดลองกับหนูทดลอง ผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจสำหรับที่ขยายให้ถึงขั้นใช้ในคลินิกเพื่อทดลองกับคน ซึ่งจะได้รับการพัฒนาเครื่องมือของการให้ความร้อนรวมถึงระบบการตรวจวัดความร้อนจากวิศวกรซึ่งไม่ใช้งานที่ง่ายนัก พร้อมกันนั้นต้องอาศัยความร่วมมือของนักชีววิทยาและแพทย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 คลื่นคืออะไร

คลื่น (WAVE) เป็น ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติชนิดหนึ่งซึ่งจะเกิดขึ้นได้ต้องมีแหล่งกำเนิดคลื่นแล้ว ค่อยแผ่กระจายคลื่นออกจากแหล่งกำเนิดออกไปเป็นวงกว้าง โดยจะมีขนาดลดลงไปเรื่อยๆ ยิ่งห่างจากแหล่งกำเนินมาก ขนาดจะยิ่งเล็กลงในที่สุดจะหายไปเช่น เราโยนหินลงไปในน้ำเราจะพบว่ามีระลอกคลื่นแผ่ออกจากจุดที่หินกระทบผิวน้ำแล้วแผ่ออกเป็นวงกลมกว้างออกไปเรื่อยและหายไปในที่สุด ถ้าเราสังเกตให้ดีจะพบว่า จุดที่ใกล้ก้อนหินตกลงมากที่สุดจะมีขนาดของคลื่นใหญ่ที่สุดสังเกตเห็นได้ชัดที่สุด เมื่อห่างออกไปขนาดคลื่นห่างออกไปขนาดคลื่นจะสังเกตได้ยากขึ้น คลื่นที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้เราเรียกว่าคลื่นน้ำ โดยแหล่งกำเนิดคลื่นอยู่ที่แรงของก้อนหินตกกระทบลงในน้ำ

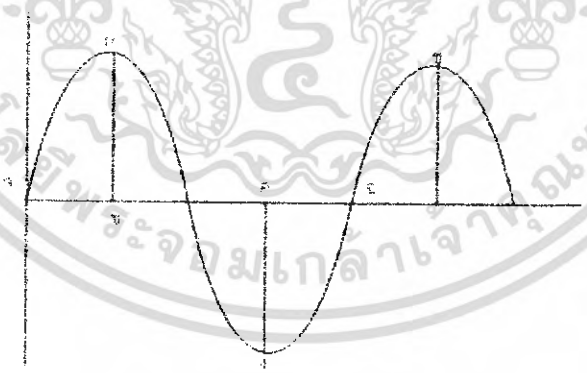
คลื่นในธรรมชาติมีหลายชนิด เช่น คลื่นน้ำ คลื่นเสียง คลื่นแสง คลื่นไฟฟ้า เป็นต้น

ส่วนประกอบของคลื่น

คลื่นทุกชนิด ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

1.ความสูงของคลื่น (AMPLITUDE)

2.ความยาวของคลื่น (WAVE LENGTH)



รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของคลื่น

1.ความสูงของคลื่น (AMPLITUDE)

ปกติเวลาเราเขียนเส้นแทนรูปคลื่น เราจะเขียนได้ดังรูปที่ 8 โดยจะมีเส้นแบ่งกึ่งกลางคลื่น ความสูงของคลื่นจะวัดจากระดับกึ่งกลางคลื่นขึ้นไปหาหรือลงไปหายอดคลื่นในรูปคือ ระยะ ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไป ข และ ค ไป ง

2.ความยาวของคลื่น (WAVE LENGTH)

คือระยะห่างระหว่างยอดคลื่นหนึ่งไปยังอีกคลื่นหนึ่งในรูปคือ ระยะจาก ก ไป ช แต่ในทางปฏิบัติ เรามักวัดจากระดับกึ่งกลางของคลื่นที่จุดเริ่มต้นของคลื่นซีกบวกไปจนจุดกึ่งกลางที่คลื่นซีกหลบไปบรรจบ ในรูปคือ ระยะจาก (จ) ถึง (ฉ) ระยะนี้เราเรียกว่าเป็นความยาวคลื่น เนื่องจากสะดวกในการพิจารณา และวัดคำนวณ ระยะจาก จ ถึง ฉ เราให้คำจำกัดความว่า เป็น 1 ลูกคลื่น หรือ 1 ความยาวคลื่นใช้ตัวอักษรกรีซเป็น สัญลักษณ์แทนดังนี้ "λ" อ่านว่า แลมด้า

ยังมีคำเกี่ยวข้องกับคลื่นอีกอย่างคือ ความถี่ ((FREQUENCY) เป็นความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นเทียบกับเวลา โดยกำหนดหน่วยของความถี่เป็น เฮิรตซ์ โดยให้คำจำกัดความไว้ว่า 1 เฮิรตซ์ คือการที่คลื่น 1 ลูก หรือ 1 รอบเคลื่อนที่ผ่านจุดอ้างอิงโดยใช้เวลา 1 นาที ฉะนั้นถ้าบอกว่าความถี่1,000 เฮิรตซ์ หมายความว่า มีลูกคลื่น 1,000ลูก เคลื่อนที่ผ่านจุดอ้างอิงได้ภายใน 1 วินาที เมื่อนำส่วนต่างๆ ของคลื่นและความถี่มาสัมพันธ์กัน สร้างเป็นสูตรได้ดังนี้

$$F = \frac{V}{\lambda}$$

เมื่อ F = ความถี่ มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์

V = ความเร็วในคลื่นวิทยุของอวกาศ (VELOCITY) ซึ่งเท่ากับความเร็วของเสียงคือ 3×10^8 เมตร ต่อวินาที

λ = แลมด้าเท่ากับความยาวคลื่น มีหน่วยเป็น เมตร

ดังนั้นถ้าเราทราบความถี่ของคลื่นก็จะสามารถหาความยาวของคลื่นได้ในทางกลับกัน ถ้าเราทราบความยาวคลื่นก็จะสามารถหาความถี่ของคลื่นได้เช่นกัน เช่น เราทราบว่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในเตาไมโครเวฟเท่ากับ 2450 เมกะเฮิรตซ์เราสามารถหาความยาวคลื่นได้ตามสูตร

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

เมื่อ V = 3×10^8 (300,000,000) เมตรต่อวินาที

F = 2,450 เมกะเฮิรตซ์ = (245,000,000 Hz)

แทนค่า $\lambda = \frac{3\times10^8(m/s)}{2{,}450(Mhz)}$

ฉะนั้นความยาวคลื่น

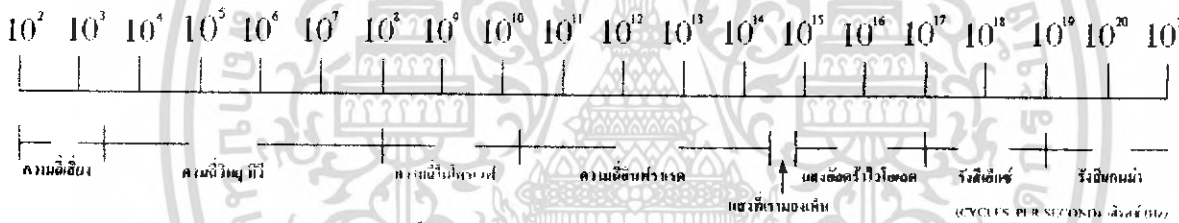
λ = 0.1224 เมตร หรือ 12.24 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวคลื่น ที่ได้นี้เป็นความยาวคลื่นในอวกาศไม่มีตัวกลางเมื่อนำเป็นค่าในการสร้างสายอวกาศ (ANTENNA) ต้องนำค่าคำนวณได้ ไปคูณกับค่าฝืดของตัวนำ K แต่ละชนิดจะสั้นลงอีก โลหะที่เป็นตัวที่ดีค่าความฝืดจะน้อยกว่าโลหะที่เป็นตัวนำที่เลวกว่า เช่นเงินเป็นตัวนำที่ดีกว่าอลูมิเนียม อลูมิเนียมเป็นตัวนำที่ดีกว่าเหล็ก เป็นต้น

2.6 คลื่นไมโครเวฟคืออะไร

ไมโครเวฟ (MICROWAVE) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (ELECTROMANETIC) ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีอยู่ในธรรมชาติ ดวงอาทิตย์เป็นผู้ส่งคลื่นนี้ออกมา คลื่นไมโครเวฟมีความถี่ตั้งแต่ 300 – 3000 MHz บางตำราบอกว่าตั้งแต่ 100 MHz -10 GHz เพื่อเป็นการเปรียบเทียบให้เข้าใจง่ายให้พิจารณารูปที่ 3



รูปที่ 2.2 แสดงช่วงความยาวของคลื่นที่ช่วงต่างๆ

เราสามารถแบ่งการแผ่รังสีของคลื่นตามความถี่ได้ 2 แบบ คือ

1. การแผ่รังสีโดยไม่ให้อะตอมแตกตัว (NONINOZING RAYS) อันได้แก่ คลื่นวิทยุ ทีวี ไมโครเวฟ เรดาร์ อินฟราเรด และแสงที่ตามองเห็น ซึ่งคลื่นเหล่านี้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตน้อย

2. การแผ่รังสีแบบทำให้อะตอมของสะสารแตกตัว (IONIZINGRAYS) ได้แก่ แสง อัลตร้าไวโอเลต (ULTRAVIOLET) รังสีเอ็กซ์ (X-RAYS) รังสีแกมม่า (GAMMA RAYS) ซึ่งคลื่นเหล่านี้ทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้ ถ้าได้รับรังสีเหล่านี้มากๆ เช่น การฉายรังสีแกมม่าเพื่อกำจัดเซลล์มะเร็ง จะทำให้เซลล์ของสิ่งมีชีวิตเปลี่ยนหรือตายไป

เนื่องจากว่าคลื่นไมโครเวฟจัดเป็นคลื่นที่ปลอดภัย ไม่มีสารกัมมันตภาพรังสีตกค้างอยู่บนอาหารหรือคนที่ซึ่งเกิดอุบัติเหตุได้รับคลื่นไมโครเวฟ แต่อย่างไรก็ดี แม้ว่าคลื่นไมโครเวฟไม่มีสารกัมมันตภาพรังสีตกค้างอยู่ คลื่นไมโครเวฟก็ยังมีอันตรายอยู่ เมื่อโดนคลื่นไมโครเวฟแล้วมากๆ และนานๆ อวัยวะต่างๆ อาจจะสุขและใช้การไม่ได้ ถ้าโดนดวงตาตาจะบอดได้ หากได้รับคลื่นไมโครเวฟที่มากกว่า 5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ได้รับคลื่นไมโครเวฟน้อยกว่า 5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร คลื่นไมโครเวฟก่อให้เกิดความผิดปกติต่างๆตามร่างกาย เช่น มะเร็งผิวหนัง ต้อกระจก ผู้หญิงมีครรภ์อาจแท้งได้ ในผู้ชายเป็นหมันชั่วคราว ปวดศีรษะ ตาลาย ระบบประสาส่วนกลางถูกทำลาย ระบบหมุนเวียนทางเลือดผิดปกติ ฯ

2.6.1 คลื่นไมโครเวฟ

ไมโครเวฟ (MICROWAVE) เป็นคลื่นแม่เหล็กชนิดหนึ่งที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติโดยดวงอาทิตย์เป็นผู้ส่งคลื่นนี้ออกมา คลื่นไมโครเวฟมีความถี่ตั้งแต่ 300 – 3,000 MHz เนื่องจากว่าคลื่นไมโครเวฟจัดเป็นคลื่นที่มีความปลอดภัยในระดับหนึ่ง คือไม่มีสารกัมมันตภาพรังสีตกค้าง แต่เมื่อโดนคลื่นไมโครเวฟมากๆ และนานๆ อวัยวะต่างๆ อาจจะสุกและใช้งานไม่ได้ ถ้าโดนดวงตา ตาจะบอดได้ หากได้ได้รับคลื่นไมโครเวฟที่มากกว่า 5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (mW/cm^2) ในกรณีที่ได้รับคลื่นไมโครเวฟน้อยกว่า 5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (mW/cm^2) จะก่อให้เกิดความผิดปกติต่างๆต่อร่างกาย เช่น มะเร็งผิวหนัง ต้อกระจก ผู้หญิงมีครรภ์อาจแท้งได้ ในผู้ชายเป็นหมันชั่วคราว ปวดศีรษะ หน้ามืด ตาลาย ระบบประสาทส่วนกลางถูกทำลาย ระบบหมุนเวียนของเลือดผิดปกติ ฯลฯ

2.6.2 ลักษณะของคลื่นไมโครเวฟ(CHARACTERISTIC OF MICROWAVES)

1. การสะท้อนของคลื่น (REFLECTION)
2. การทะลุผ่านของคลื่น (PENETRATION)
3. การดูดกลืนของคลื่น (ABSORPTION)

1. การสะท้อนของคลื่น (REFLECTION) คลื่นไมโครเวฟไม่สามารถทะลุผ่านโลหะไปได้

2. การทะลุผ่านของคลื่น (PENETRATION) คลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านวัสดุบางชนิดไปได้ วัสดุที่เป็นที่รู้จักกันแพร่หลายของการทะลุผ่านของคลื่นคือ แก้วทั่วๆไป กระเบื้อง กระดาษ พลาสติก เป็นต้น

3. การดูดกลืนของคลื่น (ABSORPTION) คลื่นไมโครเวฟสามารถดูดกลืนได้โดยน้ำหรือวัตถุที่มีส่วนประกอบของน้ำอยู่ทำให้กำลังงานของคลื่นลดลง ซึ่งพลังงานที่ถูกดูดกลืนไว้จะเปลี่ยนสภาพทำให้วัตถุร้อนขึ้น

2.7 แหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ (MICROWAVE SOURCES)

ในธรรมชาติแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟมาจากดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานขนาดใหญ่ แต่เนื่องจากเรายังไม่สามารถควบคุมกำลังงานไมโครเวฟที่ส่งมาจากดวงอาทิตย์ มาใช้ประโยชน์ได้ เราจึงต้องสร้างคลื่นไมโครเวฟขึ้นมาใช้เอง

ตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟถูกสร้างมาจากอุปกรณ์ 2 แบบคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แบบหลอดสูญญากาศ (MICROWAVE TUBES)
2. แบบโซลิดสเตท (SOLID STATE MICROWAVE SOURCES)

1. แบบหลอดสูญญากาศ (MICROWAVE TUBES)

แหล่งกำเนิดไมโครเวฟแบบหลอดสูญญากาศนี้ ให้กำลังงานคลื่นไมโครเวฟออกมาสูงมากกว่าแบบโซลิดสเตท เราสามารถแบ่งหลอดกำเนิดคลื่นไมโครเวฟออกเป็น 3 แบบคือ

1.1 หลอดไคลสตรอน(KLYSTRON)

เป็นหลอดแบบแรกที่ประดิษฐ์ขึ้นใช้งานในย่านความถี่ไมโครเวฟ มีการใช้งานอยู่ 2 แบบ คือ ใช้เป็นตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟและเป็นตัวขยายคลื่นใช้ในย่านความถี่ 300 เมกะเฮิรตซ์(MHz) ถึงความถี่ 30 กิกะเฮิรตซ์ (GHz) จะใช้หลอดชนิดนี้ในภาคสุดท้ายก่อนส่งออกอากาศ ของสถานีภาคพื้นดินของดาวเทียม

1.2 หลอดแทรเวลลิ่งเวฟ (TRAVELLING WAVE TUBES)

เป็นหลอดที่พัฒนามาจากหลอดไคลตรอน อันเนื่องมาจากว่า ในหลอดไคลตรอน มีแบนด์วิธ ของคลื่นแคบมากประมาณ 1-8% เท่านั้นแต่เมื่อพัฒนาแล้วกว้างขึ้นคือ ตั้งแต่ 10-15% เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการขยายสัญญาณไมโครเวฟตั้งแต่ความถี่ 500-16 กิกะเฮิรตซ์(GHz)

1.3 หลอดแม็กนีตรอน (MAGNETRON TUBES)

เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟอีกชนิดหนึ่งที่ให้กำลังงาน ออกมาสูงสุดปัจจุบันหลอดแม็กนีตรอนสามารถ ให้กำลังงานเอาท์พุทได้สูงสุดถึง 40 เมกะวัตต์ (MW) ที่ระดับความต่างศักย์ 50 กิโลโวลท์ (KV) ณ ความถี่ 10 กิกะเฮิรตซ์ เนื่องจากแม็กนีตรอนมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพที่สูงจึงถูกนำไปใช้ในอุปกรณ์เครื่องมือที่ต้องการกำลังงานสูง

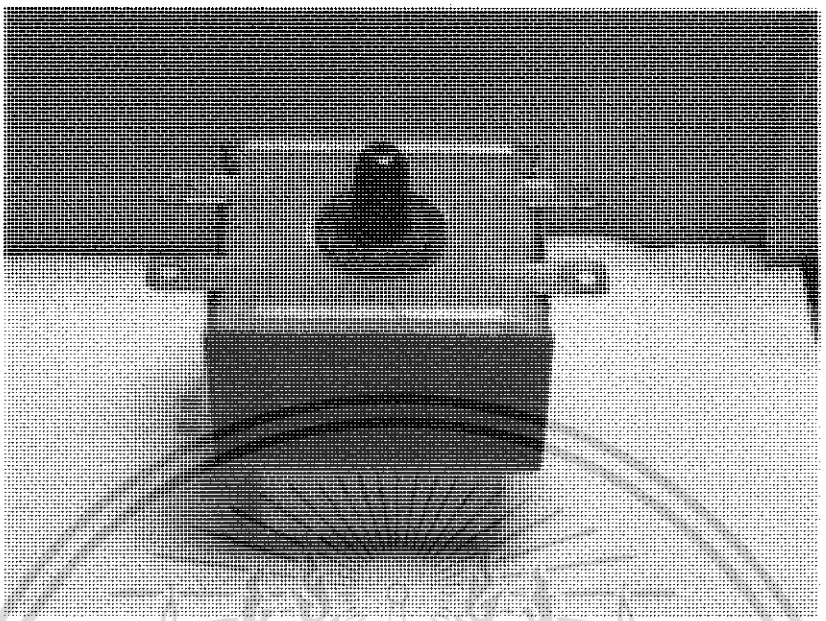
2. แบบโซลิดสเตท(SOLID STATE MICROWAVE SOURCES)

เนื่องจากสารกึ่งตัวนำมีขนาดเล็กและเบา เมื่อมีการพัฒนาจนสามารถใช้งานได้ดีที่ความถี่ไมโครเวฟแล้ว จึงถูกนำไปแทนที่หลอดไมโครเวฟ ในส่วนที่ใช้กับกำลังงานต่ำจนถึงกำลังงานปานกลาง

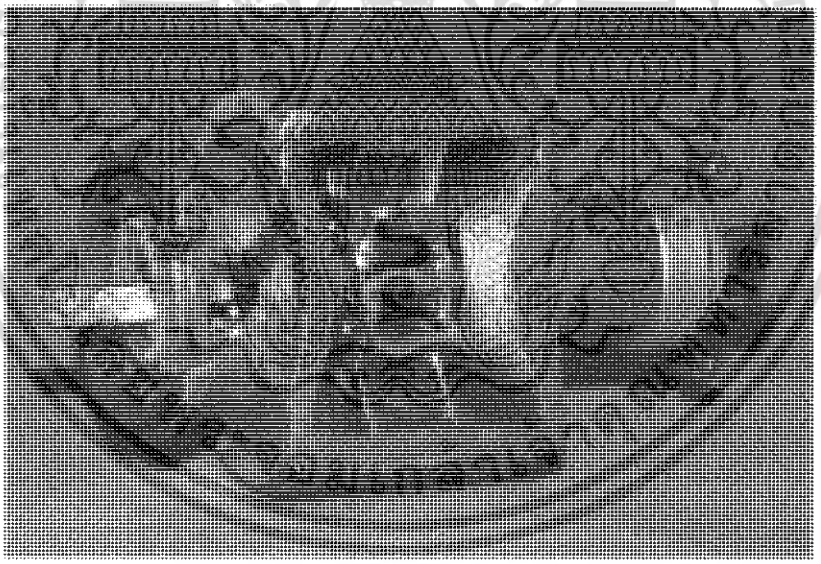
2.7.1 แม็กนีตรอน (MAGNETRON) คืออะไรผลิตคลื่นไมโครเวฟได้อย่างไร

