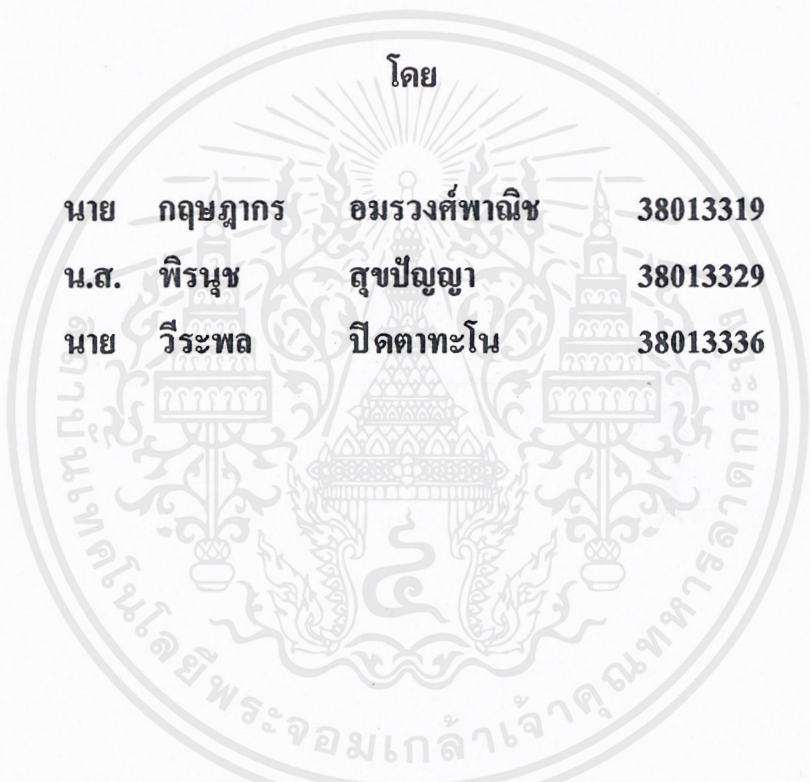




เครื่องอบวัสดุโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ

โดย

นาย	กฤษฏากร	อมรวงศ์พาณิชย์	38013319
น.ส.	พิรนุช	สุขปัญญา	38013329
นาย	วีระพล	ปิตตาทะโน	38013336



วัน เดือน ปี..... 14, ค.ค., 2541
 เลขทะเบียน..... 038895
 เลขเรียกหนังสือ..... T. 10135 ก 248 ค

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
 สาขาวิชาเทคนิคอุตสาหกรรม
 คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ปีการศึกษา 2540

AUTOMATIC MICROWAVE OVEN MACHINE

BY

MR. KRITSADAKORN	AMORNWONGPANICH	38013319
MISS PIRANUT	SOOKPANYA	38013329
MR. VEERAPOL	PIDTATHANO	38013336

**PROJECT REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIRMENTS
FOR THE BACHELOR'S DEGREE
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 1997**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เครื่องอบวัสดุโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ
AUTOMATIC MICROWAVE OVEN MACHINE

จัดทำโดย นาย กฤษฎากร อมรวงศ์พาณิชย์ 38013319
น.ส. พิรนุช สุขปัญญา 38013329
นาย วีระพล ปิศาจทะโน 38013336

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. นิกร สุขุมคันทิ

ภาควิชา เทคนิคอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2540

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รศ. นิกร สุขุมคันทิ)

..... กรรมการ

()

..... กรรมการ

()

..... กรรมการ

()

..... กรรมการ

()

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง เครื่องอบวัสดุโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ

โดย นาย กฤษฎากร อมรวงศ์พาณิชย์
น.ส. พิรนุช สุขปัญญา
นาย วีระพล ปิตดาทะโน

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. นิกร สุขุมตันติ

ปีการศึกษา 2540

บทคัดย่อ

การอบวัสดุโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ เป็นระบบที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยอาศัยคุณสมบัติที่ว่าโมเลกุลของสารต่างๆ สามารถดูดคลื่นพลังงานคลื่นไมโครเวฟได้ เป็นการกระตุ้นให้โมเลกุลของน้ำในวัสดุต่าง ๆ เกิดการสั่นสะเทือน ซึ่งจะสร้างความร้อนขึ้น ทำให้สามารถกำจัดความชื้นออกจากวัสดุนั้น ๆ ได้

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการนำหลอดไมโครเวฟ (แมกเนตรอน) มาประยุกต์ใช้ในการอบวัสดุ โดยออกแบบให้สามารถทำงานได้ประสิทธิภาพสูง มีระบบรักษาความปลอดภัยเพื่อป้องกันอันตรายจากคลื่นไมโครเวฟ และสามารถควบคุมการทำงานโดยระบบ Manual หรือระบบ Automatic ได้

Title Automatic Microwave Oven Machine

By Mr. Kritsadakorn Amornwongpanich

Miss Piranut Sookpanya

Mr. Veerapol Pidtathano

Adviser Assoc. Prof Nikorn Sukutamantanti

Academic Year 1997

ABSTRACT

Today, Microwave ovens are use popular in everywhere. The system use in face that molecule of substance can absorb the microwave energy. Molecule of water in objects are vibrated, make increment heating. And can be eradicate moisture out of the object.

This thesis present and application of Microwave Tube (magnetron) to improve efficiency of Microwave oven machine. It have security circuit to protect users from microwave leakage. Machine operation can be control by Manual or Automatic Mode.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประสบผลสำเร็จลงได้ ทางคณะผู้จัดทำได้รับคำแนะนำ และความอนุเคราะห์จาก รศ. นิกร สุขุมคันทิ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่าน ในภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำในการทำโครงการจนตลอดมา

ขอขอบคุณ คุณวิษณุ สุขปัญญา และบริษัทฯ ผู้อนุเคราะห์ในเรื่องโครงเหล็กของเครื่องอบวัสดุ และขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำโครงการนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทนำ.....	1
1. ความเป็นมาของการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในงานสื่อสารโทรคมนาคม.....	1
2. ลักษณะเฉพาะตัวและประโยชน์ของคลื่นไมโครเวฟ.....	3
บทที่ 1 หลอดไมโครเวฟ.....	6
1. หลอดไคลสตรอน (Klystron Tubes).....	6
1.1 โครงสร้างและการทำงานของหลอดไคลสตรอน.....	6
1.2 รีเฟล็กซ์ไคลสตรอน.....	9
2. หลอดคลื่นจร (Travelling Tubes).....	11
3. หลอดแมกเนตรอน (Magnetron).....	14
3.1 โครงสร้างและหลักการทำงานของหลอดแมกเนตรอน.....	14
3.2 การวิเคราะห์หลักการทำงานของแมกเนตรอน.....	19
บทที่ 2 โครงสร้างของเครื่องอบวัสดุโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ.....	24
1. การกำหนดตำแหน่งของหลอดแมกเนตรอน.....	24
2. หน้าที่หลักของการทำงานภาคกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ.....	25
3. ตำแหน่งอุปกรณ์ภายในภาคกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ.....	27
บทที่ 3 วงจรควบคุม.....	30
1. ภาคตรวจจับคลื่นไมโครเวฟรั่วไหล (Automatic Sensor Security).....	30
1.1 หลักการทำงาน.....	30
2. ภาคจ่ายไฟ (Voltage Regulator).....	31
2.1 หลักการทำงาน.....	31
3. ภาคตั้งเวลาและแสดงผล (Timer & Display).....	31
3.1 หลักการทำงาน.....	31
4. ภาคตรวจจับอุณหภูมิและอินเทอร์เฟซ (Temperature Sensor & Interface).....	33
4.1 หลักการทำงาน.....	34
4.2 โปรแกรมควบคุมการทำงาน.....	35
4.3 การใช้งานโปรแกรม.....	37

ภาคผนวก

เอกสารอ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

ไมโครเวฟ (Microwave) เป็นชื่อเรียกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง 1 GHz ถึง 40 GHz ซึ่งจัดเป็นความถี่ที่สูงมาก หลังสงครามโลกครั้งที่สองเป็นต้นมา เทคโนโลยีทางด้านไมโครเวฟได้เข้ามามีบทบาทในสังคมมนุษย์มากขึ้นตามลำดับ โดยเฉพาะในระบบสื่อสารโทรคมนาคม ไมโครเวฟจัดว่าเป็นคลื่นวิทยุที่มีความสำคัญสูงสุดในปัจจุบัน ดังนั้น จึงขอกกล่าวถึงความ เป็นมาของการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการสื่อสาร ลักษณะเฉพาะและประโยชน์ของไมโครเวฟ วิวัฒนาการของเทคโนโลยีด้านไมโครเวฟ จากอดีตจนถึงปัจจุบัน และส่วนประกอบหลัก ๆ ของระบบไมโครเวฟที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

1.ความเป็นมาของการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในงานสื่อสารโทรคมนาคม

นับตั้งแต่ ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) ได้ค้นพบทฤษฎีเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2375 และ เจมส์ คลาร์ก แมกซ์เวลล์ (James Clark Maxwell) นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ ได้ประกาศทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อปี พ.ศ. 2397 โดยแมกซ์เวลล์ได้เสนอแนวคิดของกระแสดิสเพลซเมนต์เข้ามา ทำให้สามารถอธิบายการแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ ซึ่งหมายถึงจะสามารถส่งผ่านพลังงานไฟฟ้า จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งได้ หลังจากนั้นนักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยพัฒนา ก็ได้พยายามศึกษาคุณสมบัติในการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในเงื่อนไขต่าง ๆ กัน เช่น การส่งผ่านไปในชั้นบรรยากาศของโลก การส่งผ่านไปในวัสดุประเภทต่าง ๆ เป็นต้น ในขณะที่เดียวกัน ก็พยายามนำความรู้และประสบการณ์ต่างๆ ที่ค้นพบมาประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความเป็นอยู่ของมนุษย์ งานประยุกต์สาขาหนึ่งที่สามารถนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ ก็คือ การสื่อสารโทรคมนาคม และในบรรดานักวิทยาศาสตร์ที่สร้างผลงาน ที่มีผลต่อการสื่อสาร โดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นอย่างสูง คือ ไฮน์ริค รูดอล์ฟ เฮิร์ตซ์ (Heinrich Rudolph Hertz) เพราะเฮิร์ตซ์เป็นผู้ทำการทดลองและพิสูจน์ทฤษฎีของแมกซ์เวลล์เป็นผลสำเร็จ โดยเฮิร์ตซ์ได้ทำการสร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นมีจริง ในเชิงกายภาพ นอกจากนั้น เฮิร์ตซ์ยังได้ทำการทดลองที่แสดงให้เห็นว่ามีการสอดแทรก (interference) การสะท้อน (reflection) และการหักเห (refraction) เกิดขึ้น คุณสมบัติเหล่านี้ล้วนเป็นการยืนยันคุณสมบัติที่เป็นคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งสิ้น อย่างไรก็ตาม การทดลองของเฮิร์ตซ์นั้น ทำในปี พ.ศ. 2422 ซึ่งเป็นเวลา 25 ปี หลังจากที่แมกซ์เวลล์ได้ประกาศทฤษฎีไปแล้ว

การทดลองข้างต้นของเฮิร์ตซ์ นับเป็นแรงกระตุ้นสำคัญที่ทำให้นักวิจัย และพัฒนาสนใจที่จะนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ และจากคุณสมบัติที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถเคลื่อนที่ได้เร็วมาก คือ เคลื่อนที่ด้วยอัตราความเร็ว 2.998×10^8 m/s จึงทำให้มีความสนใจที่จะนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ในงานด้านสื่อสารโทรคมนาคม อันที่จริงการสื่อสารโดยใช้ไฟฟ้าในลักษณะที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปตามเส้นลวดทองแดงนั้น ได้เริ่มต้นขึ้นในช่วงใกล้เคียงกับการประกาศทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ ซึ่งหมายถึงในช่วงเวลานั้น ก็ได้มีชิ้นส่วนวงจรและอุปกรณ์สื่อสารเกิดขึ้นแล้ว ถึงแม้ว่าในช่วงนั้นจะใช้วิธีส่งแบบเบนดัมก็มีความสามารถจำกัดมาก กล่าวคือ จะไม่สามารถส่งสัญญาณหลาย ๆ สัญญาณผ่านไปตามสายเส้นเดียวได้ จึงทำให้เกิดความจำเป็นในการพัฒนาเทคนิคในการมอดิเฟอ์สัญญาณเชิงความถี่ ซึ่งหมายถึงต่อใช้แหล่งกำเนิดความถี่สูงขึ้น ในขณะที่เดียวกัน การสื่อสารโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่งผ่านไปในบรรยากาศนั้น ก็จำเป็นต้องใช้สายอากาศ ซึ่งสายอากาศจะทำงานได้ดี ก็ต่อเมื่อขนาดของสายอากาศมีค่าประมาณครึ่งความยาวคลื่น หรือมากกว่าขึ้นไป ความถี่ที่ใช้จึงต้องสูงด้วย จะเห็นได้ว่าความต้องการจากการสื่อสารตามสาย และการสื่อสารโดยใช้คลื่นนั้นสอดคล้องกัน จึงได้ทำให้เกิดการพัฒนาเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่สูงขึ้นตามลำดับ ในขณะที่เดียวกัน ก็ได้มีการพัฒนาชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบต่าง ๆ ไปพร้อม ๆ กันด้วย

ตารางที่ 1 แสดงการแบ่งช่วงความถี่ ที่ใช้เป็นมาตรฐานสากลอยู่ในขณะนี้ สำหรับตารางที่ 2 นั้น เป็นการแบ่งช่วงความถี่ในย่านไมโครเวฟ ซึ่งมีชื่อเรียกเดิมและชื่อเรียกใหม่กำกับอยู่ ถึงแม้จะมีการกำหนดชื่อเรียกใหม่ให้เป็นระบบขึ้น แต่ด้วยความคุ้นเคยเดิมที่ยังมีอยู่ ชื่อเรียกเดิมก็ยังใช้งานกันเป็นปกติอยู่

ตารางที่ 1 การแบ่งช่วงความถี่

ย่านความถี่	ชื่อเรียก
3-30 KHz	Very low frequency (VLF)
30-300 KHz	Low frequency (LF)
300-3,000 KHz	Medium frequency (MF)
3-30 MHz	High frequency (HF)
30-300 MHz	Very-high frequency (VHF)
300-3,000 MHz	Ultra-high frequency (UHF)
3-30 GHz	Super-high frequency (SHF)
30-300 GHz	Extremely-high frequency (EHF)

ตารางที่ 2 การแบ่งช่วงความถี่ในย่านไมโครเวฟ

ช่วงความถี่	ชื่อเรียกเดิม	ชื่อเรียกใหม่
1-2 GHz	L	D
2-3 GHz	S	E
3-4 GHz	S	F
4-6 GHz	C	G
6-8 GHz	C	H
8-10 GHz	X	I
10-12.4 GHz	X	J
12.4-18 GHz	Ku	J
18-20 GHz	K	J
20-26.5 GHz	K	K
26.5-40 GHz	Ka	K

2. ลักษณะเฉพาะตัวและประโยชน์ของไมโครเวฟ

ไมโครเวฟ นอกจากจะมีคุณสมบัติเคลื่อนที่ได้เร็ว เพราะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้ว ยังมีคุณสมบัติที่เด่น ๆ อีกหลายประการ จึงทำให้ไมโครเวฟถูกนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ มากมายหลายด้านด้วยกัน คุณสมบัติเหล่านี้ ได้แก่

1. การมีความถี่สูงกว่า 1 GHz ซึ่งหมายถึงความยาวคลื่นจะต่ำกว่า 30 เซนติเมตร ลงมา
2. ในย่านไมโครเวฟ สัญญาณรบกวนที่มนุษย์สร้างขึ้น (man-made noise) มีระดับต่ำ เมื่อเทียบกับย่านความถี่ต่ำกว่า
3. โครงสร้างโมเลกุลของวัสดุหลายๆ ชนิดสามารถดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟได้เป็นอย่างดี

คุณสมบัติเด่นประการที่ 1 และประการที่ 2 นั้น นับว่ามีประโยชน์มาก สำหรับการใช้งานทางด้านไฟฟ้าสื่อสารและระบบเรดาร์ (Radar) ในระบบเรดาร์นั้น เพื่อให้การตรวจจับเป้าหมายมีความละเอียดถูกต้องสูง เมนบีม (main beam) ของสายอากาศ จำเป็นต้องมีบีมวิดท์ (beamwidth) ที่แคบมาก ๆ และเนื่องจากความกว้างของบีมวิดท์จะขึ้นอยู่กับขนาดของสายอากาศ เมื่อเทียบกับความยาวคลื่น อย่างเช่น ในกรณีของสายอากาศแบบจานสะท้อนพาราโบลา บีมวิดท์จะประมาณค่าได้ในรูป $140^\circ / (D/\lambda_0)$ โดยที่ D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของจานพาราโบลา และ λ เป็นความยาวคลื่นที่ใช้

ในกรณีนี้ สมมุติว่าถ้าเราต้องการให้ค่าบีมวิดท์ต่ำกว่า 2° ลงมา เส้นผ่านศูนย์กลางของจานพาราโบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลาจะต้องเป็น 70 λ_0 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ถ้าความถี่ใช้งานอยู่ในย่าน VHF หรือ UHF ช่วงล่าง โอกาสที่จะสร้างงานใหญ่ขนาดนี้ แล้วย้อนได้ด้วยนั้น เกือบจะเป็นไปไม่ได้ แต่ถ้าความถี่อยู่ในย่านไมโครเวฟ ซึ่งความยาวคลื่นสั้นลงมาก ก็จะสามารถสร้างสายอากาศที่มีคุณสมบัติตามต้องการได้อันที่จริงความต้องการที่จะสร้างระบบเรดาร์ให้มีความแม่นยำสูงนี้เอง ที่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านไมโครเวฟอย่างจริงจัง ในช่วงระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2

สำหรับคุณสมบัติประการที่ 3 คือการที่โมเลกุลของสารต่างๆ สามารถดูดกลืนพลังงานคลื่นไมโครเวฟนั้น จะใช้ประโยชน์ได้หลายด้านด้วยกัน การใช้ประโยชน์ที่ใกล้ชิดกับชีวิตในสังคมปัจจุบันมากที่สุด ก็คือการทำเป็นเตาไมโครเวฟที่ใช้ในการอุ่นหรือปรุงอาหาร เตาไมโครเวฟจะอาศัยหลักการกระตุ้นให้โมเลกุลของน้ำในอาหารเกิดการสั่นสะเทือน ซึ่งจะสร้างความร้อนขึ้น ทำให้อาหารสุกได้ ข้อดีของการให้ความร้อนแบบนี้ก็คือ ความร้อนจะเกิดขึ้นภายในเนื้อในของอาหาร ซึ่งจะแตกต่างจากการให้ความร้อนโดยการนำความร้อน หรือการพาความร้อนโดยทั่วไป ลักษณะพิเศษนี้ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ในทางการแพทย์ได้มากมาย นอกจากการใช้งานในลักษณะที่ทำให้เกิดความร้อนแล้ว ยังสามารถใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างของแร่ธาตุและสารประกอบต่าง ๆ โดยอาศัยหลักการที่สารต่าง ๆ ดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ต่างกัน ในขณะที่เดียวกัน ก็สามารถใช้ในการศึกษาคุณสมบัติของตัวอย่างของสารกึ่งตัวนำ และแร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งนำไปใช้ในการทำชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ต่อไปได้

นอกจากการใช้งานดังกล่าวข้างต้น ในปัจจุบันนี้ก็ได้เกิดความพยายามที่จะส่งพลังงานไฟฟ้าจากสถานีภาคพื้นดินไปยังดาวเทียมที่ลอยอยู่ในอวกาศเหนือโลกโดยใช้ไมโครเวฟ นั้นหมายถึงสถานีบนภาคพื้นดินจะต้องใช้งานสะท้อนขนาดใหญ่ เพื่อบีบลำบีมของคลื่นไมโครเวฟให้พุ่งไปยังเป้าหมายที่ต้องการ

และสิ่งสำคัญประการหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง นั่นก็คือ สิ่งใดที่มีประโยชน์มาก ก็ย่อมมีอันตรายในตัวมันเองเช่นเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่น แสงเลเซอร์กำลังสูงสามารถใช้ตัดแผ่นเหล็กได้ ก็จะมีอันตรายต่อร่างกายของคนเรามาก ถ้าไปโดนเข้าโดยตรง โดยเฉพาะถ้าบังเอิญเอาดวงตาไปถึงแสงนั้นเข้า คลื่นไมโครเวฟถึงแม้จะมีความหนาแน่นของพลังงานไม่สูงเท่ากับแสงเลเซอร์ แต่ก็สามารถทำอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์ได้ โดยเฉพาะคลื่นไมโครเวฟที่ออกจากเรดาร์กำลังสูง ตารางที่ 3 แสดงตัวเลขของความหนาแน่นกำลังงานของคลื่นวิทยุความถี่ต่าง ๆ ที่จะต้องควบคุมไว้ เพื่อไม่ให้ เป็นอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์ จากตารางจะเห็นได้ว่าในช่วงความถี่ 30-1,500 MHz ความหนาแน่นกำลังงานจะต่ำ เนื่องจากเป็นช่วงความถี่ ที่อันตรายต่อเชื้อและอวัยวะของร่างกายได้ง่าย ดังนั้นผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับคลื่นวิทยุ จึงควรระมัดระวังในเรื่องความปลอดภัย โดยหลีกเลี่ยงไม่อยู่ในบริเวณ

ที่มีกำลังคลื่นสูง หรือหลีกเลี่ยงอันตรายจากคลื่น โดยทำงานอยู่ในห้องที่ปิดกั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic shielded room)

ตารางที่ 3 ความหนาแน่นกำลังงานของคลื่นวิทยุตามมาตรฐานความปลอดภัย
ของ ANSI (American National Standard Institute)

ความถี่ (MHz)	ความหนาแน่นกำลัง (mW/cm ²)
0.3-3	100
3-30	$900/f^2$
30-300	1.0
300-1,500	$f/300$
5,500-100,000	5.0

หมายเหตุ : f คือความถี่ที่มีหน่วยเป็น MHz

บทที่ 1

หลอดไมโครเวฟ

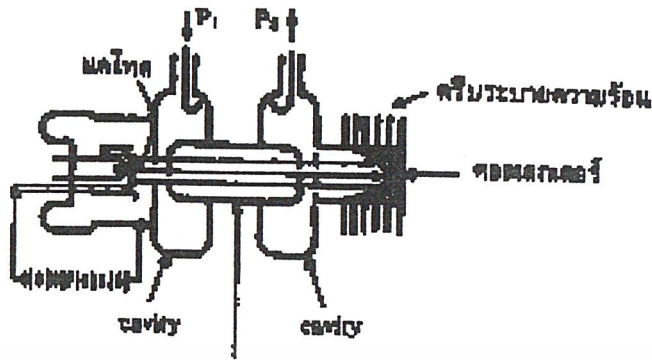
หลอดไมโครเวฟ (Microwave Tubes) เป็นชิ้นส่วนไมโครเวฟที่มีความสำคัญ และปัจจุบันนี้ก็ยังคงมีความจำเป็นต้องใช้งานอยู่ ถึงแม้ในงานบางอย่างจะสามารถใช้ชิ้นส่วนสารกึ่งตัวนำมาแทนที่ได้ ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงหลักการทํางาน และคุณสมบัติของหลอดไมโครเวฟแบบหลัก ๆ ที่ยังใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน ซึ่งได้แก่ หลอดไคลสตรอน (Klystron Tubes) หลอดคลื่นจร (Travelling Wave Tubes) และหลอดแมกเนตรอน (Magnetron)

1. หลอดไคลสตรอน

หลอดไคลสตรอน เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สองที่น้องชาวอเมริกัน R.H. Varian และ S.F. Varian เป็นผู้คิดค้นขึ้นมาในปี พ.ศ. 2481 ซึ่งนับว่าเป็นหลอดอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานในย่านความถี่ไมโครเวฟเป็นหลอดแรก หลอดไคลสตรอนมีอยู่สองแบบด้วยกัน คือ แบบที่ลำอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเพียงอย่างเดียว ส่วนแบบหลัง ใช้เป็นออสซิลเลเตอร์สำหรับกำเนิดสัญญาณไมโครเวฟ แบบหลังนี้มีชื่อเรียกเฉพาะว่ารีฟเล็กซ์ไคลสตรอน (Reflex Klystron)

1.1 โครงสร้างและการทำงานของหลอดไคลสตรอน

หลอดไคลสตรอนแบบที่ใช้ในการขยายกำลังนั้น จะมีโครงสร้างตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 1 กล่าวคือ จะประกอบด้วยปืนอิเล็กตรอน (electron gun) หลอดที่ให้ลำอิเล็กตรอนส่งผ่าน (drift tube) แม่เหล็กถาวรที่บีบลำอิเล็กตรอน คอลเลกเตอร์ (collector) สำหรับรวบรวมลำอิเล็กตรอนตรงปลายหลอด และส่วนที่เป็นวงจรเรโซแนนซ์แบบโพรงทางด้านอินพุตและทางด้านเอาต์พุต รูปที่ 1 แสดงกรณีที่มีวงจรเรโซแนนซ์เพียง 2 วงจร คือ ทางด้านอินพุต และทางด้านเอาต์พุตเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม หลอดไคลสตรอนที่ใช้งานจริงและที่ต้องการอัตราขยายสูงๆ นั้น จะใช้วงจรเรโซแนนซ์แบบโพรงมากกว่า 2 วงจร วงจรเรโซแนนซ์แบบโพรงที่ใช้หลอดไคลสตรอนนี้ จะเป็นแบบรีเอนแทรนต์ (reentrant cavity) ซึ่งมีโครงสร้างตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2 โครงสร้างดังกล่าวนี้ จะมีบริเวณตรงกลางซึ่งเป็นบริเวณที่ลำอิเล็กตรอนผ่านคอคแคบลง ทำให้ลำอิเล็กตรอนสามารถวิ่งผ่านวงจรเรโซแนนซ์ได้อย่างรวดเร็ว



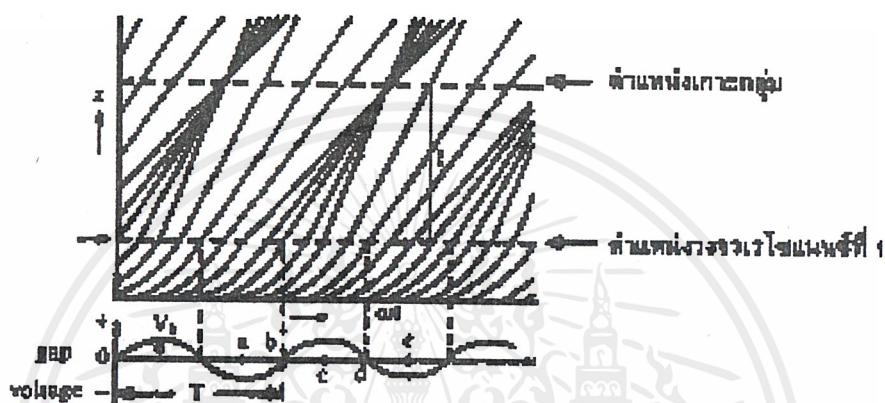
รูปที่ 1 โครงสร้างของหลอดไอคลอสตรอน



รูปที่ 2 วงจรเรโซแนนซ์แบบรีเอ็นเทรนด์

การทำงานของหลอดไอคลอสตรอนจะเป็นดังนี้ คือ ถ้าอิเล็กตรอนที่เข้าเขตของวงจรรีโซแนนซ์ทางด้านอินพุต ในจังหวะที่สัญญาณไมโครเวฟมีค่าเป็นบวกและเป็นลบ จะออกไปจากเขตของวงจรรีโซแนนซ์ด้วยความเร็วที่เร็วขึ้นและช้าลงกว่าความเร็วที่เข้ามา รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งของอิเล็กตรอนที่ตำแหน่งต่างๆ ตามแนวแกนของหลอด จากรูป จะเห็นได้ว่าถ้าอิเล็กตรอนที่เข้าสู่วงจรรีโซแนนซ์ด้านอินพุต ตรงจังหวะที่สัญญาณอินพุตอยู่ที่จุด b คือความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสองของวงจรรีโซแนนซ์เป็น 0 อิเล็กตรอนที่ออกไปก็จะมีความเร็วคงเดิม ซึ่งจะเห็นได้จากความชันของเส้นโค้งตรงตำแหน่งของวงจรรีโซแนนซ์ด้านอินพุตมีค่าเท่ากัน แต่อิเล็กตรอนที่เข้ามาตรงตำแหน่ง a จะถูกสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วของวงจรรีโซแนนซ์ ผลทำให้เคลื่อนที่ช้าลง และจะออกไปจากวงจรรีโซแนนซ์ด้วยความเร็วช้าลง ทำให้ความชันของเส้นโค้งเปลี่ยนแปลงตรงตำแหน่งที่ออกจากวงจรรีโซแนนซ์ โดยมีความชันที่ลาดต่ำลง ในทางตรงข้าม ถ้าอิเล็กตรอนที่เข้ามาตรงตำแหน่ง c จะถูกสนามไฟฟ้าที่ล้อมวงจรรีโซแนนซ์เสริมให้มีความเร็วสูงขึ้น ทำให้ความชันของเส้นโค้งสูงขึ้น เหตุการณ์ดังกล่าวนี้ ทำให้อิเล็กตรอนเกาะกลุ่ม (bunching) กันขึ้นที่ตำแหน่งห่างจากวงจรรีโซแนนซ์ด้านอินพุตเป็นระยะทางอันหนึ่ง อิเล็กตรอนที่เกาะกันเป็นกลุ่ม ๆ นี้ จะเคลื่อนที่ต่อไปด้วยความเร็วค่าหนึ่ง และเมื่อเคลื่อนที่ผ่านวงจรรีโซแนนซ์ด้านเอาต์พุต ก็จะกระตุ้นให้เกิดสัญญาณไมโครเวฟขึ้นในวงจรรีโซแนนซ์ด้านเอาต์พุต เพราะการที่ถ้าอิเล็กตรอนที่มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนไม่เท่ากัน เคลื่อนที่ผ่านวงจรรีโซแนนซ์ ก็เท่ากับมีกระแสไมโครเวฟไหลผ่าน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรรเรโซแนนซ์ วงจรรเรโซแนนซ์ทางด้านเอาต์พุตและโพรบที่คับปลิงกำลังคลื่นออกไปจากวงจรรเรโซแนนซ์นี้ ก็จะทำหน้าที่เป็นโหลดที่รับพลังงานไมโครเวฟจากกระแสน์ออกป้ใช้ กำลังของสัญญาณไมโครเวฟที่เอาต์พุตนี้ จะสูงกว่าที่อินพุตได้มาก เพราะพลังงานที่มีอยู่ในลำอิล็กตรอนสูงกว่าพลังงานของสัญญาณอินพุตมาก