แม็กนีตรอนเป็นตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากคุณสมบัติที่ดีหลายประการคือ มีขนาดเล็ก แต่ให้ประสิทธิภาพและกำลังงานสูงมีเสถียรภาพในการทำงานที่ความถี่ที่ต้องการดีโดยจะสร้างความถี่ที่ 2,450 ± 50 เมกะเฮิรตซ์(MHz) เมื่อโหลดมีการดึงกระแสสูงหรือดึงกระแสต่ำมากตัวแม็กนีตรอนยังคงสร้างความถี่ที่ค่อนข้างคงที่มีค่าความผิดพลาดน้อยมากเพียง ± 50เมกะเฮิรตซ์ เมื่อเทียบกับความถี่หลักที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



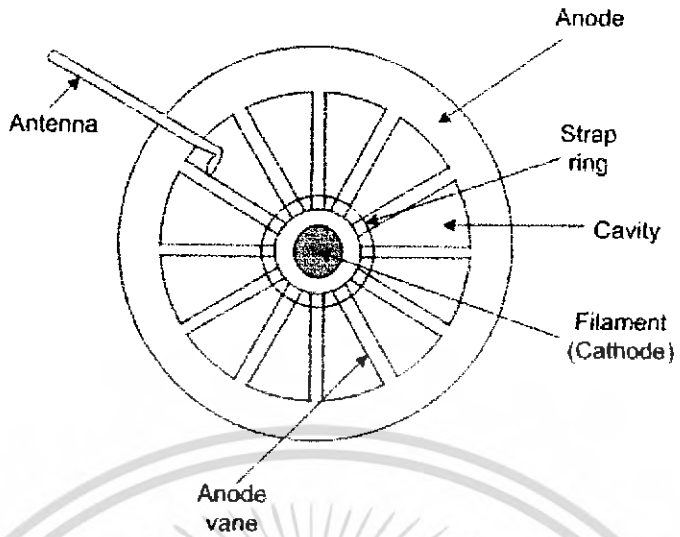
รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของหลอดแม็กนีตรอน(THE STRUCTURE OF MAGNETRON)



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะโครงสร้างภายในตัวหลอดแม็กนีตรอน

ภายในของแม็กนีตรอน มีโครงสร้างคล้ายหลอดไดโอดประกอบด้วย (FILAMENT OR HEATER) ซึ่งทำหน้าที่เป็น แคโทด (CATHODE) นอกจากนี้ยังมีแอโนด (ANODE) และส่วนแพร่กระจายของคลื่นที่เรียกว่า สายอากาศ (ANTENNA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



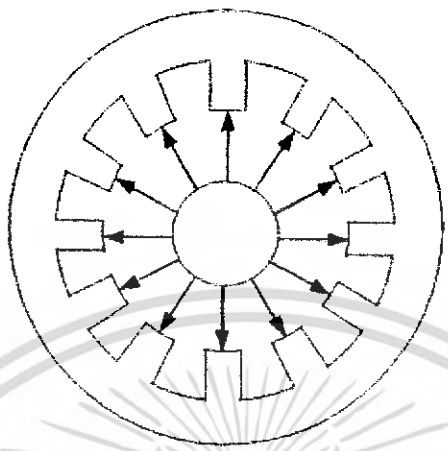
รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบโครงสร้างที่สำคัญภายในแม็กนีตรอน

2.7.2 หลักการทำงานพื้นฐานของแม็กนีตรอน(FUNDAMENTAL FUNCTION OF THE MAGNETRON)

การทำงานของแม็กนีตรอนเริ่มต้นจากไส้หลอด (FILAMENT) ซึ่งอยู่ตรงกลางของแม็กนีตรอนได้รับแรงไฟประมาณ3.3โวลท์เอซี(VAC) ทำให้ไส้หลอดหรือ แคโทด(CATHODE)ร้อนขึ้น ส่งผลให้ อิเลคตรอนอิสระหลุดออกจากแคโทด

เนื่องจากขั้วแคโทดต่อกับขั้วลบของแรงดันประมาณ 4,000 โวลท์ (V) ต่อไว้กับแอโนด (ANODE) ของแม็กนีตรอน ตัวอิเล็กตรอนเองมีประจุเป็นลบ ดังนั้นเมื่อต่อขั้วลบเข้าที่แคโทด จะเกิดการผลักขั้วเหมือนกันออกไปอิเล็กตรอนที่ถูกผลักออกมานี้จะถูกดูดเข้าไปหาขั้วบวกที่แอโนด

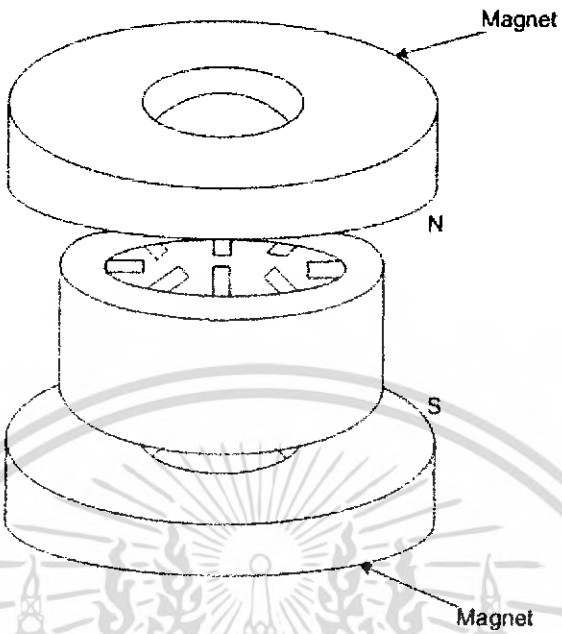
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการพุ่งออกของอิเล็กตรอน

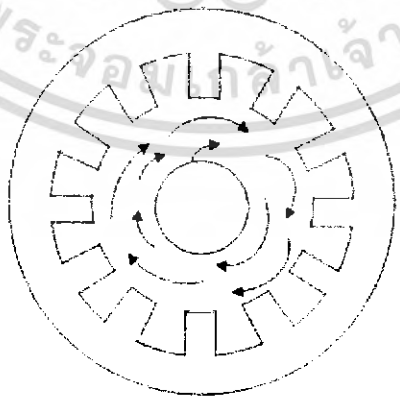
จากรูปจะแสดงอิเลคตรอนซึ่งปกติจะวิ่งออกจากแคโทดตรงไปหาแอโนดเป็นเส้นตรง แต่เมื่อมีแรงไฟตรงประมาณ 4,000 โวลท์ ที่ต่อให้เกิดความต่างศักย์ไว้ และในตัวหลอดแม็กนีตรอนยังมีสนามแม่เหล็กจากภายนอกมาเกี่ยวข้อง โดยขั้วแม่เหล็กสองตัวที่ต่อสลับขั้วกันจะก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กเบี่ยงเบน ทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดจากแคโทดแทนที่จะวิ่งเป็นเส้นตรง กลับโคนสนามแม่เหล็กทำให้เบี่ยงเบนทิศทางไปในทางขวามือ ตามกฎมือขวาของเฟลมมิ่งที่ว่า"ให้กำมือขวาแล้วยกหัวแม่มือขึ้นถ้าทิศทางของนิ้วชี้ นิ้วกลาง นิ้วนาง และนิ้วก้อย ที่ชี้ไปเป็นทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก เมื่อมีอิเล็กตรอนวิ่งผ่านจะถูกเบี่ยงเบนไปในทิศทางที่หัวแม่มือชี้ไป" ดังนั้นจึงทำให้อิเลคตรอนในหลอดแม็กนีตรอนจึงวิ่งวนไปทางขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงตำแหน่งการวางแม่เหล็กเพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก

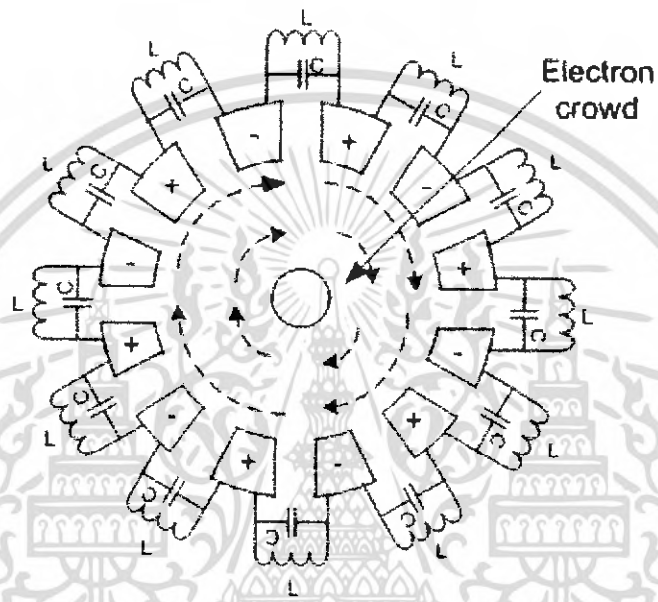
การหมุนวนเป็นวงกลมของอิเลคตรอนนี้ก่อให้เกิดกระแสสลับขึ้นในโพรงของเควิตี้ (CAVITY) ของแอโนด เมื่ออิเลคตรอนเคลื่อนตัวเข้าใกล้ส่วนใดส่วนหนึ่งระหว่าง 2 เควิตี้ อิเลคตรอนจะเหนี่ยวนำเอาประจุบวกจากแอโนดเวน(ANODE VANE) ดังรูป



รูปที่ 2.8 แสดงการหมุนวนของอิเล็กตรอนเนื่องจากสนามของแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่ออิเลคตรอนเคลื่อนที่ห่างพ้นไป ประจุบวกบนแอโนดเวนจะลดลง ในขณะเดียวกับที่อิเลคตรอนกำลังเหนี่ยวนำประจุบวกในแอโนดเวนอันถัดไป ทำให้เกิดเป็นขั้วบวกและลบสลับกันไป เกิดเป็นกระแสสลับขึ้น



รูปที่ 2.9 แสดงการเกิดการเรโซแนนซ์ภายในหลอดแม็กนีตรอน

ด้วยอิทธิพลจากความต่างศักย์สูงระหว่างขั้วแอโนดและแคโทด และสนามแม่เหล็กกำลังสูงทำให้เกิดกลุ่มก้อนอิเลคตรอนเคลื่อนที่หมุนวนรอบๆ แอโนดเวน จนไปถึงตัวเควิตี้ ส่งผลให้เกิดการกำเนิดความถี่ตามวงจรเรโซแนนท์ ซึ่งความถี่สูงที่ได้นี้มีกำลังงานสูงถูกนำส่งออกจากเควิตี้ภายในแม็กนีตรอน โดยสายอากาศ ส่งออกสู่ภายนอกแล้วส่งต่อให้เวฟไกด์(WAVE GUIDE) หรือท่อนำคลื่นออกไปใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 การควบคุมกำลังงานเอาท์พุทของหลอดแมกนีตรอน

ในหลอดแมกนีตรอนที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมักมีกำลังงานสูง อยู่ในระดับ 700-1000 วัตต์ ซึ่งสูงมากเกินความต้องการของระบบ ซึ่งต้องการประมาณ 50- 100 วัตต์ ดังนั้นจึงจำเป็นที่ต้องลดกำลังงานลงมาให้อยู่ในระดับที่ต้องการ เนื่องจากการทำงานของหลอดแมกนีตรอนต้องอาศัยแหล่งจ่ายกำลังงาน 2 ชุดคือ แหล่งจ่ายไฟต่ำที่ต้องจ่ายให้แก่คาโธด ให้ปล่อยอิเลคตรอนออกมาและแหล่งจ่ายไฟสูงเพื่อผลักดันให้อิเลคตรอนเคลื่อนที่ไปในสนามแม่เหล็กที่เกิดจากแม่เหล็กถาวรเพื่อให้เกิดการกระตุ้น คาวิตี้ที่อยู่รอบๆ คาโธด หากศักดาของแหล่งจ่ายไฟสูงนี้เปลี่ยนแปลงไปจะสามารถเปลี่ยนแปลงกำลังงานที่ออกมาจากหลอดแมคนีตรอนได้ ในที่นี้เราได้ใช้หม้อแปลงปรับค่า (Variac) ต่อก่อนเข้าแหล่งจ่ายไฟเพื่อปรับไฟแรงสูงซึ่งสามารถทำให้ลดกำลังงาน อยู่ในระดับที่ต้องการได้ ในการวัดกำลังงานที่ออกมาจากหลอดแมกนีตรอน ได้ทำการวัดกำลังงานที่น้ำซึมซับไว้โดยการวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในน้ำ ซึ่งทำให้คำนวณกำลังงานได้โดยอาศัยสมการ

$$P = M_a \times C_p \times (T-T_o)/t$$

เมื่อ P เป็นกำลังงาน (วัตต์)

Ma เป็นมวลของน้ำ (kg)

Cp เป็นความร้อนจำเพาะของน้ำมีค่า 4.184 Kj/(kg.K°)

T-To เป็นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (K°)

t เป็นเวลา (วินาที)

สำหรับการควบคุมกำลังงานเอาท์พุทของหลอดแมกนีตรอนมีหลายวิธี การให้พลังงานแรงดันสูง (high voltage) ที่เสถียร แก่หลอดแมคนีตรอน ผลที่ต้องการคือกระแสอาโนดที่คงที่อย่างแท้จริงไม่ขึ้นกับแรงดันกระเพื่อม หรือการเปลี่ยนอิมพีแดนซ์ของโหลด สำหรับหลอดแมกนีตรอนที่คงสนามแม่เหล็กไว้(เช่นแม่เหล็กถาวร)หน่วยกำลังงานจะต้องมีการควบคุมการปรับค่าเพื่อให้กระแสของอาโนดคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

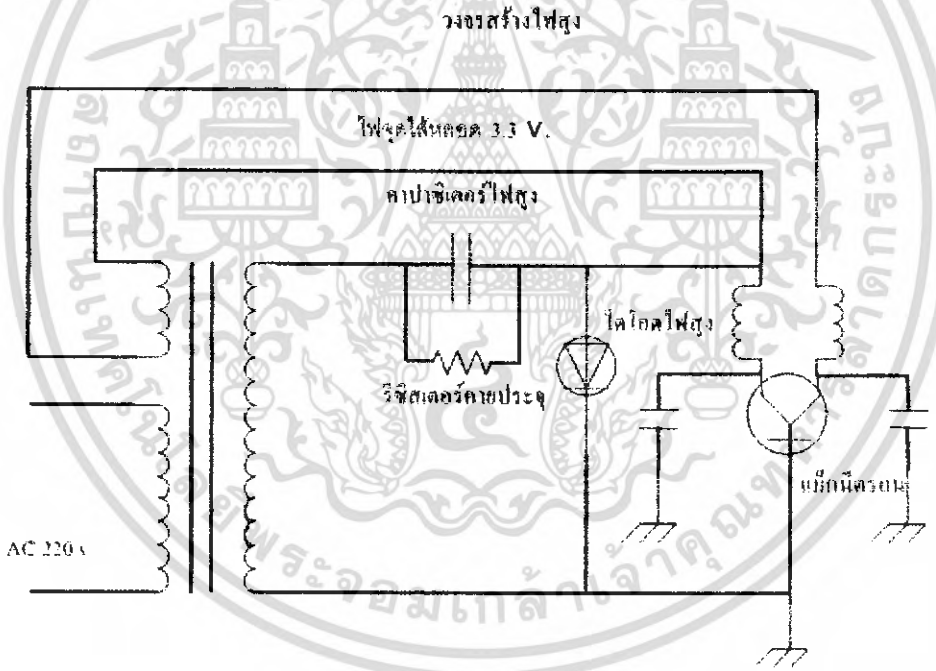
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.8 วงจรสร้างไฟฟ้าสูง (HIGH VOLTAGE CIRCUIT)

ตัวแม็กนีตรอนเปล่าๆ แม้เราจะจุดไส้หลอดให้ร้อน หากไม่มีความต่างศักย์ของแรงดันระหว่างขั้วแอโนดและแคโทดแล้ว จะไม่สามารถกำเนิดคลื่นไมโครเวฟออกมาได้เลยดังนั้นเราจะมาศึกษาถึงวิธีการสร้างไฟฟ้าแรงสูงสำหรับใช้เตาไมโครเวฟทั่วๆไป

การสร้างไฟสูงสำหรับใช้เตาไมโครเวฟส่วนมาก จะสร้างโดยใช้การทำงานของไดโอด (DIODE) และการประจุ (CHARGE) ของคอนเดนเซอร์ไฟสูง (HIGE VOLTAGE CONDENSER) ซึ่งเราเรียกวงจรนี้เป็นแบบวงจร ทวีแรงดัน 2 เท่าแบบครึ่งคลื่น (HALF CYCLEDOUBLER CIRRUIT)

สาเหตุที่เลือกใช้วงจรแบบนี้ เนื่องจากเป็นวงจรที่ประหยัด และทำงานได้ดี แทนที่จะต้องใช้หม้อแปลงไฟสูงตัวใหญ่ๆ ก็ลดขนาดลงได้ เรามาพิจารณาการทำงานของวงจรกันต่อไป



รูปที่ 2.10 แสดงวงจรไฟสูงที่จ่ายให้แม็กนีตรอน

จากรูปที่ 11 เป็นวงจรที่แรงดัน 2 เท่าแบบเครื่องคลื่นอันประกอบด้วย คอนเดนเวอร์ และไดโอด ต่อไว้กับหม้อแปลงแรงสูง (HIGE VOLTAGE TRANSFORMER) ทางด้านเซกันดารี่ หรือขดทุติยภูมิซึ่งเป็นขดไฟสูงประมาณ 2000 โวลท์ (V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
72746

ไฟ 3.3 โวลท์ (V) กระแสสลับ (AC) ได้จากขดไฟด้านเซกันดารี่อีกขดของหม้อแปลงถูกส่งไปจุดไส้หลอด (FILAMENT) ของแม็กนีตรอนโดยผ่าน โช้ค และ คอนเดนเซอร์ ซึ่งอยู่ภายในตัวแม็กนีตรอนที่ปิดสนิท เพื่อป้องกันคลื่นไมโครเวฟจากแหล่งกำเนิดการส่งวิทยุและโ ทรทัศน์เข้ามารบกวนการทำงานของแม็กนีตรอน ทำให้แม็กนีตรอนมีตัวกำเนิดความถี่ที่แน่นอนคือ 2,450 เมกะเฮิรตซ์ (MHz)

2.9 พอร์ตขนานกับการวัดอุณหภูมิผ่านระบบบัส I²C

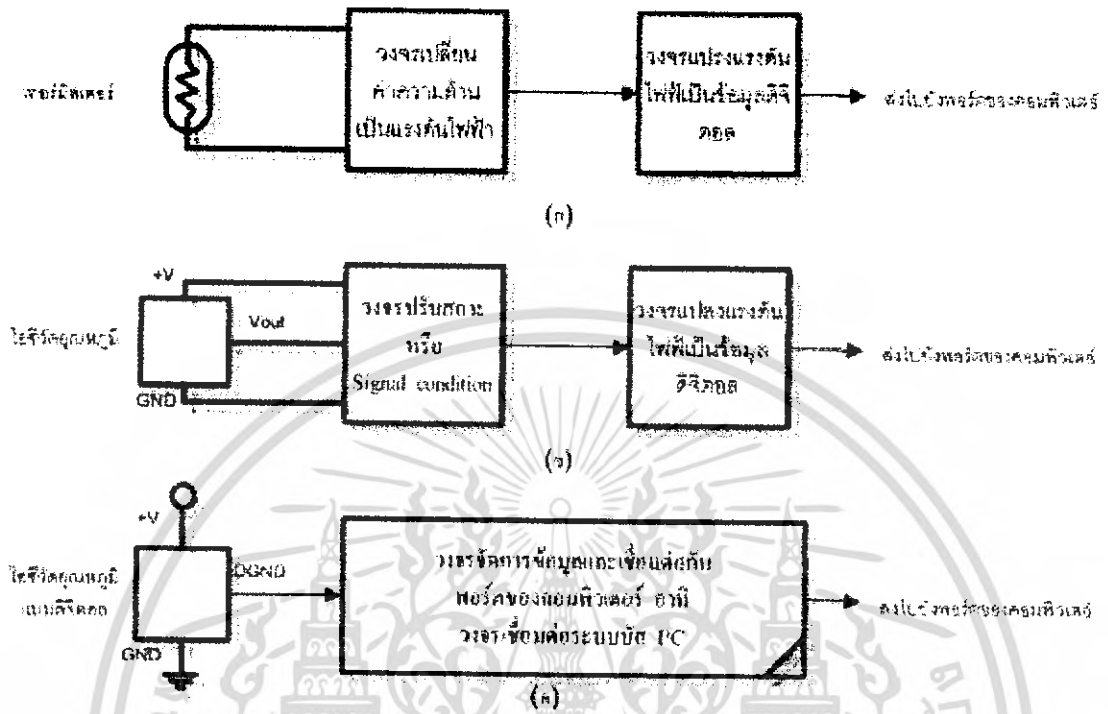
การเชื่อมต่อพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์กับสัญญาณหรือปริมาณทางฟิสิกส์เป็นสิ่งที่ได้ความสนใจอย่างมากนอกเหนือจากแรงดันไฟฟ้าปริมาณทางฟิสิกส์อีกตัวหนึ่งที่น่าสนใจคืออุณหภูมิและด้วยความก้าวหน้าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำพวกตัวตรวจจับอุณหภูมิออกมาให้ใช้งานกันหลายรูปแบบเช่น

เทอร์มีสเตอร์ (thermister) หรือตัวต้านทานแปรค่าตามอุณหภูมิ เป็นอุปกรณ์ตัวตรวจจับอุณหภูมิพื้นฐาณที่ ณ อุณหภูมิห้องจะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าของมันจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งจะมีทั้งแบบเพิ่มค่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และแบบลดค่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นในการใช้งานตัวตรวจจับแบบนี้ต้องมีการต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ช่วยเพื่อเปลี่ยนการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเป็นแรงดันไฟฟ้าแล้วส่งต่อไปยังวงจรแปลงแรงดันเป็นข้อมูลดิจิตอลเพื่อส่งข้อมูลออกสู่พอร์ตขนานต่อไปดังนั้นแสดงไดอะแกรมในการทำงานในรูป(ก)ตัวตรวจจับแบบนี้จะถูกรบกวนได้ง่าย แต่ข้อดีราคาถูกและสามารถประยุกต์ให้ใช้วัดอุณหภูมิได้ย่านกว้างมาก

เทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) เป็นตัวตรวจจับที่มีเสถียรภาพในการทำงานสูงและนิยมใช้ในงานอุตสาหกรรม มีย่านวัดอุณหภูมิที่สูงและกว้างกว่าเทอร์มีสเตอร์มาก และการนำไปใช้งานต้องระมัดระวังอย่างมากในจุดเชื่อมของตัวตรวจจับกับสายสัญญาณ ตัวตรวจจับแบบนี้ต้องการวงจรปรับสัญญาณ หรือ signal condition เพื่อขยายระดับและกำหนดอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันเป็นข้อมูลดิจิตอลเพื่อประมวลผลต่อไป

ไอซีวัดอุณหภูมิแบบให้ผลเป็นแรงดัน เป็นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นพิเศษ โดยในตัวของมันมีส่วนตรวจจับอุณหภูมิแล้วเปลี่ยนค่าอุณหภูมิ นั้นส่งเป็นแรงดันไฟฟ้าออกมา โดยปกติแรงดันค่อนข้างต่ำและมีอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันเทียบกับอุณหภูมิทั้งแบบเป็นเชิงเส้นและแบบลอการิธึม และเทียบในหน่วยมิลลิโวลต์ต่อองศาเซลเซียส (mV/°C) หรือ มิลลิโวลต์ต่อเคลวิน (mV/K) ตัวตรวจจับแบบนี้มีเสถียรภาพการทำงานที่ดีกว่าเทอร์มิสเตอร์ แต่ราค่าแพงกว่ามากและยังคงต้องใช้วงจรขยายแรงดันและเปลี่ยนแรงดันเป็นข้อมูลดิจิตอลเพื่อส่งข้อมูลสู่พอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์เหมือนกันในรูป(ข)แสดงการทำงานของตัวตรวจจับแบบนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การทำงานเบื้องต้นของตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบต่างๆ เพื่อส่งค่ามายังพอร์ตขนาน

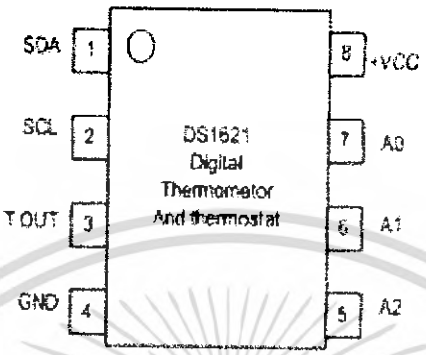
(ก) เทอร์มิสเตอร์

(ข) ไอซีวัดอุณหภูมิแบบให้ผลเป็นแรงดัน

(ค) ไอซีวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล

ไอซีวัดอุณหภูมิแบบให้ผลเป็นข้อมูล หรือเรียกว่า ไอซีวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลเป็นตัวตรวจจับที่ฉลาดมากขึ้น โดยตัวตรวจจับแบบนี้จะให้ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ออกมาเป็นข้อมูลดิจิตอลทันทีไม่ต้องใช้อุปกรณ์หรือวงจรต่อพ่วงภายนอก เพียงแต่การติดต่อกับตัวตรวจจับแบบนี้จะต้องใช้การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมเข้าช่วย ทำให้ใช้อุปกรณ์จำพวกไมโครคอนโทรลเลอร์หรือคอมพิวเตอร์มาติดต่อเพื่ออ่านข้อมูลจากตัวตรวจจับดันนั้นต้องการวัดอุณหภูมิแล้วส่งข้อมูลออกมายังคอมพิวเตอร์ ตัวตรวจจับแบบนี้เหมาะสมที่สุด หากแต่ตัวตรวจจับแบบนี้มีราคาค่อนข่างสูงและไม่สามารถปรับแต่งชดเชยได้ในรูป(ค)แสดงการทำงานของตัวตรวจจับแบบนี้ไอซีที่เลือกใช้คือเบอร์DS1621 ซึ่งใช้การติดต่อผ่านระบบบัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ขาที่	ชื่อขา	หน้าที่การทำงาน
1	SDA	ขาข้อมูลอนุกรมสำหรับเชื่อมต่อระบบบัส
2	SCL	ขาสัญญาณนาฬิกาสำหรับเชื่อมต่อระบบบัส
3	T OUT	แอกตีฟ เมื่ออุณหภูมิสูงถึงจุดกระตุ้น รีเซต เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง
4	GND	ขาต่อกราวด์
5 - 7	A2-A0	ขากำหนดแอดเดรสของ DS1621
8	VCC	ขาต่อไฟเลี้ยง

รูปที่ 2.12 การจัดขาและการทำงานของ DS1621ไอซีวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล

2.9.1 DS1621ไอซีวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล

ผู้ผลิตคือ Dallas Semiconductoc เป็นไอซีวัดอุณหภูมิที่ใช้การติดต่อผ่านระบบบัส I²C ในรูปแสดงการจัดขาและหน้าที่ของแต่ละขาของไอซี DS1621 สำหรับคุณสมบัติที่สำคัญของ DS1621 มีดังนี้

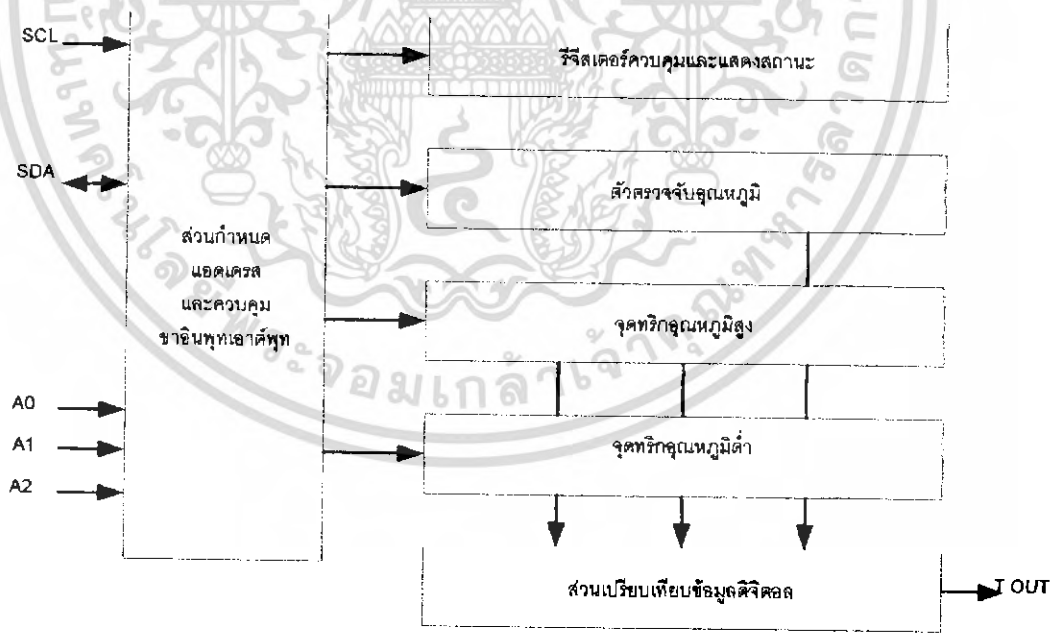
- สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -55°C ถึง +125 °C โดยมีความระเอียดในการวัด 0.5°C เทียบเป็นหน่วยของฟาเรนไฮต์ได้เท่ากัน -67°F ถึง +257°F ความละเอียด 0.9°F โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ต่อร่วมภายนอก
- ความละเอียดของข้อมูลอุณหภูมิดิจิตอล 9 บิต
- ใช่ไฟเลี้ยงได้ตั้งแต่ 2.7 - 5.5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้เวลาในการวัดแล้วเปลี่ยนอุณหภูมิแล้วเปลี่ยนแปลงเป็นข้อมูลดิจิตอล 1 วินาที
- สามารถทำงานเป็นเทอร์โมสตัด(thermostat)ได้พร้อมขาเอาต์พุต 1 ขา
- สามารถตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการเมื่อทำงานเป็นเทอร์โมสตัดได้ โดยติดต่อผ่านระบบบัส I^2C และค่าที่กำหนดนี้จะคงอยู่ตลอดไป แม้ปลดไฟเลี้ยงแล้วก็ตาม สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการกำหนดซอฟต์แวร์เท่านั้น
- สามารถต่อพ่วงกันได้สูงสุด 8 ตัว

2.9.2 การทำงานของ DS1621

ในรูปแสดงผังการทำงานของ DS1621 หัวใจสำคัญอยู่ที่ส่วนวัดอุณหภูมิ เมื่อ DS1621 เริ่มการทำงาน จะทำการวัดอุณหภูมิ โดยภายในไอซีจะมีตัวตรวจจับอุณหภูมิบรรจุอยู่ผลการวัดจะส่งต่อไปยังส่วนจัดการแอดเดรสและควบคุมอินพุทเอาร์พุท ในส่วนนี้นำข้อมูลอุณหภูมิที่วัดได้ส่งต่อไปยังบัสผ่านทางขา SDA โดยได้รับการกำหนดจังหวะการทำงานจากส่วนรีจิสเตอร์ควบคุมและแสดงสถานะหากมีการกำหนดให้ทำงานในโหมดเทอร์โมสตัด ข้อมูลการวัดถูกส่งไปเปรียบเทียบกับจุดกระตุ้นทางสูงและต่ำที่ส่วนเปรียบเทียบข้อมูลดิจิตอล ผลการเปรียบเทียบจะส่งออกทางขาTout



รูปที่2.13ผังการทำงานเบื้องต้นโดยรวมของ DS1621ไอซีวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก DS1621 มีขากำหนดแอดเดรส 3 ขา คือ A2 - A0 จึงทำให้สามารถต่อพ่วง DS1621 ได้สูงสุด 8 ตัว โดยแต่ละตัวต้องกำหนดสถานนะลอจิกที่ขาแอดเดรสทั้งสามให้แตกต่างกันส่วนจัดการแอดเดรสและควบคุมอินพุทเอาต์พุต DS1621 แต่ละตัวเป็นตัวจัดการว่างข้อมูลตามที่อุปกรณ์มาสเตอร์ร้องขอ

อุณหภูมิ	ข้อมูลดิจิตอลเอาต์พุท	ข้อมูลดิจิตอลเอาต์พุท
+125°C	01111101 00000000	7B00H
+25°C	00011001 00000000	1900H
+0.5°C	00000000 10000000	0080H
+0°C	00000000 00000000	0000H
-0.5°C	11111111 10000000	FF80H
-25°C	11100111 00000000	E700H
-55°C	11001001 00000000	C900H

ตารางที่ 2.1 แสดงรูปแบบข้อมูลดิจิตอลตัวอย่างของอุณหภูมิที่วัดได้จาก DS1621 จะเห็นได้ว่าข้อมูลอยู่ ที่ 8 บิตบนส่วน 8 บิตล่างแสดงค่าความละเอียด

ค่าของอุณหภูมิที่วัดได้ถูกเก็บอยู่รูปของข้อมูลเลขฐานสองขนาด 9 บิต ดังแสดงตัวอย่างในตารางข้อมูลดิจิตอลเอาต์พุต จะส่งออกเป็นสองส่วน 8 บิตบนหรือไบต์สูงจะเป็นค่าอุณหภูมิจำนวนเต็ม โดยบิต MSB จะเป็นตัวแสดงเครื่องหมายว่า อุณหภูมิเป็นบวกหรือเป็นลบหากบิต MSB เป็น "1" แสดงว่าอุณหภูมิที่วัดได้มีค่าเป็นลบ ในขณะที่ 8 บิตล่างหรือไบต์ล่างจะมีใช้งานเพียงบิตเดียวจะเป็นบิตแสดงค่าความละเอียดซึ่งเท่ากับ 0.5°C

เมื่อสั่งให้ DS1621 ส่งข้อมูลอุณหภูมิออกมา DS1621 จะใช้เวลาไม่เกิน 1 วินาทีจึงจะส่งข้อมูลออกมา ดังนั้นในการควบคุมการทำงาน จึงต้องมีการหน่วงเวลา เพื่อรอให้ DS1621 วัดและแปลงค่าออกมาเป็นข้อมูลให้เรียบร้อยเสียก่อน

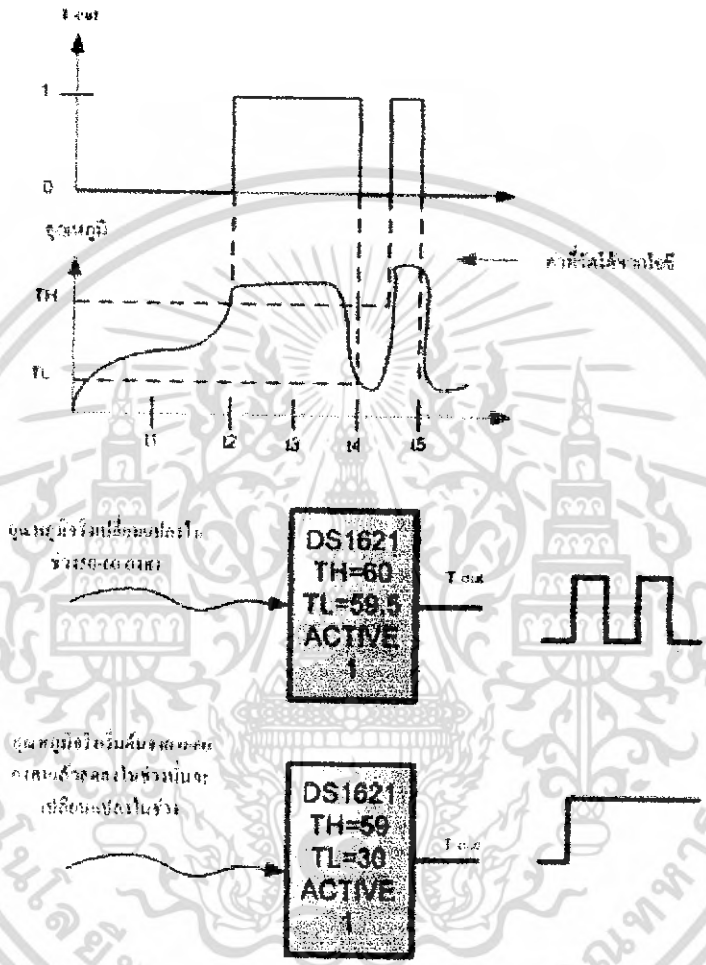
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3 การทำงานในโหมดเทอร์โมสตัด

นอกจากวัดอุณหภูมิแล้ว ยังสามารถทำงานในแบบเทอร์โมสตัดให้ได้เอาต์พุตเมื่ออุณหภูมิต่ำหรือสูงถึงจุดที่กำหนดไว้โดยผู้ใช้งานสามารถโปรมแกรมได้ตามต้องการและค่าที่โปรแกรมนี้จะอยู่ตลอดไปจนกว่าจะมีการแก้ไขแม้ว่าจะตัดไปเลี้ยงแล้วก็ตามผู้ใช้งานต้องกำหนดค่าของจุดทริกอุณหภูมิสูง (TH) และจุดทริกอุณหภูมิต่ำ (TL) และเลือกสัญญาณแอกทีฟเมื่ออุณหภูมิสูงมาถึงจุดที่กำหนดจะให้ขาที่เอาต์พุต ส่งสัญญาณที่ลอจิกแบบใดออกไปสามารถเลือกได้ 2 แบบคือ "0" หรือ" 1 "

เมื่อกำหนดเรียบร้อยแล้ว DS1621 จะวัดอุณหภูมิไปเรื่อยๆ จนกระทั้งเมื่ออุณหภูมิสูงจนถึงจุด TH ขา Tout ก็จะแอกทีฟทันที่ และแอกทีฟเช่นนั้นจนกระทั้งอุณหภูมิที่วัดได้ลดต่ำลงกว่าจุด TLดังนั้นการกำหนดค่าของ TH และTLจึงสำคัญมาก หากกำหนดไว้แคบหรือมีความแตกต่างกันน้อยเกินไป และอุณหภูมิที่วัดจริงนั้นมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบๆ หรือจริงๆแล้วค่อนข้างคงที่จะทำให้เอาต์พุตที่ขาToutเกิดสัญญาณลอจิกที่ไม่คงที่ จนคล้ายกับเป็นสัญญาณรบกวนส่งผลให้การนำสัญญาณไปใช้งานทำได้ไม่ดี แต่ถ้าหากกำหนดไว้ห่างหรือมีการแตกต่างมากเกินไปอาจทำให้มองได้ว่าวงจรเทอร์โมสตัดนี้มีความไวในการทำงานต่ำ เพราะกว่าจะตัดเอาต์พุตต้องรอให้อุณหภูมิลดค่าลงกว่าจุด TH มาก ๆ ซึ่งอาจส่งผลเสียหากการลดลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริงลงไม่ถึงจุด TL แต่อุปกรณ์ ที่ต้องการนำสัญญาณนี้ไปใช้มีความสามารถในการทนอุณหภูมิในช่วงระหว่าง TH และ TL ได้ไม่นานก็จะส่งผลให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์นั้นๆ ได้ ในรูปที่แสดงรูปการทำงานของ DS1621 ในโหมดเทอร์โมสตัดนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การทำงานในโหมดเทอร์โมสตัดของไอซี DS1621

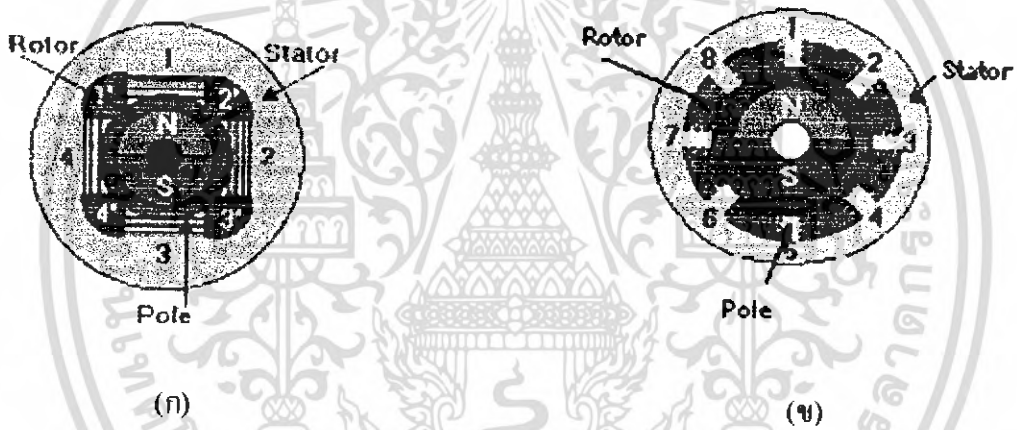
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 สเต็ปมอเตอร์ (Stepping Motor)

Stepping Moter เป็นมอเตอร์ที่มีลักษณะเมื่อป้อนไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ทำให้หมุนเพียงเล็กน้อยตามเส้นรอบวงและหยุด ซึ่งต่าง จากมอเตอร์ ทั่วไปที่จะหมุนทันทีและตลอดเวลาเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้า ข้อดีของสเต็ปมอเตอร์ สามารถกำหนด ตำแหน่งของการหมุนด้วยตัวเลข (องศาหรือระยะทาง) ได้อย่างละเอียดโดย ใช้คอมพิวเตอร์หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็น เครื่องกำหนดและจัดเก็บตัวเลข