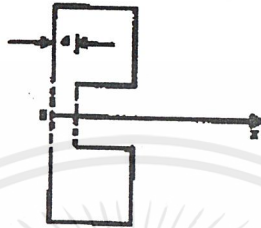
รูปที่ 3 การเดินทางของลำอิล็กตรอนที่ผ่านวงจรรเรโซแนนซ์ทางด้านอินพุต

การที่ลำอิล็กตรอนถูกหน่วงและถูกเสริมให้มีความเร็วช้าลงและเร็วขึ้น จนทำให้เกิดการเกาะกลุ่มกันขึ้นนี้ เราเรียกว่า การมอดูเลตความเร็ว (velocity modulation) และจากผลของการมอดูเลตความเร็วนี้ ทำให้ความหนาแน่นของอิล็กตรอนตรงตำแหน่งที่เกิดการเกาะกลุ่มมีความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงตามเวลา เราเรียกว่า การมอดูเลตความหนาแน่น (density modulation)

จากที่อธิบายมาข้างต้นนี้ จะสามารถสรุปกลไกของการถ่ายเทพลังงานได้ดังนี้ คือ อิล็กตรอนที่ถูกกำเนิดและถูกเร่งด้วยความต่างศักย์ V_0 จะมีพลังงานในตัวเองสูง แต่ถ้าไม่มีสัญญาณอินพุตเข้ามาที่วงจรรเรโซแนนซ์ด้านเอาต์พุต ก็จะไม่มีการมอดูเลตความเร็วเกิดขึ้น ทำให้กระแสที่ไหลผ่านวงจรรเรโซแนนซ์ด้านเอาต์พุตเป็นกระแสตรง และไม่มีการคับปลิงคลื่นไมโครเวฟออกไปได้ เมื่อมีสัญญาณไมโครเวฟเข้าที่วงจรรเรโซแนนซ์ทางด้านอินพุต จะเกิดการมอดูเลตความเร็วขึ้น ทำให้พลังงานที่มีอยู่ในลำอิล็กตรอนส่วนหนึ่ง ถูกแปลงให้เป็นพลังงานของความถี่ไมโครเวฟ และพลังงานส่วนดังกล่าวนี้ ก็จะถูกคับปลิงออกไปจากวงจรรเรโซแนนซ์ทางด้านเอาต์พุต ซึ่งเท่ากับเป็นการใช้พลังงานที่มีอยู่ในลำอิล็กตรอน ในการขยายสัญญาณไมโครเวฟ

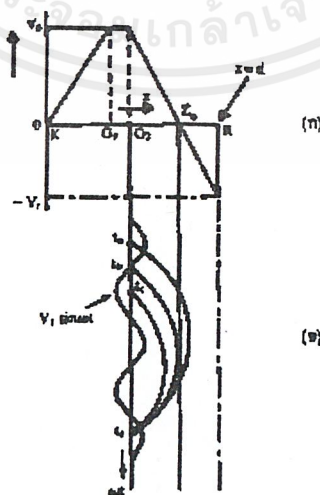
1.2 รีเฟล็กซ์โคลสตรอน

รีเฟล็กซ์โคลสตรอนเป็นหลอดโคลสตรอนที่ใช้เป็นออสซิลเลเตอร์ และครั้งหนึ่งเคยมีบทบาทอย่างมากในระบบไมโครเวฟ ก่อนที่ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ชิ้นส่วนสารกึ่งตัวนำจะเข้ามาแทนที่ ในปัจจุบันรีเฟล็กซ์โคลสตรอนเกือบจะไม่มี ในหัวข้อนี้จึงขอกล่าวถึงหลักการทำงาน และสิ่งที่ เป็นข้อเสียเปรียบของรีเฟล็กซ์โคลสตรอน จนทำให้หมดยุคของรีเฟล็กซ์โคลสตรอนไป



รูปที่ 4 โครงสร้างและส่วนประกอบของรีเฟล็กซ์โคลสตรอน

โครงสร้างของรีเฟล็กซ์โคลสตรอนและส่วนประกอบ แสดงไว้ในรูปที่ 4 กล่าวคือ ประกอบด้วยปืนอิเล็กตรอน วงจรเรโซแนนซ์แบบรีเอ็นเทรนซ์และรีเพลลอร์ (repeller) ซึ่งทำหน้าที่เป็นแผ่นสะท้อนอิเล็กตรอน การสร้างความต่างศักย์ตามแนวแกนของหลอดนั้น จะใช้การไบแอส ให้วงจรเรโซแนนซ์มีความต่างศักย์สูงกว่าปืนอิเล็กตรอน เพื่อเร่งให้อิเล็กตรอนมีความเร็วสูงขึ้น และมีพลังงานในตัวเองสูงขึ้น สำหรับรีเพลลอร์นั้น จะไบแอสให้มีค่าลบ เมื่อเทียบกับวงจรเรโซแนนซ์ โดยที่ใช้รีเพลลอร์มีความต่างศักย์ต่ำกว่าปืนอิเล็กตรอน รูปที่ 5 (ก) แสดงศักย์ไฟฟ้าที่ ตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวแกนของหลอดโดยเทียบกับศักย์ไฟฟ้าที่ปืนอิเล็กตรอน

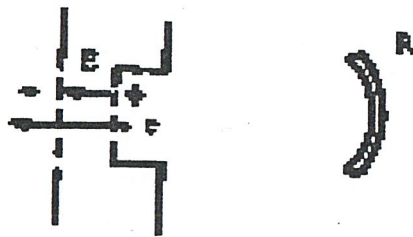


รูปที่ 5 ศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวแกนของหลอด

และการเดินทางของอิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่รีเฟลคเตอร์มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าป็นอิเล็กตรอนนั้น ทำให้อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ผ่านวงจรเรโซแนนซ์ ถูกดันกลับมามีสนามไฟฟ้าขนาดสูงกว่า ทำให้อิเล็กตรอนถูกสะท้อนกลับมามาก่อนที่จะเคลื่อนที่ถึงแผ่นรีเฟลคเตอร์ ในสภาพของไบแอสดังกล่าวนี้ ถ้ามีสัญญาณไมโครเวฟคร่อมอยู่ที่กริด (grid) ทั้งสองของวงจรเรโซแนนซ์ดังกล่าวไว้ในรูปที่ 5 (ข) อิเล็กตรอนที่เข้ามาในจังหวะที่สัญญาณไมโครเวฟมีค่าเป็นบวก ก็จะออกจากวงจรเรโซแนนซ์ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ทำให้เคลื่อนที่เข้าใกล้รีเฟลคเตอร์ได้มากกว่าอิเล็กตรอนที่เข้าสู่วงจรเรโซแนนซ์ในจังหวะที่สัญญาณไมโครเวฟเป็นศูนย์ หรือเป็นลบดังที่แสดงไว้ในรูป เนื่องจากอิเล็กตรอนต้องการเวลาในการเดินทางจากจุดกึ่งกลางของวงจรเรโซแนนซ์ไปทางด้านรีเฟลคเตอร์แล้วสะท้อนกลับมาที่จุดกึ่งกลางใหม่ เป็นช่วงเวลาอันหนึ่ง หรืออาจเรียกว่าทรานสิตไทม์ (transit time) ทรานสิตไทม์ของอิเล็กตรอนที่เข้าใกล้รีเฟลคเตอร์ได้มากกว่า จะมีค่าสูงกว่าอิเล็กตรอนที่เข้าใกล้รีเฟลคเตอร์ได้น้อยกว่า ดังนั้น จึงมีโอกาที่จะเกิดการเกาะกลุ่มของอิเล็กตรอนที่ตำแหน่งกึ่งกลางของวงจรเรโซแนนซ์ได้ รีเฟล็กซ์โคลเลคตรอนอาศัยหลักการที่อิเล็กตรอนเกาะกลุ่มกันที่วงจรเรโซแนนซ์นี้ ในการสร้างออสซิลเลเตอร์ โดยจัดให้เกาะกลุ่มกันในจังหวะที่เหมาะสม กล่าวคือให้อิเล็กตรอนที่สะท้อนกลับมาเกาะกลุ่มกันที่จังหวะสัญญาณไมโครเวฟมีค่าสูงสุดทางด้านบวก ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 5 (ข) ในสภาพดังกล่าวนี้ กลุ่มสัญญาณอิเล็กตรอนที่ผ่านกริดทั้งสองของวงจรเรโซแนนซ์ จะผ่านไป ในทิศทางที่ด้านสนามไฟฟ้าชั่วขณะที่เกิดอยู่ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 6 ในเงื่อนไขดังกล่าวนี้ อิเล็กตรอนจะส่งผ่านพลังงานให้กับสัญญาณไมโครเวฟเหมือนชิงช้าที่แกว่งอยู่ กลุ่มอิเล็กตรอนก็เปรียบเหมือนแรงที่ผลักชิงช้าออกไปในจังหวะที่แกว่งมาสุดทางด้านขวา ดังที่แสดงในรูปที่ 7 ดังนั้น เมื่อออกแบบระบบให้เกิดการเกาะกลุ่มที่จังหวะที่เหมาะสม ก็จะทำให้เกิดการส่งผ่านพลังงานจากกลุ่มอิเล็กตรอนไปให้โหลด ที่คู่อยู่กับวงจรเรโซแนนซ์ได้ตลอดเวลา ซึ่งก็คือการทำงานของออสซิลเลเตอร์นั่นเอง สำหรับการเริ่มต้นของออสซิลเลชันนั้น ก็เริ่มต้นจากสัญญาณรบกวนในระบบ หลังจากเปิดเครื่อง โดยที่สเปกตรัมของสัญญาณรบกวนส่วนที่เรโซแนนซ์กับวงจรเรโซแนนซ์ได้ ก็จะเป็นตัวเริ่มต้นทำให้เกิดการเกาะกลุ่มของอิเล็กตรอนได้ แล้วก็ก่อตัวเป็นออสซิลเลชันได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 6 ทิศทางของกลุ่มอิเล็กตรอนและทิศทางของสนามไฟฟ้า

ที่กริดของวงจรเรโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

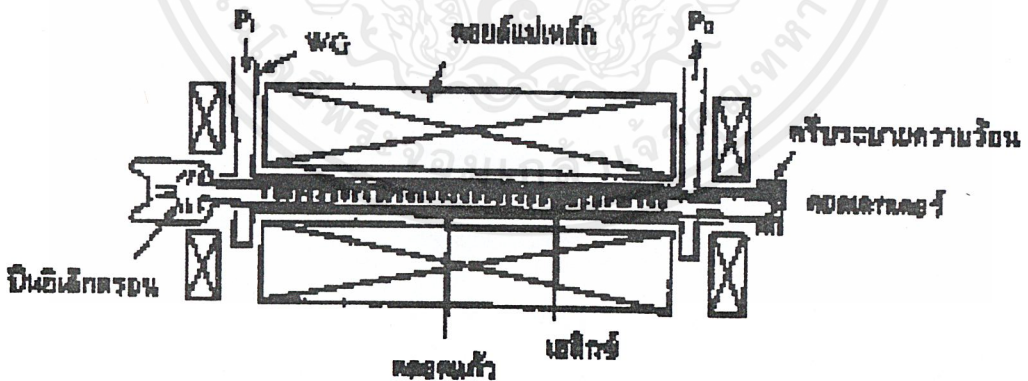


รูปที่ 7 เปรียบเทียบการส่งพลังงานจากกลุ่มอิเล็กตรอน
ให้กับสัญญาณไมโครเวฟกับการไกวชิงช้า

2. หลอดคลื่นจร (Travelling Wave Tube)

หลอดคลื่นจร หรือเรียกย่อว่า TWT นั้น เป็นหลอดไมโครเวฟที่ใช้ในการขยายสัญญาณไมโครเวฟ หลอดคลื่นจรมีข้อดีเหนือกว่าโคลสตรอนตรงที่มีแบนด์วิดท์ที่กว้างกว่า คือสร้างให้มีแบนด์วิดท์ประมาณหนึ่งออกเทปได้โดยไม่ยากนัก

โครงสร้างและการทำงานของหลอดคลื่นจร มีโครงสร้างพื้นฐานตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 8 ส่วนประกอบหลัก ๆ คือ ปืนอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนเลนส์ ขั้วแอโนด วงจรคลื่นช้า (slow wave circuit) แม่เหล็กถาวรที่ใช้ในการบีบดำอิเล็กตรอน และคอดเลกเตอร์ นอกจากนี้จะมีวงจรไบแอส ส่วนประกอบต่าง ๆ ให้มีแรงดันที่เหมาะสม

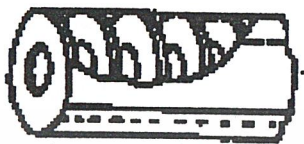


รูปที่ 8 โครงสร้างของหลอดคลื่นจร

หลักการการทำงานของหลอดคลื่นจรจะเป็นดังนี้ คือ วงจรคลื่นช้าจะทำหน้าที่ลดความเร็วตามแนวแกนของคลื่นไมโครเวฟ ให้มีค่าต่ำกว่าความเร็วของลำอิเล็กตรอนเล็กน้อย โดยจะทำการลดความเร็วของคลื่นลงเหลือ $\frac{1}{10}$ ถึง $\frac{1}{5}$ เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรถวลินซ์นี้ ในช่วงความถี่ต่ำกว่า 10 GHz จะให้เฮลิคซ์ (helix) ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 8 เป็นหลัก แต่เมื่อความถี่สูงขึ้นกว่า 10 GHz ขนาดของเฮลิคซ์จะเล็กลง ทำให้เอาต์พุตต่ำลง ดังนั้น จึงมักใช้วงจรถวลินซ์แบบฟิลเตอร์ ดังตัวอย่างที่แสดงไว้ในรูปที่ 9



รูปที่ 9 วงจรถวลินซ์แบบฟิลเตอร์

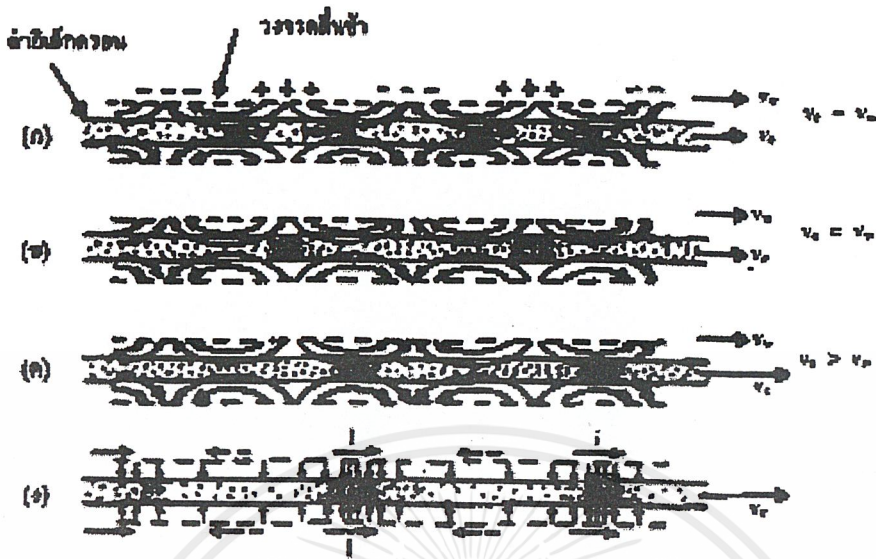
การใช้วงจรถวลินซ์ลดความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ให้อยู่ในระดับเดียวกับความเร็วของลำอิเล็กตรอน ก็เพราะต้องการให้เกิดการทำงานตอบสนองซึ่งกันและกัน (interaction) ระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับลำอิเล็กตรอน เพื่อให้เข้าใจง่าย จะอธิบายเป็นลำดับดังนี้

ก่อนอื่น ในสภาพที่ไม่มีสัญญาณไมโครเวฟเข้ามาทางอินพุต ลำอิเล็กตรอนก็จะส่งผ่านช่วงของวงจรถวลินซ์โดยไม่มีอะไรเกิดขึ้น ต่อไปถ้าคลื่นไมโครเวฟในวงจรถวลินซ์ เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็ว V_w เท่ากับความเร็วของอิเล็กตรอน V_e สิ่งที่เกิดขึ้นก็คืออิเล็กตรอนในลำอิเล็กตรอน ซึ่งมีความหนาแน่นค่อนข้างสม่ำเสมอในช่วงต้นของหลอดจะค่อย ๆ ถูกดึงให้ไปเกาะกลุ่มกันอยู่บริเวณที่คลื่นไมโครเวฟมีค่าเป็นบวก แล้วเคลื่อนที่ต่อไปทางขวามือ ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 10 (ก) และ (ข)

ในขั้นตอนดังกล่าวนี้ จะมีทั้งอิเล็กตรอนที่ถูกดึงไปข้างหน้า จะถูกดึงให้ถอยหลังมาอยู่ตรงบริเวณคลื่นไมโครเวฟมีค่าเป็นบวกดังกล่าว การที่อิเล็กตรอนถูกดึงไปข้างหน้า นั้น ก็เท่ากับได้รับพลังงานจากคลื่นและถูกดึงมาข้างหลัง ก็เท่ากับถ่ายเทพลังงานให้กับคลื่น เนื่องจากกรณีที่ $V_w = V_e$ นี้ จำนวนอิเล็กตรอนที่ถูกดึงและถูกดึงมีจำนวนเท่า ๆ กัน ดังนั้น โดยผลรวมแล้ว จะไม่มีการถ่ายเทพลังงานระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับสเปซชาร์จ (space charge) ในลำอิเล็กตรอน นั่นคือไม่มีการขยายกำลังของคลื่นไมโครเวฟเกิดขึ้น

ลำดับต่อไปเป็นกรณีที่ใช้งานโดยทั่วไป คือกรณีที่ความเร็วของลำอิเล็กตรอนเร็วกว่าความเร็วของคลื่นไมโครเวฟเล็กน้อย ในสภาพเช่นนี้ อิเล็กตรอนจะถูกดึงและถูกดึงให้ไปเกาะกลุ่มกันบริเวณที่สนามไฟฟ้า ตามแนวแกนที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟมีทิศทางที่จะดึงดูดอิเล็กตรอนไว้ ซึ่งหมายถึงกลุ่มอิเล็กตรอนจะถ่ายเทพลังงานให้กับสนามไฟฟ้าหรือคลื่นไมโครเวฟได้ รูปที่ 10 (ค) แสดงสภาพดังกล่าวนี้ เมื่อเกิดการถ่ายเทพลังงานจากลำอิเล็กตรอนให้กับคลื่นไมโครเวฟ กระแสที่ถูกเหนี่ยวนำให้ไหลในวงจรถวลินซ์ ก็จะมีขนาดสูงขึ้นตามลำดับ (ดูรูปที่ 10 (ง) ประกอบ) และทำให้สนามไฟฟ้ามีขนาดใหญ่อขึ้น และสนามไฟฟ้านี้ ก็ทำให้เกิดการเกาะกลุ่มของอิเล็กตรอนมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



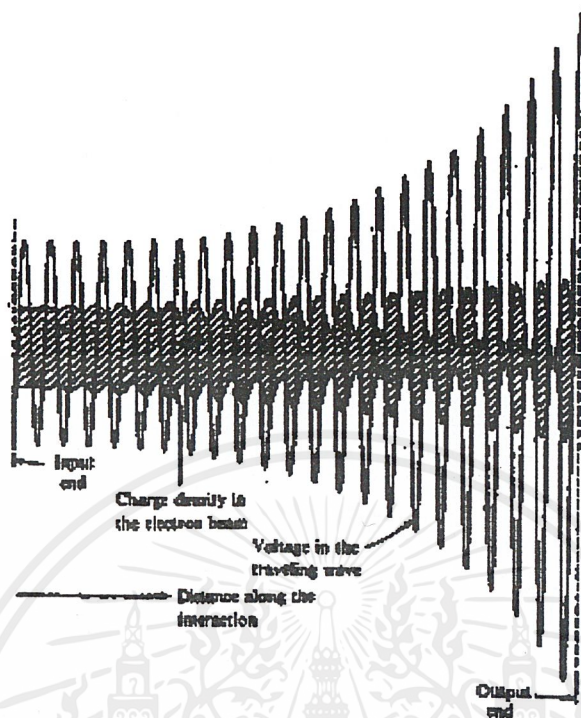
รูปที่ 10 ลักษณะการเกาะกลุ่มของอิลีคโตรอน

เมื่อความเร็วของคลื่นไมโครเวฟเท่ากับและน้อยกว่าความเร็วของอิลีคโตรอน

หนาแน่นยิ่งขึ้น ซึ่งส่งผลให้มีการถ่ายเทพลังงานมากขึ้น นั่นคือในระหว่างที่ลำอิลีคโตรอนและคลื่นไมโครเวฟส่งผ่านไปตามแกนวงจรถล่มช้า ลำอิลีคโตรอนจะมีการเกาะกลุ่มหนาแน่นขึ้นตามลำดับรูปที่ 11 แสดงสภาพดังกล่าวนี้

จากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่าตำแหน่งการเกาะกลุ่มของอิลีคโตรอน เมื่อเทียบกับคลื่นไมโครเวฟในช่วงต้น ๆ จะอยู่บริเวณที่สามารถถ่ายเทพลังงานให้กับคลื่นไมโครเวฟได้ไม่มากนัก แต่เมื่อถึงบริเวณกลางๆ หลอด อิลีคโตรอนก็จะเกาะกลุ่มกันบริเวณที่สามารถถ่ายเทพลังงานให้กับคลื่นไมโครเวฟได้สูงขึ้นตามลำดับ ทำให้ขนาดของคลื่นไมโครเวฟสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และในช่วงปลายหลอดนั้น อิลีคโตรอนจะเกาะกลุ่มกันตรงบริเวณที่คลื่นไมโครเวฟมีค่าต่ำสุด ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ไม่เกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างกัน การที่อิลีคโตรอนเกาะกลุ่มกันที่ตำแหน่งที่ต่ำลง เมื่อเทียบกับไมโครเวฟนี้ เป็นเพราะว่าอิลีคโตรอนถ่ายเทพลังงานให้กับคลื่นและเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยช้าลง

จากที่อธิบายมานี้ จะเห็นได้ว่าวงจรถล่มช้าที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ คือ สามารถลดความเร็วของคลื่นไมโครเวฟลงเหลือ $\frac{1}{10}$ ถึง $\frac{1}{5}$ เท่า และจะต้องสร้างสนามไฟฟ้าที่มีส่วนประกอบในแนวแกนสูง เพื่อให้เกิดการคับปลิงกับอิลีคโตรอนได้ดี ดังนั้น วงจรถล่มช้าที่เป็นเฮลิคซ์และเป็นแบบฟิลเตอร์ ตามรูปที่ 10 ซึ่งมีคุณสมบัติทั้งสองประการนี้ จึงมีใช้กันอยู่ทั่วไป



รูปที่ 11 การเกาะกลุ่มกันของอิเล็กตรอน และการเพิ่มขนาดของคลื่นไมโครเวฟตามแนวแกนของวงจรคลื่นช้า

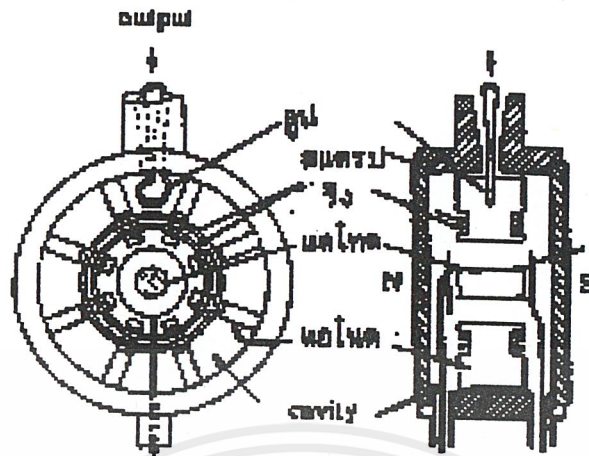
3. หลอดแมกเนตรอน (Magnetron)

แมกเนตรอนเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณไมโครเวฟที่สามารถสร้างให้มีแอมพลิจูดสูง ๆ ได้ ในขณะเดียวกัน ก็ให้ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานที่สูง ลักษณะใช้งานหลัก ๆ ของแมกเนตรอนคือใช้เป็นเครื่องส่งของเรดาร์ และใช้ในเตาไมโครเวฟ เป็นต้น

ในโครงการนี้ เป็นการนำหลอดแมกเนตรอนมาใช้งาน ดังนั้น ในหัวข้อนี้ จะได้อธิบายอย่างละเอียดเกี่ยวกับหลักการทํางาน พร้อมทั้งการวิเคราะห์การทํางานของแมกเนตรอน

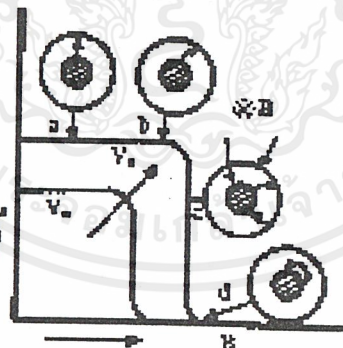
3.1. โครงสร้างและหลักการทํางานของแมกเนตรอน

แมกเนตรอนเป็นออสซิลเลเตอร์ที่มีโครงสร้างดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 12 คือประกอบด้วยขั้วแคโทดและขั้วแอโนดรูปทรงกระบอกที่มีแกนร่วมกัน ทางด้านขั้วแอโนดนั้น จะมีวงจรเรโซแนนซ์แบบโพรงกระจายอยู่โดยรอบ และในแนวแกนจะมีสนามแม่เหล็กสถิตที่มีความเข้มที่เหมาะสมกระทำอยู่ในสภาพที่มีสนามแม่เหล็กในทิศแนวแกนดังกล่าวนี้ อิเล็กตรอนที่หลุดจากขั้วแคโทดและถูกสนามไฟฟ้าดึงไปยังขั้วแอโนดจะได้รับแรงกระทำจากสนามแม่เหล็ก ทำให้เส้นทางของอิเล็กตรอนเบี่ยงเบนไป ในช่วงที่สนามแม่เหล็กมีความเข้มต่ำ เส้นทางของอิเล็กตรอนจะเบี่ยงเบน



รูปที่ 12 โครงสร้างของแมกเนตรอน

ไปจากเส้นตรงเป็นเส้นโค้ง และอิเล็กตรอนจะเดินทางไปถึงขั้วแอโนดได้ ทำให้เกิดกระแสไหลในลักษณะที่แสดงไว้ในรูปที่ 13 แต่เมื่อสนามแม่เหล็กมีความเข้มสูงขึ้นเกินค่า ๆ หนึ่ง อิเล็กตรอนจะถูกอడ్โค้งกลับมายังขั้วแคโทดอย่างเดิม และไม่มีกระแสไหล ความเข้มของสนามแม่เหล็กตรงที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงนี้เรียกว่า ความเข้มวิกฤติของสนามแม่เหล็ก (critical magnetic field) แมกเนตรอนในสภาพที่มีความเข้มวิกฤติของสนามแม่เหล็กนี้ จะออกซิเดเลดได้ง่าย



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ไหลระหว่างขั้วแอโนดและแคโทด กับความเข้มของสนามแม่เหล็ก

การทำงานของแมกเนตรอนนั้น โดยหลักการแล้ว จะอาศัยการถ่ายเทพลังงานจลน์จากอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่อยู่กับสนามไมโครเวฟ แมกเนตรอนนั้นเดิมมีหลายแบบด้วยกัน ได้แก่

1. แบบไดนาตรอน (dynatron)
2. แบบ A (A-type magnetron)
3. แบบ B (B-type magnetron)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

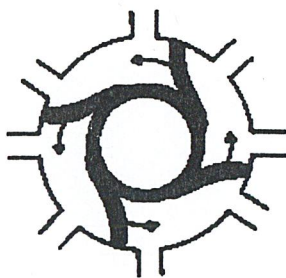
แต่เนื่องจากแบบ 1 และแบบที่ 2 ค่อนข้างมีปัญหา คือแบบโคเนตรอนมีความถี่ออสซิลเลตต่ำ และแบบ A มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานต่ำ ดังนั้น ปัจจุบันจึงใช้แบบ B เป็นหลัก และในที่นี้ จะอธิบายแมกเนตรอนแบบ B เท่านั้น

แมกเนตรอนแบบ B จะมีโครงสร้างตามรูปที่ 12 การทำงานของแมกเนตรอนแบบ B นี้จะคล้ายคลึงกับหลอดคลื่นจรมาก กล่าวคือเมื่ออิเล็กตรอนหลุดออกมาจากขั้วแคโทด และถูกเร่งด้วยแรงดันของขั้วแอโนด สนามของคลื่นไมโครเวฟจะทำให้เกิดการเกาะกลุ่มของอิเล็กตรอนขึ้น เนื่องจากอิเล็กตรอนบางส่วนจะถูกเร่งให้มีความเร็วสูงขึ้น (รับพลังงานจากสนาม) และบางส่วนจะถูกลดให้มีความเร็วต่ำลง (ถ่ายเทพลังงานให้กับสนาม) และกลุ่มอิเล็กตรอนนี้ จะได้รับแรงจากสนามแม่เหล็กและหมุนไปรอบ ๆ แกนของขั้วแคโทดโดยไม่มีจุดสิ้นสุด ลักษณะดังกล่าวนี้ ถ้าเราทำการยึดแนวเส้นรอบวงของระบบให้ออกมาเป็นเส้นตรง ก็จะได้ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 ความคล้ายคลึงกันระหว่างแมกเนตรอนกับหลอดคลื่นจร