โครงสร้างของขั้วแม่เหล็ก

ทำมาจากแผ่นเหล็กวงแหวน ที่มีขั้วยื่นออกมาประกอบกันเป็นชั้นๆ โดยที่แต่ละขั้วนั้น จะมีคอยล์ (ขดลวด) พันสวมอยู่ เมื่อมีการป้อนกระแสผ่านคอยล์ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic)



(ก) (ข)

รูปที่ 2.15 โครงสร้างภายในสเต็ปมอเตอร์

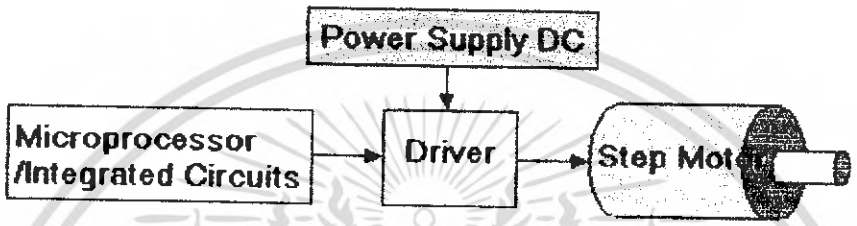
(ก) สเต็ปมอเตอร์ 4 โพล

(ข) สเต็ปมอเตอร์ 8 โพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1 การใช้งานสเต็ปมอเตอร์

ใช้งานลักษณะ Open Loop System แปลเป็นภาษาไทย ระบบเปิด คือ สเต็ปมอเตอร์สามารถทำงาน ได้โดยไม่ต้องมีการป้อนค่าพารามิเตอร์กลับมา (Feed back) แต่ทุกวิธีที่ต้องการกำหนดตำแหน่งที่แน่นอนนั้น จะต้องการป้อนกลับไปยังระบบและตัวบอกตำแหน่งว่าถูกต้อง หรือผิดพลาด



รูปที่ 2.16 การควบคุมระบบสเต็ปมอเตอร์

สเต็ปมอเตอร์เป็นอุปกรณ์จำพวกเชิงกลทางไฟฟ้า โดยมีกรุ๊ปของไบนารี่โวลท์เตทเป็นอินพุตและการเคลื่อนที่ แบบเชิงมุมเป็นเอาท์พุต หรือว่าหมุนทีละสเต็ปซึ่งอยู่ระหว่าง 0.1 - 30 องศา อยู่ที่โครงสร้างของ สเต็ปมอเตอร์ โดยตามสัญญาณพัลซ์ที่จ่ายให้กับขดสเตเตอร์ทำให้เกิดแรงผลักแก่โรเตอร์หมุนไป สเต็ปมอเตอร์มีขดลวดหลายชุดในที่นี้เราเรียกว่า เฟส (Phase) ดังนั้นสัญญาณที่ต่อเนื่องเป็น Sequence (ซีเควนซ์) ลักษณะของไบนารี่ (Binary) ซึ่งจะต้องไปผ่านวงจร วงจรชุดขับ (Driver) ก็จะทำให้โรเตอร์ หมุนไปอย่างต่อเนื่อง

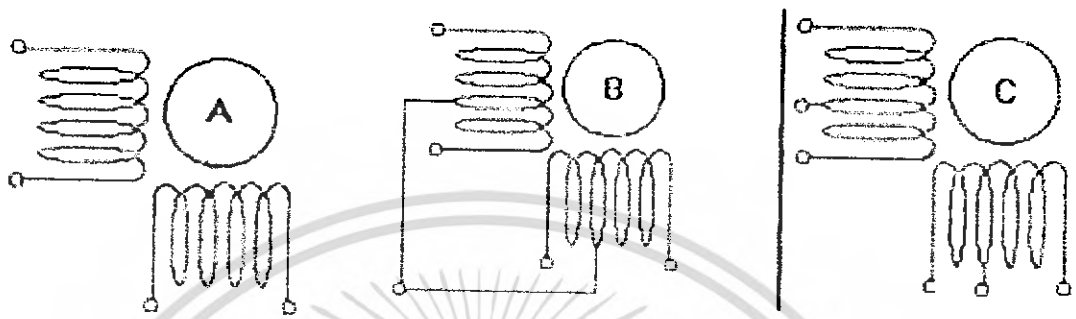
ขดลวดของสเต็ปมอเตอร์

แบบไบโพล่าร์ (Bipolar) จะมีการพันขดลวดหนึ่งขด จะกี่รอบก็แล้วแต่ สเป็กใช้งาน ในแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ โดยขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้น ที่สเตเตอร์จะถูกกำหนดโดยทิศทางของการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้ามได้โดยการกลับทิศทางของการไหลในกระแสไฟฟ้า ซึ่งมาจากการควบคุมของวงจรสวิทชิ่งให้กลับขั้วไฟฟ้า

แบบยูนิโพล่าร์ (Unipolar) จะมีการพันขดลวด 2 ขด บนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ทำให้แต่ละขดลวดเกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้าม การกลับทิศทางขั้วแม่เหล็กทำได้โดยใช้วงจรสวิทชิ่งให้สลับหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่งแทนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพันขดลวดทั้ง 2 แบบ ต่างกันคือ แบบยูนิโพล่าร์ (Unipolar) จะทำให้เกิดแรงบิดน้อยกว่า แบบไบโพล่าร์ (Bipolar) เมื่อต้องการใช้งาน สามารถสังเกตได้จากสายไฟที่ต่อมาจากตัวสเต็ปมอเตอร์ ซึ่งแบบไบโพลาร์จะมี 4 สาย ส่วนเป็นแบบยูนิโพล่าร์ (Unipolar) จะมี 5 สายหรือ 6 สาย



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 2.17 การพันขดลวดบนสเตเตอร์ของสเต็ปมอเตอร์

(ก) สเต็ปมอเตอร์แบบไบโพลาร์

(ข) สเต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์ 5 สาย

(ค) สเต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์ 6 สาย

2.10.2 การควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์

การควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ไปทีละสเต็ปสามารถทำได้โดยการจ่ายกำลังไฟไปยังขดลวดในแต่ละขดบนสเตเตอร์ โดยการป้อนจะทำในลักษณะเป็นลำดับหรือเรียกว่า ซีเควนเวียลในลูปที่ถูกต้อง ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ คือแบบเวฟ (wave) แบบ 2 เฟส (2 phase) และแบบครึ่งสเต็ป (half step) ทั้ง 3 แบบนี้ก็จะมีข้อดีและข้อเสียต่างกันออกไป

แบบเวฟ (wave) จะเป็นการกระตุ้นแบบที่ง่ายที่สุด ซึ่งจะทำการกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งๆเรียงกันไป เช่น ขดที่ 1, 2, 3, 4, 1, 2, 3, 4 เป็นลำดับอย่างนี้ หรือ ขด 1, 4, 3, 2, 1, 4, 3, 2 เป็นลำดับกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางที่เราต้องให้มอเตอร์หมุนไป วงจรที่นำมากระตุ้นนั้นจะมีราคาค่อนข้างจะถูกกว่าและง่ายกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนการหมุนของสเต็ปมอเตอร์แบบเวฟ (wave)

Step No.	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
1	ON			
2		ON		
3			ON	
4				ON
5	ON			
6		ON		

แบบ 2 เฟส (2 Phase) จะคล้ายกับการกระตุ้นในแบบเวฟ ต่างกันตรงที่ แบบ 2 เฟส จะกระตุ้นทีละ2ขด ที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน และจะเรียงลำดับกันไป ดังเช่นแบบเดียวกับแบบเวฟ ตัวอย่างการกระตุ้นขดลวดในลักษณะ ซีเควนเช่น 12, 23, 34, 41, 12, 23, 34, 41 เรียงลำดับกันไปเรื่อยๆ หรือ 14, 43, 32, 21, 14, 43, 32, 21 เรียงกันไปเรื่อยๆ

ข้อดีและข้อเสียของการกระตุ้นแบบ 2 เฟส (2 Phase)

ข้อดี การที่เราจะเพิ่มจำนวนขดลวดที่ถูกกระตุ้นจะทำให้แรงบิดได้มากกว่า แบบเวฟ ซึ่งโรเตอร์จะหมุนด้วยแรง ดึงแบบเต็มๆแรงจาก ทั้ง 2 ขดลวดที่กระตุ้นพร้อมกัน

ข้อเสีย แบบ 2 เฟส จะกระตุ้นขดลวดนั้นต้องใช้กำลังไฟมากขึ้นเป็น 2 เท่าของแบบเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ขั้นตอนการหมุนของสเต็ปมอเตอร์แบบ 2 เฟส (2 Phase)

Step No.	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
1	ON	ON		
2		ON	ON	
3			ON	ON
4	ON			ON
5	ON	ON		
6		ON	ON	

แบบครึ่งสเต็ป (half step) เป็นรูปแบบผสมผสานของการกระตุ้นระหว่าง แบบเวฟ (wave) กับ แบบ 2 เฟส (2 Phase) เพื่อให้จำนวนรอบของสเต็ปให้มากขึ้นเป็น 2 เท่า ซึ่งในระบบนี้จะทำการกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเรื่อยๆเป็นลำดับ ตัวอย่างเช่น 1, 12, 2, 23, 3, 34, 4, 41, 1, 12, 2, 23, 3, 34, 4, 41, 1 เป็นลำดับอยู่อย่างนี้เรื่อยไปถ้าจะกลับทิศทางการหมุนจะได้เป็นดังนี้ 1, 41, 4, 43, 3, 32, 2, 21, 1, 41, 4, 43, 3, 32, 2, 21, 1 เป็นลำดับกันไป

ข้อดีและข้อเสียของการกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ป (half step)

ข้อดี การกระตุ้นแบบนี้จะให้แรงบิดที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากช่วงสเต็ปที่มีระยะสั้นลง อีกประการหนึ่ง แต่ละสเต็ป เกิดแรงดึงจากขดลวด2ขด ที่ถูกกระตุ้นพร้อมกันเป็นผลให้ค่าตำแหน่งความถูกต้องมากขึ้นไปด้วย

ข้อเสีย ต้องจ่ายกำลังไฟเป็น 2 เท่าของแบบเวฟหรือจะใช้เท่ากับแบบ 2 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

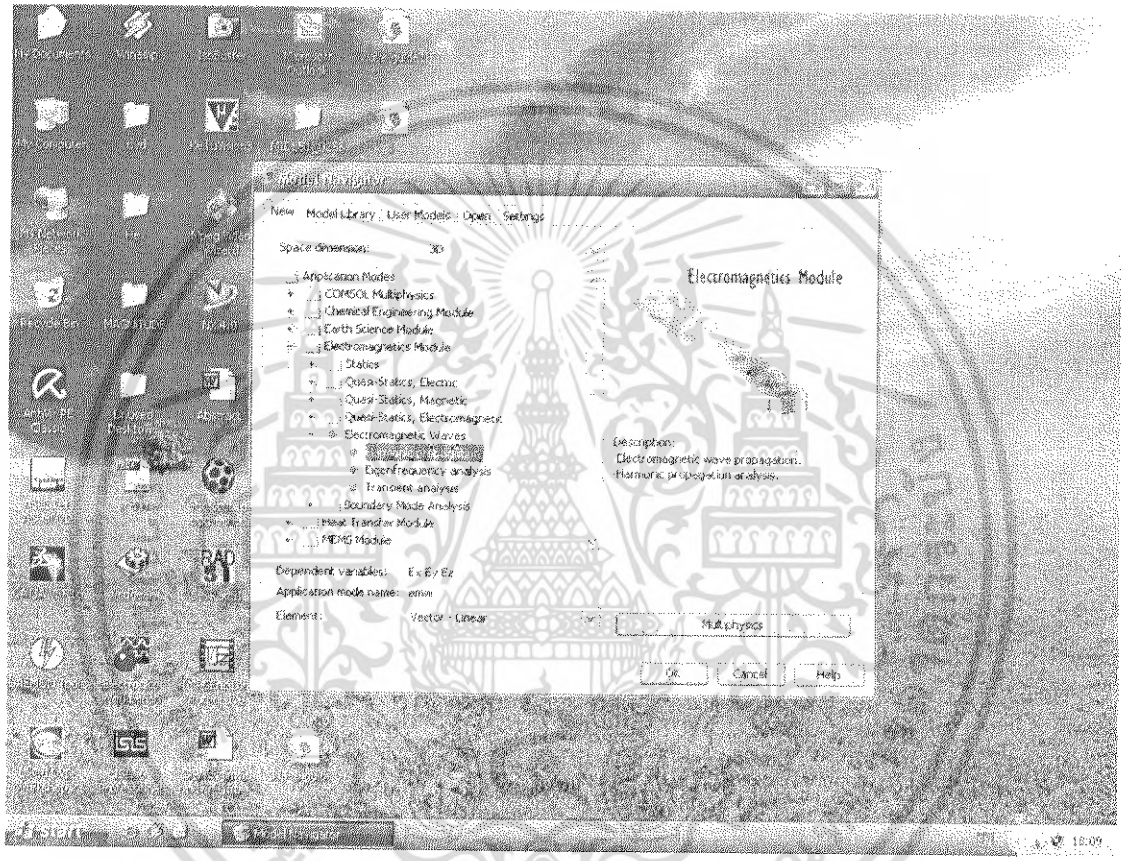
ตารางที่ 2.4 ขั้นตอนการหมุนของสเต็ปมอเตอร์แบบครึ่งสเต็ป (half step)

Step No.	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
1	ON			
2	ON	ON		
3		ON		
4		ON	ON	
5			ON	
6			ON	ON
7				ON
8	ON			ON
9	ON			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3

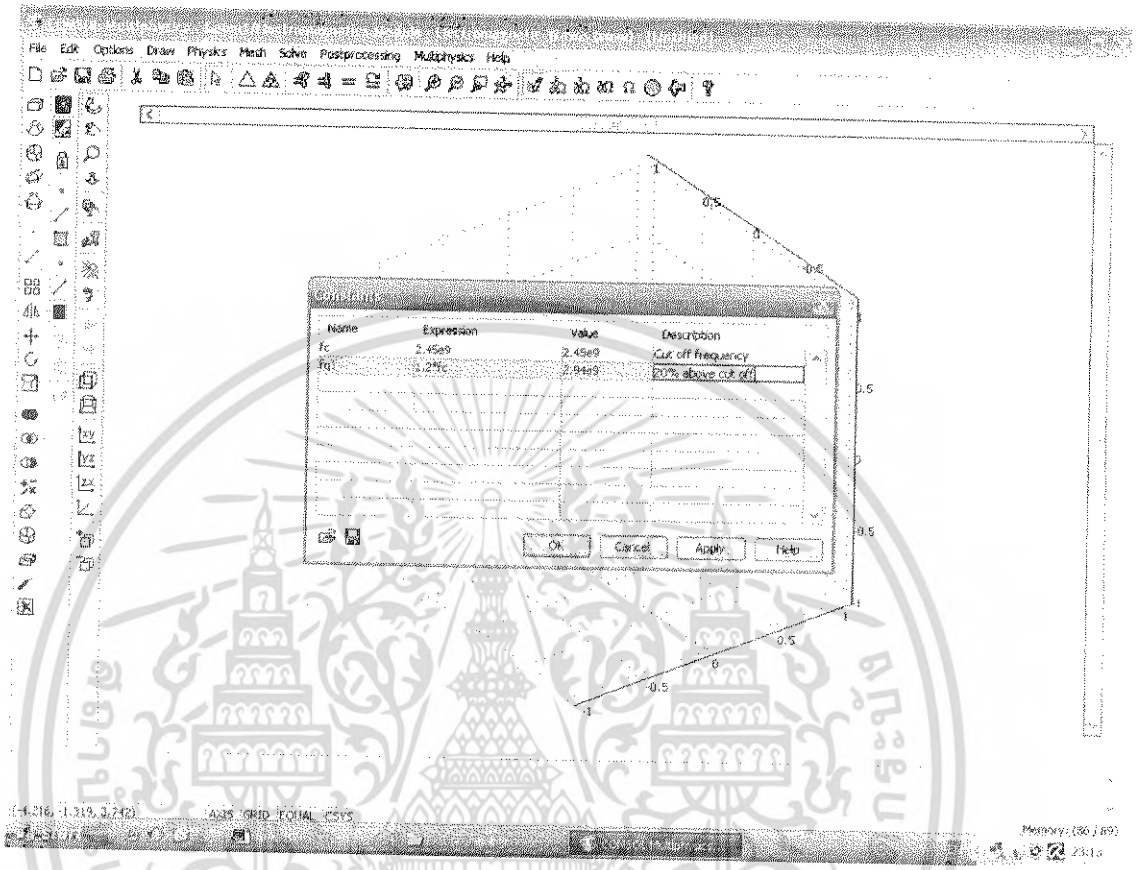
การออกแบบเวฟไกด์ สำหรับคัปปลิ้งคลื่นสู่สายโคแอคเชี่ยล โดยใช้โปรแกรม COMSOL Multiphysics



รูปที่ 3.1 แสดงการเลือกใช้งานโปรแกรม

1. ขั้นแรก เลือกชนิดของข้อมูลงานที่เราต้องการจะใช้ในการทดสอบเวฟไกด์ ในที่นี้เราจะใช้ Electromagnetics Module>Electromagnetic Wave>Harmonic propagation

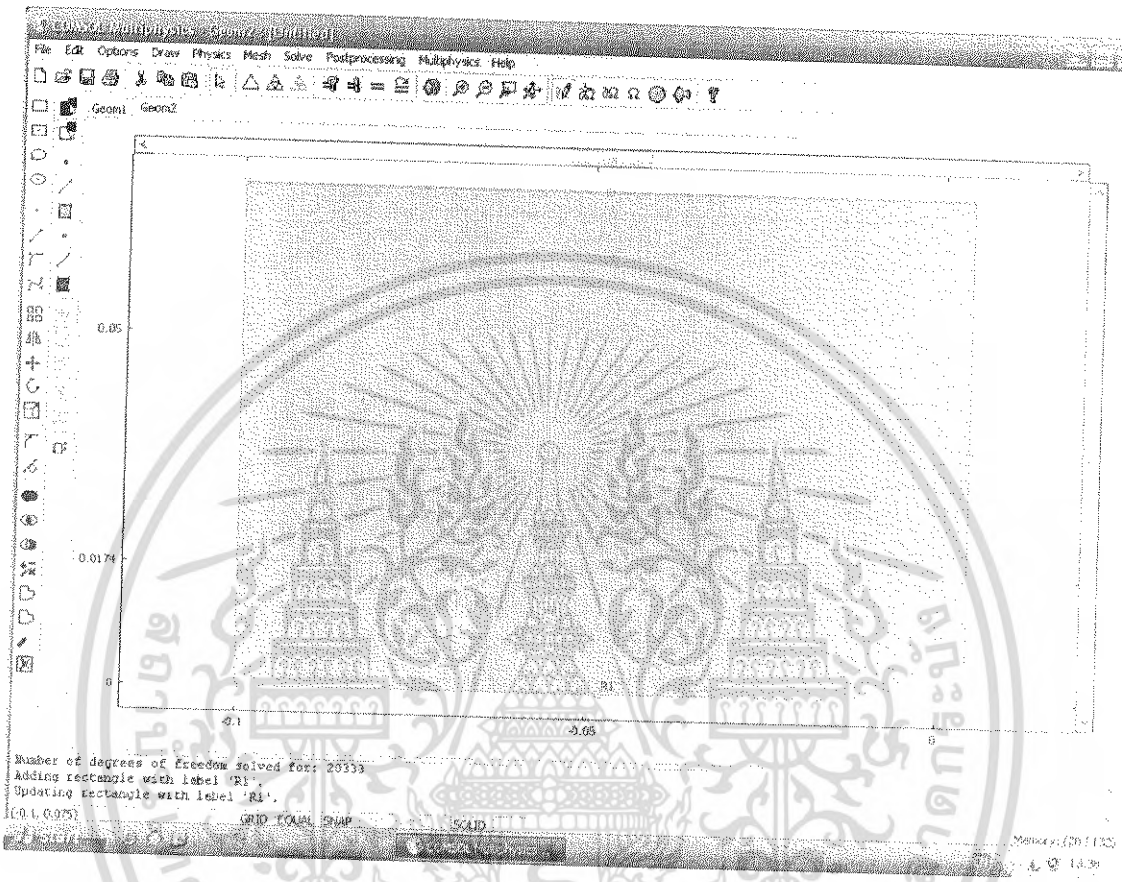
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงการตั้งค่าความถี่ที่ใช้งาน

2. ทำการกำหนดย่านความถี่ที่เราต้องการในการใช้งานกับเวฟไกด์ ซึ่งในที่นี้เราได้กำหนดค่าความถี่ที่ 2.45 GHz

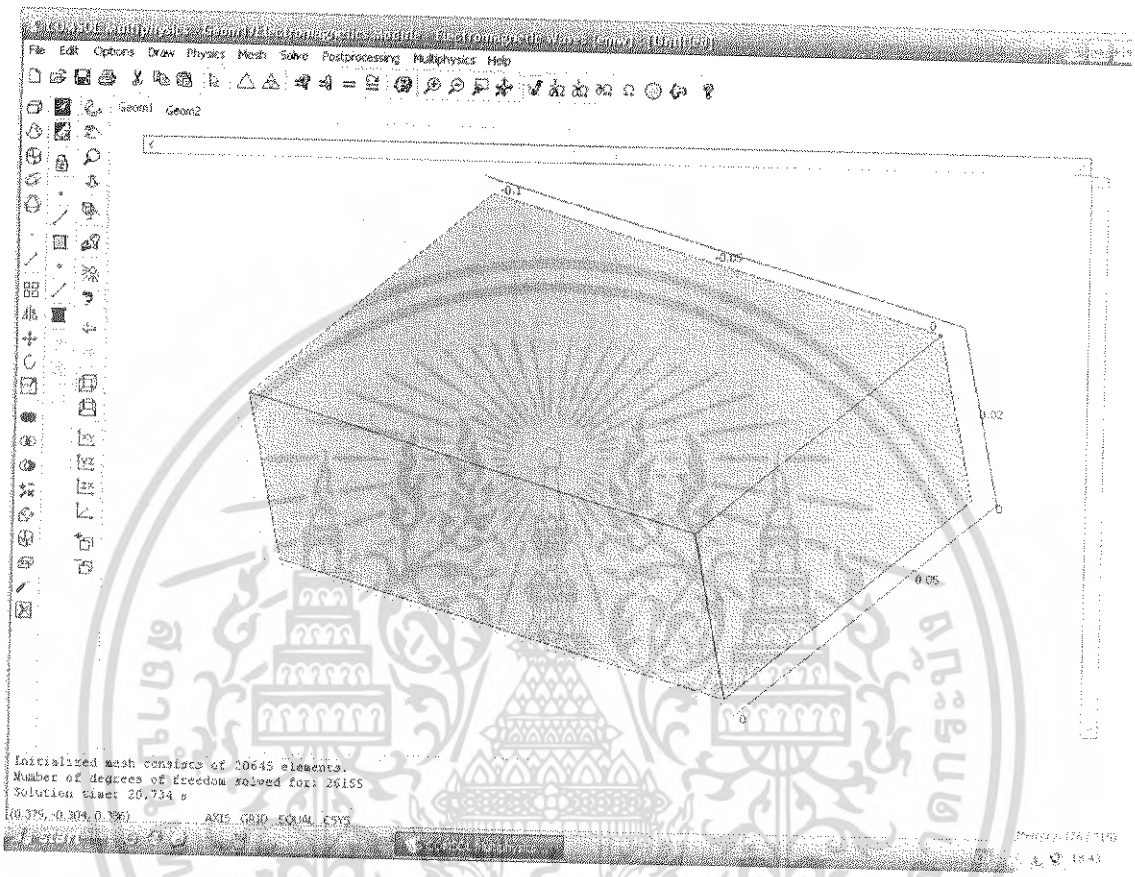
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะท่อนำคลื่นในแบบ 2 มิติ

3. วาดรูปร่างเวฟไกด์แบบทรงสี่เหลี่ยมในแบบ 2 มิติก่อนดังรูป

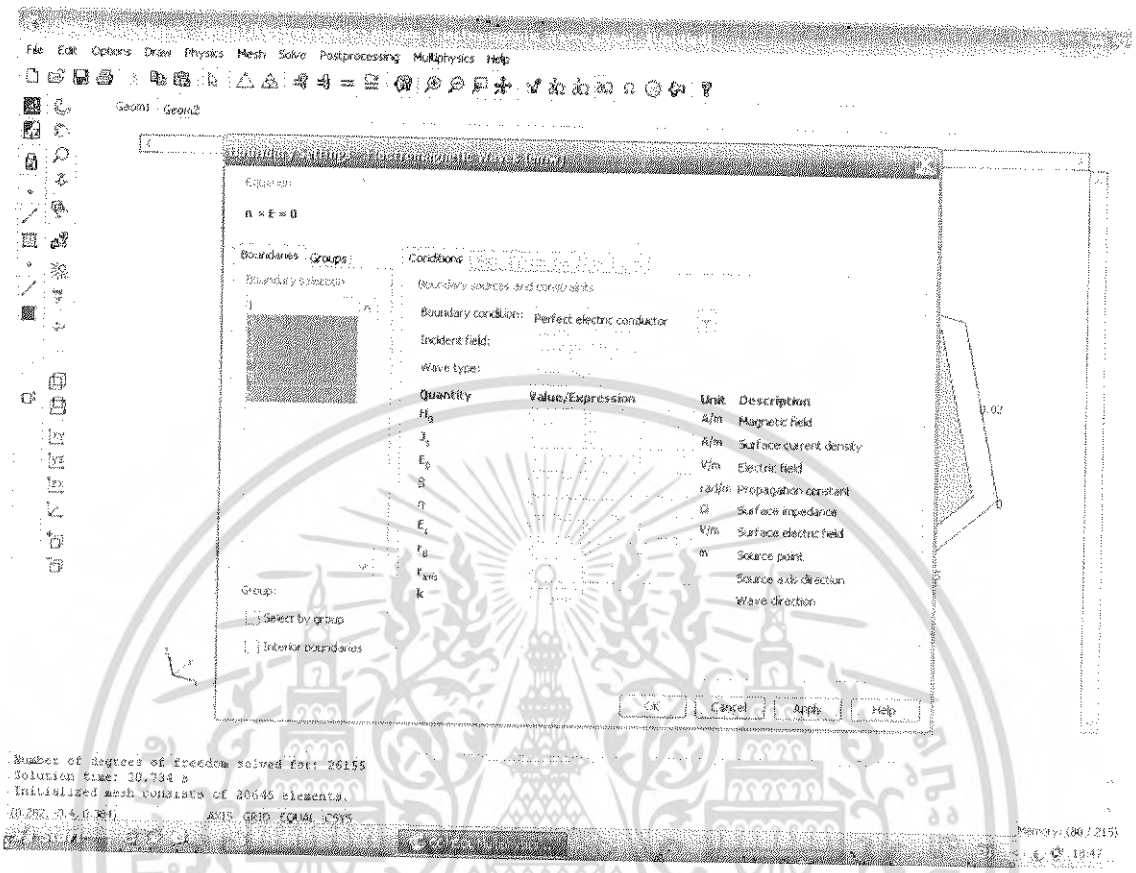
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะท่อนำคลื่นในแบบ 3 มิติ

4. เมื่อเราวาดแบบใน 2 มิติแล้วก็ทำการใส่ค่าความหนาให้กับชิ้นงานเพื่อทำเป็นแบบ 3 มิติ

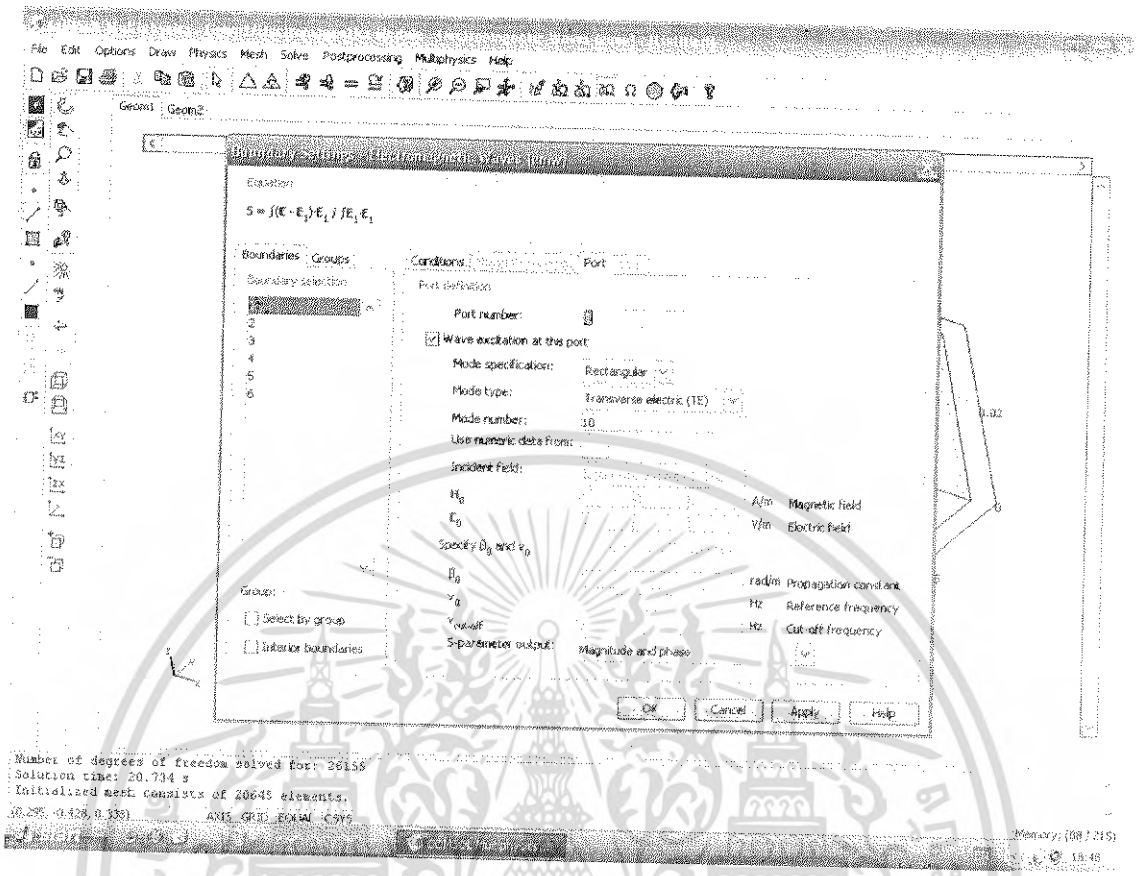
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงการกำหนดคุณสมบัติให้ท่อนำคลื่น

5. ทำการกำหนดค่าคุณสมบัติของชิ้นงาน ในที่นี้เราได้กำหนดให้เป็น ตัวนำไฟฟ้าที่ดีที่สุด ยกเว้นปากทางเข้าของคลื่น

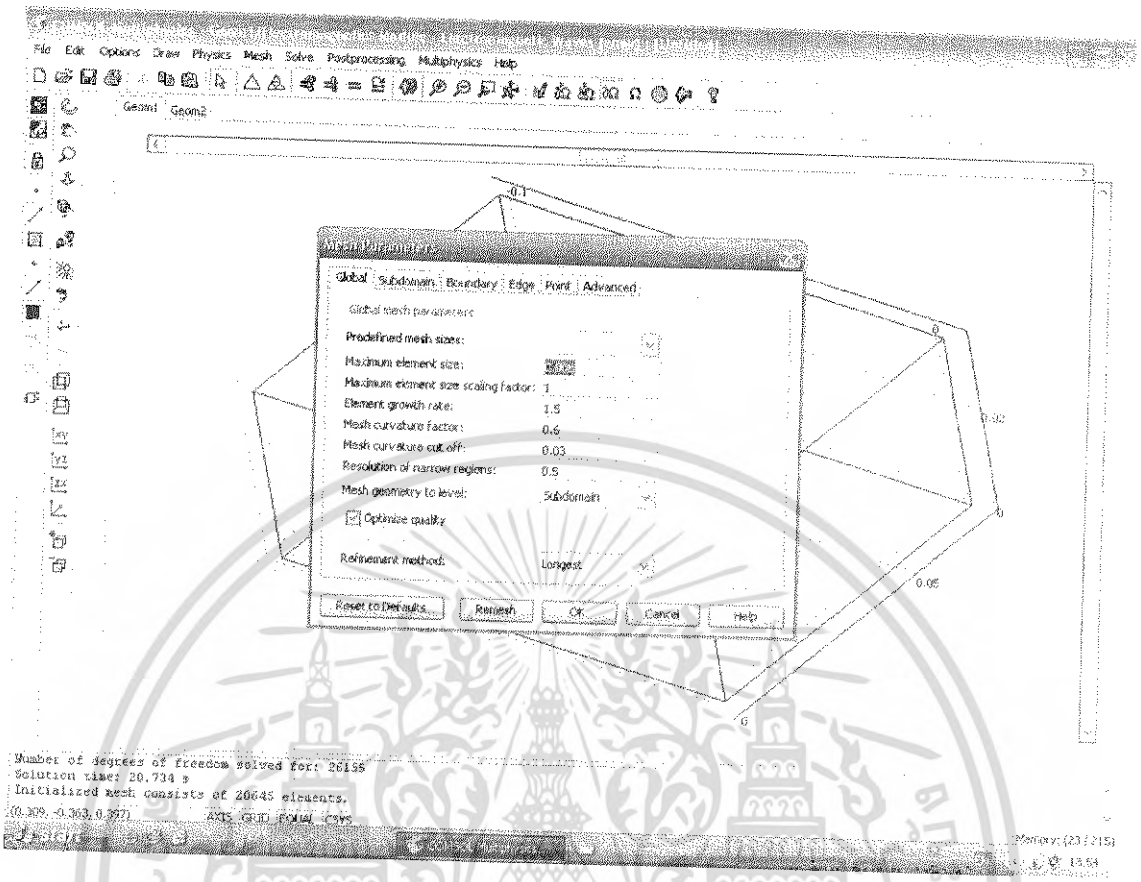
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงการกำหนดทิศทางเข้าของคลื่น

6. กำหนดค่าชิ้นงานชิ้นแรกให้เป็นทางเข้าของคลื่นในแบบสี่เหลี่ยม

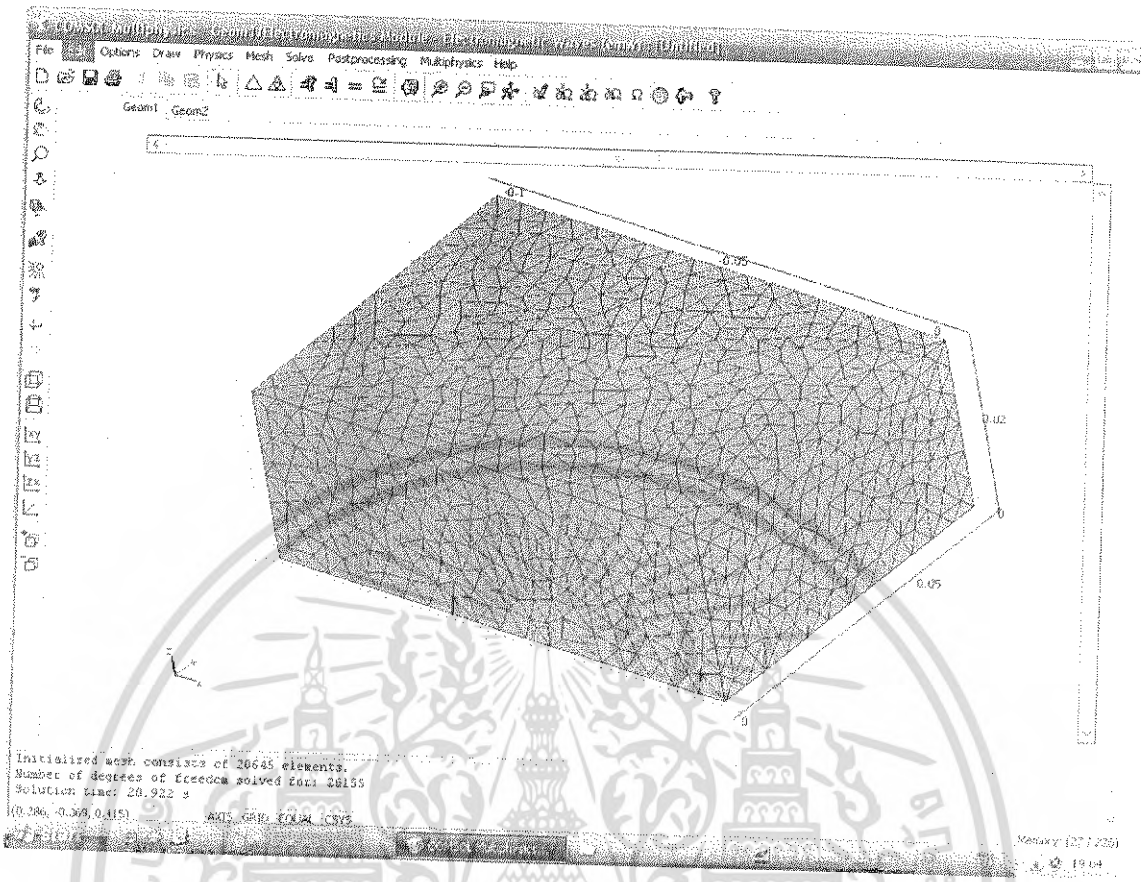
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงการกำหนดอิลิเมนต์

7. หลังจากที่เราได้กำหนดค่าต่างๆให้แก่ชิ้นงานแล้ว เราจะทำการตี Mesh ให้กับชิ้นงานยิ่งละเอียดมากก็จะทำให้การจำลองการทำงานมีความแม่นยำมากขึ้น

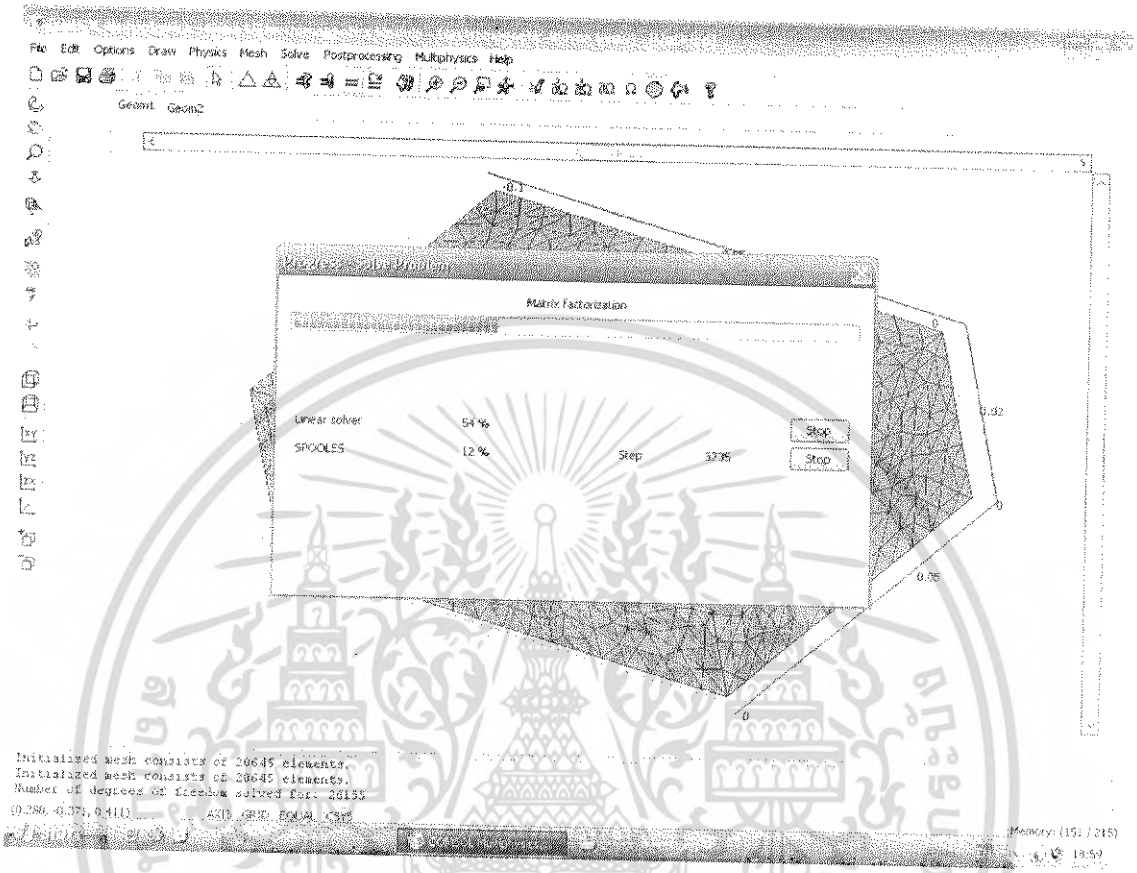
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงการตี MESH

8. หลังจากที่ทำการตี Mesh เสร็จเรียบร้อยแล้วเราก็จะลักษณะดังรูปซึ่งจะแบ่งเป็นรูปสามเหลี่ยมเล็กๆจนทั่วพื้นที่