จากรูป จะได้เหมือนกับกลุ่มอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปในบริเวณใกล้ ๆ กับวงจรคลื่นช้าแบบฟิลเตอร์ ซึ่งจะเกิดการกระทำร่วมระหว่างสนามในวงจรคลื่นช้ากับลำอิเล็กตรอน เช่นเดียวกับในกรณีคลื่นจร สนามในวงจรคลื่นช้า จะทำให้เกิดการเกาะกลุ่มของอิเล็กตรอนและหมุนไปรอบ ๆ แกน ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 15 ในสภาพที่เกิดออสซิลเลชันนั้น กลุ่มอิเล็กตรอนจะรับพลังงานจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง แล้วถ่ายเทพลังงานให้กับสนามไมโครเวฟ ในขณะที่หมุนไปรอบ ๆ แกน และจะมีอิเล็กตรอนเพียงส่วนน้อยที่วิ่งถึงขั้วแอโนด ซึ่งทำให้กระแสที่ไหลข้ามระหว่างขั้วทั้งสองมีขนาดต่ำ เมื่อเทียบกับหลอดคลื่นจร และนี่เป็นสาเหตุที่แมกเนตรอนมีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานสูงกว่าหลอดแบบอื่น ๆ

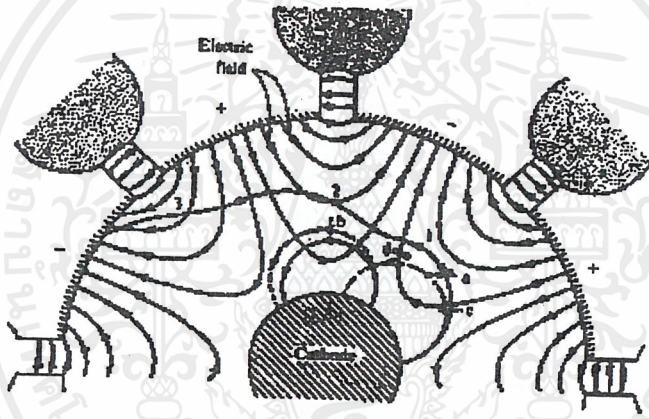


รูปที่ 15 การเกิดกลุ่มอิเล็กตรอน และการหมุนรอบแกนของขั้วแคโทด

เงื่อนไขสำคัญของการเกิดออสซิลเลชัน คือช่วงเวลาที่กลุ่มอิเล็กตรอนหมุนครบ 1 รอบนั้น ต้องเป็นจำนวนเท่าของคาบของคาบของคลื่นไมโครเวฟ หรือถ้าพิจารณาในรูปของเฟสแล้ว คลื่นไมโครเวฟที่เกิดขึ้นในวงจรโรโซแนนซ์ใน 1 รอบ จะมีเฟสต่างกันเป็นจำนวนเท่าของ 2π ดังนั้น ถ้าให้ θ เป็นเฟสที่แตกต่างกันของคลื่นไมโครเวฟในวงจรโรโซแนนซ์ และ N เป็นจำนวนของวงจรโรโซแนนซ์ จะได้เงื่อนไขของการเกิดออสซิลเลชัน ดังนี้

$$N\theta = 2n\pi \quad (1)$$

ในกรณีเฉพาะที่ $N = 2n$ จะได้ว่า $\theta = \pi$ ออสซิลเลชันในเงื่อนไขเช่นนี้ เรียกว่าออสซิลเลชันในโหมด π (π -mode oscillation) แมกเนตรอนที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไป จะออสซิลเลตในโหมด π นี้



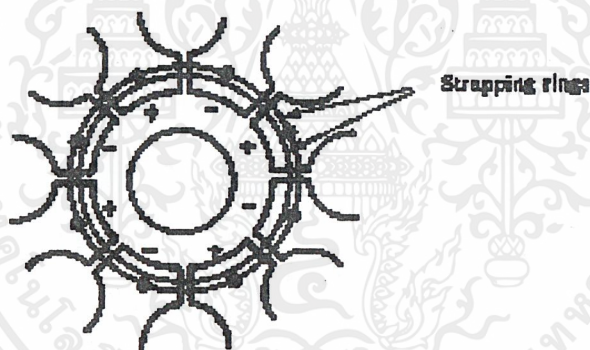
รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามไมโครเวฟกับอิเล็กตรอนที่ตำแหน่งต่าง ๆ

การเกาะกลุ่มของอิเล็กตรอน และการถ่ายเทพลังงานจากอิเล็กตรอน ให้แก่สนามไมโครเวฟของออสซิลเลชันในโหมด π นี้ จะแสดงได้โดยใช้รูปที่ 16 ประกอบ ในจังหวะของสนามไมโครเวฟตามที่แสดงไว้ในรูปนี้ อิเล็กตรอนที่ตำแหน่ง a จะถูกหน่วงด้วยสนามไมโครเวฟ และถ่ายเทพลังงานบางส่วนให้กับสนาม และอิเล็กตรอนนั้นจะมีความเร็วลดลง เมื่อความเร็วลดลง อิเล็กตรอนบางส่วนจะส่งผ่านไปได้อีก แต่บางส่วนจะถูกดึงกลับมาที่ขั้วแคโทด ดังที่แสดงไว้ในรูป เมื่อพิจารณาอิเล็กตรอนที่ตำแหน่ง c อิเล็กตรอนนี้ จะถูกเร่งด้วยสนามไมโครเวฟให้มีความเร็วสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกัน ก็ถูกแรงจากสนามแม่เหล็กส่งให้ไปในทิศของเส้นรอบวง จึงทำให้อิเล็กตรอนที่ตำแหน่ง c ตามทันอิเล็กตรอนที่ตำแหน่ง a ได้ สำหรับอิเล็กตรอนที่ตำแหน่ง d นั้น จะถูกสนามไฟฟ้าหน่วงให้ช้าลง ทำให้ถูกตามทันจากอิเล็กตรอนที่ตำแหน่ง a และ c ได้ ในที่สุดก็จะเกิดการเกาะกลุ่มของอิเล็กตรอนขึ้น และกลุ่มอิเล็กตรอนนี้ จะหมุนรอบแกนด้วยความเร็วเท่ากับการหมุนของสนามไมโครเวฟ จึงทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานจากอิเล็กตรอนให้กับสนาม

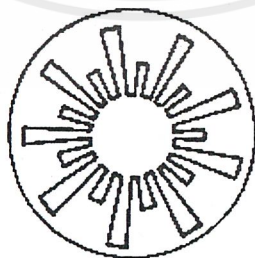
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครเวฟอย่างต่อเนื่อง ในแมกเนตรอนแบบ CW นั้น จะมีการคัปปลิงกำลังคลื่นไมโครเวฟออกจากวงจรเรโซแนนซ์ออกไปใช้งานตลอดเวลา แต่ในแมกเนตรอนที่ใช้ในเรดาร์นั้น กำลังคลื่นไมโครเวฟจะถูกคัปปลิงออกไปใช้ในช่วงๆ โดยมีวัฏจักร (duty cycle) ประมาณ 0.001 ถึง 0.002 ทำให้กำลังคลื่นที่สะสมอยู่มีขนาดสูงขึ้นมาก ๆ ได้

ปัญหาอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นได้กับแมกเนตรอน ที่มีวงจรเรโซแนนซ์แบบโพรงกรรมคานัน คือ ความถี่ของการออสซิลเลต จะเปลี่ยนแปลงไปตามโหลดได้ โดยเฉพาะการเปลี่ยนโหมคของออสซิลเลชัน ดังนั้น แมกเนตรอนโดยทั่วไป จะป้องกันการเคลื่อนย้ายของความถี่ออสซิลเลชันโดยดิสแตรปริง (strap ring) ไว้ 2 ชุด ดิสแตรปริงแต่ละชุดจะต่อกับขั้วของวงจรเรโซแนนซ์ขั้วเว้นขั้ว โดยที่ไม่ซ้อนกัน ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 17 ในสภาพดังกล่าวนี้ นอกจากโหมค π แล้ว โหมคอื่น ๆ จะไม่สามารถออสซิลเลตได้ เพราะค่าเฟสที่แตกต่างกันระหว่างขั้วที่อยู่ห่างกัน 2 ขั้วนั้นจะไม่เท่ากับ 2π ตามที่ถูกบังคับโดยดิสแตรปริง



รูปที่ 17 การใช้สแตรปริง ป้องกันการเปลี่ยนความถี่ออสซิลเลตตามค่าของโหมค



รูปที่ 18 โครงสร้างของขั้วเอโนครูปพระอาทิตย์ขึ้น

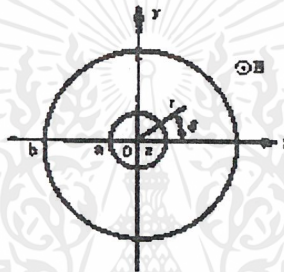
นอกจากสแตรปริงแล้ว การใช้วงจรเรโซแนนซ์รูปพระอาทิตย์ขึ้น (rising sun) ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 18 ก็สามารถป้องกันการกระโดดข้ามโหมคได้เช่นเดียวกัน อันเนื่องจากความถี่เรโซ



แนบของวงจรรีโซแนนซ์ทั้งสองขนาดจะไม่เท่ากัน และการออสซิลเลตจะเกิดขึ้น ในความถี่กลาง ๆ ระหว่างความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรรีโซแนนซ์ทั้งสอง โดยจะเกิดในโหมด π

3.2 การวิเคราะห์การทำงานของแมกเนตรอน

การที่แมกเนตรอนแบบ B จะออสซิลเลตได้นั้น จะมีเงื่อนไขหลัก 2 ประการ คือ สนามแม่เหล็กสถิตจะมีความเข้มสูงกว่าค่าวิกฤติเล็กน้อย และความเร็วในการหมุนรอบแกนแคโทดของกลุ่มอิเล็กตรอน จะต้องสอดคล้องกับความเร็วของการหมุนของสนามไมโครเวฟ ซึ่งจะอธิบายการวิเคราะห์เงื่อนไขเชิงปริมาณที่จะทำให้เกิดการออสซิลเลชันดังกล่าว



รูปที่ 19 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในอวกาศระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอนโนดของแมกเนตรอน

เพื่อให้แรงดันของขั้วแอนโนดเป็น V_a และสนามแม่เหล็กมีความเข้มเป็น B โดยมีทิศทาง z ในทิศ z ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 19 เราจะสามารถเขียนสมการกลที่แสดงการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในอวกาศระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอนโนดได้ดังนี้

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -eEx - eB \frac{dy}{dt} \quad (2.1)$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -eEy - eB \frac{dx}{dt} \quad (2.2)$$

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = 0 \quad (2.3)$$

เนื่องจากไม่มีแรงกระทำในทิศ z ดังนั้น จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงในทิศ z สมการ (2.3) จะไม่ถูกใช้ประโยชน์ เส้นทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนก็จะหาได้ โดยพิจารณาสมการ (2.1) และสมการ (2.2) ร่วมกัน ซึ่งจะเป็นปัญหาในระนาบ x - y เพื่อผูกความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้า E_x , E_y กับแรงดันแอนโนด ก่อนอื่นให้ $V(x,y)$ เป็นศักย์ไฟฟ้าที่จุด x, y ซึ่งทำให้เขียนความสัมพันธ์ระหว่าง E_x , E_y และ V ได้ในรูปต่อไปนี้

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}, \quad E_y = -\frac{\partial V}{\partial y} \quad (3)$$

เนื่องจากปัญหาที่พิจารณาอยู่นี้ เป็นปัญหาบนระนาบ x-y ในการสร้างสมการเพื่อแก้ปัญหา นั้น เราสามารถใช้หลักการของตัวแปรเชิงซ้อนได้ โดยพิจารณาให้สมการในแกน y เป็นแกนจินตภาพ เมื่อเขียนสมการ (2.1) และสมการ (2.2) ใหม่ โดยใช้สมการ (3) และพิจารณาแกน y ให้เป็นแกนจินตภาพดังกล่าวข้างต้น จะได้ผลดังนี้

$$\frac{d^2x}{dt^2} + j\frac{d^2y}{dt^2} - j\frac{eB}{m}\left(\frac{dx}{dt} + j\frac{dy}{dt}\right) - \frac{e}{m}\left(\frac{\partial V}{\partial x} + j\frac{\partial V}{\partial y}\right) = 0 \quad (4)$$

และเมื่อใช้ตัวแปรเชิงซ้อนในรูปสมการ (5) แล้วแทนลงในสมการ (4) ก็จะได้ผลเป็นสมการ (6) ดังต่อไปนี้

$$z = x + jy, \quad z^* = x - jy \quad (5)$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} - j\frac{eB}{m}\frac{dz}{dt} - \frac{2e}{m}\frac{\partial V}{\partial z^*} = 0 \quad (6)$$

ในการหาค่า $\partial V / \partial z^*$ นั้น จะทำได้โดยพิจารณาดังนี้

เมื่อให้ V_a เป็นแรงค้ำของขั้วแอโนด และให้การกระจายของประจุที่อยู่ระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนดมีค่าสม่ำเสมอ จากการแก้สมการปัวส์ซอง $\nabla \cdot (\epsilon_0 \vec{E}) = -\rho$ จะทำให้ได้ศักย์ไฟฟ้า V ในรูปต่อไปนี้

$$V = \frac{r^2 - a^2}{b^2 - a^2} V_a \quad (7)$$

เมื่อแทนค่าสมการ (7) ลงในสมการ (6) จะได้ผลดังนี้

$$\frac{d^2z}{dt^2} + j\frac{eB}{m}\frac{dz}{dt} + \frac{2e}{m}\frac{V_a}{b^2 - a^2}z = 0 \quad (8)$$

ผลที่ได้ตามสมการ (8) นี้ จะเป็นสมการดิฟเฟอเรนเชียลที่มีผลเฉลยทั่วไป เขียนได้ในรูปต่อไปนี้

$$z = R_1 e^{\alpha_1 t} + R_2 e^{\alpha_2 t} \quad (9)$$

โดยที่ R_1, R_2 เป็นค่าเชิงซ้อน และ α_1 กับ α_2 จะเป็นผลเฉลยของสมการลักษณะสมบัตินี้ดังต่อไปนี้

$$p^2 - j\frac{eB}{m}p - \frac{2e}{m}\frac{V_a}{b^2 - a^2} = 0 \quad (10)$$

และผลเฉลยที่ได้จะเป็นดังนี้

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix} = j \frac{eB}{2m} \left\{ 1 \pm 1 + \sqrt{1 - \frac{8m}{eB^2} \frac{Va}{b^2 - a^2}} \right\} = \begin{bmatrix} j\Omega_1 \\ j\Omega_2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

ผลที่ได้นี้ แสดงว่าทั้ง α_1 และ α_2 จะมีค่าเป็นจินตภาพทั้งคู่ เมื่อแทนค่าทั้งสองนี้ลงในสมการ (9) โดยให้ $R = |R| e^{j\theta}$ จะได้ผลดังนี้

$$\begin{aligned} z &= R_1 e^{j\Omega_1 t} + R_2 e^{j\Omega_2 t} \\ &= |R_1| e^{j(\Omega_1 t + \theta_1)} + |R_2| e^{j(\Omega_2 t + \theta_2)} \\ &= \left\{ |R_1| \cos(\Omega_1 t + \theta_1 t) + |R_2| \cos(\Omega_2 t + \theta_2 t) \right\} \\ &\quad + j \left\{ |R_1| \sin(\Omega_1 t + \theta_1 t) + |R_2| \sin(\Omega_2 t + \theta_2 t) \right\} \end{aligned} \quad (12)$$

ผลที่ได้นี้ แสดงเส้นทางของอิเล็กตรอน ซึ่งมีตำแหน่งบนแกน x และแกน y เป็นดังนี้

$$x = |R_1| \cos(\Omega_1 t + \theta_1 t) + |R_2| \cos(\Omega_2 t + \theta_2 t) \quad (13.1)$$

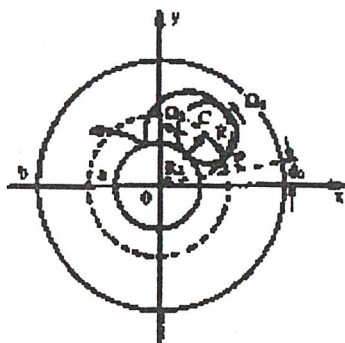
$$y = |R_1| \sin(\Omega_1 t + \theta_1 t) + |R_2| \sin(\Omega_2 t + \theta_2 t) \quad (13.2)$$

ผลที่ได้ตามสมการ (13.1) และ (13.2) นี้ แสดงว่าอิเล็กตรอนจะเดินทางอยู่ในรูปของวงกลมสองชั้นซ้อนกันอยู่ กล่าวคือวงกลมแรกจะมีรัศมีเป็น $|R_1|$ และมีความเร็วเชิงมุมเป็น Ω_1 และวงกลมที่สองจะมีรัศมี $|R_2|$ และมีความเร็วเชิงมุมเป็น Ω_2 ในการหาค่า R_1 และ R_2 นั้น จะพิจารณาจากเงื่อนไขเริ่มต้น (initial condition) ดังนี้ ถ้าให้ที่เวลา $t = 0$ อิเล็กตรอนที่หลุดจากขั้วแคโทดที่ตำแหน่ง $z = ae^{j\theta_0}$ ใดๆ มีความเร็วเริ่มต้นเป็น 0 คือ $dz/dt = 0$ เมื่อแทนเงื่อนไขเหล่านี้ลงในสมการ (9) จะได้ R_1 และ R_2 ในรูปต่อไปนี้

$$R_1 = \frac{\Omega_2}{\Omega_2 - \Omega_1} ae^{j\theta_0} \quad (14.1)$$

$$R_2 = \frac{\Omega_1}{\Omega_1 - \Omega_2} ae^{j\theta_0} \quad (14.2)$$

และเนื่องจาก $\Omega_1 > \Omega_2$ ดังนั้น $|R_2| > |R_1|$ นั่นคือการหมุนของอิเล็กตรอนจะเป็นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 20 กล่าวคืออิเล็กตรอนจะหมุนรอบแกนกลางของขั้วแคโทดด้วยรัศมี $|R_2|$ และด้วยความเร็วเชิงมุม Ω_2 ในขณะที่เดียวกันอิเล็กตรอนก็จะหมุนรอบจุด C บนเส้นรอบวงรัศมี $|R_2|$ นั้นโดยมีรัศมีเป็น $|R_1|$ และมีความเร็วในเชิงมุม Ω_1 ซึ่งเร็วกว่า Ω_2 ดังนั้นเส้นทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ก็จะเป็นดังเส้นทึบที่แสดงไว้ในรูปที่ 20



รูปที่ 20 เส้นทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

เมื่อพิจารณาเงื่อนไขที่ทำให้เกิดออสซิลเลชันได้ ตามที่กล่าวไว้ในตอนต้น ซึ่งเงื่อนไขแรกคือ $|R_1| + |R_2| < b$ ซึ่งจากสมการ (14.1) และ (14.2) จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$|R_1| + |R_2| = \frac{(\Omega_1 + \Omega_2)}{(\Omega_1 - \Omega_2)} a = \frac{a}{1 - \sqrt{\frac{8m}{eB^2} \frac{Va}{b^2 - a^2}}} \leq b \quad (15)$$

จากสมการ (15) นี้ จะสามารถคำนวณความเข้มของสนามแม่เหล็กได้ดังนี้

$$B \geq \frac{2b}{b^2 - a^2} \sqrt{\frac{2mVa}{e}} \quad (16)$$

และความเข้มวิกฤติของสนามแม่เหล็กก็คือกรณีที่เป็นเครื่องหมายเท่ากับ

สำหรับเงื่อนไขที่สองนั้น คือความเร็วในการหมุนรอบแกนแคโทดของกลุ่มอิเล็กตรอน และของสนามไฟฟ้าไมโครเวฟต้องสอดคล้องกัน เราจะสามารถหาเงื่อนไขดังกล่าวนี้ในเชิงปริมาณได้ โดยพิจารณาดังนี้

ในการหมุนรอบแกนของแคโทด 1 รอบ อิเล็กตรอนจะใช้เวลาเป็น $2\pi/\Omega_2$ ดังนั้น ถ้าจำนวนวงจรเรโซแนนซ์ที่ขั้วแอโนดเป็น N ในการเดินทางผ่านวงจรเรโซแนนซ์ 1 วงจร จะใช้เวลาเป็น

$$\tau = \frac{2\pi}{N\Omega_2} \quad (17)$$

และจากเงื่อนไขของการเกิดออสซิลเลชันในโหมดต่างๆ ตามสมการ (1) ความเร็วเชิงมุมของสนามไมโครเวฟ คือ ω เมื่อคูณกับ τ จะเท่ากับ θ นั่นคือ $\omega\tau = \theta$ ดังนั้น จากสมการ (1) และ (17) จะได้เงื่อนไขดังนี้

$$\omega \frac{2\pi}{N\Omega_2} = \frac{2\pi n}{N}$$

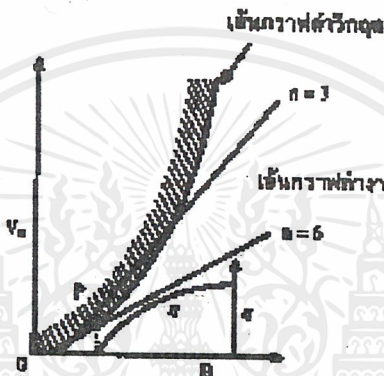
$$\therefore \omega = n\Omega_2 \quad (18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแทนค่า Ω_2 จากสมการ (1) ลงในสมการ (18) จะหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ในรูปต่อไปนี้

$$V_a = \frac{\omega(b^2 - a^2)}{2n} \left(B - \frac{\omega m}{ne} \right) \tag{19}$$

เมื่อนำผลที่ได้ในสมการ (19) และในสมการ (16) ไปเขียนกราฟ จะได้ดังรูปที่ 21 เส้นกราฟที่ได้ก็จะเป็นเส้นทำงานของแมกเนตรอนในโหมดต่างๆ เหล่านี้



รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่าง B และ V_a ในออสซิลเลตในโหมดต่าง ๆ

ในลำดับสุดท้าย จะเป็นการหาประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานจาก DC เป็น RF เนื่องจากอิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากแหล่งจ่ายไฟเท่ากับ eV_a ในขณะที่อิเล็กตรอนส่งมอบพลังงานให้กับสนาม RF ส่วนหนึ่ง แล้วมีความเร็วช้าลงจนถูกดึงไปที่ขั้วแอโนด เนื่องจากพลังงานที่มีอยู่ในอิเล็กตรอนขณะที่ถูกดึงไปที่ขั้วแอโนดมีค่าเท่ากับ $\frac{m}{2} = (|R_1|\Omega_1 + |R_2|\Omega_2)^2$ เพราะฉะนั้นจะสามารถคำนวณประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานได้ในรูปต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{eVa - (\frac{m}{2})(|R_1|\Omega_1 + |R_2|\Omega_2)^2}{eVa} \\ &= 1 - \frac{(b+a)/(b-a)}{(ne/\omega m)B - 1} \end{aligned} \tag{20}$$

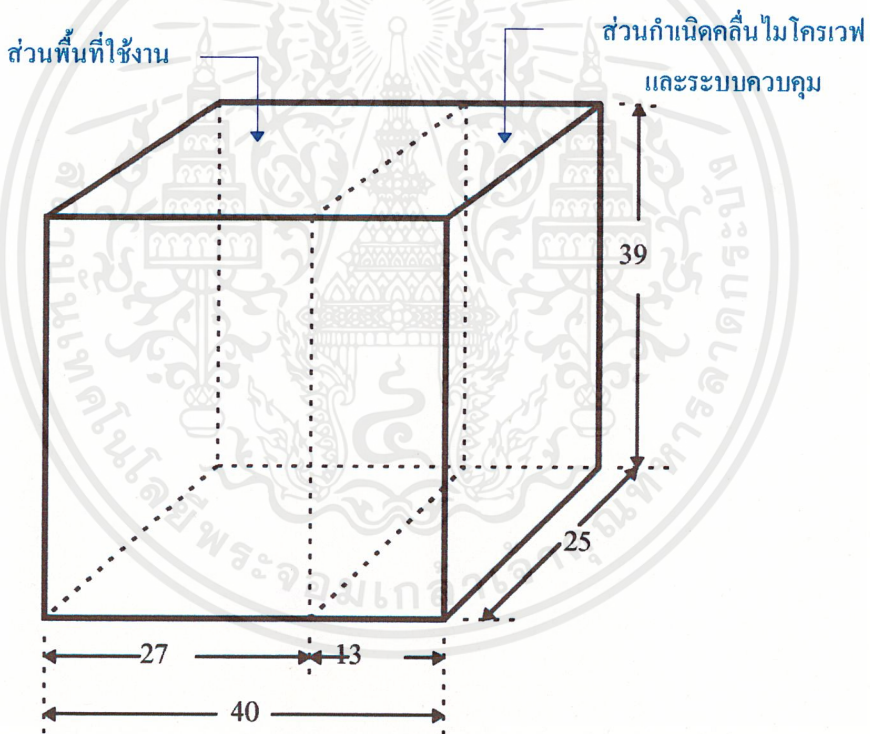
เมื่อแทนค่า $B = B_c$ ลงในสมการ (20) นี้ จะได้ $\eta = 0$ เมื่อ B มีค่าสูงกว่า B_c η จะมีค่าสูงขึ้นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 21

บทที่ 2

โครงสร้างของเครื่องอบวัสดุด้วยคลื่นไมโครเวฟ

เครื่องอบวัสดุด้วยคลื่นไมโครเวฟ ประกอบไปด้วยตัวถังและอุปกรณ์กำเนิดคลื่นไมโครเวฟ รวมถึงระบบควบคุม โดยมีขนาดภายนอกเท่ากับ $25'' \times 40'' \times 39''$ โดยแบ่งภายในตัวถังออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. ส่วนกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ ขนาด $13 \times 40 \times 39$ ลบ.นิ้ว
2. ส่วนพื้นที่ใช้งาน ขนาด $27 \times 40 \times 39$ ลบ.นิ้ว

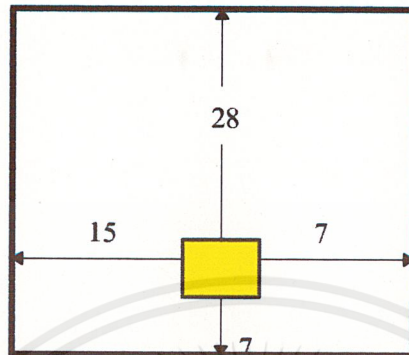


รูปที่ 22 แสดงโครงสร้างภายนอกของเครื่องอบวัสดุด้วยคลื่นไมโครเวฟ (หน่วยเป็นนิ้ว)

1. การกำหนดตำแหน่งของหลอดแมกเนตรอน

จากการออกแบบระบบอบวัสดุ ตำแหน่งของหลอดแมกเนตรอนที่จะให้ประสิทธิภาพในการทำงานมากที่สุด จะต้องอยู่ในบริเวณต่ำลงมาจากขอบบนประมาณ 28 นิ้ว เนื่องจากน้ำและความชื้นของวัสดุที่จะนำมาอบ จะมีมากที่สุดในบริเวณปลายสุดของวัสดุ และน้ำจะไหลลงสู่ด้านล่างเสมอ ดังนั้น บริเวณที่มีความชื้นสูงสุด คือบริเวณประมาณ 26-28 นิ้วจากขอบบนของเครื่อง ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นาไปใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

หากติดตั้งแมกเนตรอนอยู่ด้านบน ก็จะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานโดยไม่คุ้มค่า โดยตำแหน่งของหลอดแมกเนตรอนแสดงดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 แสดงตำแหน่งของหลอดแมกเนตรอนภายในตัวถัง (หน่วยเป็นนิ้ว)

2. หน้าที่หลักของการทำงานภาคกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ

- FAN1

ทำหน้าที่เป่าลมเพื่อระบายความร้อนให้แก่แมกเนตรอน

- FAN2

ทำหน้าที่ดึงลมร้อนจากตัวระบายความร้อนของอุปกรณ์ภายในตู้ เพื่อเป่าเข้าช่องลมภายในส่วนพื้นที่ใช้งาน

- TRANSFORMER

ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้าแรงดันต่ำเป็น High Voltage ให้แก่ชุดควบคุมแรงดัน

- CAPACITOR

ทำหน้าที่หลักในการรักษาระดับแรงดันให้คงที่ เพื่อป้องกันแรงดันให้แก่แมกเนตรอน

- DIODE

ทำหน้าที่แปลงแรงดันกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง เพื่อจ่ายให้กับแมกเนตรอนที่ขาแคโทด

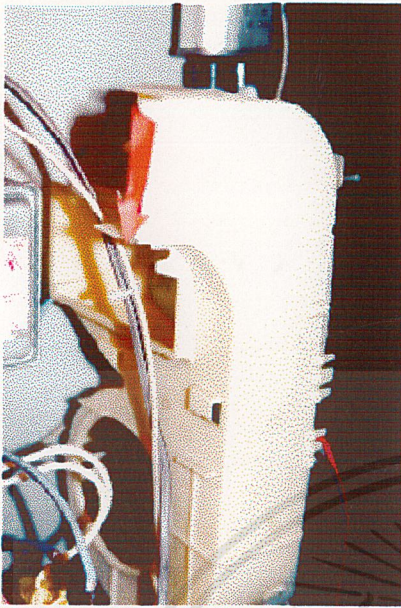
- MAGNETRON

ทำหน้าที่ผลิตความถี่ย่านไมโครเวฟออกทางขั้วของแอนโนด เพื่อกำเนิดคลื่นออกไปใช้งาน

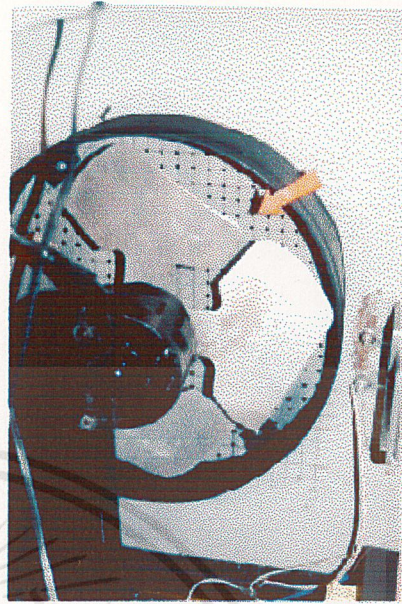
- THERMOSTAT

ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามความต้องการของการใช้งาน

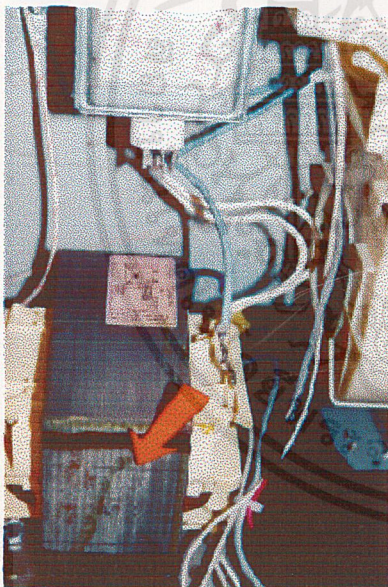
รูปที่ 24 แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ ในภาคกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ