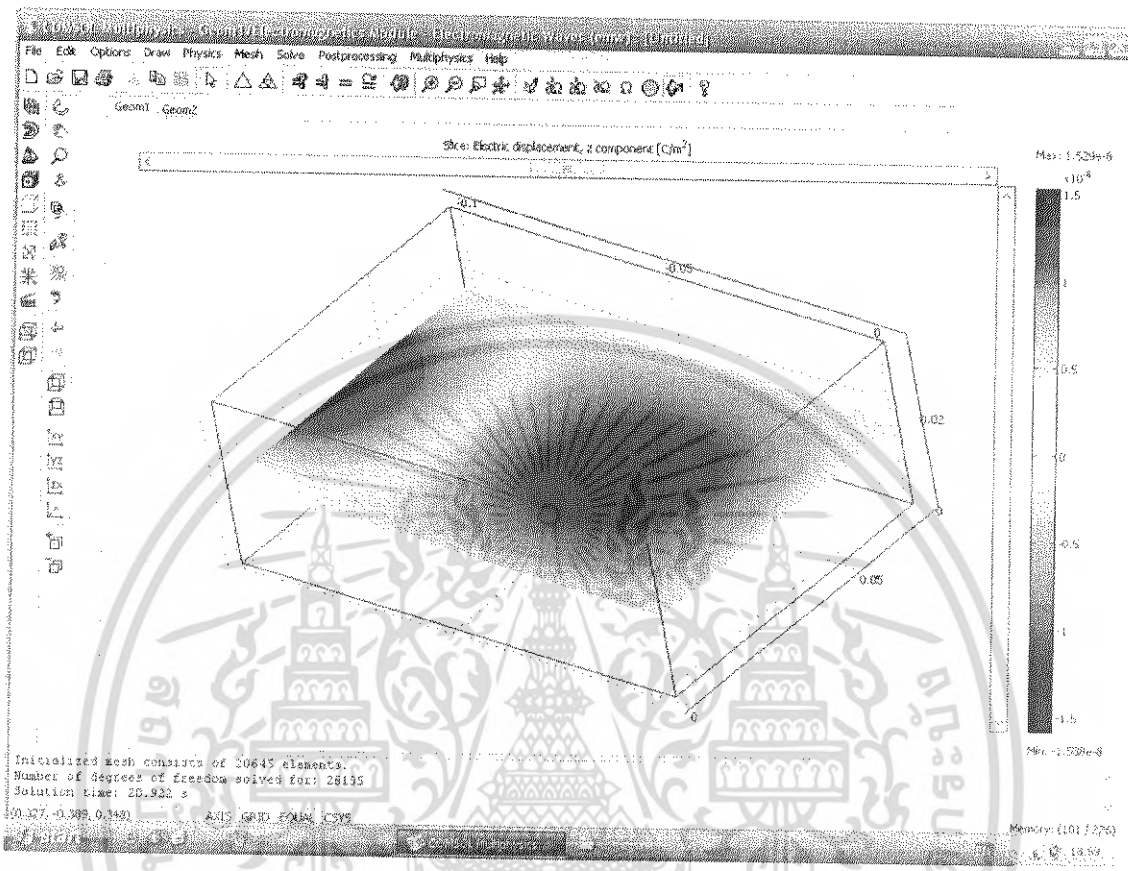
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงการประมวลผลของโปรแกรม

9. จากนั้นทำการให้โปรแกรมจำลองการทำงานของเวฟไกด์เพื่อดูลักษณะของคลื่นที่ตกกระทบภายในเวฟไกด์

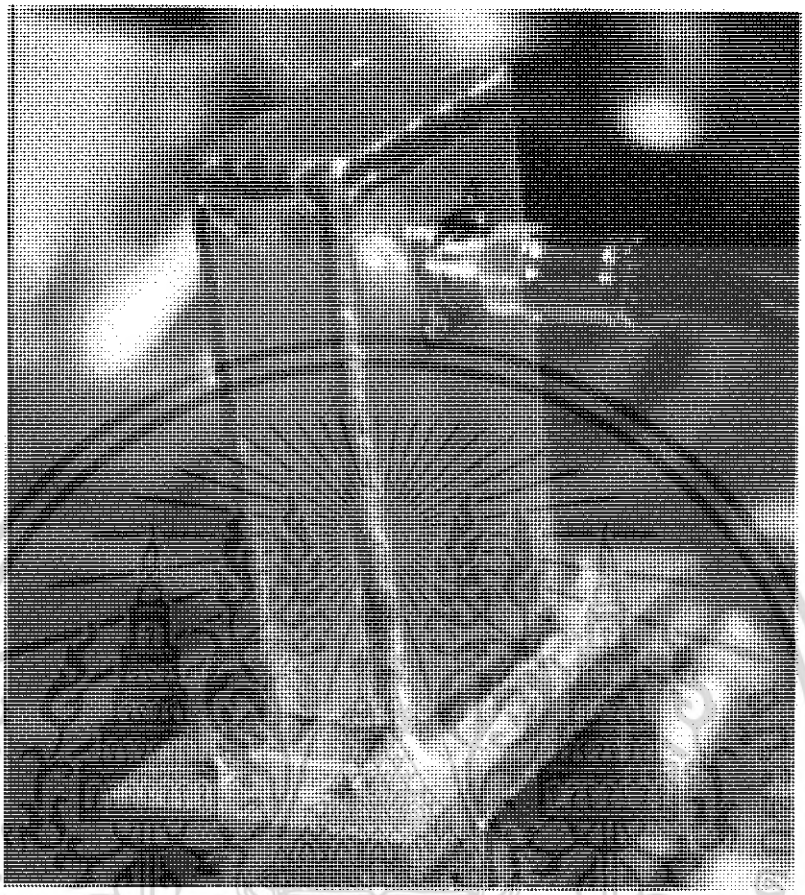
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะของท่อนำคลื่นที่มีคลื่นภายใน

10. ลักษณะของคลื่นที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

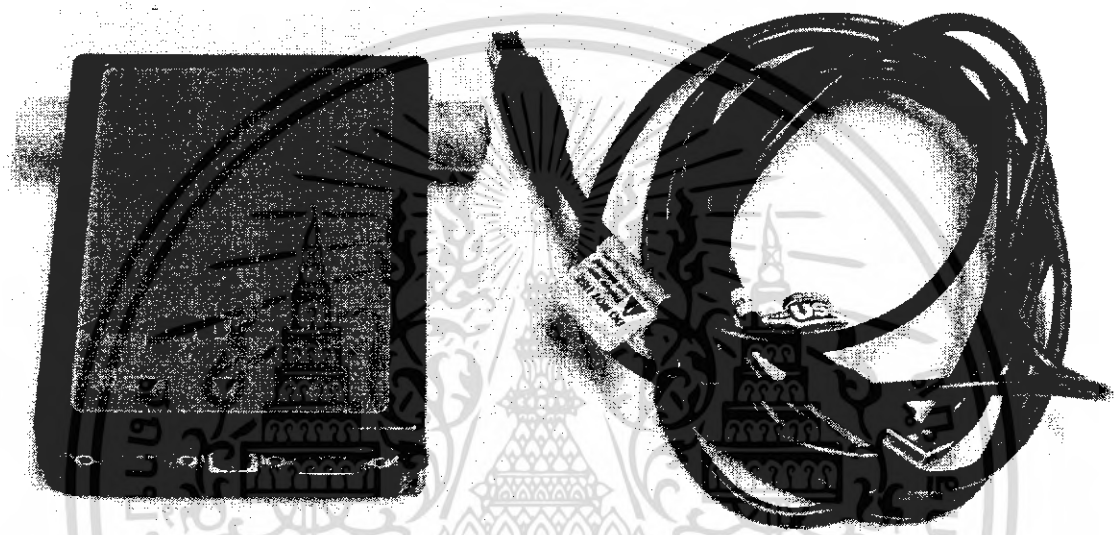


รูปที่ 3.11 แสดงท่อนำคลื่นที่ถูกสร้างขึ้นหลังจากการทดลองโดยใช้โปรแกรม

การการทดลองเมื่อนำมาสร้างจริงจะมีลักษณะตามรูปที่ 3.11 โดยเราได้ทดสอบการนำคลื่นของท่อโดยการลองนำไปต่อวัดกับเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่า VSWR ของสายอากาศที่ใช้ในการทดลองเพื่อดูค่าการสะท้อนกลับของคลื่น ปรากฏว่า สามารถให้การสะท้อนกลับที่น้อยพอสมควร คือประมาณ 1.7 จากนั้นจึงได้ทดลองนำมาต่อใช้งานจริงซึ่งสามารถใช้คัปปลิ้งคลื่นออกมาได้โดยไม่เกิด Loss ที่สายนำสัญญาณ จึงสามารถนำมาใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองและการสร้าง



รูปที่ 3.12 แสดงอุปกรณ์ POWER SENSOR

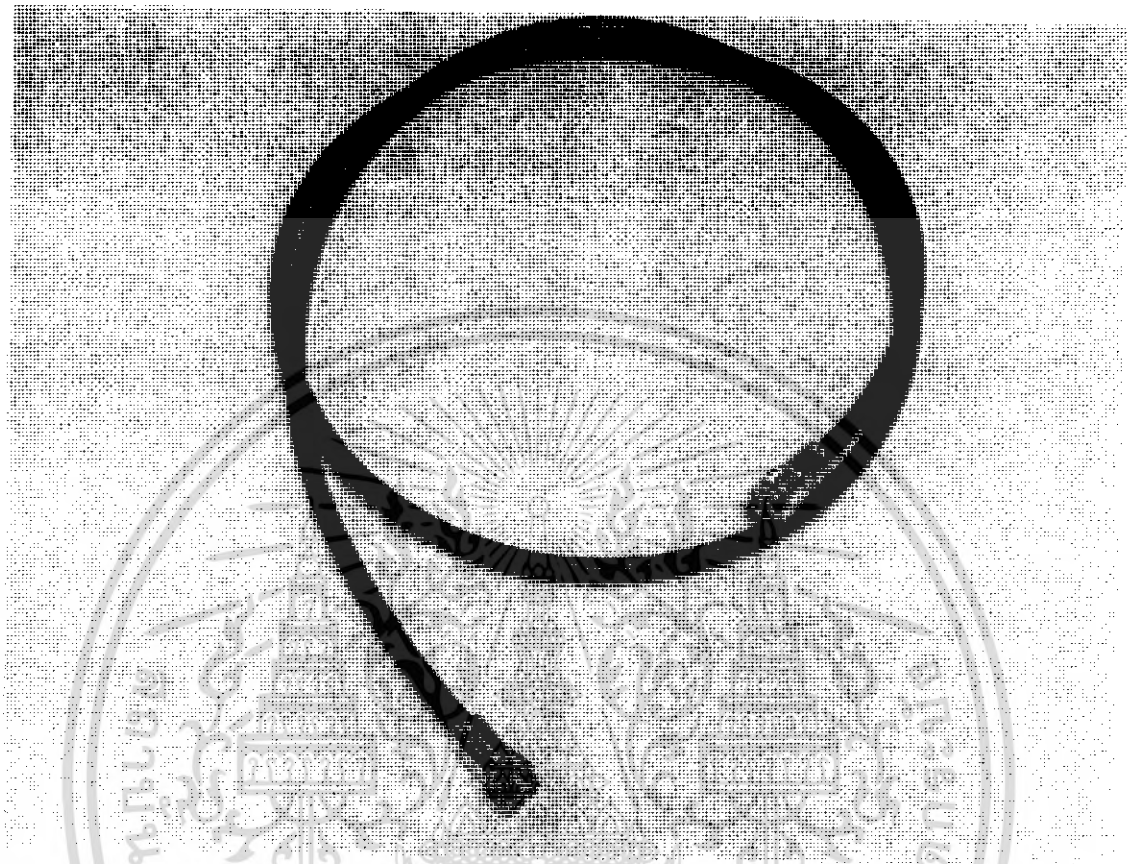
เครื่องวัดพลังงานที่ถูกคัปปลิ้งออกมาจากเวฟไกด์ โดยสามารถวัดค่าพลังงานได้สูงสุดที่ 100 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.13 แสดงการต่อใช้งาน POWER SENSOR

ภาพแสดงการต่อใช้งานเครื่องวัดกำลังงานของคลื่นไมโครเวฟโดยเราได้ใช้สายอากาศของ Ascess point เป็นโหลดของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



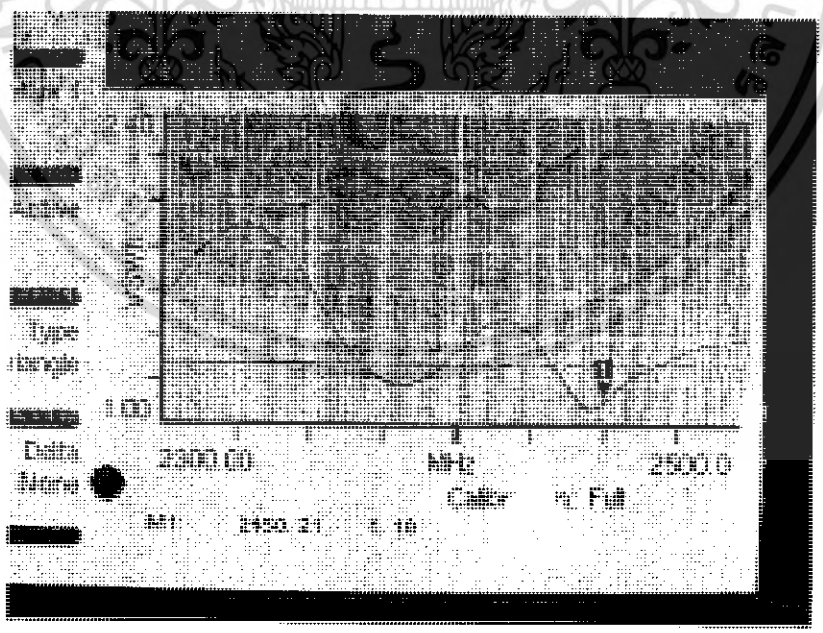
รูปที่ 3.14 แสดงสายสัญญาณ RG 214

สายสัญญาณที่ใช้ในการทดลอง เป็นสาย RG 214 เนื่องจากสามารถใช้งานในย่านความถี่สูงและทนกำลังงานที่ส่งผ่านได้สูง มี Loss ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.15 แสดงเครื่องวัด VSWR สายอากาศ

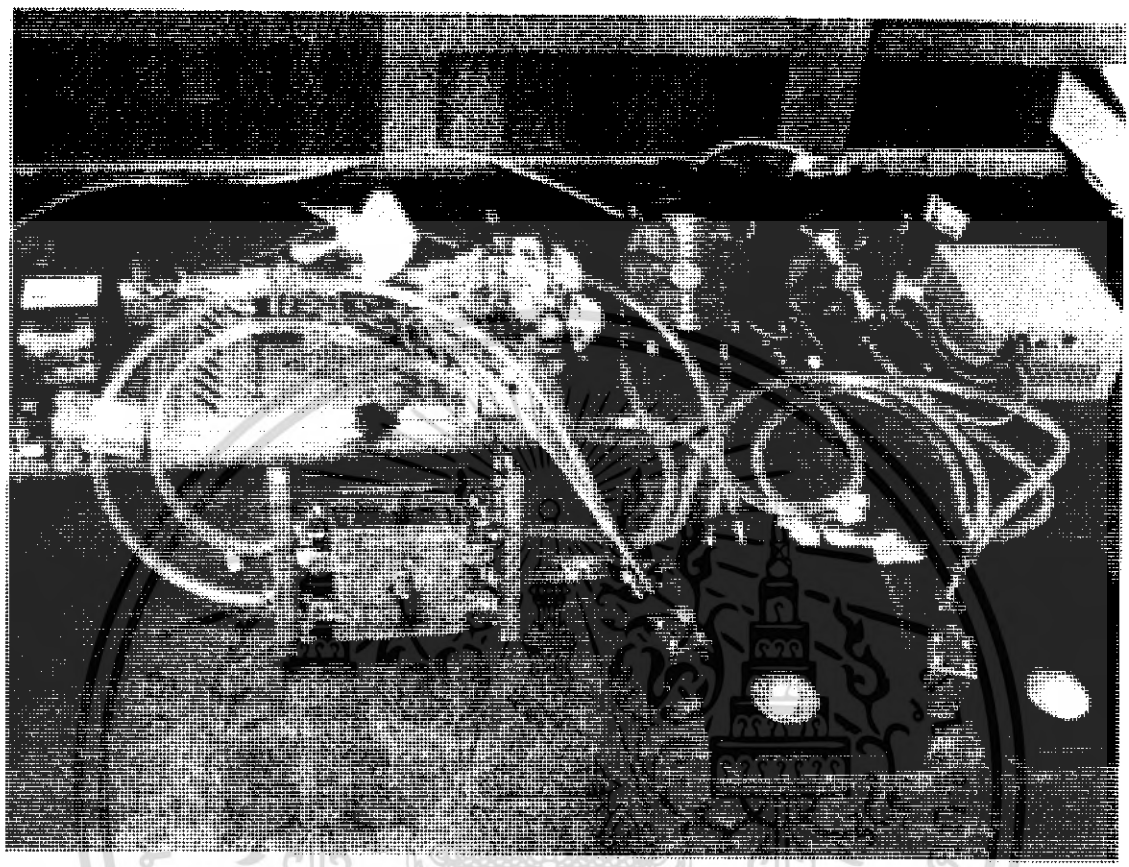
ภาพแสดงเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่า VSWR ของสายอากาศที่ใช้ในการคัปปลิ้งคลื่นไมโครเวฟจากเวฟไกด์



รูปที่ 3.16 แสดงผลการวัดสายสัญญาณ

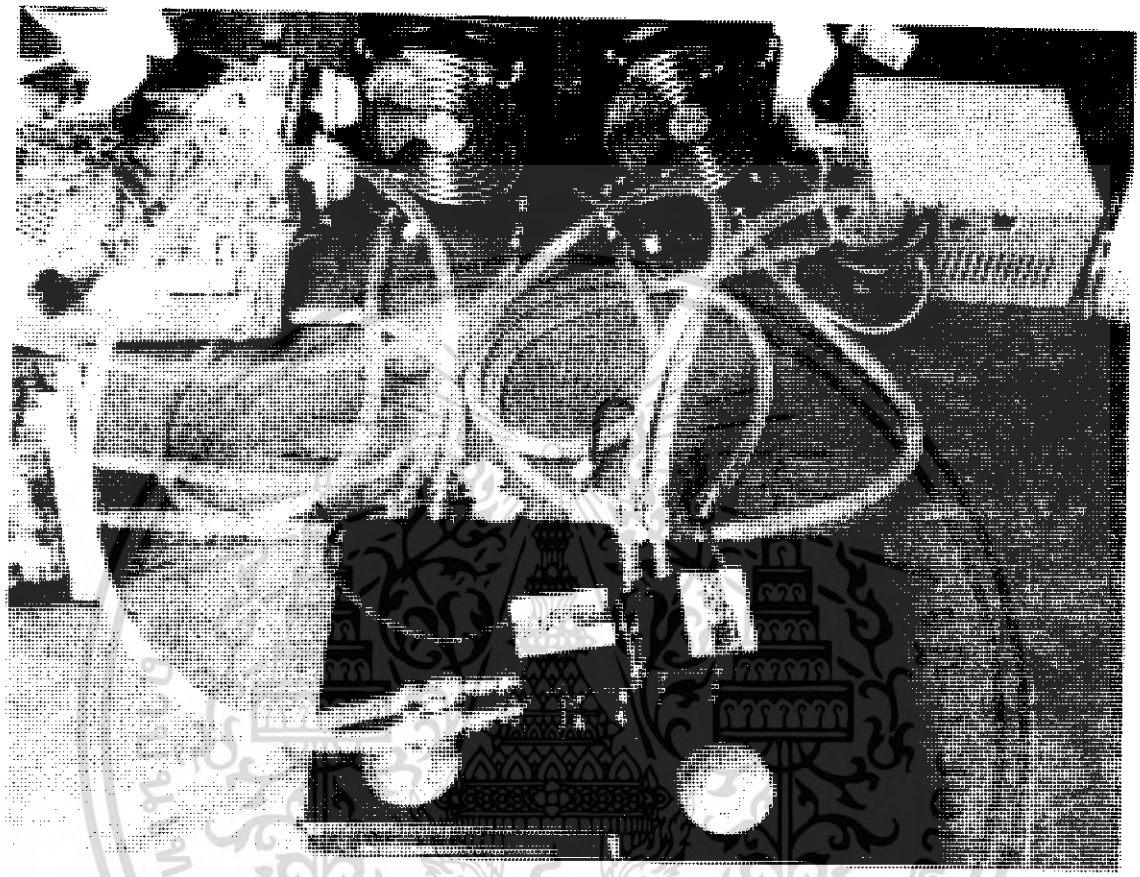
แสดงค่าที่วัดได้จากสายอากาศที่ทำขึ้น ได้ค่า VSWR ประมาณ 1.10 ที่ความถี่ 2.450 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 แสดงการต่อหลอดแมกนีตรอนที่ใช้ในการทดลอง