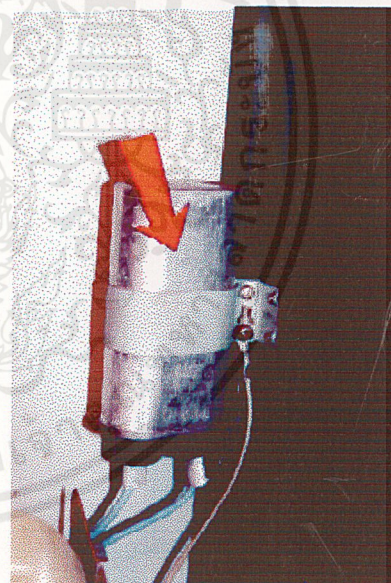
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

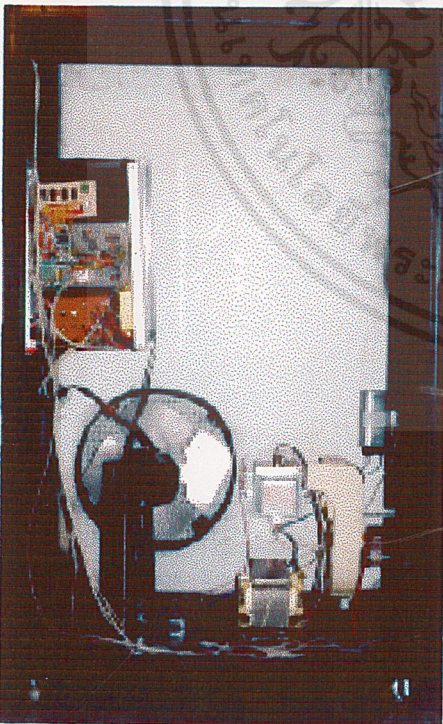
รูปที่ 24 แสดงอุปกรณ์ในภาคกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ ได้แก่ (ก) FAN 1 (ข) FAN 2
(ค) TRANSFORMER (ง) CAPACITOR และ DIODE (อยู่ด้านข้างติดกับตัวเครื่อง)



รูปที่ 24 (ต่อ)
 (จ) MAGNETRON และ THERMOSTAT
 (อยู่ด้านบน บริเวณถูกรูกรึงลงมา)

3. ตำแหน่งอุปกรณ์ภายในภาคกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ

รูปที่ 25 เป็นการแสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ในภาคกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ โดยมีอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่ต่าง ๆ ดังที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ผ่านมา



รูปที่ 25 แสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ในภาคกำเนิดคลื่น
 ไมโครเวฟ (ไม่รวมระบบควบคุมในกล่อง)

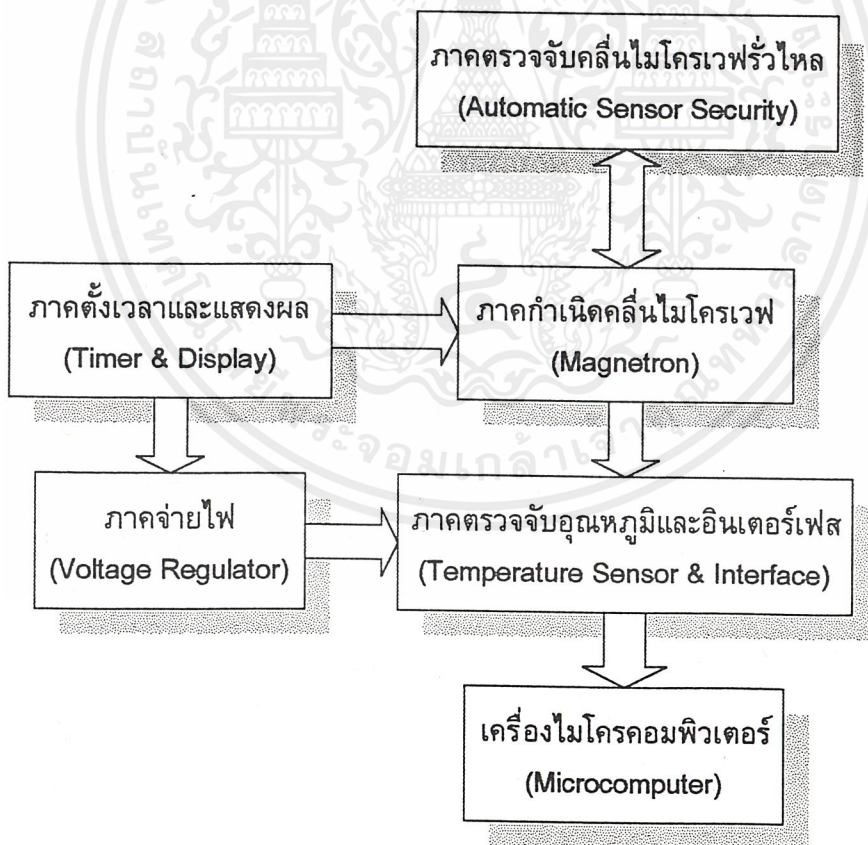
บทที่ 3

วงจรควบคุม

บล็อกไดอะแกรมของเครื่องอบวัสดุด้วยคลื่นไมโครเวฟ แสดงดังรูปที่ 26 ซึ่งประกอบไปด้วยภาคกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ และภาคควบคุมเครื่องทั้งหมด 4 ส่วนด้วยกัน ได้แก่

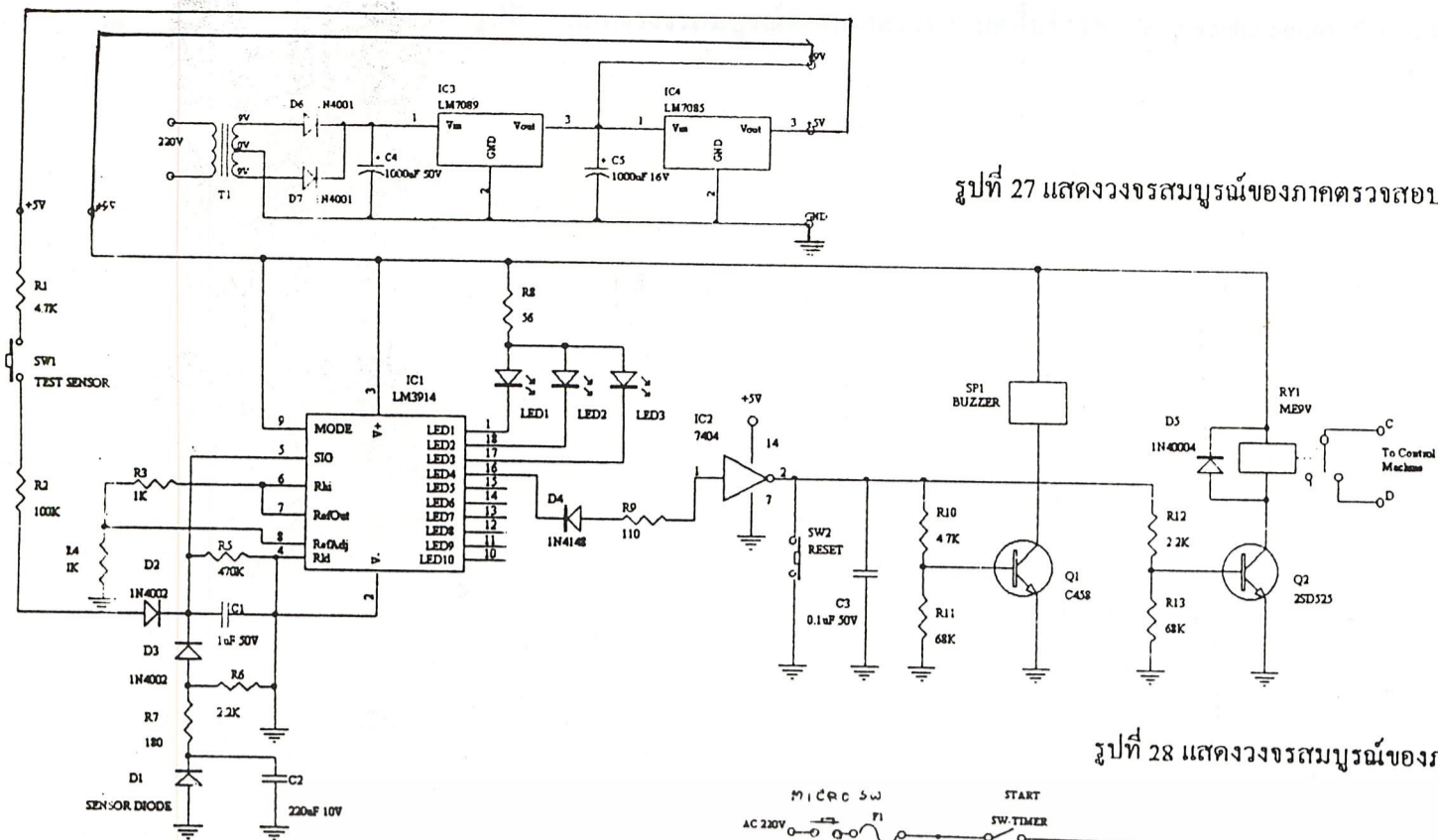
1. ภาคจ่ายไฟ (Voltage Regulator)
2. ภาคตั้งเวลาและแสดงผล (Timer & Display)
3. ภาคตรวจจับคลื่นไมโครเวฟรั่วไหล (Automatic Sensor Security)
4. ภาคตรวจจับอุณหภูมิและอินเตอร์เฟซ (Temperature Sensor & Interface)

โดยแต่ละส่วน จะได้อธิบายการทำงาน โดยละเอียดต่อไป

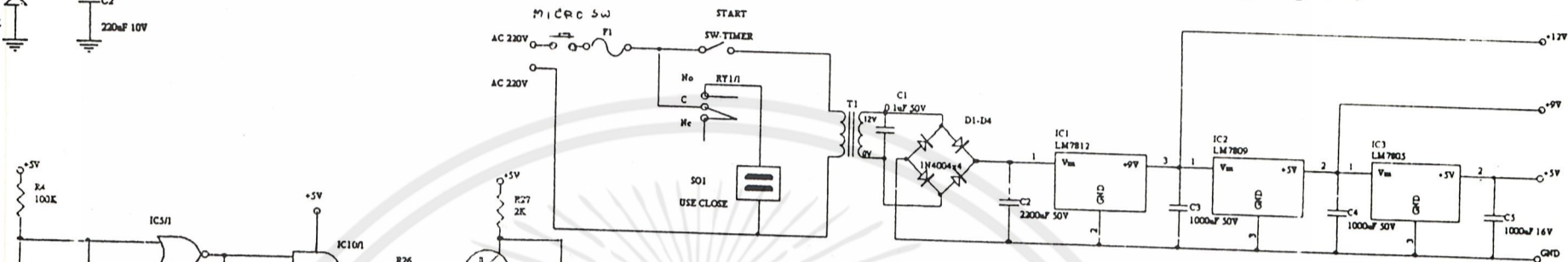


รูปที่ 26 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องอบวัสดุด้วยคลื่นไมโครเวฟ

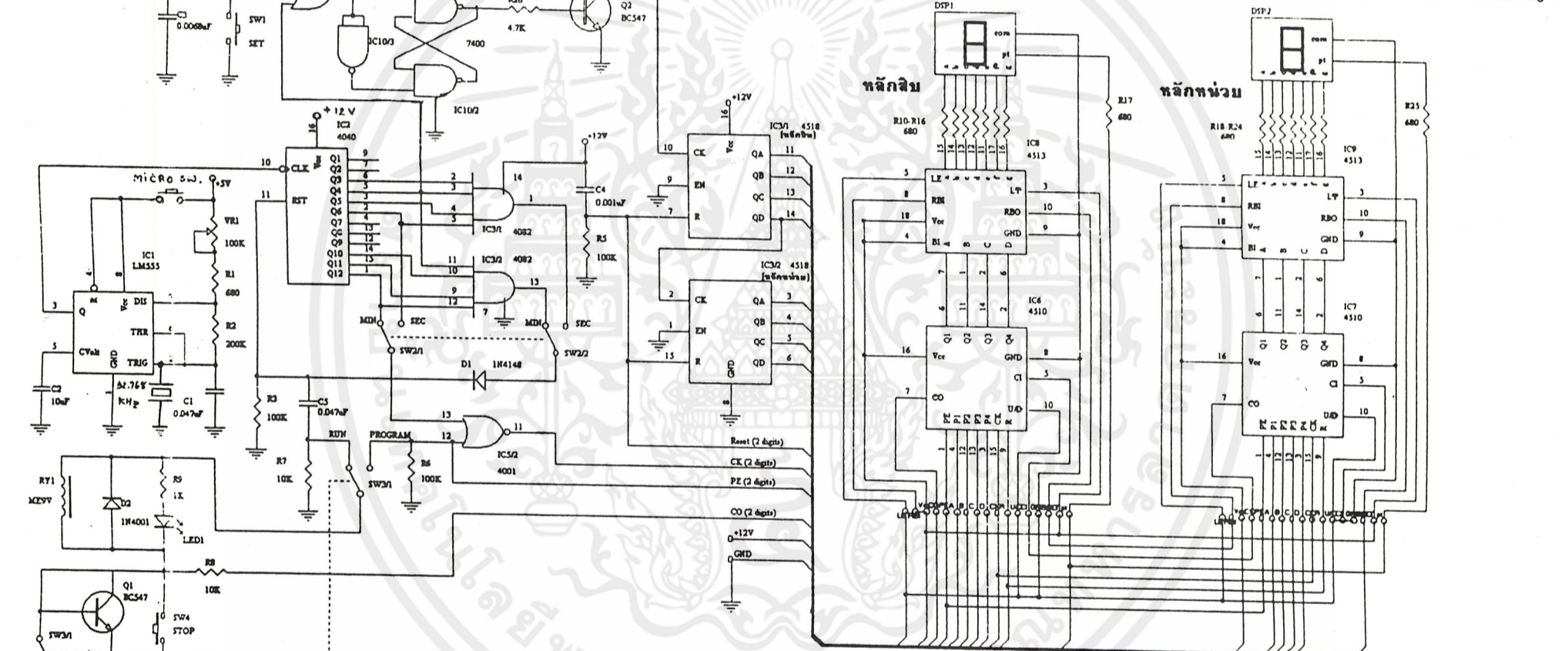
รูปที่ 27 แสดงวงจรสมบูรณของภาคตรวจสอบคลื่นรั่วไหล (Automatic Sensor Security)



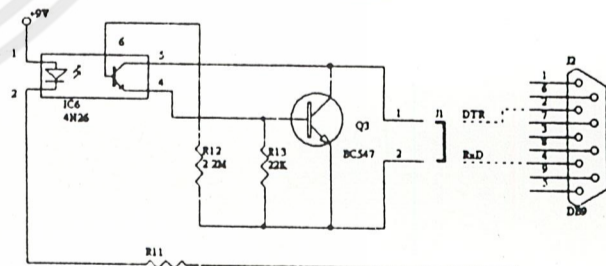
รูปที่ 28 แสดงวงจรสมบูรณของภาคจ่ายไฟ (Voltage Regulator)



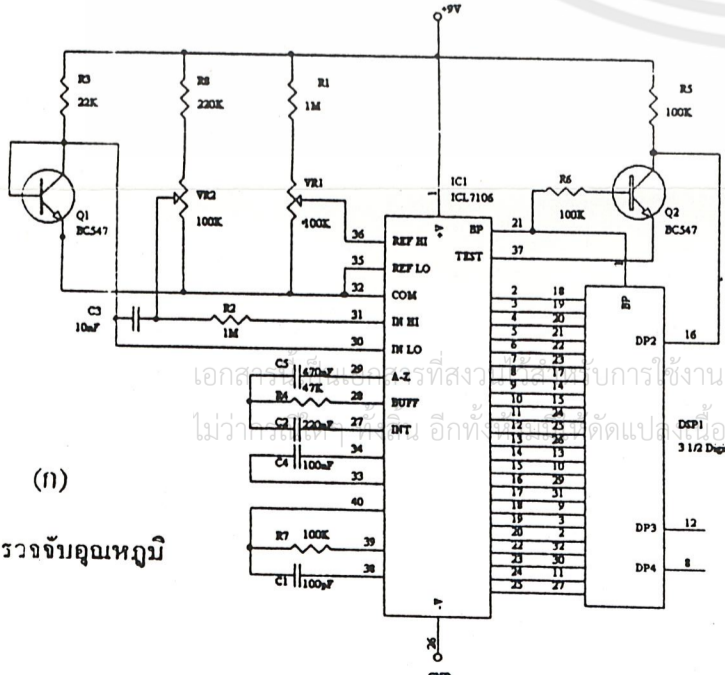
รูปที่ 29 แสดงวงจรสมบูรณของภาคตั้งเวลาและแสดงผล (Timer & Display)



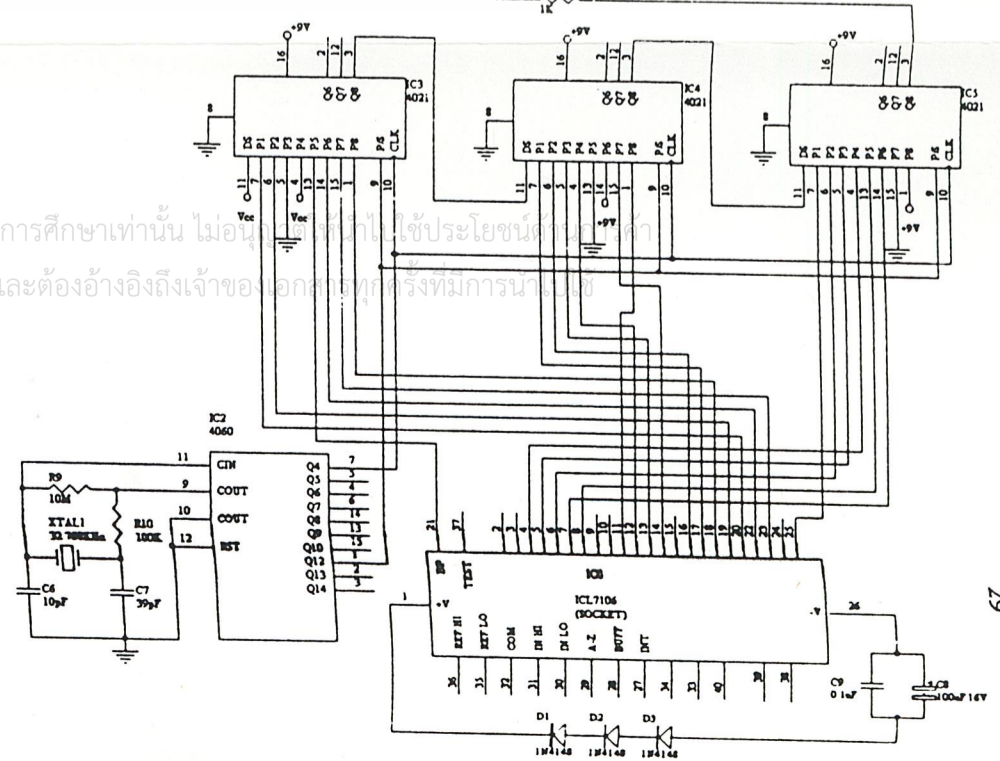
วงจรรีโมตคอนโทรล



วงจรถ่ายจับอุณหภูมิ



รูปที่ 30 แสดงวงจรสมบูรณของภาคตรวจจับอุณหภูมิและอินเตอร์เฟส (Temperature Sensor & Interface)



1. ภาคตรวจสอบคลื่นรบกวน (Automatic Sensor Security)

คุณสมบัติของภาคตรวจสอบคลื่นรบกวน คือ สามารถตรวจจับคลื่นไมโครเวฟที่กระจายออกจากแหล่งกำเนิดได้ โดยออกแบบให้ตรวจจับความถี่เท่ากับ 2.45 GHz ซึ่งเป็นความถี่ที่แมกเนตรอนผลิตใช้งานในโครงการนี้ รายละเอียดของไอซีเบอร์ LM3914N แสดงในภาคผนวกท้ายเล่ม

1.1 หลักการทำงาน

รูปที่ 27 แสดงวงจรสมบูรณของภาคตรวจสอบคลื่นรบกวน ประกอบไปด้วยการทำงานหลัก ๆ 3 ส่วน ได้แก่

1. อุปกรณ์ตรวจจับความถี่ไมโครเวฟ
2. ภาคแสดงผล
3. ภาคขับรีเลย์

อุปกรณ์ตรวจจับความถี่ไมโครเวฟ ใช้ไดโอดย่านความถี่ไมโครเวฟ ทำหน้าที่ตรวจจับความเข้มของคลื่นที่รบกวนออกมา แล้วเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้า ไหลผ่าน R7 เข้า D3 ที่ต่อเพื่อป้องกันแรงดันลบป้อนเข้าอินพุตของ IC1 และเข้าสู่ R5 และ C1 เพื่อหน่วงเวลาให้สัญญาณที่ขา 5 ไม่ให้ลดลงเร็วเกินไป แต่เพิ่มสูงขึ้นได้ทันที ทำให้การมองดู LED ด้วยสายตาทำได้สะดวก ไม่เกิดการกระพริบ เนื่องจากความไวในการจับภาพเคลื่อนไหวของสายตามีขีดจำกัด

LED1-LED3 ทำหน้าที่แสดงผลระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้จาก D1 โดยแสดงเรียงตามความเข้มของสัญญาณที่รับได้ LED1 แสดงสภาวะปกติ LED2 แสดงสภาวะเตือนให้ทราบว่าคลื่นรบกวนออกมาในอัตราที่ยอมรับได้ ส่วน LED3 จะแสดงให้ทราบว่าคลื่นรบกวนออกมาในอัตราที่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานแล้ว และจะให้แรงดันลบออกที่ขา 16 ผ่าน D4 และ R9 เข้าสู่ขา 1 ของ IC2 ซึ่งจะให้แรงดันเอาต์พุตที่ขา 2 เป็นตรงข้ามกับขา 1 (อินพุต) เพื่อสร้างแรงดันไบแอสให้กับ Q1 และ Q2 โดยมี R10-R11 และ R12-R13 ทำหน้าที่จัดแรงดันไบแอสที่เหมาะสมให้กับ Q1 และ Q2 ตามลำดับ ตารางที่ 4 แสดงให้ทราบถึงระดับความเข้มของคลื่นรบกวนที่ทำให้ LED 1 - LED 3 ทำงาน

ตารางที่ 4 แสดงการกำหนดค่าความเข้มของคลื่น ไมโครเวฟที่ทำให้ LED แสดงผล

การแสดงผลของ LED	ค่าความเข้มที่กำหนด (mW)
LED 1	0-4
LED 2	4-9
LED 3	> 9

เมื่อ Q1 ได้รับแรงดันไบแอส ทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน กระแสจะไหลผ่าน SP1 หรือ BUZZER ให้ส่งเสียงเตือนให้ทราบว่ามีการรั่วไหลของคลื่น พร้อมกันนี้ Q2 ซึ่งจะทำงานพร้อมกับ Q1 ก็จะทำให้มีกระแสไหลผ่าน RY1 เช่นกัน ซึ่งจะทำให้รีเลย์ตัดหน้าสัมผัสที่ควบคุมแรงดันไฟเลี้ยงของแมกเนตรอน และทำให้แมกเนตรอนหยุดการทำงานทันที

สวิตช์ SW1 ทำหน้าที่ทดสอบวงจรตรวจสอบคลื่นไมโครเวฟรั่วไหล โดยจะให้แรงดันไฟขนาด +5 โวลต์ ผ่าน D2 เข้าสู่ IC1 เสมือนกับเป็นอินพุตจากการตรวจจับของ D1 เช่นกัน

สวิตช์ SW2 ทำหน้าที่รีเซ็ตการทำงานของ Q1 และ Q2

2. ภาควัดไฟ (Voltage Regulator)

คุณสมบัติของภาควัดไฟ คือ สามารถจ่ายแรงดันไฟตรงได้ 3 ระดับ คือ +12 โวลต์, +9 โวลต์ และ +5 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับวงจรทั้งหมดของเครื่องอบวัสดุด้วยคลื่นไมโครเวฟ

2.1 หลักการทำงาน

รูปที่ 28 แสดงวงจรสมบูรณของภาควัดไฟ โดยวงจรจะถูกควบคุมการทำงานโดยสวิตช์ SW-START (โดยทำงานสัมพันธ์กับภาคตั้งเวลา) โดยเมื่อแรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ จ่ายให้กับหม้อแปลง T1 และทำการแปลงแรงดันให้เหลือ 12 โวลต์ และ 0 โวลต์ ออกจากหม้อแปลง ป้อนผ่าน C1 และเข้าสู่ไดโอด D1-D4 โดยจะถูกต่อในลักษณะของ Full Wave Rectifier เพื่อทำการเปลี่ยนแรงดันไฟสลับให้เป็นไฟตรง และผ่าน C2 กรองแรงดันให้ราบเรียบยิ่งขึ้น เพื่อป้อนเข้าสู่ IC1 (7812) ซึ่งทำหน้าที่ผลิตแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ +12 โวลต์

ในทำนองเดียวกันชุด IC2 (7809) และ IC3 (7805) ก็จะทำหน้าที่ผลิตแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ +9 โวลต์ และ +5 โวลต์ตามลำดับ เพื่อจ่ายให้กับโหนดวงจรภาคต่าง ๆ

ส่วนภาควัดไฟในรูปที่ 27 ใช้สำหรับจ่ายไฟให้ภาคตรวจจับคลื่นรั่วไหล สามารถจ่ายแรงดันไฟตรงได้ 2 ระดับคือ +9 โวลต์ และ +5 โวลต์

3. ภาคตั้งเวลาและแสดงผล (Timer & Display)

คุณสมบัติของภาคตั้งเวลา คือ สามารถตั้งได้ละเอียดตั้งแต่ 1-99 วินาที โดยให้ความละเอียดเป็นวินาที และสามารถตั้งเวลาได้นานจาก 1-99 นาที โดยให้ความละเอียดเป็นนาที

มีตัวเลขแสดงเวลาที่เหลือ 2 หลัก โดยจะนับถอยหลังไปเรื่อยๆ จนถึง 00 แล้วจะทำการตัดกระแสไฟที่จ่ายให้กับโหนดและตัวมันเองด้วย ซึ่งจะช่วยให้ไม่เปลืองกระแสไฟ แม้จะเสียบปลั๊กไว้ตลอดเวลา

3.1 หลักการทำงาน

หลักการทำงานของวงจรภาคตั้งเวลาอย่างคร่าว ๆ คือ อาศัยหลักการหารความถี่จากตัวผลิควมถี่ 60 เฮิรตซ์ ที่ป้อนเข้าสู่วงจรหาร 60 เพื่อให้ได้พัลส์ 1 ลูก ทุกๆ 1 วินาที หรือหารด้วย


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3,600 เพื่อให้ได้พัลส์ 1 ลูก ทุกๆ 1 นาที่ จากนั้นก็ป้อนเข้าวงจรนับสิบ จำนวน 2 ครั้ง ซึ่งวงจรนับสิบนี้จะสามารถตั้งเวลาเริ่มนับได้ และการนับเป็นการนับแบบถอยหลัง เมื่อนับถึง 0 จึงจะหยุดทำงาน วงจรสมบูรณ แสดงดังรูปที่ 29 สัญญาณความถี่มาตรฐาน จะใช้ไอซีเบอร์ 555 เป็นตัวผลิตความถี่ ซึ่งจะให้ค่าเอาต์พุตออกมาเป็นพัลส์ที่ขา 3 โดยมีค่าเท่ากับ

$$f = \frac{1.443}{R_a + 2R_b} C \quad \text{และจาก } R_a = 100 \text{ K}\Omega, R_b = 200 \text{ K}\Omega$$

ดังนั้น เราจะได้ค่าความถี่ประมาณ 60 เฮิร์ตซ์ โดยจะต่อ R_a เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ เนื่องจากต้องการปรับให้ค่าที่ได้ใกล้เคียงที่คำนวณมากที่สุด (ความต้านทานค่าผิดพลาด $\pm 5\%$)

วงจรหาร 60 และ 3,600 ใช้ IC2 ทำหน้าที่เป็น 12 stages binary counter จะทำหน้าที่เป็นวงจรนับสัญญาณนาฬิกาไปเรื่อยๆ จาก 0 ไปจนถึง 60 หรือจนถึง 3,600 เท่านั้น โดยเมื่อถึงค่าที่นับก็จะสร้างสัญญาณรีเซ็ตตัวมันเองให้เริ่มนับจากศูนย์ใหม่

ตัวอย่างเช่น ต้องการหารด้วย 60 ก็นำขาที่มีผลหารเป็น 4, 8, 16 และ 32 มารวมกัน ก็จะได้เป็น 60 พอดี ในวงจรสมบูรณ จึงนำ Q3-Q6 มา AND กัน เมื่อ IC2 นับถึง 60 ขา Q3-Q6 จะเป็นลอจิก "1" ทุกขา ทำให้เอาต์พุต IC3/1 เป็น "1" ด้วย ทำการรีเซ็ตตัวมันเองให้ทุกขาเป็น "0" ทั้งหมดเพื่อเริ่มต้นการนับใหม่ ด้วยวิธีนี้ จึงได้สัญญาณรีเซ็ตเป็นพัลส์แหลม ๆ แคบ ๆ () และขา Q6 มีความถี่เป็น 1 เฮิร์ตซ์ โดยมีค่าควิตซ์ไซเคิลเป็น 28/60 คือมีช่วงเวลาที่ เป็น "0" อยู่เท่ากับสัญญาณนาฬิกา 32 ลูก และเป็น "1" เท่ากับสัญญาณนาฬิกา 28 ลูก

ด้วยหลักการเดียวกัน หากต้องการหารด้วย 3,600 ก็นำขาที่มีผลหารหารเป็น 16, 512, 1024 และ 2048 มารวมกัน คือใช้ขา Q4, Q10, Q11 และ Q12 นำมา AND กัน เมื่อนับถึง 3,600 ก็จะมีการรีเซ็ตตัวเอง จึงได้สัญญาณพัลส์ทางขา 13 ของ IC3/2 เป็นพัลส์แคบๆ ทุกๆ 1 นาที่

การเลือกให้หารด้วย 60 หรือ 3,600 ถูกกำหนดด้วย SW2 คือ SW2/1 ทำหน้าที่เลือกสัญญาณนาฬิกาความถี่ 1 เฮิร์ตซ์ หรือ 1/60 เฮิร์ตซ์ ผ่าน IC5/2 ไปเข้าวงจรนับถอยหลัง (จะกล่าวถึงต่อไป) ส่วน SW2/2 ทำหน้าที่เลือกสัญญาณพัลส์แคบๆ ที่จะไปรีเซ็ตตัวมันเอง ผ่าน D1 ดังนั้น SW2 จึงทำหน้าที่เลือกช่วงเวลาของการตั้งเวลาให้เร็ว (มีหน่วยเป็นวินาที) หรือช้า (มีหน่วยเป็นนาที่) และต่อคริสตัลค่า 32.768 KHz เข้าไป เพื่อทำให้วงจรทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพมากขึ้น

ต่อไป พิจารณาส่วนที่ทำหน้าที่ ตั้งค่าเริ่มต้นของการนับถอยหลัง เมื่อ SW3/1 อยู่ที่ตำแหน่ง PROGRAM ขา PE จะเป็น "1" ป้อนเข้าขา 1 ของ IC6 และ IC7 ในส่วนนับสัญญาณถอยหลังของตัวแสดงผลภาคตั้งเวลา ในช่วงเวลานี้จึงไม่มีการนับเวลาถอยหลัง และขา P1-P4 ของ IC6 และ IC7 นี้ ก็จะคอยรับสัญญาณจาก IC4/1 และ IC4/2 ซึ่งทำหน้าที่นับสัญญาณนาฬิกาแบบเดินหน้า เพื่อการตั้งเวลาเริ่มต้นจาก IC5/1 โดยมี SW1 เป็นตัวควบคุมการเปิดเขตของสัญญาณที่จะนับ จากขา Q4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ IC2 ซึ่งมีความถี่ประมาณ 4 เฮิรตซ์ (60/16) เมื่อกด SW1 ค้างไว้ จะทำให้ตัวเลขในภาคแสดงผลวิ่งเดินหน้าไปเรื่อยๆ จาก 0, 1, 2, ..., 99, 0, 1, 2, ... เมื่อได้ค่าที่ต้องการ ก็ปล่อย SW1 ตัวเลขก็จะหยุดค้างไว้แสดงเวลาที่ต้องการ โดยเอาต์พุตจาก IC5/1 จะถูกป้อนเข้าสู่อินพุตของวงจร DEBOUNCER ซึ่งประกอบด้วย IC10/1 และ IC10/2 จัดให้อินพุตของเกททั้งสองมีสถานะตรงข้ามกันโดยให้ IC10/3 ต่อเป็นอินเวอร์เตอร์ ลอจิก "1" จาก IC5/1 จะทำให้ได้เอาต์พุตเป็น "0" จากวงจร DEBOUNCER ทำให้ Q2 มีสถานะเปิดวงจร จะทำให้ขา CK ของ IC3/1 มีสถานะเป็น "1"

เมื่อ SW3 ถูกเลื่อนให้ไปอยู่ที่ตำแหน่ง RUN ก็แสดงว่าสิ้นสุดสถานะพีรีซิท เข้าสู่สถานะการนับถอยหลัง โดย IC2 จะถูกรีเซ็ตค่าเริ่มต้นเป็น 0 โดย C5 และ R3 (เพื่อให้เศษของวินาทีเป็นศูนย์จริง) สัญญาณนาฬิกาทุกๆ 1 วินาที หรือทุกๆ 1 นาที (เลือกด้วย SW2) จะถูกส่งผ่าน IC5/2 ป้อนเข้าวงจรในภาคแสดงผล ทำการนับเวลาถอยหลังจากตัวเลขที่ได้ตั้งไว้

ภาคแสดงผลในรูปแบบที่ 29 เป็นวงจรนับถอยหลัง 2 หลัก เนื่องจากเราต่อขา U/\bar{D} เข้ากับ "0" วงจรนับทั้ง 2 หลัก ถูกกำหนดให้ทำงานแบบซิงโครนัส คือต่อขา CI ของหลักหน่วยเป็น "0" และต่อขา \overline{CO} ของหน่วยหลักไปเข้าขา CI ของหลักสิบ และยังได้ต่อขา CK ร่วมกันอีกด้วย เมื่ วงจรนับถอยหลังถึง 00 เมื่อใด ขา \overline{CO} ของหลักสิบจะเป็น "0" ทันที ทำให้ Q1 ในภาคตั้งเวลาหยุดทำงาน ตัวรีเลย์ก็จะดูดหน้าสัมผัส ให้ขา C ต่อกับ NC เป็นการตัดไฟเข้าวงจร และหยุดการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ SO1 โดยมี LED1 แสดงสถานะของรีเลย์ด้วย

ในส่วนของภาคแสดงผลขับตัวเลข 2 หลัก (DSP1-DSP2) ขาที่ทำหน้าที่ทดสอบตัวเลข (\overline{LT}) จะถูกต่อเข้ากับไฟ +12 โวลต์ เนื่องจากไม่ต้องการให้ตัวเลขติดค้างเป็นเลข 8 ตลอด, ขาแลทซ์ (LE) รวมทั้งจุดหลังตัวเลขด้วย แต่มีการใช้ขา RBI และ RBO เพื่อการดับตัวเลขศูนย์หลักสิบเพียงหลักเดียว เพื่อความสวยงามในการแสดงผล

R10-R16 และ R18-R24 ทำหน้าที่จำกัดกระแสของ DSP1 และ DSP2 ตามลำดับ

นอกจากนี้ ยังมี SW3/2 ทำหน้าที่หยุดการทำงานของรีเลย์ เพื่อไม่ให้เครื่องอบวัสดุฯ ทำงานจนกว่าจะอยู่ในโหมด RUN เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากขณะปกติ ขา \overline{CO} จะเป็น "1" ตลอด ถ้าไม่มี SW3/2 แล้ว แม้จะอยู่ในโหมด PROGRAM รีเลย์ก็จะทำงานก่อนถึงเวลาที่ตั้งไว้ ซึ่งผิดหลักการไว้ และเช่นเดียวกัน SW4 ทำหน้าที่หยุดการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า ในกรณีที่ต้องการปิดเครื่องอบวัสดุฯ ก่อนถึงเวลาที่กำหนด

4. ภาคตรวจอุณหภูมิและอินเทอร์เฟซ (Temperature Sensor & Interface)

อุปกรณ์สำคัญในชุดนี้ ได้แก่ไอซีเบอร์ ICL7106 ซึ่งเป็นไอซีแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล ประกอบด้วยวงจรขับดีโอดเคอร์ 7 เซกเมนต์, วงจรขับแสดงผล LCD ขนาด $3\frac{1}{2}$ หลัก,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรสร้างแรงดันอ้างอิง และวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา โดยโครงงานนี้ได้เลือกการแสดงผลแบบ LCD

รายละเอียดของไอซีเบอร์ ICL7106 แสดงในภาคผนวกท้ายเล่ม

4.1 หลักการทำงาน

วงจรสมบูรณของภาคตรวจจับอุณหภูมิ แสดงดังรูปที่ 30 (ก) โดยทำหน้าที่เป็นเสมือนกับมิเตอร์แสดงผลอุณหภูมิที่เกิดจากการสร้างความถี่ของแมกเนตรอน โดยจะกำหนดค่าการทำงานในการตรวจวัดสัญญาณของ IC1 อยู่ในช่วง ± 200 มิลลิโวลต์ เนื่องจาก IC1 สามารถแสดงผลได้ทั้งบวกและลบ (ดูรูปวงจรสมบูรณของชุดตรวจจับอุณหภูมิประกอบ) อุปกรณ์ที่ใช้เป็นเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ จะใช้ทรานซิสเตอร์แบบ NPN ให้ทำงานเหมือนกับไดโอดแบบซิลิกอน โดยใช้ขาเบสของ Q1 ต่อเข้ากับขาคอลเล็กเตอร์ ใช้งานแทนไดโอด ซึ่งจะช่วยให้การแปรผันของอุณหภูมิมีความเป็นเชิงเส้นมากกว่าการใช้ไดโอด

ทรานซิสเตอร์ Q1 จะเป็นตัวกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงแรงดันทางอินพุต ที่ป้อนให้กับ IC1 แรงดันตกคร่อมระหว่างขา C และ E ของ Q1 จะมีค่าประมาณ 0.7 โวลต์ และแรงดันตกคร่อมนี้ จะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง 2.2 มิลลิโวลต์ทุก ๆ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไป 1 องศาเซลเซียส

ตัวต้านทานปรับค่าได้ VR1 และ VR2 เป็นตัวทำหน้าที่ปรับสเกลให้เข้ากับชุดตรวจจับอุณหภูมิ และกำหนดค่าสเกลของการวัดในย่านองศาเซลเซียส

ทรานซิสเตอร์ Q2 ทำหน้าที่กักลับสถานะลอจิกของสัญญาณแบ็กเพลน เพื่อจับจุดทศนิยมของ LCD เนื่องจากต้องใช้สถานะลอจิกตรงกันข้ามกับสัญญาณขับแบ็กเพลนปกติ

รูปที่ 30 (ข) แสดงวงจรสมบูรณของภาคอินเทอร์เฟส วงจรนี้จะทำหน้าที่รับข้อมูลที่แสดงผลอุณหภูมิของเครื่องอบวัสดุฯ แล้วส่งข้อมูลที่ไต่ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลที่หน้าจอ

จอแสดงผลแบบ LCD ขนาด 3 1/2 หลีก แบบ 7 เซกเมนต์ กับเครื่องหมายลบข้างหน้าอีกหนึ่งขีด จะถูกป้อนเข้าสู่ไอซีที่ทำหน้าที่แปลงข้อมูลไปสู่มาตรฐาน RS-232 ซึ่งจะรวมบิตเริ่มต้นและบิตปิดท้ายเข้าไปด้วย ไอซีที่ว่านี้คือไอซีชิฟต์รีจิสเตอร์ ส่วนการส่งข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์นั้น จะส่งผ่านออปโตคัปเปลอร์

สัญญาณนาฬิกาสำหรับการส่งข้อมูลแบบอนุกรมนั้น จะถูกสร้างขึ้นจากคริสตอลค่าความถี่ 32.768 KHz และหารความถี่ด้วย IC1 ที่ขา 7 ของ IC1 จะให้ความถี่ 2,048 เฮิรตซ์ออกมา สำหรับเป็นสัญญาณนาฬิกาให้กับชิฟต์รีจิสเตอร์ ความถี่นี้ไม่ใช่อัตราบอดเรตมาตรฐาน (เช่น 1,200 หรือ

2,400) แต่ค่าความถี่ที่ได้นี้ ก็มีความถูกต้องเพียงพอ ($115,200/56 = 2,057.1$ เฮิรตซ์) ไม่ต้องหาความถี่อื่นอีก นอกจากนั้น ความถี่ 8 เฮิรตซ์ จาก IC2 จะถูกใช้เพื่อโพลคิฟตรีจิสเตอร์

ชิฟตรีจิสเตอร์ขนาด 24 บิต จะสร้างจาก IC2 และ IC3 ซึ่งจะทำการแปลงข้อมูลแบบขนานไปสู่รูปแบบของอนุกรม ข้อมูลขนาด 24 บิตเหล่านี้มาจาก LCD ชนิด 7 เซกเมนต์ 3 ตัว (หลักหน่วย, หลักสิบ และหลักร้อย) แต่ในแต่ละหลัก จะใช้เซกเมนต์เพียง 5 จุดเท่านั้น คือ A, B, E, F และ G รวมเข้ากับ 1 บิตของหลักพันสำหรับการแสดงขั้ว และ 1 บิตสำหรับส่วนของแบ็กเพลน รวมทั้งหมดเป็น 18 บิต ซึ่งยังอยู่ภายใน 3 ไบต์อยู่ โดยมีส่วนหัวเป็นบิตเริ่มต้น (สถานะ "LOW") และบิตท้ายด้วยบิตปิดท้าย (สถานะ "HIGH") โดยการป้อนสัญญาณบิตปิดท้ายเข้าที่ขา 9 (ขา \bar{P}/S) ข้อมูลขนาด 24 บิต จะไหลคเข้าไปยังชิฟตรีจิสเตอร์ แล้วตามด้วยบิตปิดท้าย โดยบิตต่าง ๆ จะเลื่อนออกไปตามอัตราบิตที่ป้อนเป็นสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา 10 ซึ่งบิตปิดท้ายนี้ จะถูกรวมเข้ากับส่วนปลายของโปรแกรมโดยอัตโนมัติ

เอาต์พุตของชิฟตรีจิสเตอร์จะไปขับออปโตคัปเปลอร์ IC6 ผ่านตัวต้านทาน R11 ส่วนทางด้านที่ 9 ติดต่อกับคอมพิวเตอรื จะถูกขยายสัญญาณโดย Q3 ซึ่งจะนำเอาสัญญาณไฟเลี้ยงมาจากขา DTR ของคอมพิวเตอรื โดยจะต้องเซตให้ขาที่มีสถานะเป็น "HIGH" เพื่อให้มีแรงดันขนาด 12 โวลต์ ออกมาใช้เป็นไฟเลี้ยง ส่วนทางด้านชิฟตรีจิสเตอร์ลอจิก "LOW" จากชิฟตรีจิสเตอร์ จะทำให้ LED ที่อยู่ภายในตัวออปโตคัปเปลอร์ IC6 ติด และทรานซิสเตอร์ Q3 จะทำการต่อสัญญาณจากขา DTR เข้ากับขา Rx ทำให้ขา Rx มีแรงดันประมาณ +12 โวลต์ เมื่อ Q3 หยุดทำงาน ตัวต้านทานพูลดาวน์ที่อยู่ภายใน จะทำให้ขา Rx มีแรงดันประมาณ -12 โวลต์

เนื่องจากการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอรืกับชุดชิฟตรีจิสเตอร์ เชื่อมต่อกันผ่านออปโตคัปเปลอร์ ดังนั้น วงจรนี้ต้องการแหล่งจ่ายไฟถึง 2 ระดับ ทางด้านที่ติดต่อกับคอมพิวเตอรืนั้น ใช้ไฟเลี้ยงจากขา DTR ส่วนทางด้านชิฟตรีจิสเตอร์ วงจรนี้ใช้ไฟเลี้ยงจาก IC1 (ในรูปที่ 29 (ข) แสดงด้วยสัญลักษณ์ IC0) แต่เนื่องจากระดับลอจิก "LOW" ของ ICL7106 นั้นไม่ใช่ 0 โวลต์ แต่มีค่าประมาณ $V_{cc} - 5$ โวลต์ จึงทำให้ไอซีซีโมส ไม่สามารถรับรู้สถานะลอจิกได้

วิธีการก็คือ การลดแรงดันไฟเลี้ยงด้านลบของวงจรลงประมาณ 2 โวลต์ โดยใช้ไดโอด D1, D2 และ D3 แรงดันไฟเลี้ยงจากภาคตรวจจับอุณหภูมิจะใช้แรงดัน 9 โวลต์ ดังนั้น จึงมีการกำหนดจุดกราวด์ใหม่ ที่มีแรงดันตกรวมเมื่อเทียบกับจุด V- ประมาณ 2 โวลต์ ทำให้ไอซีซีโมส สามารถรับรู้สถานะลอจิก "HIGH" และลอจิก "LOW" ได้

4.2 โปรแกรมควบคุมการทำงาน

โปรแกรมที่ควบคุมการทำงานของภาคตรวจจับอุณหภูมิและอินเทอร์เฟซ มีหลักการทำงานดังแสดงในโฟลว์ชาร์ตรูปที่ 31 โดยขณะที่โปรแกรมเริ่มต้นทำงาน จะทำการตรวจสอบพอร์ต

อนุกรมว่าใช้พอร์ตใด ระหว่างพอร์ต COM1 และ COM2 โดยหากผู้ใช้ไม่กำหนด จะทำการระบุให้ เป็น COM2 โดยอัตโนมัติ แต่หากป้อนไม่ถูกต้อง จะมีข้อความแสดงรูปแบบการป้อนค่าที่ถูกต้อง ให้ทราบ

หลังจากนั้นโปรแกรมจะกำหนดค่าบอดเรตให้กับพอร์ตอนุกรม แล้วตรวจสอบว่ากำหนด ชื่อไฟล์เพื่อเก็บข้อมูลไว้หรือไม่ ถ้ามีการกำหนด ก็จะทำกรเปิดไฟล์ โดยใช้ชื่อไฟล์ที่กำหนดนั้น แต่ก่อนจะเปิดไฟล์ โปรแกรมจะทำการตรวจสอบก่อนว่ามีการเขียนชื่อไฟล์เข้าอยู่หรือไม่ ถ้ามีชื่อ ไฟล์เข้าอยู่ ก็จะแสดงข้อความว่าต้องการเขียนทับไฟล์นั้นหรือไม่ หลังจากที่กำหนดชื่อไฟล์เสร็จ เรียบร้อยแล้ว จะเป็นการใช้การเซตอินเตอร์รัปต์ เพื่อรอการป้อนข้อมูลเข้าทางพอร์ตอนุกรม โดย นำค่าที่อ่านได้มาเก็บไว้ แล้วแปลงค่าที่อ่านได้ให้อยู่ในรูปแบบของจำนวน จากนั้นก็นำค่าตัวเลข จำนวนเต็มเหล่านั้นไปแปลงเป็นลักษณะตัวเลขขนาดใหญ่อีกที ก่อนที่จะเขียนข้อมูลลงในไฟล์ที่ กำหนดขึ้น ขั้นตอนต่อมา โปรแกรมจะตรวจสอบการกดคีย์ ถ้ายังไม่มีกรกดคีย์ ก็จะยังคงอ่านค่า และแสดงผลค่าตัวเลขต่อไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะมีการกดคีย์ จึงจะทำการคืนค่าตัวแปรต่าง ๆ แล้วปิด ไฟล์ออกจากโปรแกรม

4.3 การใช้งานโปรแกรม

ขั้นตอนการใช้โปรแกรม แสดงดังต่อไปนี้

1. ไล่แผ่นโปรแกรมในไดรฟ์ A:
2. พิมพ์ข้อความต่อไปนี้

PROGRAM [1/2] [/L ชื่อไฟล์]

เมื่อ /1 หรือ /2 หมายถึงการเลือกพอร์ตอนุกรม COM1 หรือ COM2

/L ชื่อไฟล์ หมายถึงการกำหนดชื่อไฟล์เพื่อใช้เก็บค่าข้อมูลที่อ่านได้ จะเก็บลงในไฟล์ 8 ครั้งใน 1 วินาที ไฟล์นี้จะเก็บอยู่ในรูปของรหัสแอสกี ดังนั้น สามารถที่จะนำค่าในไฟล์เหล่านี้ไป พล็อตกราฟ หรือแสดงค่าด้วยวิธีอื่น ๆ ซึ่งมีประโยชน์ในการปรับปรุงระบบการทำงานของเครื่อง ให้ดียิ่งขึ้นในอนาคต ตัวอย่างการป้อนข้อความได้แก่

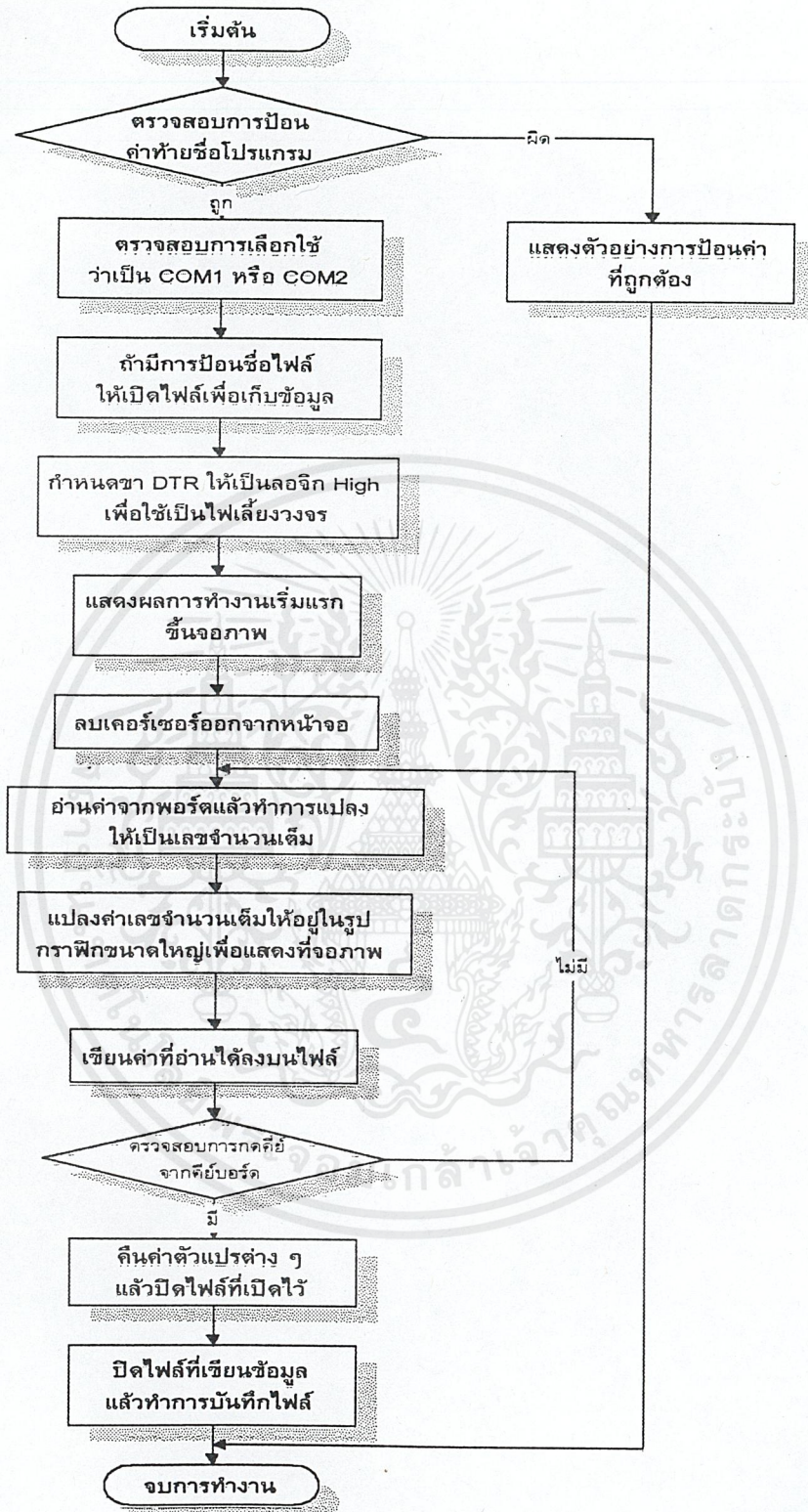
PROGRAM /1 /TEST.LOG

หมายถึง จะเป็นการส่งข้อมูลจากภาคตรวจจับอุณหภูมิไปยังพอร์ต COM1 และเก็บข้อมูล ลงในไฟล์ชื่อ TEST.LOG

PROGRAM /2

หมายถึง การรับข้อมูลเข้าทางพอร์ต COM2 โดยไม่มีการเก็บข้อมูลการอ่านค่าเป็นไฟล์

3. หากต้องการออกจากโปรแกรม สามารถทำได้โดยกดคีย์ใด ๆ โปรแกรมจะทำการเก็บ ข้อมูลลงในไฟล์ (หากกำหนดให้มีการเก็บข้อมูลเป็นไฟล์) แล้วทำการปิดไฟล์ออกจากโปรแกรม



รูปที่ 31 แสดงโปรแกรมที่ควบคุมการทำงานของภาคตรวจจับอุณหภูมิและอินเทอร์เฟซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

หลังจากทำการออกแบบเครื่องอบวัสดุโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ได้ทำการประกอบและทดลอง โดยการสร้างตัวถังและประกอบหลอดแมกเนตรอนและอุปกรณ์ต่าง ๆ (โดยยังไม่ได้ทำการต่อระบบควบคุม) และทำการทดสอบการทำงานของเครื่องอบวัสดุโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ปรากฏผลดังต่อไปนี้

ภาคผลิตคลื่นไมโครเวฟ

นำปริซึมสำหรับวัดค่าความถี่ขนาด 2.45 GHz แสดงดังรูปที่ 32 ซึ่งจะเรืองแสง เนื่องจากผลการทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอนที่วิ่งผ่านตัวมัน โดยตั้งทิ้งไว้ภายในตัวเครื่อง ใกล้กับหลอดแมกเนตรอน ทำการจ่ายกระแสไฟให้แมกเนตรอนทำงาน ปรากฏว่า ปริซึมเรืองแสง แสดงว่า แมกเนตรอนสามารถกำเนิดคลื่นไมโครเวฟขนาด 2.45 GHz ได้จริง ดังรูปที่ 33



รูปที่ 32 แสดงปริซึมสำหรับวัดค่าความถี่ขนาด 2.45 GHz



รูปที่ 33 แสดงการทดสอบภาคกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ โดยใช้ปริซึมเรืองแสง ซึ่งตั้งอยู่ภายในตัวเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการวัดคลื่นบริเวณรอบ ๆ ตัวเครื่อง เพื่อตรวจหาคลื่นรบกวนจากภายใน พบคลื่นไมโครเวฟจำนวนมาก ในบริเวณรอยต่อของแผ่นโครงเหล็กแต่ละด้าน โดยเฉพาะบริเวณด้านหน้า ประตูเปิด-ปิด ซึ่งอยู่ในปริมาณที่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ แสดงดังรูปที่ 34 (ก)



(ก)

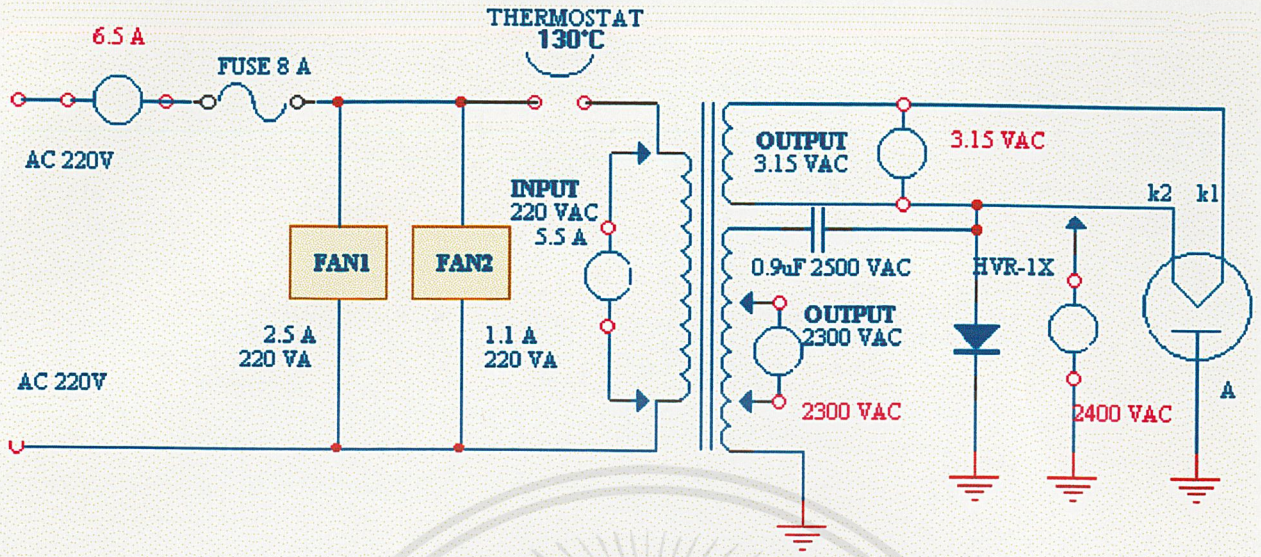
(ข)

รูปที่ 34 (ก) แสดงผลของการวัดคลื่นรบกวนจากตัวเครื่อง มีปริมาณอยู่ในขั้นอันตรายต่อผู้ใช้

(ข) แสดงผลของการวัดคลื่นรบกวนจากตัวเครื่อง ภายหลังจากการแก้ไขและปรับปรุง

ได้ทำการแก้ไขโดยการเชื่อมตัวถังเพิ่มขึ้นในบริเวณรอยต่อของแผ่นเหล็ก และนำตาข่ายที่มีขนาดของรูเล็กกว่าความยาวคลื่นที่ใช้ ยึดบริเวณด้านในประตูเพื่อป้องกันการรั่วไหล ทำการทดสอบซ้ำ ผลแสดงดังรูปที่ 34 (ข) โดยคลื่นรบกวนเกิดในปริมาณที่ยอมรับได้ และไม่ใช่อันตรายต่อผู้ใช้เครื่อง

ผลจากการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 35



รูปที่ 35 แสดงผลจากการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า
ของเครื่องอบวัสดุโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ

หลังจากนั้น ได้ทำการสร้างและประกอบวงจรควบคุมระบบ และทำการทดสอบวงจรแต่ละภาค ได้ผลดังต่อไปนี้

ภาคตั้งเวลาและแสดงผล (Timer & Display)