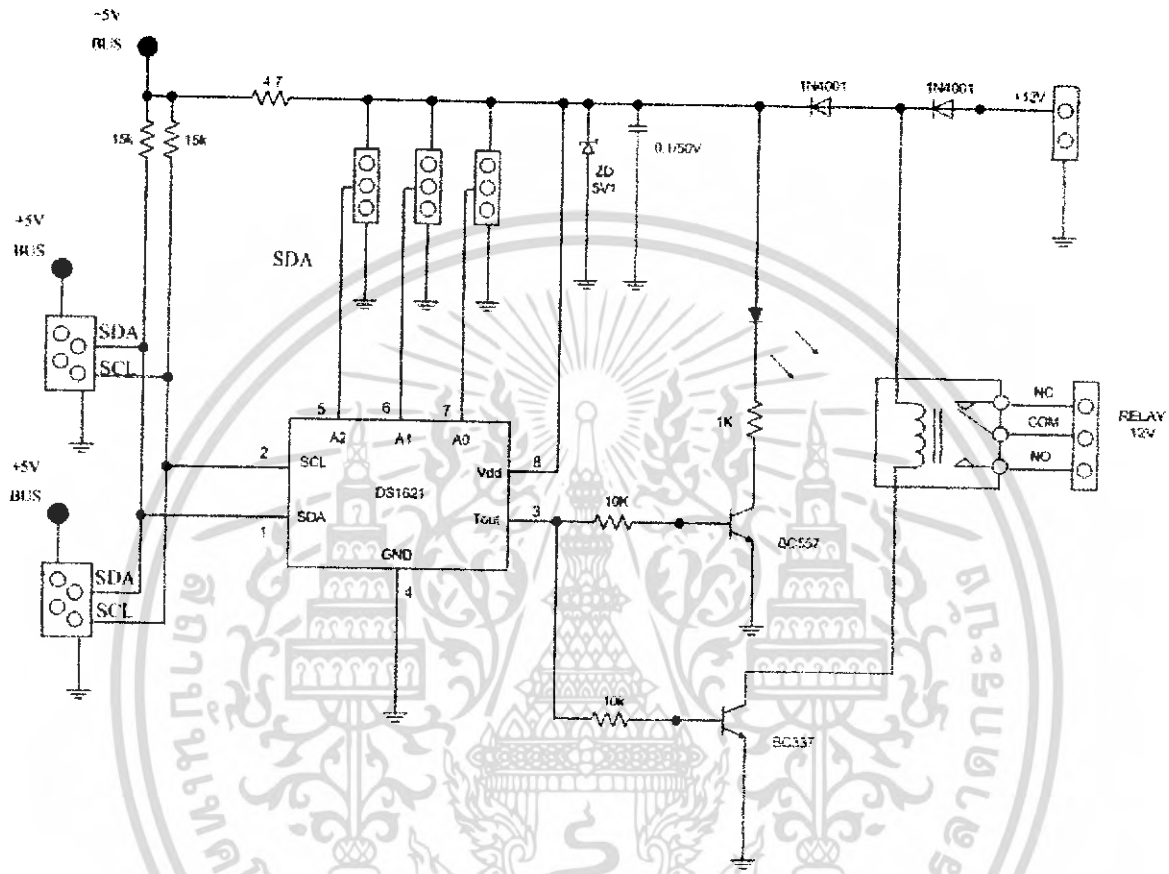
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 แสดงชุดระบายความร้อนให้กับหลอดแม็กนีตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

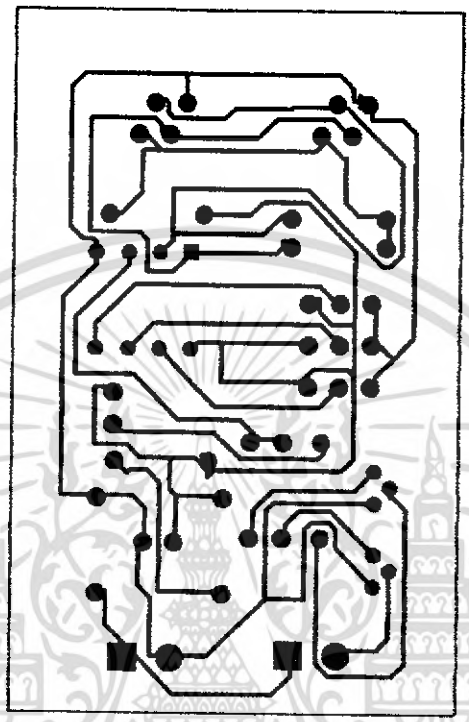
3.2 วงจรควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 3.19 วงจรชุดควบคุมอุณหภูมิการทำงานของระบบ

จากรูปจะเป็นวงจรที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิที่ถูกสร้างขึ้นของเครื่องโดยเราสามารถกำหนดค่าอุณหภูมิได้ การทำงานของวงจรคือ เราจะใช้ ไอซี DS 1621 เป็นตัวตรวจจับอุณหภูมิแล้วส่งค่าไปยังโปรแกรมที่เราเขียนขึ้น โดยส่งค่าออกมาในลักษณะดิจิตอล โดยส่งผ่านระบบแบบ I^2C BUS ซึ่งเป็นการส่งค่าโดยมีคาบเวลาเป็นตัวควบคุมอีกที โดยจากวงจรนั้นเราสามารถที่จะต่อตัวไอซีวัดอุณหภูมิได้สูงสุดถึง 8 ชุดด้วยกันโดยการกำหนดแอดเดรส ของไอซีที่ขา 5 – 6 – 7 โดยไอซีตัวนี้ยังมีคุณสมบัติพิเศษคือสามารถที่จะทำตัวในโหมดเทอร์โมสตัท ได้อีก ด้วยการสงสัญญาณออกไปที่ขา 3 ทำให้เราสามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เรากำหนดได้ โดยนำสัญญาณที่ได้นี้ไปใช้ในการไดร์ทรานซิสเตอร์ให้ทำงานเพื่อที่จะไปควบคุมระบบจ่ายกำลังงานของเครื่องอีกทีหนึ่ง

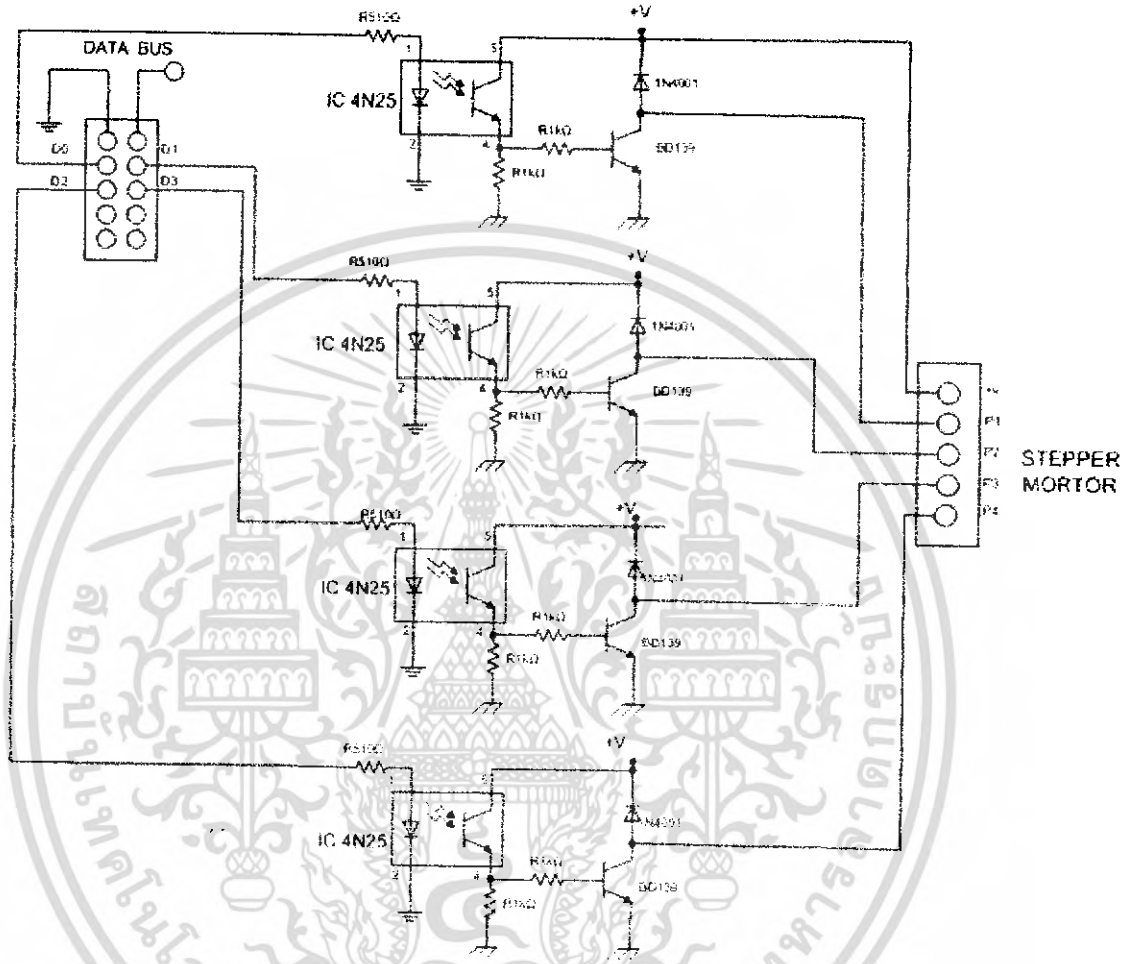
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 แสดงลายปริ้นของวงจรชุดควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

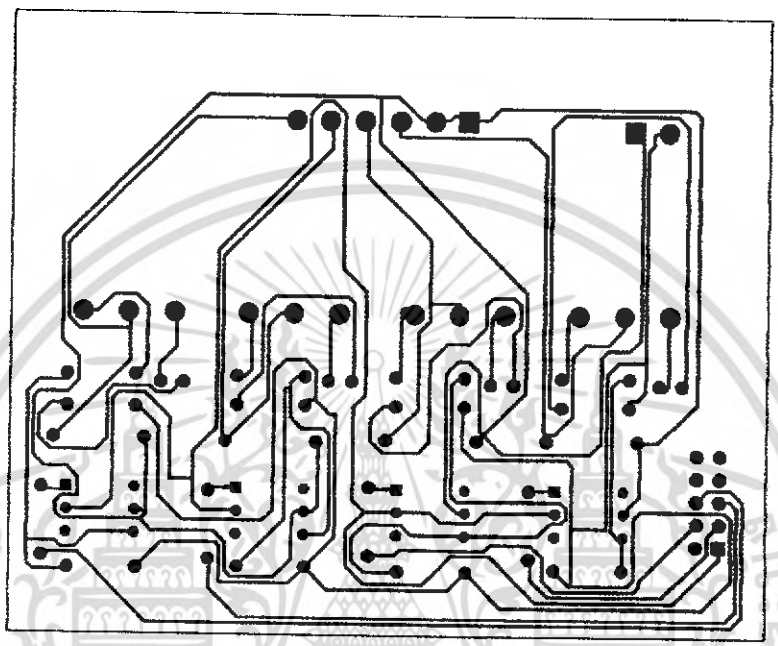
3.3 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์



รูปที่ 3.21 แสดงชุดขับ Stepping Motor

จากรูปจะเป็นวงจรที่ใช้ในการควบคุมสเต็ปมอเตอร์เพื่อที่จะนำไปใช้ในการควบคุมกำลังงานของตัวเครื่องโยเรานำเอาตัวสเต็ปมอเตอร์ไปใช้ในการหมุน Variac เพื่อควบคุมให้จ่ายไฟแก่ตัวหลอดมากหรือน้อยทำให้สามารถควบคุมกำลังงานของเครื่องได้ โดยการทำงานของวงจรนั้นเราได้ทำการสั่งการโดยใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นใน VB โดยเราได้ใช้ไอซี 4N25 ซึ่งเป็น OPTO ในการแยกกราวด์ ของแหล่งจ่ายพลังงานให้มอเตอร์กับตัวคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยได้เขียนโปรแกรมให้ควบคุมการหมุนของมอเตอร์แบบ Full Step เพื่อให้เกิดแรงบิดมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

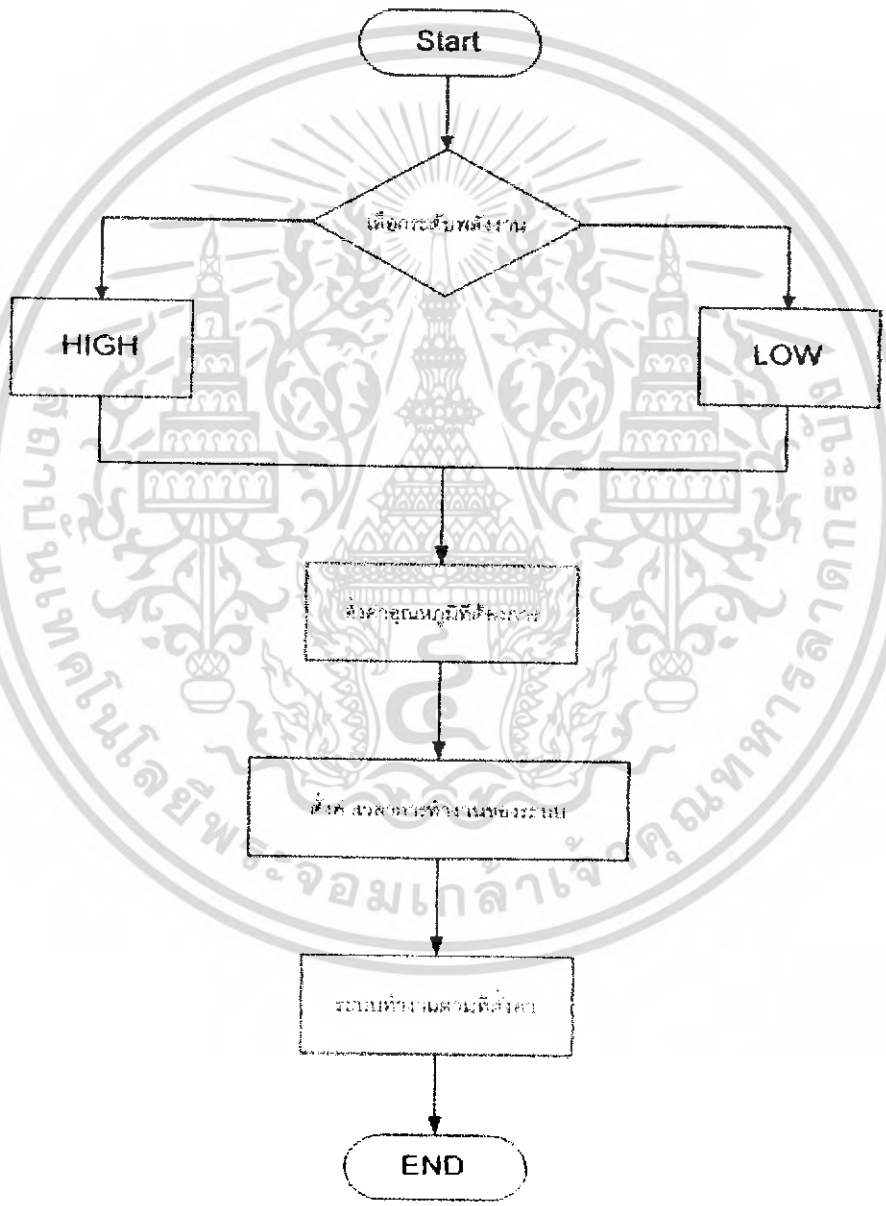


รูปที่ 3.22 แสดงลายปริ้นของวงจรขับ Stepping Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4

ผลการทดลอง



รูปที่ 4.1 แสดง Flow Chart การทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 โปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการควบคุมระบบต่างๆของเครื่อง

```
Option Explicit
Private Declare Sub Sleep Lib "kernel32" (ByVal dwMilliseconds As Long)
Dim START As Boolean
Dim Stops As Boolean
Dim tmp As Double
Dim datH As Integer
Dim datL As Integer
Dim t, i As Double
Dim m As Integer
Dim n, r As Integer
'Dim Lefts, Rights As Boolean
Dim step As Integer
Dim Reverse, Forward, Break As Boolean



Private Sub Form_Load()
    Out &H378, 0
    Timer3.Enabled = False
    n = 1
    m = 1
End Sub

Private Sub Timer3_Timer()
  Text4.Text = Text4.Text - 1
  If Val(Text4.Text) < 0 Then
    Out &H378, 0
    Text4.Text = "0"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Timer3.Enabled = False
  End If
End Sub
Private Sub Command3_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As
Single)
  Reverse = True
  Forward = False
  If Reverse = True Then n = 1
  step = 100 / 1.8
  If (100 > 0) And (m > 1) Then GoTo 2
  If (100 > 0) And (m = 1) Then GoTo 1
1:
  r = step
  Do
  DoEvents
  If r < 1 Then GoTo 2
  Out &H378, 12
  Call delay
  r = r - 1
  If r < 1 Then GoTo 2
  Out &H378, 6
  Call delay
  r = r - 1
  If r < 1 Then GoTo 2
  Out &H378, 3
  Call delay
  r = r - 1
  If r < 1 Then GoTo 2
  Out &H378, 9
  Call delay
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    r = r - 1
  Loop Until r = 0 Or Forward = True Or Break = True
    If Reverse = True Then m = 3
2:
    Out &H378, 0
End Sub

Private Sub Command4_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As
Single)
    Reverse = False
    Forward = True
    step = 100 / 1.8
    If Forward = True Then m = 1
    If (100 > 0) And (n > 1) Then GoTo 2
    If (100 > 0) And (n = 1) Then GoTo 1

1:
      r = step
      Do
   DoEvents
   If r < 1 Then GoTo 2
   Out &H378, 9
   Call delay
   r = r - 1
   If r < 1 Then GoTo 2
   Out &H378, 3
   Call delay
   r = r - 1
   If r < 1 Then GoTo 2
   Out &H378, 6
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Call delay
    r = r - 1
    If r < 1 Then GoTo 2
    Out &H378, 12
    Call delay
    r = r - 1
    Loop Until r = 0 Or Reverse = True Or Break = True
    If Forward = True Then n = 3
2:
    Out &H378, 0

End Sub

Private Sub Command5_Click()
    START = True
    If (START = True) And (Text4.Text > 0) Then
    Timer3.Enabled = True
    Out &H378, 16
    End If
    START = True
    If (START = True) Then
    txtTemp.Enabled = True
    Timer1.Enabled = True
    End If
End Sub

Private Sub Command6_Click()
    START = True
    Reverse = True
    Forward = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Timer1.Enabled = False
txtTemp.Text = txtTemp.Text
Timer3.Enabled = False
Text4.Text = Text4.Text
Out &H378, 0
Reverse = False
Forward = True
step = 100 / 1.8
If Forward = True Then m = 1
If (100 > 0) And (n > 1) Then GoTo 2
If (100 > 0) And (n = 1) Then GoTo 1

1:
   r = step
   Do
DoEvents
If r < 1 Then GoTo 2
Out &H378, 9
Call delay
r = r - 1
If r < 1 Then GoTo 2
Out &H378, 3
Call delay
r = r - 1
If r < 1 Then GoTo 2
Out &H378, 6
Call delay
r = r - 1
If r < 1 Then GoTo 2
Out &H378, 12
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Call delay
    r = r - 1
    Loop Until r = 0 Or Reverse = True Or Break = True
    If Forward = True Then n = 3
2:
    Out &H378, 0
End Sub
Private Sub Command7_Click()
    START = True
    Reverse = True
    Forward = True
    Timer1.Enabled = False
    txtTemp.Text = "0"
    Timer3.Enabled = False
    Text4.Text = "0"
  Out &H378, 0
End Sub
Private Sub Command1_Click()
    Dim tmp As Double
    Dim datH As Byte
    Dim datL As Byte
      datH = Fix(txtTH.Text)
      tmp = Val(txtTH.Text) - datH
      If tmp <> 0 Then datL = &H80

      I2CStart
      Send8BIT &H90
      Ack
      Send8BIT &HA1          'Access TH Register Command
      Ack
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Send8BIT datH
        Ack
        Send8BIT datL
        Ack
        I2CStop
End Sub

Private Sub Command2_Click()
  Dim tmp As Double
  Dim datH As Byte
  Dim datL As Byte
    datH = Fix(txtTL.Text)
    tmp = Val(txtTL.Text) - datH
    If tmp <> 0 Then datL = &H80

    I2CStart
    Send8BIT &H90
    Ack
    Send8BIT &HA2        'Access TL Register Command
    Ack
    Send8BIT datH
    Ack
    Send8BIT datL
    Ack
    I2CStop
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
  I2CStart
  Send8BIT &H90
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Ack
  Send8BIT &HEE        'Start Convert Temperature Command
  Ack
  I2CStop
  I2CStart
  Send8BIT &H90
  Ack
  Send8BIT &HAA        'Read Temperature Register Command
  Ack
  I2CStart
  Send8BIT &H91
  Ack

  datH = Read8Bit      'Read MSB Temperature Register
  MAck
  datL = Read8Bit      'Read LSB Temperature Register
  MNAck
  I2CStop
    I2CStart
  Send8BIT &H90
  Ack
  Send8BIT &HAC        'Access Config Register Command
  Ack
  Send8BIT &H6A
  Ack
    I2CStop
If (datL And &H80) = &H80 Then
    tmp = datH + 0.5
Else
    tmp = datH
```