ประกอบวงจรสำหรับตั้งเวลา และแสดงผล 2 หลัก ตั้งค่า Timer ไว้ที่ 5 นาที จับเวลาจากนาฬิกาภายนอก เพื่อทำการเปรียบเทียบ วัดค่าเอาต์พุตของวงจร ปรากฏว่าเมื่อครบ 5 นาที วงจรทำการตัดแหล่งจ่ายแรงดัน 220 โวลต์ที่จ่ายให้กับโหลดได้จริง หลังจากนั้น ทำการทดสอบที่เวลา 10, 15 และ 20 นาที ได้ผลลัพธ์ตรงตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้

ภาคตรวจจับคลื่นไมโครเวฟรั่วไหล (Automatic Sensor Security)

ประกอบวงจร ต่อเข้ากับระบบ ทดสอบและปรับแต่งความเข้มในการตรวจสอบคลื่น โดยวิธีทำให้เกิดการรั่วไหลของคลื่น ปรากฏผลดังตารางที่ 5

จากตาราง พบว่าเมื่อเกิดคลื่นรั่วไหลที่มีความเข้มเท่ากับ 3 mW เกิดขึ้น LED 1 จะติดสว่าง เมื่อเพิ่มการรั่วไหลของคลื่นให้เป็น 7 mW จะทำให้ LED 2 ติดสว่าง และทำการทดสอบโดยเพิ่มการรั่วไหลให้ถึงจุดที่เป็นอันตราย (> 9 mW) LED 3 ติด และวงจรจะส่งเสียงเตือน พร้อมทั้งทำการตัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแมกเนตรอนทันที

ตารางที่ 5 แสดงค่าความเข้มในการทดสอบคลื่นไมโครเวฟจากตัวเครื่อง

ค่าความเข้มที่กำหนด (mW)	ค่าความเข้มที่วัดได้ (mW)	การแสดงผลของ LED
0-4	3	LED 1
4-9	7	LED 2
> 9	11	LED 3

ภาคตรวจจับอุณหภูมิและอินเตอร์เฟซ (Temperature Sensor & Interface)

ประกอบวงจร วัดที่อุณหภูมิห้อง, อุณหภูมิของน้ำแข็ง และอุณหภูมิของไอน้ำเดือด อ่านค่าจากตัวเลขแสดงผล LCD แล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ภายนอก ปรากฏว่าได้ผลใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 36 ค่าที่ทดสอบได้ แสดงดังตารางที่ 6



รูปที่ 36 แสดงผลการทดสอบภาคตรวจจับอุณหภูมิ เปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์ภายนอก

ตารางที่ 6 แสดงผลการทดลอง เปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์ภายนอก

จุดวัดอุณหภูมิ	อุณหภูมิที่วัดได้	
	เทอร์โมมิเตอร์ภายนอก (°C)	ภาคตรวจจับอุณหภูมิ (°C)
อุณหภูมิห้อง	32	32.4
อุณหภูมิน้ำแข็ง	-1	-1.4
อุณหภูมิไอน้ำเดือด	98	98.4

ทำการต่อพ่วงภาคอินเตอร์เฟสเข้ากับภาคตรวจจับอุณหภูมิ เพื่อแปลงข้อมูลเป็นแบบอนุกรม แล้วต่อเข้ากับพอร์ต RS-232 ผ่าน DB-9 เขียนโปรแกรมแสดงผลหน้าจอ โดยใช้โปรแกรมปาสคาล (Pascal) เป็นตัวจัดการข้อมูล

ทดสอบการเชื่อมต่อข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม ในครั้งแรก ไม่สามารถแสดงผลได้ เนื่องจากอุปกรณ์ภายในวงจร (คริสตอล 32.768 KHz) ไม่ทำงาน เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่และทำการทดลองซ้ำพบว่าไม่ทำงานเนื่องจากข้อผิดพลาดของโปรแกรม ได้แก้ไขจนสำเร็จ ปรากฏว่าสามารถนำข้อมูลอุณหภูมิมารแสดงผลที่หน้าจอได้ตรงตามจุดประสงค์

ไมโครสวิตช์ (Micro switch)

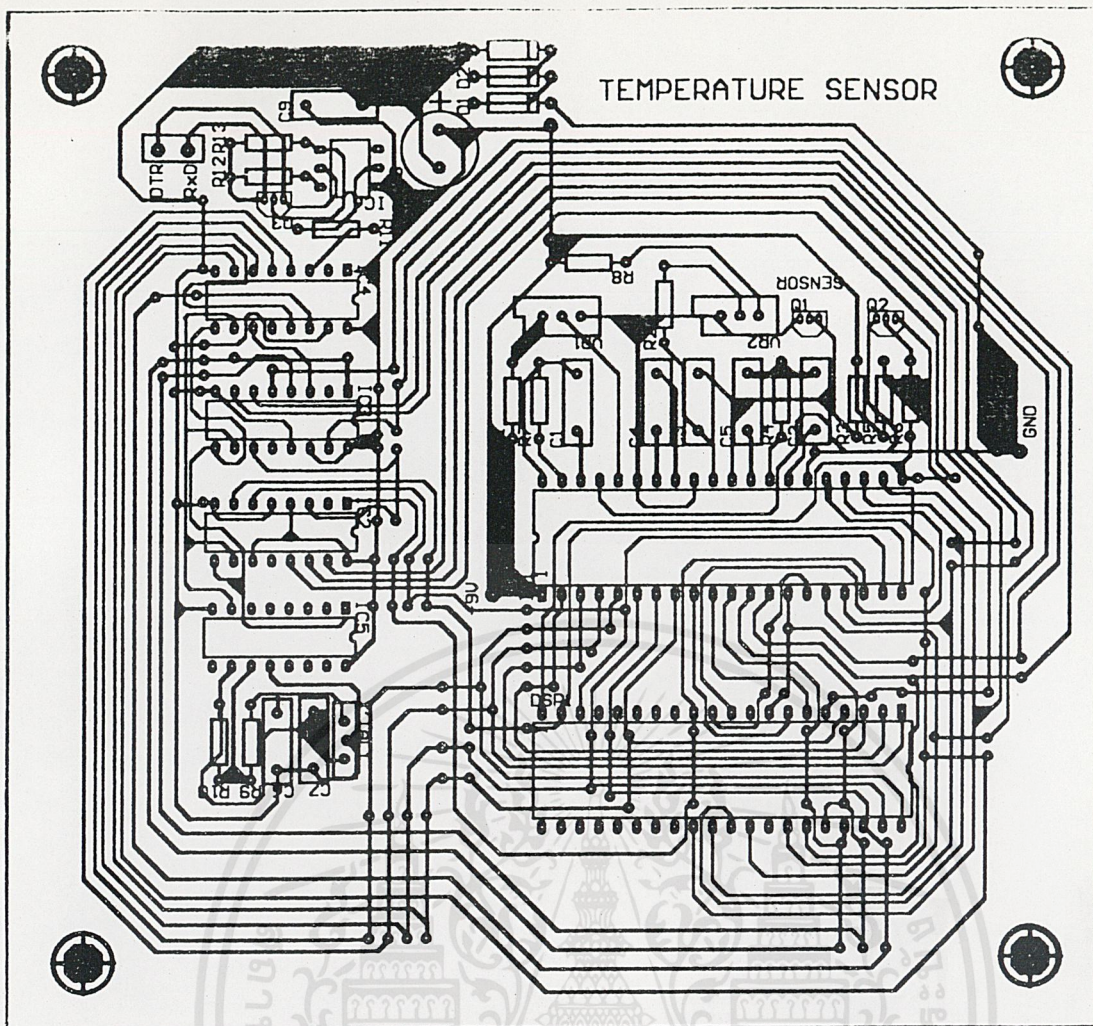
เพิ่มไมโครสวิตช์ที่ประตูเครื่องอบวัสดุฯ เพื่อให้สามารถตัดการทำงานได้ทันทีที่มีการเปิดประตูเครื่อง โดยไม่ได้ตัดการทำงานของแมกเนตรอนก่อน

เพิ่มไมโครสวิตช์ที่ภาคตั้งเวลาเพื่อทำการควบคุมสัญญาณพัลส์ โดยจะตัดแรงดัน 5 โวลต์ที่จ่ายให้กับ IC1 เมื่อมีการเปิดประตูเครื่องก่อนกำหนดเวลาที่ตั้งไว้ และจะทำให้ภาคแสดงผลแสดงผลตัวเลขค้างไว้ และสามารถทำงานต่อเนื่องไปในช่วงเวลาที่เหลือเมื่อปิดประตู

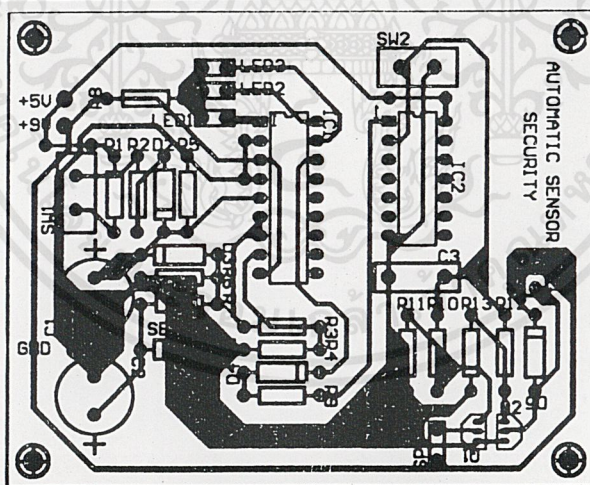
ภาคผนวก



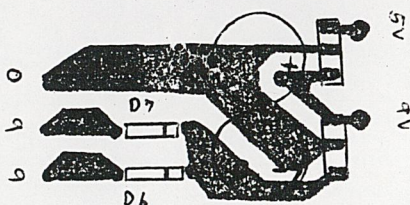
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

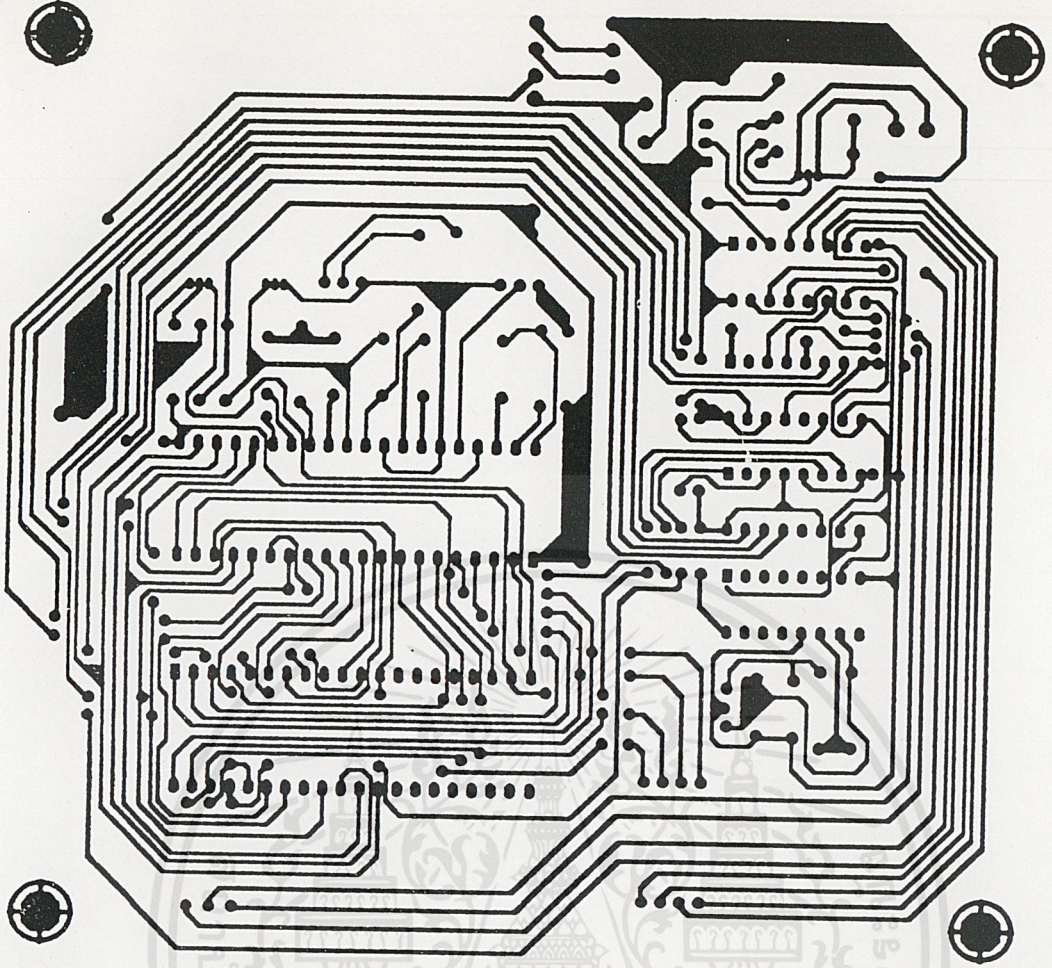
การวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์

(ก) ภาคตรวจจับอุณหภูมิและอินเตอร์เฟส (Temperature Sensor & Interface)

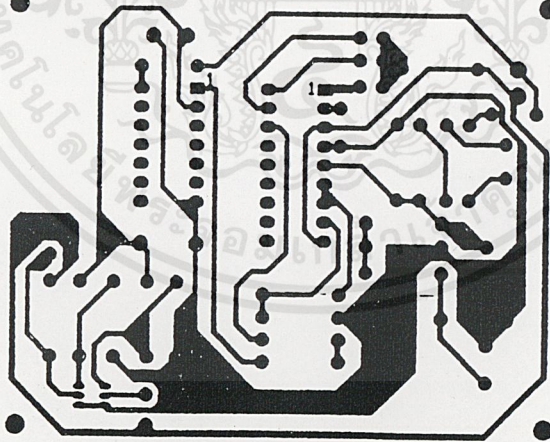
(ข) ภาคตรวจจับคลื่นไมโครเวฟรั่วไหล (Automatic Sensor Security)

(ค) แหล่งจ่ายไฟภาคตรวจจับคลื่นไมโครเวฟรั่วไหล (Regulator for Automatic Sensor Security)

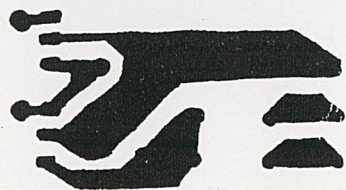
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ กรุณาติดต่อขอสงวนลิขสิทธิ์และขอยกเลิกใช้ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

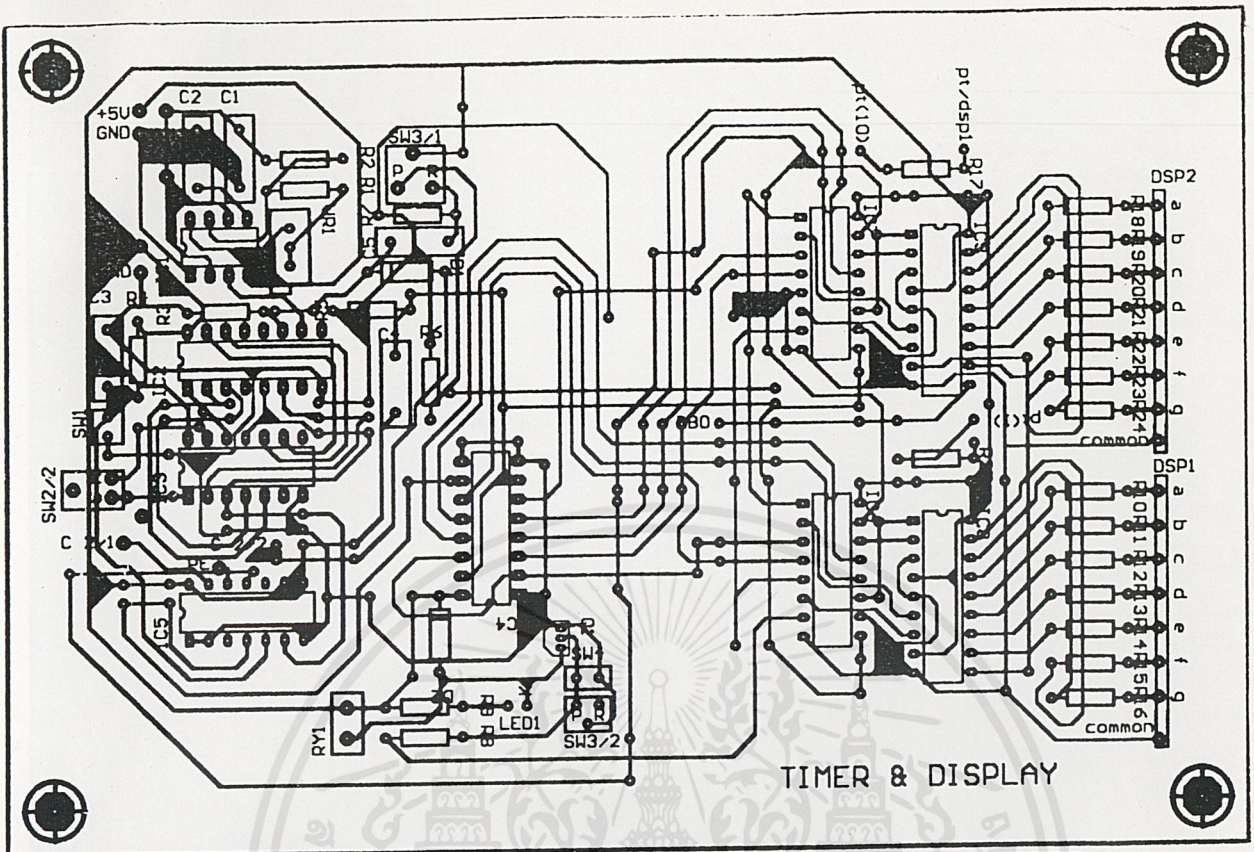
สายทองแดงขนาดเท่าของจริง

(ก) ภาคตรวจจับอุณหภูมิและอินเตอร์เฟส (Temperature Sensor & Interface)

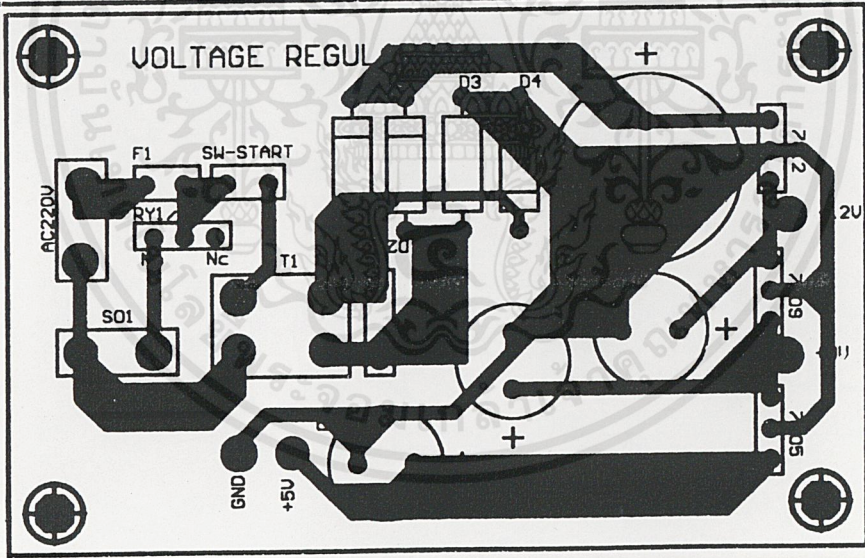
(ข) ภาคตรวจจับคลื่นไมโครเวฟรั่วไหล (Automatic Sensor Security)

(ค) แหล่งจ่ายไฟภาคตรวจจับคลื่นไมโครเวฟรั่วไหล (Regulator for Automatic Sensor Security)

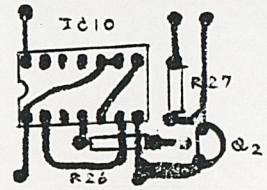
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม หากมีผู้พบเห็นให้ติดต่อเจ้าหน้าที่ของกรมและติดต่อแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

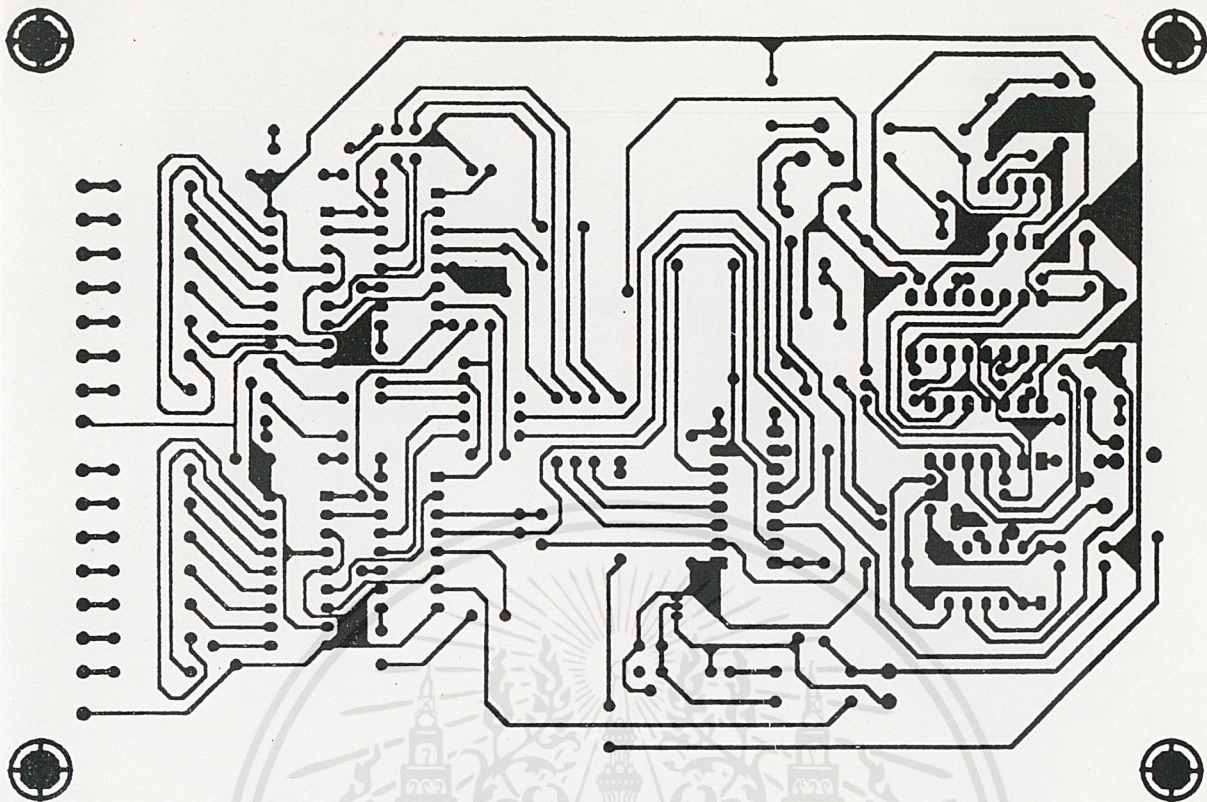


(ค)

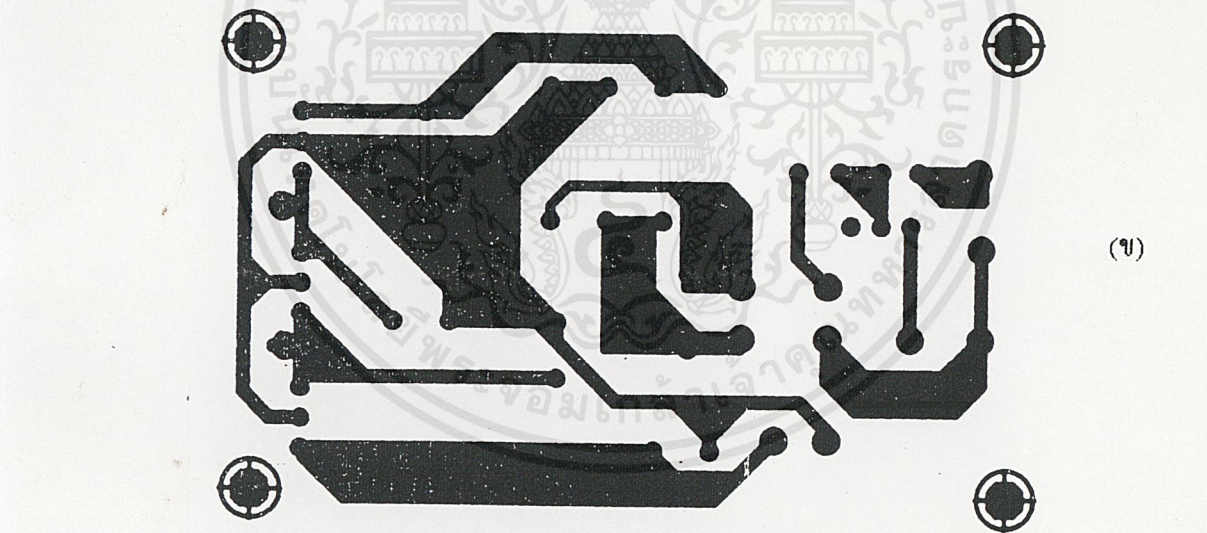
การวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์

- (ก) ภาคตั้งเวลาและแสดงผล (Timer & Display)
- (ข) ภาคจ่ายไฟ (Voltage Regulator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ (ค) วงจรป้องกันสวิตช์กระโดด (Debouncer)
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

ลายทองแดงขนาดเท่าของจริง

(ก) ภาคตั้งเวลาและแสดงผล (Timer & Display)

(ข) ภาคจ่ายไฟ (Voltage Regulator)

(ค) วงจรป้องกันสวิทช์กระโดด (Debouncer)

ANNOTE

No. AN9609.1 November 1996

Harris Data Acquisition

Overcoming Common Mode Range Issues When Using Harris Integrating Converters

Authors: Paul Traynham and Juan C. Garcia

Introduction

Some applications which utilize Harris' integrating analog to digital converters may require a way to overcome Common Mode Range (CMR) issues that may arise. Harris' integrating analog to digital converters such as those listed in Table 1 operate consistently with an input which is within the CMR and the full-scale voltage set by the user. As a result, the converter's full scale range may vary from 200mV to as much as 2V.

TABLE 1. HARRIS INTEGRATING CONVERTERS

ICL7106	3 1/2 Digit LCD Display ADC
ICL7107	3 1/2 Digit LED Display ADC
ICL7116	3 1/2 Digit LSD Display ADC with Display Hold
ICL7117	3 1/2 Digit LED Display ADC with Display Hold
ICL7129	4 1/2 Digit LCD Single Chip ADC
ICL7136	3 1/2 Digit LCD Low Power Display ADC with Overrange Recovery
ICL7137	3 1/2 Digit LED Low Power Display ADC with Overrange Recovery
HI7131	3 1/2 Digit Low Power LCD Display ADC
HI7133	3 1/2 Digit Low Power LED Display ADC

Applications

Figure 1 illustrates a typical application for the ICL7107, 3 1/2 Digit LED Display ADC, using a single 5V supply and full scale range set to 200mV. Here, the IN LO input is tied to analog COMMON, and the differential input is measured with respect to it. Analog COMMON sets a voltage which is approximately 2.8V less than the positive supply, V+, when V+ to V- ≥ 6.8V. Here, V+ to V- = 5V, so a fixed 1.2V reference is used. The CMR is defined as: $(V- + 1.0V) < V_{IN} < (V+ - 0.5V)$. Not only does the input need to be within the common mode range, but also the full-scale range as well.

When operating these converters from a single supply and with an input voltage referenced to ground instead of COMMON, the designer can quickly run out of common mode range with which to work. In Figure 1, V+ = 5V and V- = 0V. V_{IN} is limited to a common mode range of +1V to +4.5V, but has a full scale of 200mV. The 200mV full scale is below the common mode range of the device. Even if full-scale is adjusted to 2V, the full scale range of the device is limited to a 1V swing ranging from 1 to 2V.

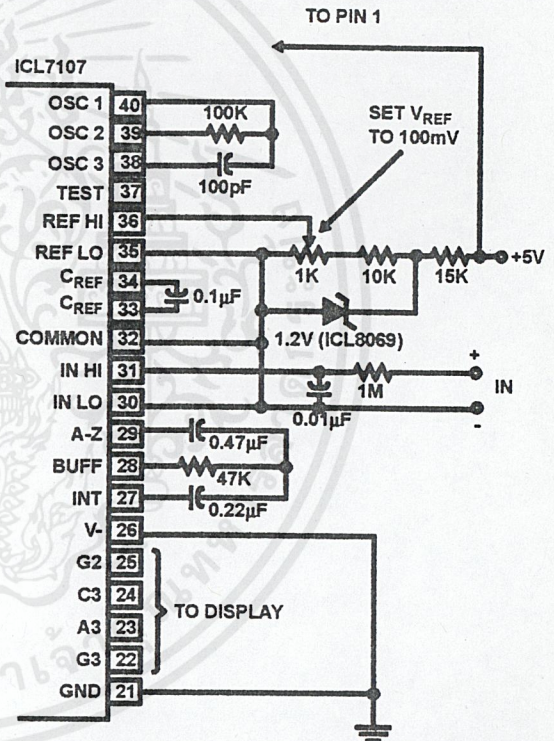


FIGURE 1. ICL7107 OPERATED FROM A SINGLE +5V SUPPLY

One solution is to separate COMMON and IN LO and tie IN LO to ground. The problem here is that gross errors can occur if IN LO is pulled to far from COMMON. A much better solution is to use a simple, non-inverting amplifier adder circuit as seen in Figure 2. A Harris CA3130 operational amplifier was chosen because it operates from a single 5V supply, has rail-to-rail output swing and an input range that includes ground.

Application Note 9609

Measuring the Supply Rail

In battery applications where a designer wishes to not only power the converter from a single supply, but also monitor and display the battery voltage, common mode range issues again arise. From the CMR equation we note that:

$$1V < V_{IN} < (V+ - 0.5V)$$

At first glance, it may seem that an easy solution would be to use a simple resistor voltage divider and reduce V_{IN} by a factor of 10, set full-scale to 2V and supply this to the ADC. For common battery voltages of 6V to 12V, the corresponding input voltages would be 0.6 to 1.2V. However, if we go back to the above common mode range equation, it states that V_{IN} must be greater than 1V. Figure 3 illustrates another operational amplifier configuration to solve this problem. Again a CA3130 was chosen because of its characteristics.

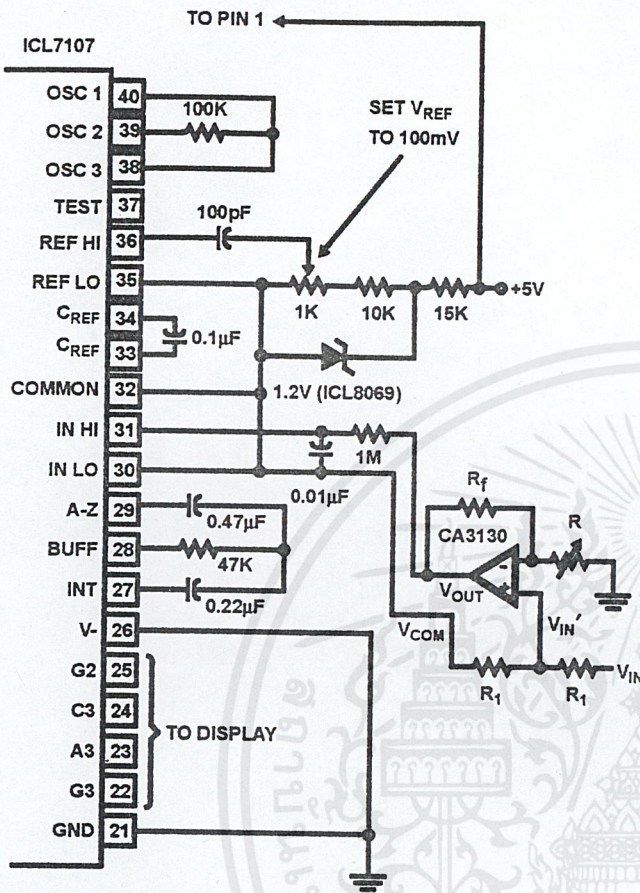


FIGURE 2. SIMPLE SUMMING AMP TO RESOLVE CMR PROBLEM

By analyzing the circuit in Figure 2, we see that:

$$V_{OUT} = \left(1 + \frac{R_f}{R}\right) \times V_{IN}' \quad (EQ. 1)$$

where

$$V_{IN}' = \frac{1}{2}(V_{IN} + V_{COM}) \quad (EQ. 2)$$

to define the operational amplifier output.

Substituting equation 2 into equation 1, and setting $R_f = R$ yields:

$$V_{OUT} = 2\left(\frac{1}{2}(V_{IN} + V_{COM})\right) = V_{IN} + V_{COM} \quad (EQ. 3)$$

Using this circuit, the operational amplifier's output signal (V_{OUT}) is now the sum of the incoming signal (V_{IN}) and COMMON. In other words, V_{IN} is now referenced with respect to COMMON and not ground. With a single 5V supply, an external voltage reference must be used because the internal reference is only active when $V+$ to $V- \geq 6.8V$, and $V_{COM} = COMMON \cong V+ - 1.2V = 3.8V$. The signal input to the ICL7107 will now be offset by 3.8V, which is well within the common mode range of the device. Even if $V+$ changes, as in battery applications, COMMON will keep the signal within the common mode range of the converter.

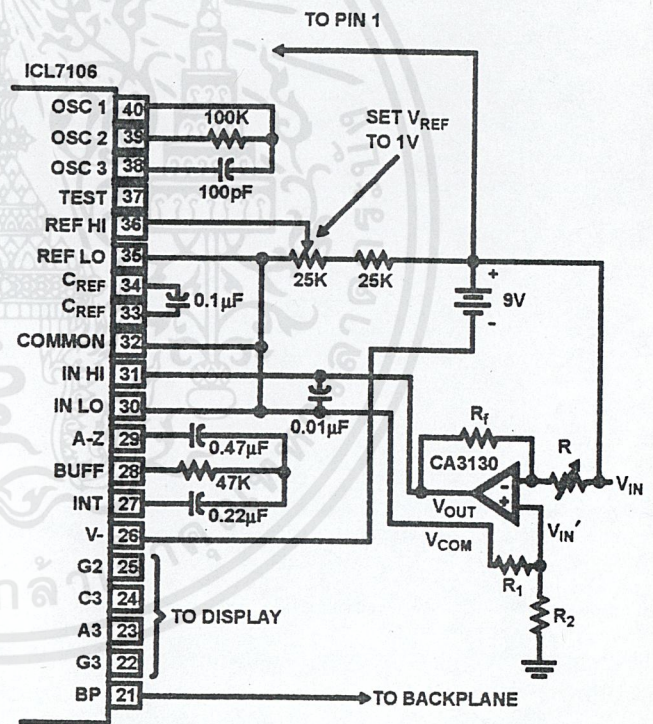


FIGURE 3. SIMPLE OP AMP CIRCUIT TO MEASURE SUPPLY RAIL ($V+$)

Here an ICL7106, $3\frac{1}{2}$ Digit LCD Display ADC with full scale set to 2V is shown. In this circuit, the operational amplifier is set in an inverting gain configuration, because gains of 0.1 are desirable, and because we are only concerned with positive input voltages.

Application Note 9609

Again analyzing the operational amplifier configuration, we note that:

$$\frac{(V_{IN}' - V_{IN})}{R} = \frac{(V_{OUT} - V_{IN}')}{R_F} \quad (\text{EQ. 4})$$

and that:

$$V_{IN}' = V_{COM} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (\text{EQ. 5})$$

Setting $R = 10R_F$, $R_F = R_1$ and $R_2 = R_1$, the equations can be reduced to:

$$V_{IN}' - V_{IN} = 10(V_{OUT} - V_{IN}') \quad (\text{EQ. 6})$$

and

$$V_{IN}' = \left(\frac{(10 \times V_{COM} \times R_1)}{11R_1} \right) = \frac{10V_{COM}}{11} \quad (\text{EQ. 7})$$

Combining equations 6 and 7 reveals that:

$$V_{OUT} = V_{COM} - \frac{V_{IN}}{10} \quad (\text{EQ. 8})$$

The output of the operational amplifier (V_{OUT}), which is the input of the ADC, is now $-0.1V_{IN}$ with respect to COMMON, and since $V_{IN} = V_+$, the ADC will measure -10% of the supply. Simply driving the proper decimal point and not driving the sign indicator will display the proper voltage. For example, a battery voltage of 11.6V will be measured as $-1.16V$ and can easily be displayed as 11.60V on a $3\frac{1}{2}$ Digit Display.

For more information on Harris integrating analog to digital converters, please refer to the AnswerFAX document numbers outlined in Table 2.

TABLE 2. AnswerFAX INFORMATION

DEVICE	DESCRIPTION	AnswerFAX DOCUMENT NUMBER
ICL7106	$3\frac{1}{2}$ Digit LCD/LED Display ADC	3082
ICL7107	$3\frac{1}{2}$ Digit LCD/LED Display ADC	3082
ICL7116	$3\frac{1}{2}$ Digit LSD/LED Display ADC with Display Hold	3083
ICL7117	$3\frac{1}{2}$ Digit LSD/LED Display ADC with Display Hold	3083
ICL7129	$4\frac{1}{2}$ Digit LCD Single Chip ADC	3085
ICL7136	$3\frac{1}{2}$ Digit LCD/LED Low Power Display ADC with Overrange Recovery	3086
ICL7137	$3\frac{1}{2}$ Digit LCD/LED Low Power Display ADC with Overrange Recovery	3086

All Harris Semiconductor products are manufactured, assembled and tested under ISO9000 quality systems certification.

Harris Semiconductor products are sold by description only. Harris Semiconductor reserves the right to make changes in circuit design and/or specifications at any time without notice. Accordingly, the reader is cautioned to verify that data sheets are current before placing orders. Information furnished by Harris is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Harris or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Harris or its subsidiaries.

Sales Office Headquarters

For general information regarding Harris Semiconductor and its products, call **1-800-4-HARRIS**

NORTH AMERICA

Harris Semiconductor
P. O. Box 883, Mail Stop 53-210
Melbourne, FL 32902
TEL: 1-800-442-7747
(407) 729-4984
FAX: (407) 729-5321

EUROPE

Harris Semiconductor
Mercure Center
100, Rue de la Fusee
1130 Brussels, Belgium
TEL: (32) 2.724.2111
FAX: (32) 2.724.22.05

ASIA

Harris Semiconductor PTE Ltd.
No. 1 Tannery Road
Cencen 1, #09-01
Singapore 1334
TEL: (65) 748-4200
FAX: (65) 748-0400


HARRIS
 SEMICONDUCTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่ให้บุคคลภายนอกโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาสาระของเอกสารนี้เพื่อใช้ในการโฆษณาหรือการค้า

LM3914 Dot/Bar Display Driver

General Description

The LM3914 is a monolithic integrated circuit that senses analog voltage levels and drives 10 LEDs, providing a linear analog display. A single pin changes the display from a moving dot to a bar graph. Current drive to the LEDs is regulated and programmable, eliminating the need for resistors. This feature is one that allows operation of the whole system from less than 3V.

The circuit contains its own adjustable reference and accurate 10-step voltage divider. The low-bias-current input buffer accepts signals down to ground, or V^- , yet needs no protection against inputs of 35V above or below ground. The buffer drives 10 individual comparators referenced to the precision divider. Indication non-linearity can thus be held typically to $1/2\%$, even over a wide temperature range.

Versatility was designed into the LM3914 so that controller, visual alarm, and expanded scale functions are easily added on to the display system. The circuit can drive LEDs of many colors, or low-current incandescent lamps. Many LM3914s can be "chained" to form displays of 20 to over 100 segments. Both ends of the voltage divider are externally available so that 2 drivers can be made into a zero-center meter.

The LM3914 is very easy to apply as an analog meter circuit. A 1.2V full-scale meter requires only 1 resistor and a single 3V to 15V supply in addition to the 10 display LEDs. If the 1 resistor is a pot, it becomes the LED brightness control. The simplified block diagram illustrates this extremely simple external circuitry.

When in the dot mode, there is a small amount of overlap or "fade" (about 1 mV) between segments. This assures that at no time will all LEDs be "OFF", and thus any ambiguous display is avoided. Various novel displays are possible.

Much of the display flexibility derives from the fact that all outputs are individual, DC regulated currents. Various effects can be achieved by modulating these currents. The individual outputs can drive a transistor as well as a LED at the same time, so controller functions including "staging" control can be performed. The LM3914 can also act as a programmer, or sequencer.

The LM3914 is rated for operation from 0°C to $+70^\circ\text{C}$. The LM3914N is available in an 18-lead molded (N) package.

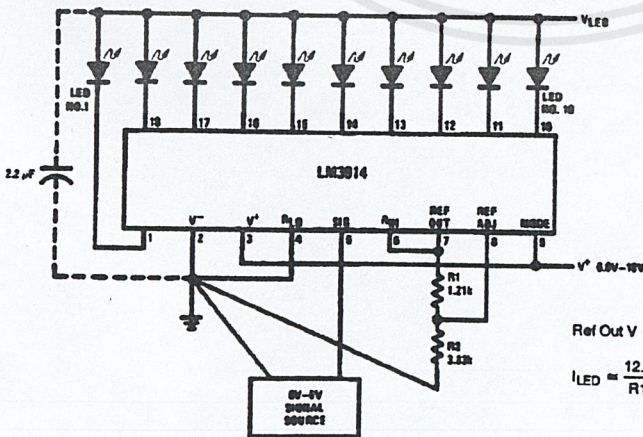
The following typical application illustrates adjusting of the reference to a desired value, and proper grounding for accurate operation, and avoiding oscillations.

Features

- Drives LEDs, LCDs or vacuum fluorescents
- Bar or dot display mode externally selectable by user
- Expandable to displays of 100 steps
- Internal voltage reference from 1.2V to 12V
- Operates with single supply of less than 3V
- Inputs operate down to ground
- Output current programmable from 2 mA to 30 mA
- No multiplex switching or interaction between outputs
- Input withstands $\pm 35\text{V}$ without damage or false outputs
- LED driver outputs are current regulated, open-collector
- Outputs can interface with TTL or CMOS logic
- The internal 10-step divider is floating and can be referenced to a wide range of voltages

Typical Applications

0V to 5V Bar Graph Meter



Note 1: Grounding method is typical of all uses. The 2.2 μF tantalum or 10 μF aluminum electrolytic capacitor is needed if leads to the LED supply are 6" or longer.

$$\text{Ref Out } V = 1.25 \left(1 + \frac{R2}{R1} \right)$$

$$I_{\text{LED}} = \frac{12.5}{R1}$$

TL/H/7970-1

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Power Dissipation (Note 5)	
Molded DIP (N)	1365 mW
Supply Voltage	25V
Voltage on Output Drivers	25V
Input Signal Overvoltage (Note 3)	±35V
Divider Voltage	-100 mV to V+
Reference Load Current	10 mA

Storage Temperature Range -55°C to +150°C

Soldering Information	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 seconds)	260°C
Plastic Chip Carrier Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

Electrical Characteristics (Notes 1 and 3)

Parameter	Conditions (Note 1)	Min	Typ	Max	Units
COMPARATOR					
Offset Voltage, Buffer and First Comparator	$0V \leq V_{RLO} = V_{RHI} \leq 12V$, $I_{LED} = 1 \text{ mA}$		3	10	mV
Offset Voltage, Buffer and Any Other Comparator	$0V \leq V_{RLO} = V_{RHI} \leq 12V$, $I_{LED} = 1 \text{ mA}$		3	15	mV
Gain ($\Delta I_{LED}/\Delta V_{IN}$)	$I_{L(REF)} = 2 \text{ mA}$, $I_{LED} = 10 \text{ mA}$	3	8		mA/mV
Input Bias Current (at Pin 5)	$0V \leq V_{IN} \leq V^+ - 1.5V$		25	100	nA
Input Signal Overvoltage	No Change in Display	-35		35	V
VOLTAGE-DIVIDER					
Divider Resistance	Total, Pin 6 to 4	8	12	17	k Ω
Accuracy	(Note 2)		0.5	2	%
VOLTAGE REFERENCE					
Output Voltage	$0.1 \text{ mA} \leq I_{L(REF)} \leq 4 \text{ mA}$, $V^+ = V_{LED} = 5V$	1.2	1.28	1.34	V
Line Regulation	$3V \leq V^+ \leq 18V$		0.01	0.03	%/V
Load Regulation	$0.1 \text{ mA} \leq I_{L(REF)} \leq 4 \text{ mA}$, $V^+ = V_{LED} = 5V$		0.4	2	%
Output Voltage Change with Temperature	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$, $I_{L(REF)} = 1 \text{ mA}$, $V^+ = 5V$		1		%
Adjust Pin Current			75	120	μA
OUTPUT DRIVERS					
LED Current	$V^+ = V_{LED} = 5V$, $I_{L(REF)} = 1 \text{ mA}$	7	10	13	mA
LED Current Difference (Between Largest and Smallest LED Currents)	$V_{LED} = 5V$	$I_{LED} = 2 \text{ mA}$	0.12	0.4	mA
		$I_{LED} = 20 \text{ mA}$	1.2	3	
LED Current Regulation	$2V \leq V_{LED} \leq 17V$	$I_{LED} = 2 \text{ mA}$	0.1	0.25	mA
		$I_{LED} = 20 \text{ mA}$	1	3	
Dropout Voltage	$I_{LED(ON)} = 20 \text{ mA}$, $V_{LED} = 5V$, $\Delta I_{LED} = 2 \text{ mA}$			1.5	V
Saturation Voltage	$I_{LED} = 2.0 \text{ mA}$, $I_{L(REF)} = 0.4 \text{ mA}$		0.15	0.4	V
Output Leakage, Each Collector	(Bar Mode) (Note 4)		0.1	10	μA

Electrical Characteristics (Note 1) (Continued)

Parameter	Conditions (Note 1)	Min	Typ	Max	Units	
OUTPUT DRIVERS (Continued)						
Output Leakage	(Dot Mode) (Note 4)	Pins 10–18		0.1	10	μA
		Pin 1	60	150	450	μA
SUPPLY CURRENT						
Standby Supply Current (All Outputs Off)	$V^+ = 5V, I_{L(REF)} = 0.2\text{ mA}$			2.4	4.2	mA
	$V^+ = 20V, I_{L(REF)} = 1.0\text{ mA}$			6.1	9.2	mA

Note 1: Unless otherwise stated, all specifications apply with the following conditions:

$3\text{ V}_{DC} \leq V^+ \leq 20\text{ V}_{DC}$ $V_{REF}, V_{RH}, V_{RLO} \leq (V^+ - 1.5V)$
 $3\text{ V}_{DC} \leq V_{LED} \leq V^+$ $0V \leq V_{IN} \leq V^+ - 1.5V$
 $-0.015V \leq V_{RLO} \leq 12\text{ V}_{DC}$ $T_A = +25^\circ\text{C}, I_{L(REF)} = 0.2\text{ mA}, V_{LED} = 3.0V, \text{ pin 9 connected to pin 3 (Bar Mode)}$
 $-0.015V \leq V_{RH} \leq 12\text{ V}_{DC}$

For higher power dissipations, pulse testing is used.

Note 2: Accuracy is measured referred to $+10.000\text{ V}_{DC}$ at pin 6, with 0.000 V_{DC} at pin 4. At lower full-scale voltages, buffer and comparator offset voltage may add significant error.

Note 3: Pin 5 input current must be limited to $\pm 3\text{ mA}$. The addition of a 39k resistor in series with pin 5 allows $\pm 100V$ signals without damage.

Note 4: Bar mode results when pin 9 is within 20 mV of V^+ . Dot mode results when pin 9 is pulled at least 200 mV below V^+ or left open circuit. LED No. 10 (pin 10 output current) is disabled if pin 9 is pulled 0.9V or more below V_{LED} .

Note 5: The maximum junction temperature of the LM3914 is 100°C . Devices must be derated for operation at elevated temperatures. Junction to ambient thermal resistance is 55°C/W for the molded DIP (N package).

Definition of Terms

Accuracy: The difference between the observed threshold voltage and the ideal threshold voltage for each comparator. Specified and tested with 10V across the internal voltage divider so that resistor ratio matching error predominates over comparator offset voltage.

Adjust Pin Current: Current flowing out of the reference adjust pin when the reference amplifier is in the linear region.

Comparator Gain: The ratio of the change in output current (I_{LED}) to the change in input voltage (V_{IN}) required to produce it for a comparator in the linear region.

Dropout Voltage: The voltage measured at the current source outputs required to make the output current fall by 10%.

Input Bias Current: Current flowing out of the signal input when the input buffer is in the linear region.

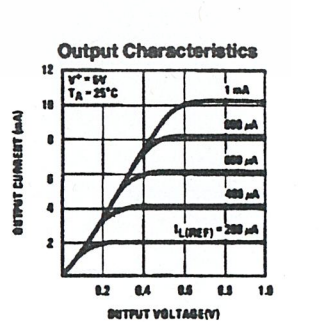
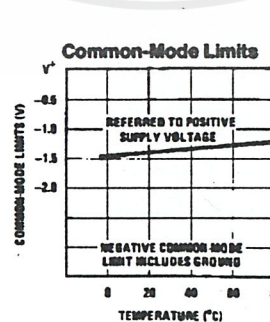
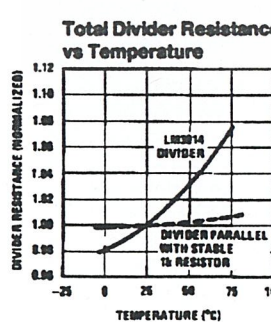
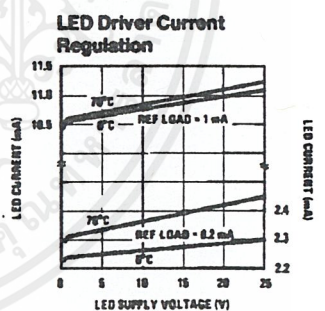
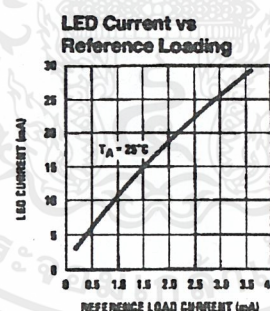
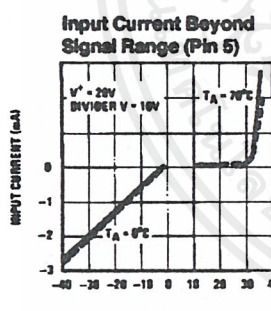
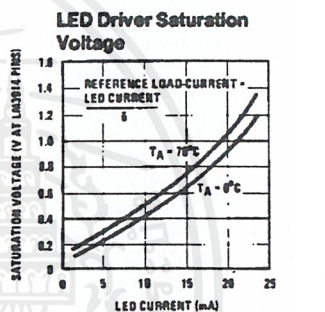
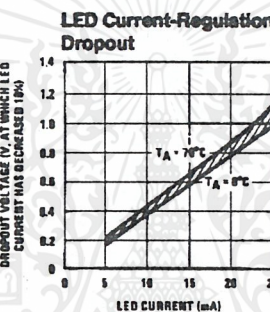
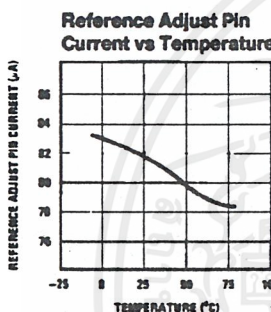
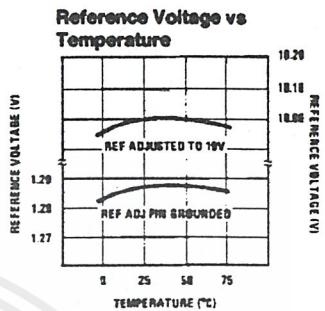
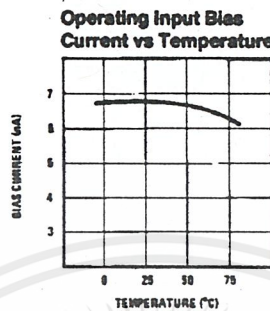
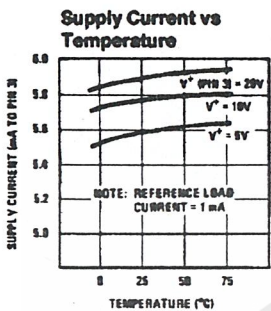
LED Current Regulation: The change in output current over the specified range of LED supply voltage (V_{LED}) as measured at the current source outputs. As the forward voltage of an LED does not change significantly with a small change in forward current, this is equivalent to changing the voltage at the LED anodes by the same amount.

Line Regulation: The average change in reference output voltage over the specified range of supply voltage (V^+).

Load Regulation: The change in reference output voltage (V_{REF}) over the specified range of load current ($I_{L(REF)}$).

Offset Voltage: The differential input voltage which must be applied to each comparator to bias the output in the linear region. Most significant error when the voltage across the internal voltage divider is small. Specified and tested with pin 6 voltage (V_{RH}) equal to pin 4 voltage (V_{RLO}).

Typical Performance Characteristics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional Description

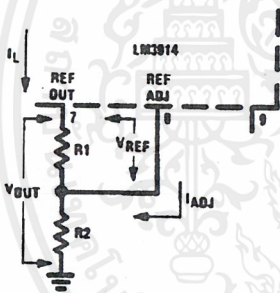
The simplified LM3914 block diagram is to give the general idea of the circuit's operation. A high input impedance buffer operates with signals from ground to 12V, and is protected against reverse and overvoltage signals. The signal is then applied to a series of 10 comparators; each of which is biased to a different comparison level by the resistor string.

In the example illustrated, the resistor string is connected to the internal 1.25V reference voltage. In this case, for each 125 mV that the input signal increases, a comparator will switch on another indicating LED. This resistor divider can be connected between any 2 voltages, providing that they are 1.5V below V+ and no less than V-. If an expanded scale meter display is desired, the total divider voltage can be as little as 200 mV. Expanded-scale meter displays are more accurate and the segments light uniformly only if bar mode is used. At 50 mV or more per step, dot mode is usable.

INTERNAL VOLTAGE REFERENCE

The reference is designed to be adjustable and develops a nominal 1.25V between the REF OUT (pin 7) and REF ADJ (pin 8) terminals. The reference voltage is impressed across program resistor R1 and, since the voltage is constant, a constant current I₁ then flows through the output set resistor R2 giving an output voltage of:

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) + I_{ADJ} R2$$



TL/H/7970-4

Since the 120 μA current (max) from the adjust terminal represents an error term, the reference was designed to minimize changes of this current with V+ and load changes.

CURRENT PROGRAMMING

A feature not completely illustrated by the block diagram is the LED brightness control. The current drawn out of the reference voltage pin (pin 7) determines LED current. Approximately 10 times this current will be drawn through each lighted LED, and this current will be relatively constant de-

spite supply voltage and temperature changes. Current drawn by the internal 10-resistor divider, as well as by the external current and voltage-setting divider should be included in calculating LED drive current. The ability to modulate LED brightness with time, or in proportion to input voltage and other signals can lead to a number of novel displays or ways of indicating input overvoltages, alarms, etc.

MODE PIN USE

Pin 9, the Mode Select input controls chaining of multiple LM3914s, and controls bar or dot mode operation. The following tabulation shows the basic ways of using this input. Other more complex uses will be illustrated in the applications.

Bar Graph Display: Wire Mode Select (pin 9) directly to pin 3 (V+ pin).

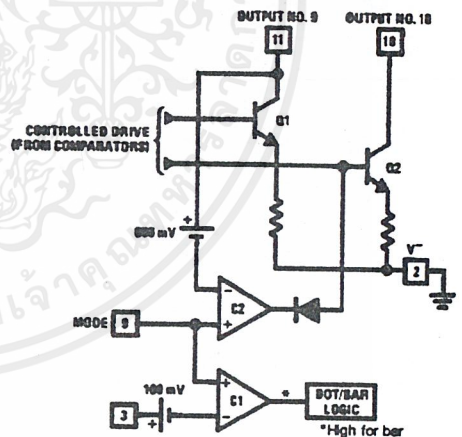
Dot Display, Single LM3914 Driver: Leave the Mode Select pin open circuit.

Dot Display, 20 or More LEDs: Connect pin 9 of the first driver in the series (i.e., the one with the lowest input voltage comparison points) to pin 1 of the next higher LM3914 driver. Continue connecting pin 9 of lower input drivers to pin 1 of higher input drivers for 30, 40, or more LED displays. The last LM3914 driver in the chain will have pin 9 wired to pin 11. All previous drivers should have a 20k resistor in parallel with LED No. 9 (pin 11 to V_{LED}).

Mode Pin Functional Description

This pin actually performs two functions. Refer to the simplified block diagram below.

Block Diagram of Mode Pin Function



TL/H/7970-5

Mode Pin Functional Description (Continued)

DOT OR BAR MODE SELECTION

The voltage at pin 9 is sensed by comparator C1, nominally referenced to ($V^+ - 100$ mV). The chip is in bar mode when pin 9 is above this level; otherwise it's in dot mode. The comparator is designed so that pin 9 can be left open circuit for dot mode.

Taking into account comparator gain and variation in the 100 mV reference level, pin 9 should be no more than 20 mV below V^+ for bar mode and more than 200 mV below V^+ (or open circuit) for dot mode. In most applications, pin 9 is either open (dot mode) or tied to V^+ (bar mode). In bar mode, pin 9 should be connected directly to pin 3. Large currents drawn from the power supply (LED current, for example) should not share this path so that large IR drops are avoided.

DOT MODE CARRY

In order for the display to make sense when multiple LM3914s are cascaded in dot mode, special circuitry has been included to shut off LED No. 10 of the first device when LED No. 1 of the second device comes on. The connection for cascading in dot mode has already been described and is depicted below.

As long as the input signal voltage is below the threshold of the second LM3914, LED No. 11 is off. Pin 9 of LM3914 No. 1 thus sees effectively an open circuit so the chip is in dot mode. As soon as the input voltage reaches the threshold of LED No. 11, pin 9 of LM3914 No. 1 is pulled an LED drop (1.5V or more) below V_{LED} . This condition is sensed by comparator C2, referenced 600 mV below V_{LED} . This forces the output of C2 low, which shuts off output transistor Q2, extinguishing LED No. 10.

V_{LED} is sensed via the 20k resistor connected to pin 11. The very small current (less than 100 μ A) that is diverted from LED No. 9 does not noticeably affect its intensity.

An auxiliary current source at pin 1 keeps at least 100 μ A flowing through LED No. 11 even if the input voltage rises high enough to extinguish the LED. This ensures that pin 9 of LM3914 No. 1 is held low enough to force LED No. 10 off when any higher LED is illuminated. While 100 μ A does not normally produce significant LED illumination, it may be noticeable when using high-efficiency LEDs in a dark environment. If this is bothersome, the simple cure is to shunt LED No. 11 with a 10k resistor. The 1V IR drop is more than the 900 mV worst case required to hold off LED No. 10 yet small enough that LED No. 11 does not conduct significantly.

Other device characteristics

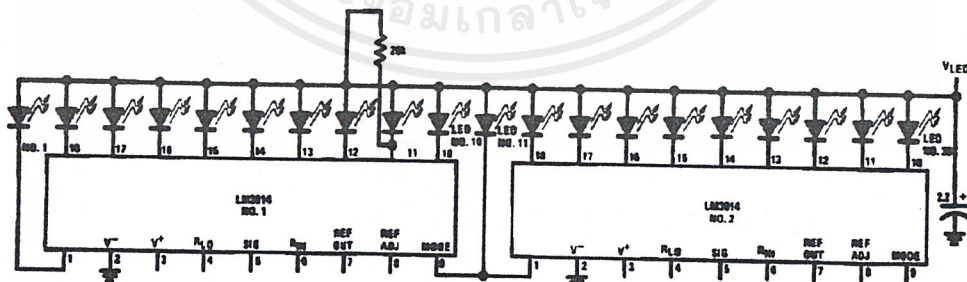
OTHER DEVICE CHARACTERISTICS

The LM3914 is relatively low-powered itself, and since any number of LEDs can be powered from about 3V, it is a very efficient display driver. Typical standby supply current (all LEDs OFF) is 1.6 mA (2.5 mA max). However, any reference loading adds 4 times that current drain to the V^+ (pin 3) supply input. For example, an LM3914 with a 1 mA reference pin load (1.3k), would supply almost 10 mA to every LED while drawing only 10 mA from its V^+ pin supply. At full-scale, the IC is typically drawing less than 10% of the current supplied to the display.