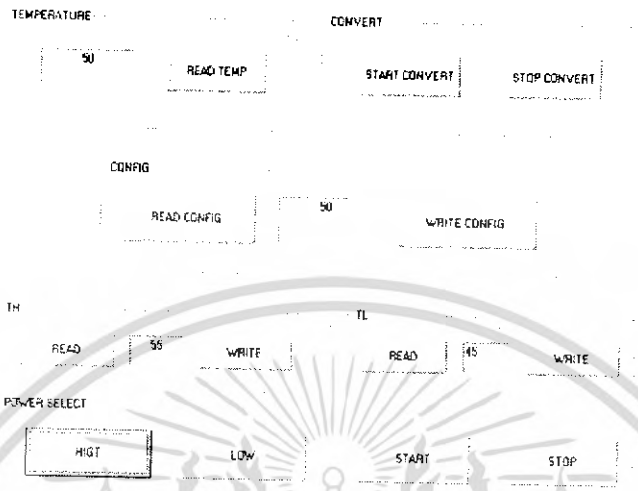
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    End If

    txtTemp.Text = tmp


End Sub
Sub delay()
    For i = 1 To HScroll1.Value
        DoEvents
    Next i
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

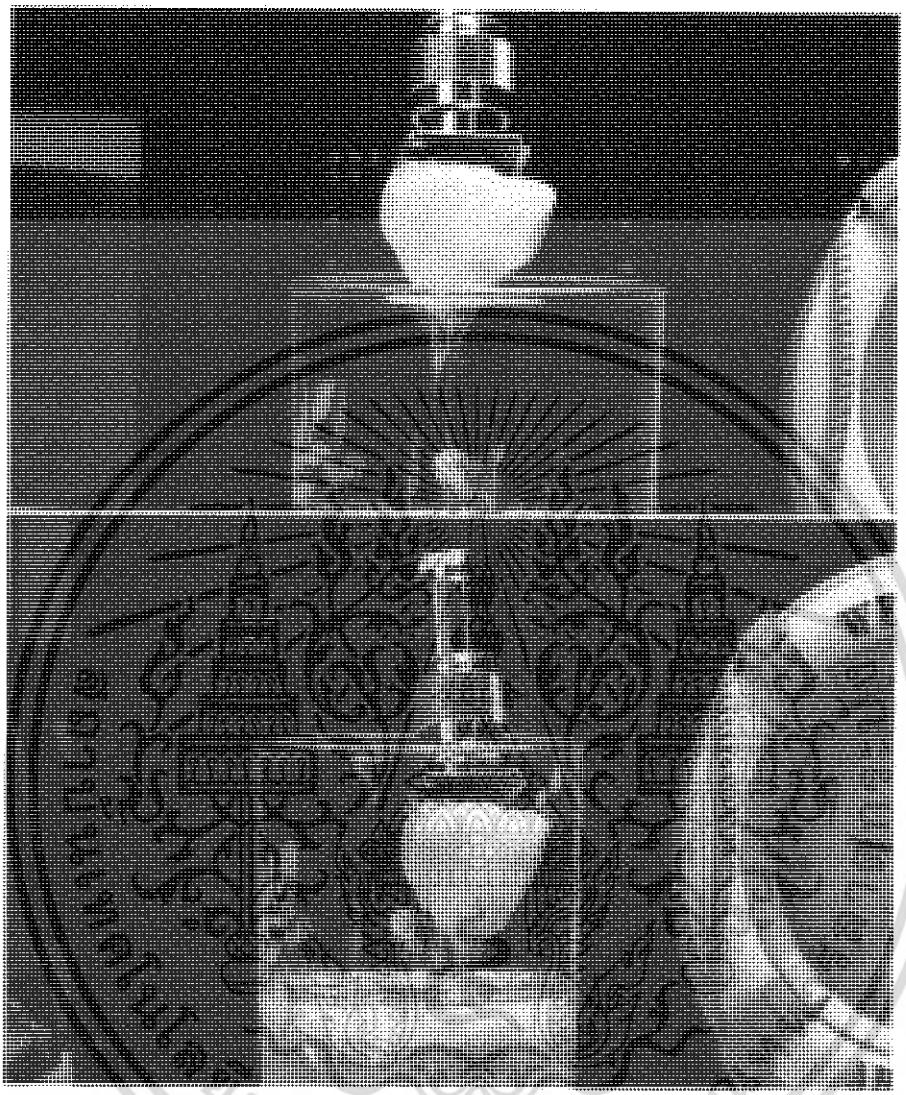


รูปที่ 4.2 แสดงหน้าจอการทำงานของเครื่อง

จากรูปจะแสดงหน้าตาของโปรแกรมที่ออกแบบขึ้น โดยมีปุ่มกดคอนโทรลในส่วนต่างๆ ของระบบในเครื่อง โดยในส่วนของโปรแกรมนั้นได้ถูกออกแบบโดยใช้ VB ในการเขียนโปรแกรมทั้งหมด โดยควบคุมการทำงานผ่านทาง Port Printer ของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยสามารถตั้งเวลาการทำงานของเครื่องได้ ควบคุมระดับกำลังงานได้ 2 ระดับ High กับ Low และยังสามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เรากำหนดได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลที่ได้จากการทดลองในการปล่อยคลื่นในไข่ขาวและตับหมู



รูปที่ 4.3 ภาพแสดงการทดลองกับไข่ขาว

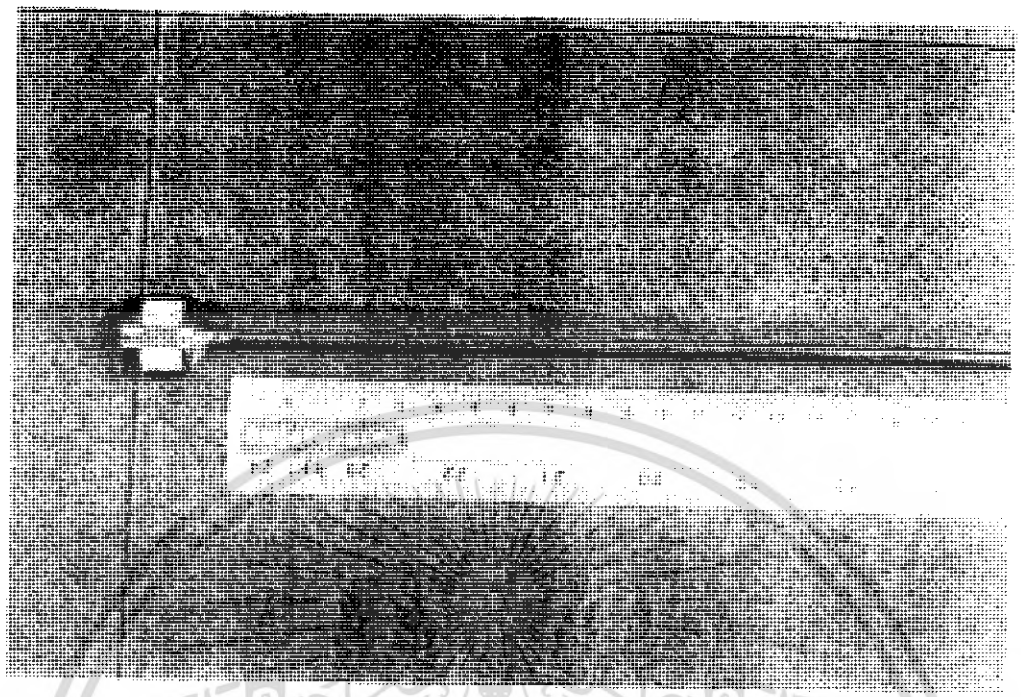
จากการทดลองจะพบว่าความร้อนที่ได้ทำให้เนื้อเยื่อไข่ขาวสุกเป็นรูปทรงปริมาตรที่มีขนาดประมาณ 2-3 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 ภาพแสดงการทดลองกับตับหมู

จากภาพจะเป็นการทดลองกับตับหมูซึ่งผลที่ได้จะคล้ายกับการทดลองกับไข่ขาวซึ่งเครื่องสามารถให้ความร้อนได้ในบริเวณที่เราต้องการที่ประมาณ 2-3 เซนติเมตร

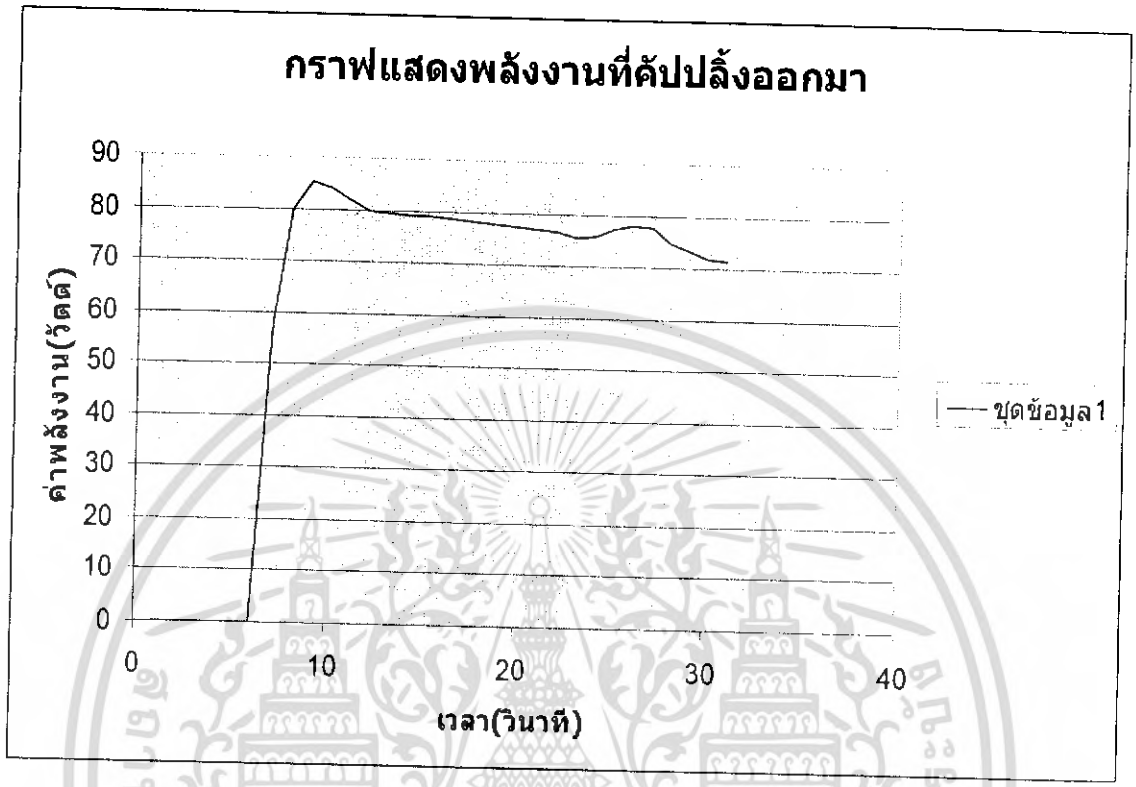
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.5ภาพแสดงสายอากาศไมโครเวฟที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กราฟแสดงผลของพลังงานที่สามารถคัปปลิ้งออกมาได้จากหลอดแมกนีตรอน



กราฟที่ 4.1 แสดงพลังงานของคลื่นไมโครเวฟ

จากกราฟที่ได้จากการทดลองเราจะพบว่าค่าพลังงานของหลอดแมกนีตรอนที่ปล่อยออกมาเมื่อเราทำการเซ็ตค่าพลังงานของแหล่งจ่ายไว้แล้วจะให้ค่าพลังงานที่ต่ำลงจากที่หลอดต้องผลิตได้ถึงประมาณ 800 วัตต์ แต่พอทำการลดแรงดันที่แหล่งจ่ายค่าพลังงานที่ได้จะลดลงเหลือประมาณ 80 – 100 วัตต์ซึ่งเป็นค่าที่เราสามารถนำไปใช้ทดลองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

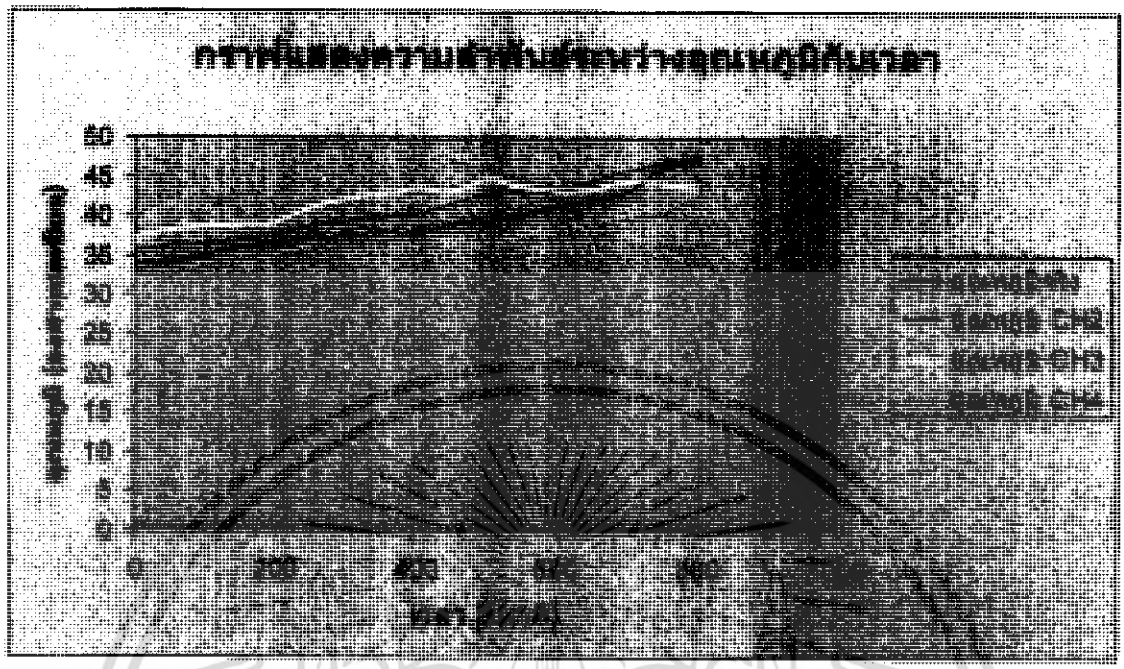
2. ผลของการทดลองโดยการยิงคลื่นใส่น้ำแล้ววัดผลของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิจริง	อุณหภูมิ CH 1	อุณหภูมิ CH 2	อุณหภูมิ CH 3	อุณหภูมิ CH 4
0	34.00	35.54	42.56	37.22	32.54
50	34.00	35.95	42.88	38.45	32.76
100	35.00	36.46	43.21	38.76	33.65
150	36.00	36.87	43.98	38.93	34.67
200	36.50	37.32	44.65	39.14	34.98
250	37.00	38.54	45.63	41.01	36.02
300	37.50	39.23	47.43	42.07	38.45
350	38.00	39.89	48.32	42.87	36.76
400	38.00	40.12	48.88	43.56	38.67
450	39.00	41.54	47.54	43.3	37.87
500	39.50	42.67	47.34	44.65	39.45
550	40.00	42.94	46.33	43.77	37.28
600	41.00	43.32	46.01	43.23	37.55
650	42.00	44.19	45.32	43.33	38.97
700	43.00	45.77	45.27	44.55	39.77
750	46.50	46.55	45.01	44.24	40.44
800	47.00	47.43	44.89	43.87	42.87

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิของน้ำ

จากการทดลองจะพบว่าระดับอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการทดลองนั้นมีค่าที่สูงอยู่ในระดับประมาณ 45 องศาเซลเซียน ซึ่งเป็นระดับของอุณหภูมิที่ทำให้เซลล์มะเร็งตาย โดยได้ทำการทดลองวัดอุณหภูมิ 4 จุดรอบๆสายอากาศที่แพร่กระจายคลื่นโดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิซึ่ง 1 เครื่องมี 2 ช่องโดยเราได้ใช้ 2 เครื่องวัดพร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา

จากรูปจะเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับเวลา จะพบว่าเมื่อค่าเวลามีค่ามากขึ้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นจนถึงในระดับอุณหภูมิที่เราต้องการแล้วจะไม่เพิ่มหรือลดลงมากนัก เนื่องจากเราได้ใช้ ไอซีเป็นตัวช่วยในการควบคุมอุณหภูมิโดยจะไปควบคุมระบบการทำงานในการจ่ายพลังงานของเครื่อง ให้จ่ายมากหรือน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5

บทสรุปและวิจารณ์การทดลอง

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้แสดงรายละเอียดต่าง ๆ ของระบบให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่จะใช้ในการรักษาโรคมะเร็งด้วยความร้อนเราสามารถวัดอุณหภูมิโดยใช้ ไอซีเป็นตัวตรวจกับอุณหภูมิ เนื่องจากสามารถให้ค่าออกมาใกล้เคียงกับอุณหภูมิจริงมากที่สุด โดยจะแสดงผลออกมาทางจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งเครื่องควบคุมนี้สามารถตั้งค่าอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการและควบคุมกำลังงานของเครื่องได้ 2 ระดับ และยังสามารถกำหนดเวลาการทำงานของเครื่องได้ ซึ่งเราได้ทำการทดลองกับ ไข่ขาว และตับหมู ซึ่งผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจเป็นอย่างยิ่ง เครื่องสามารถให้ความร้อนได้ตามที่เราต้องการ โดยที่เราสามารถควบคุมได้ เนื่องจากตัวของเซลล์นั้นจะถูกทำลายที่ความร้อนประมาณ 50 องศาเซลเซียส และจากผลการทดลองจะพบว่าเมื่อทำการวัดอุณหภูมิโดยรอบแล้วมีค่าใกล้เคียงมากและเรายังสามารถที่จะเพิ่มความร้อนขึ้นได้อีก

ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการปฏิบัติงาน

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนั้นมีราคาสูง
2. คลื่นที่ใช้ในการทดลองนั้นมีอันตรายมากถ้าไม่ป้องกันให้ดี
3. โปแกรมที่ใช้ในการทดลองทำท่อนำคลื่นนั้นยังเป็น โปรแกรมใหม่ทำให้ต้องศึกษานาน

แนวทางในการพัฒนาต่อ

เนื่องจากระยะเวลาในการศึกษาทดลองนั้นยังน้อยเกิดไปจึงทำให้ตัวเครื่องออกมาไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร โดยเฉพาะในเรื่องของการควบคุมกำลังงานยังไม่ละเอียดเท่าที่ควร เนื่องจากเป็นการควบคุมกำลังงานทางด้านไพมารี่ของหม้อแปลงสูง ทำให้พลังงานไม่เสถียรนัก จึงควรมีการทำเป็นสวิทชิ่งที่ทางเสคกันดารี่ของหม้อแปลงแทนน่าจะทำให้ได้เอาท์พุทที่เสถียรมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. สุรพล สุธีระเวช, "คู่มือเข้าใจและซ่อมเตาไมโครเวฟ",อาร์ต เอ็จ กราฟฟิค,ฉบับที่ 1 ,2537, หน้า 44-53

2. อภิชาติ ภู่พลับ, "เขียนโปรแกรม Hardware Interface ด้วย VB6" ,ไอดีซี อินโฟ,ฉบับที่1, ตุลาคม 2548

3. Metaxas A.C. and Meredith R.J.,Industrial , "Microwave eating.London",Peter Peregrinus Ltd.,1983

4. Constantine A.Balanis, "Advance Engineer Electromagnetics",John Wiley & Sons,1989

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้