The display driver does not have built-in hysteresis so that the display does not jump instantly from one LED to the next. Under rapidly changing signal conditions, this cuts down high frequency noise and often an annoying flicker. An "overlap" is built in so that at no time between segments are all LEDs completely OFF in the dot mode. Generally 1 LED fades in while the other fades out over a mV or more of range (Note 2). The change may be much more rapid between LED No. 10 of one device and LED No. 1 of a second device "chained" to the first.

The LM3914 features individually current regulated LED driver transistors. Further internal circuitry detects when any driver transistor goes into saturation, and prevents other circuitry from drawing excess current. This results in the ability of the LM3914 to drive and regulate LEDs powered from a pulsating DC power source, i.e., largely unfiltered. (Due to possible oscillations at low voltages a nominal bypass capacitor consisting of a 2.2 μ F solid tantalum connected from the pulsating LED supply to pin 2 of the LM3914 is recommended.) This ability to operate with low or fluctuating voltages also allows the display driver to interface with logic circuitry, opto-coupled solid-state relays, and low-current incandescent lamps.

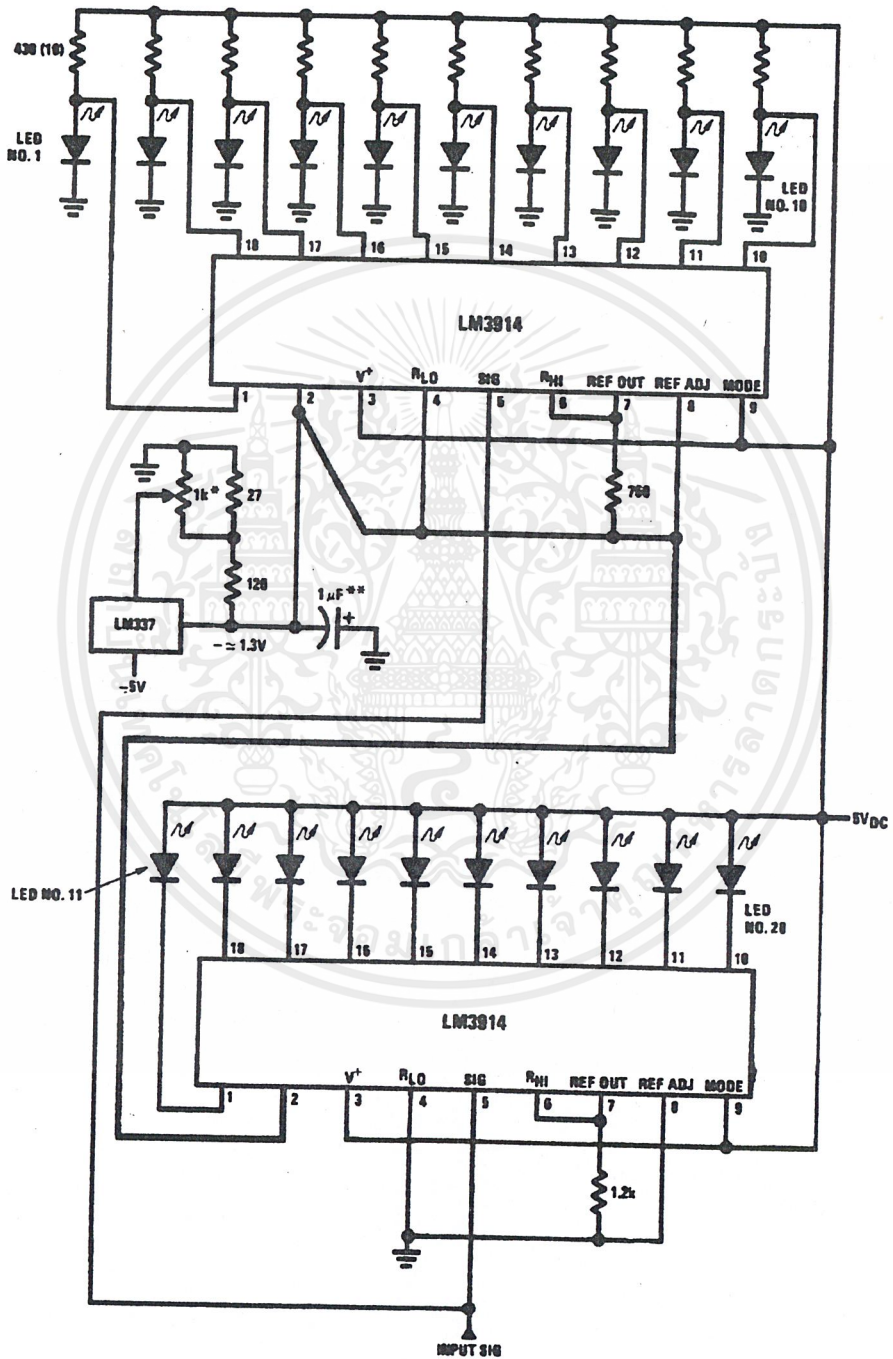
Cascading LM3914s in Dot Mode



TL/H/7970-6

Typical Applications (Continued)

Zero-Center Meter, 20-Segment

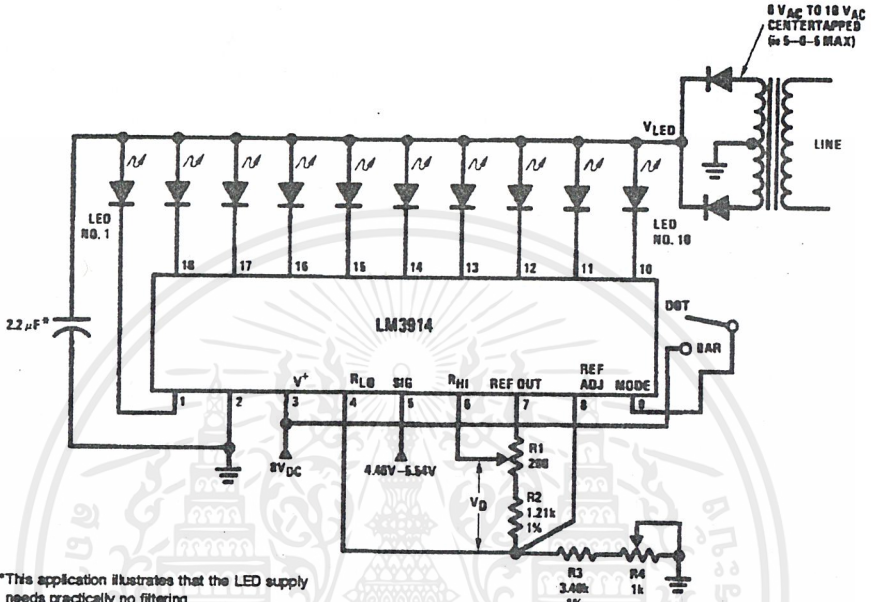


TL/H/7070-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

Expanded Scale Meter, Dot or Bar



*This application illustrates that the LED supply needs practically no filtering
Calibration: With a precision meter between pins 4 and 6 adjust R1 for voltage V_D of 1.20V. Apply 4.94V to pin 5, and adjust R4 until LED No. 5 just lights. The adjustments are non-interacting.

TL/H/7970-8

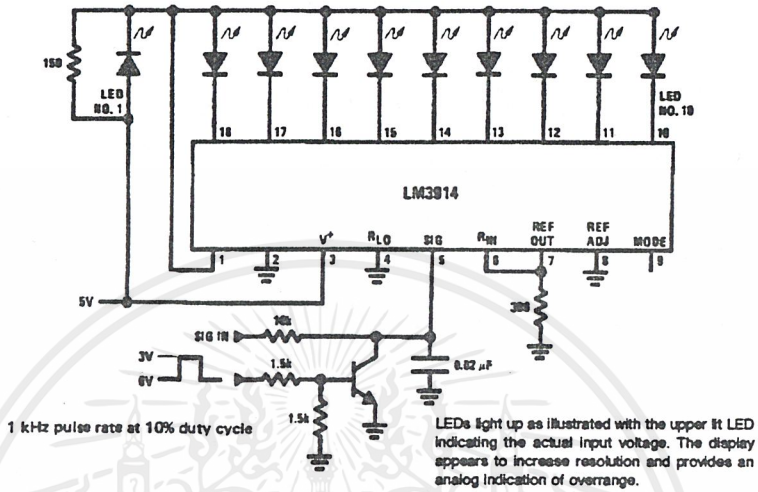
**Application Example:
Grading 5V Regulators**

Highest No. LED on	Color	$V_{OUT(MIN)}$
10	Red	5.54
9	Red	5.42
8	Yellow	5.30
7	Green	5.18
6	Green	5.06
5V		
5	Green	4.94
4	Green	4.82
3	Yellow	4.7
2	Red	4.58
1	Red	4.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

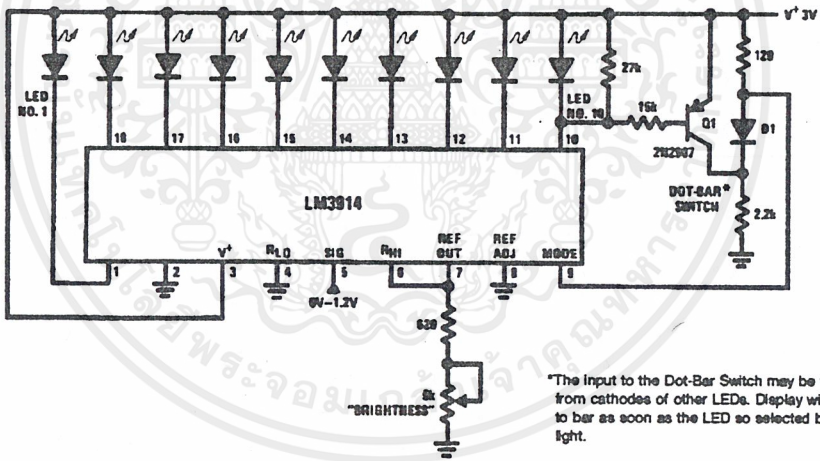
Typical Applications (Continued)

"Exclamation Point" Display



TL/H/7970-9

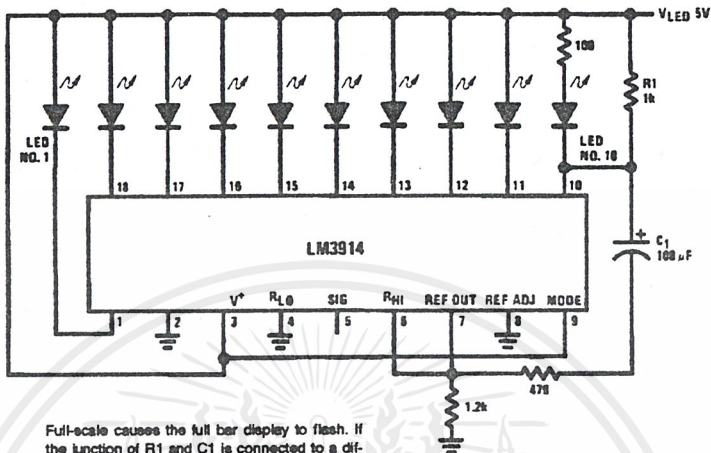
Indicator and Alarm, Full-Scale Changes Display from Dot to Bar



TL/H/7970-10

Typical Applications (Continued)

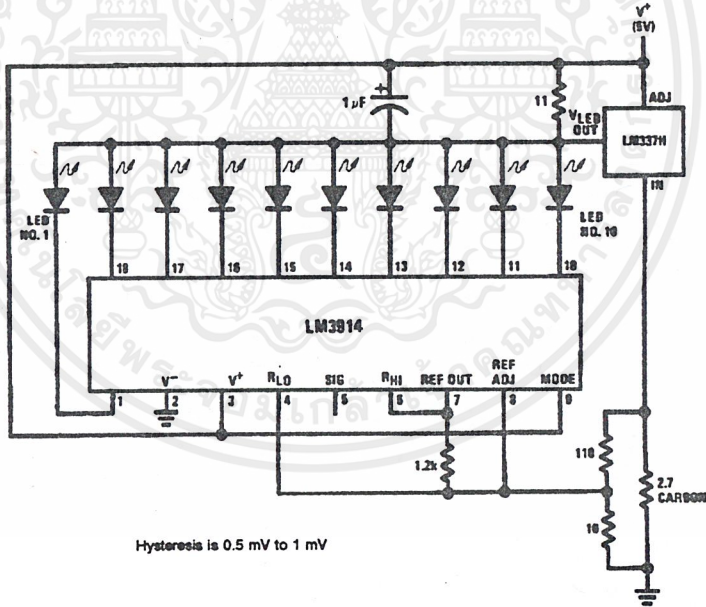
Bar Display with Alarm Flasher



Full-scale causes the full bar display to flash. If the junction of R1 and C1 is connected to a different LED cathode, the display will flash when that LED lights, and at any higher input signal.

TL/H/7970-11

Adding Hysteresis (Single Supply, Bar Mode Only)



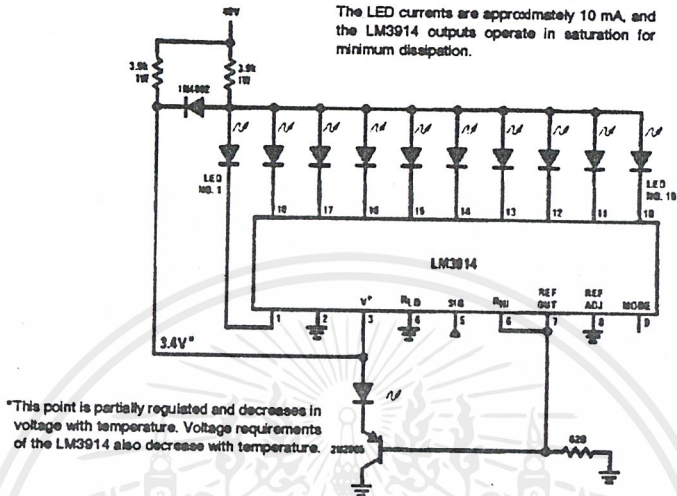
Hysteresis is 0.5 mV to 1 mV

TL/H/7970-12

Typical Application (Continued)

Operating with a High Voltage Supply (Dot Mode Only)

The LED currents are approximately 10 mA, and the LM3914 outputs operate in saturation for minimum dissipation.

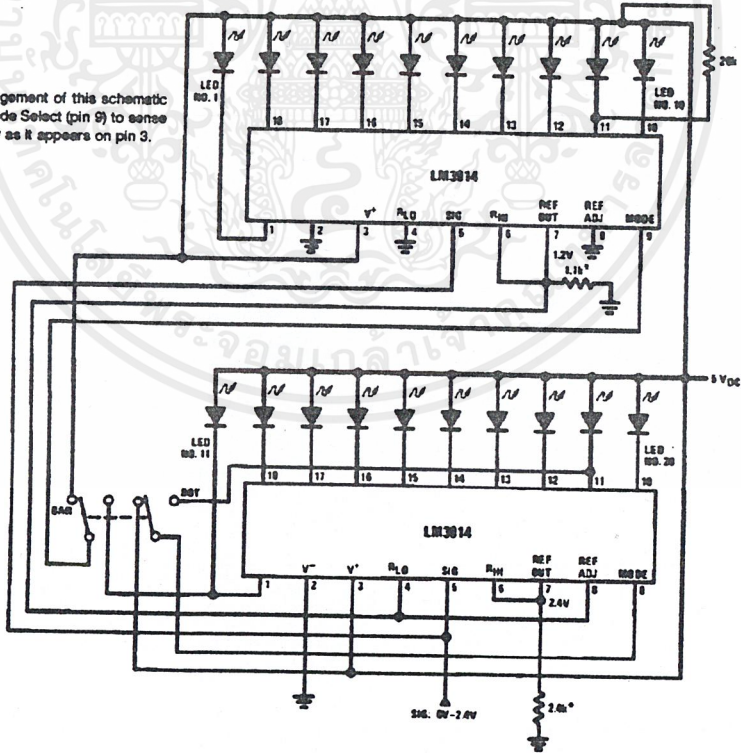


*This point is partially regulated and decreases in voltage with temperature. Voltage requirements of the LM3914 also decrease with temperature.

TL/H/7970-13

20-Segment Meter with Mode Switch

*The exact wiring arrangement of this schematic shows the need for Mode Select (pin 9) to sense the V⁺ voltage exactly as it appears on pin 3.

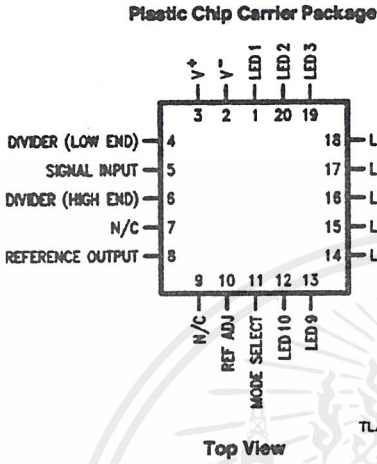


*Programs LEDs to 10 mA

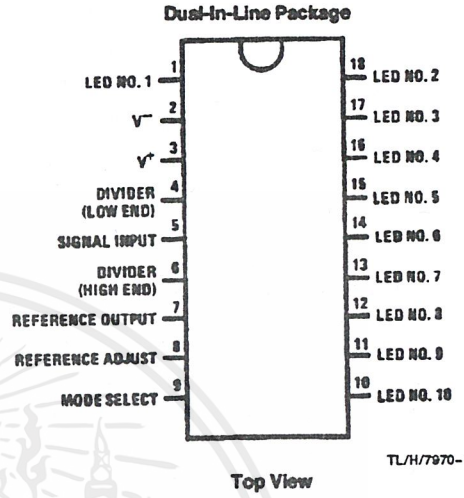
TL/H/7970-14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection Diagrams

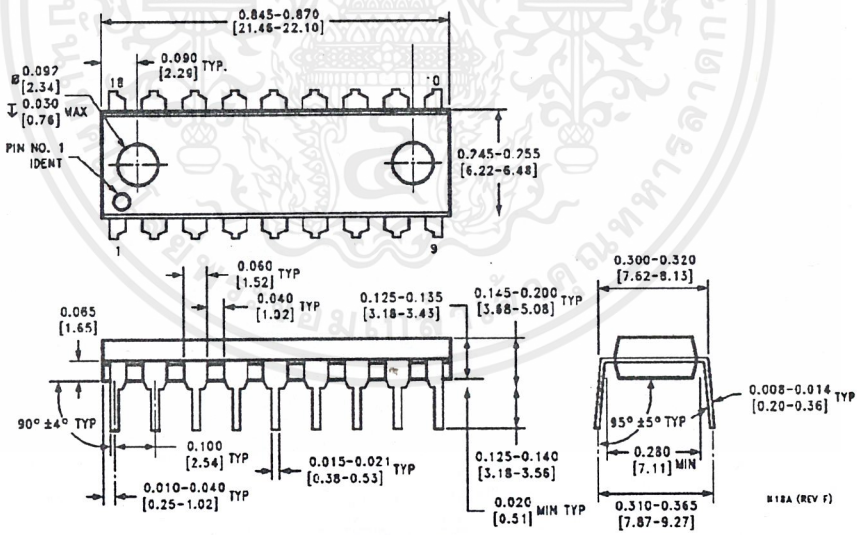


Order Number LM3914V
See NS Package Number V20A



Order Number LM3914N
See NS Package Number N18A

Physical Dimensions inches (millimeters)



Dual-In-Line Package (N)
Order Number LM3914N
NS Package Number N18A

Application Hints

Three of the most commonly needed precautions for using the LM3914 are shown in the first typical application drawing (see page 9-108) showing a 0V-5V bar graph meter. The most difficult problem occurs when large LED currents are being drawn, especially in bar graph mode. These currents flowing out of the ground pin cause voltage drops in external wiring, and thus errors and oscillations. Bringing the return wires from signal sources, reference ground and bottom of the resistor string (as illustrated) to a single point very near pin 2 is the best solution.

Long wires from V_{LED} to LED anode common can cause oscillations. Depending on the severity of the problem 0.05 μF to 2.2 μF decoupling capacitors from LED anode common to pin 2 will damp the circuit. If LED anode line wiring is inaccessible, often similar decoupling from pin 1 to pin 2 will be sufficient.

If LED turn ON seems slow (bar mode) or several LEDs light (dot mode), oscillation or excessive noise is usually the problem. In cases where proper wiring and bypassing fail to stop oscillations, V^+ voltage at pin 3 is usually below suggested limits (see Note 2, page 9-108). Expanded scale meter applications may have one or both ends of the internal voltage divider terminated at relatively high value resistors. These high-impedance ends should be bypassed to pin 2 with at least a 0.001 μF capacitor, or up to 0.1 μF in noisy environments.

Power dissipation, especially in bar mode should be given consideration. For example, with a 5V supply and all LEDs programmed to 20 mA the driver will dissipate over 600 mW. In this case a 7.5 Ω resistor in series with the LED supply will cut device heating in half. The negative end of the resistor should be bypassed with a 2.2 μF solid tantalum capacitor to pin 2 of the LM3914.

Turning OFF of most of the internal current sources is accomplished by pulling positive on the reference with a current source or resistance supplying 100 μA or so. Alternatively, the input signal can be gated OFF with a transistor switch.

Other special features and applications characteristics will be illustrated in the following applications schematics. Notes have been added in many cases, attempting to cover any special procedures or unusual characteristics of these applications. A special section called "Application Tips for the LM3914 Adjustable Reference" has been included with these schematics.

APPLICATION TIPS FOR THE LM3914 ADJUSTABLE REFERENCE

GREATLY EXPANDED SCALE (BAR MODE ONLY)

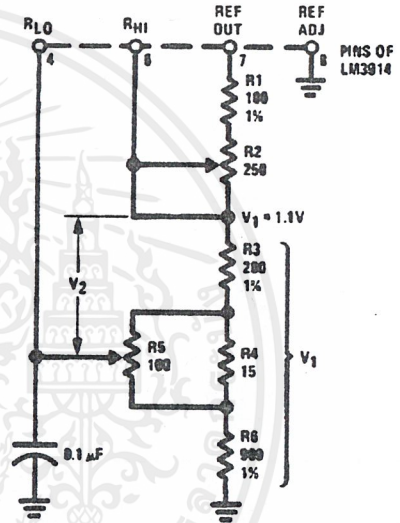
Placing the LM3914 internal resistor divider in parallel with a section ($\approx 230\Omega$) of a stable, low resistance divider greatly reduces voltage changes due to IC resistor value changes with temperature. Voltage V_1 should be trimmed to 1.1V first by use of R2. Then the voltage V_2 across the IC divider string can be adjusted to 200 mV, using R5 without affecting V_1 . LED current will be approximately 10 mA.

NON-INTERACTING ADJUSTMENTS FOR EXPANDED SCALE METER (4.5V to 5V, Bar or Dot Mode)

This arrangement allows independent adjustment of LED brightness regardless of meter span and zero adjustments. First, V_1 is adjusted to 5V, using R2. Then the span (voltage across R4) can be adjusted to exactly 0.5V using R6 without affecting the previous adjustment.

R9 programs LED currents within a range of 2.2 mA to 20 mA after the above settings are made.

Greatly Expanded Scale (Bar Mode Only)



ADJUSTING LINEARITY OF SEVERAL STACKED DIVIDERS

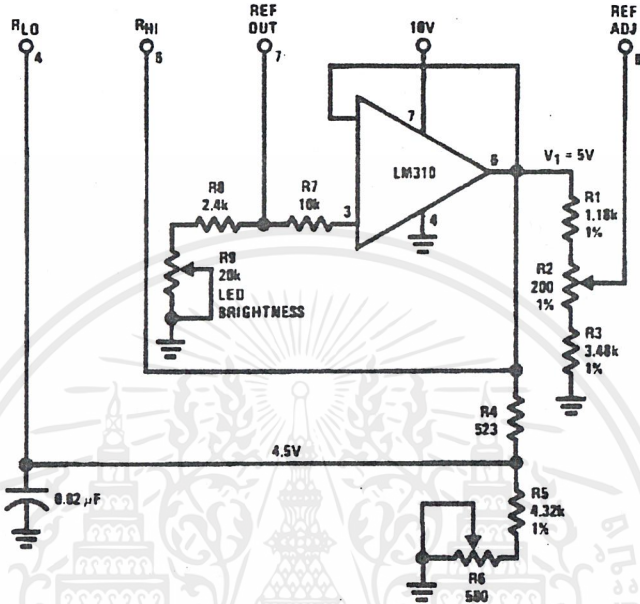
Three internal voltage dividers are shown connected in series to provide a 30-step display. If the resulting analog meter is to be accurate and linear the voltage on each divider must be adjusted, preferably without affecting any other adjustments. To do this, adjust R2 first, so that the voltage across R5 is exactly 1V. Then the voltages across R3 and R4 can be independently adjusted by shunting each with selected resistors of 6 k Ω or higher resistance. This is possible because the reference of LM3914 No. 3 is acting as a constant current source.

The references associated with LM3914s No. 1 and No. 2 should have their Ref Adj pins (pin 8) wired to ground, and their Ref Outputs loaded by a 620 Ω resistor to ground. This makes available similar 20 mA current outputs to all the LEDs in the system.

If an independent LED brightness control is desired (as in the previous application), a unity gain buffer, such as the LM310, should be placed between pin 7 and R1, similar to the previous application.

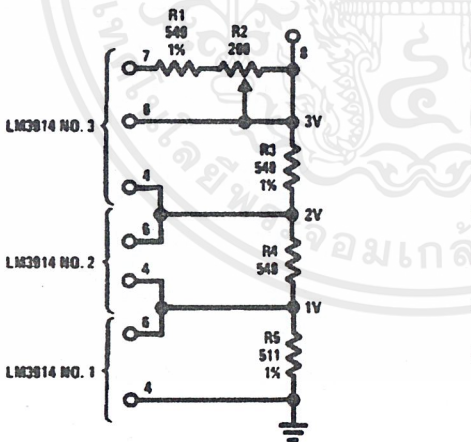
Application Hints (Continued)

Non-interacting Adjustments for Expanded Scale Meter (4.5V to 5V, Bar or Dot Mode)



TL/H/7970-16

Adjusting Linearity of Several Stacked Dividers



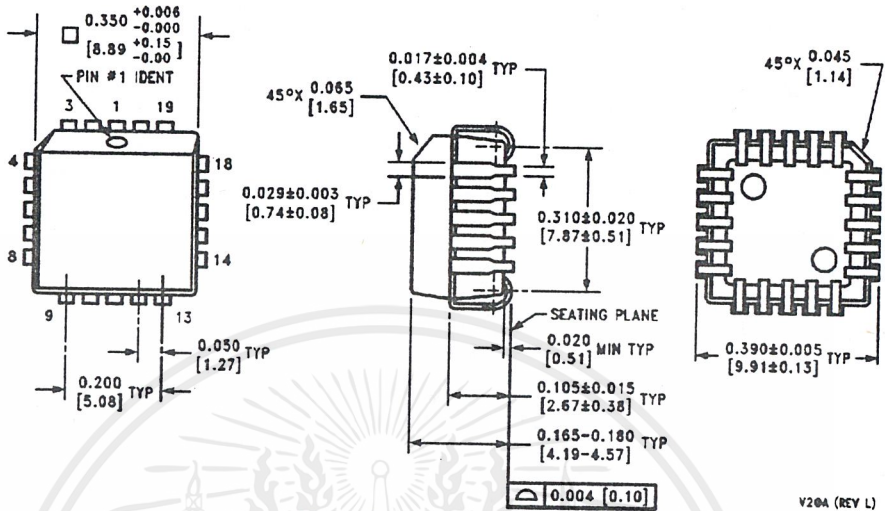
TL/H/7970-17

Other Applications

- "Slow"—fade bar or dot display (doubles resolution)
- 20-step meter with single pot brightness control
- 10-step (or multiples) programmer
- Multi-step or "staging" controller
- Combined controller and process deviation meter
- Direction and rate indicator (to add to DVMS)
- Exclamation point display for power saving
- Graduations can be added to dot displays. Dimly light every other LED using a resistor to ground
- Electronic "meter-relay"—display could be circle or semi-circle
- Moving "hole" display—indicator LED is dark, rest of bar lit
- Drives vacuum-fluorescent and LCDs using added passive parts

LM3914 Dot/Bar Display Driver

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



Plastic Chip Carrier Package (V)
Order Number LM3914V
NS Package Number V20A

V20A (REV L)

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation
1111 West Bardin Road
Arlington, TX 76017
Tel: 1(800) 272-9959
Fax: 1(800) 737-7018

National Semiconductor Europe
Fax: (+40) 0-180-530 85 86
Email: crj@europe.nsc.com
Deutsch Tel: (+40) 0-180-530 85 85
English Tel: (+40) 0-180-532 78 32
Français Tel: (+40) 0-180-532 93 58
Italiano Tel: (+40) 0-180-534 16 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
13th Floor, Straight Block,
Ocean Centre, 5 Canton Rd.
Tsimshatsui, Kowloon
Hong Kong
Tel: (852) 2737-1600
Fax: (852) 2736-9900

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-043-299-2309
Fax: 81-043-299-2408

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- (1) บัณฑิต ไรจน์อารยานนท์, วิศวกรรมไมโครเวฟ,
สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2539, หน้า 348 - 380
- (2) พิชัย ภัคดีพาณิชย์เจริญ, ทฤษฎีและการใช้งานความถี่ย่านไมโครเวฟ,
สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ พ.ศ. 2536, หน้า 1 - 5
- (3) วารสาร เซมิกอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 71 มิถุนายน - กรกฎาคม พ.ศ. 2529,
บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), หน้า 143 - 149
- (4) วารสาร เซมิกอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 165 พฤศจิกายน พ.ศ. 2539,
บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), หน้า 34 - 38
- (5) วารสาร เซมิกอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 166 ธันวาคม พ.ศ. 2539,
บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), หน้า 35 - 41