

ญญแจร้กษาความปลอดท้ยอีเลคทรอนึคส์

ELECTRONIC SECURITY LOCKS



รึทยานึพนธ์สำหรับปริญญารึศวกรรรมศาสตรึมหานึบญึทึด

สาขารึศวกรรรมไฟฟา

คณะรึศวกรรรมศาสตรึ

สถานึบญึเทคโนโลยีพระจอมเกล้า รึทยานึเขตเจ้าคุณทหาร ลวดกระบัง

ปึการึศึษา 2525

๐๙.

ข๓๖๖๓

๕๖๕

๓, 1.

๐๓๕๕๕

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	v
บทคัดย่อ	vi
Abstract	vii
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ตัวส่งและตัวรับแสงอินฟราเรด	2
2.1 ความนำ	2
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับไดโอดเปล่งแสง	2
2.2.1 รอยต่อ pn	2
2.2.2 รีคอมไบเนชัน	3
2.2.3 สารที่ใช้ทำไดโอดเปล่งแสง	5
2.3 ขบวนการสร้างไดโอดเปล่งแสง	6
2.3.1 โครงสร้างของไดโอดเปล่งแสง	6
2.3.2 ฐานโปร่งแสงและฐานทึบแสง	6
2.4 ผลของอุณหภูมิต่อไดโอดเปล่งแสง	8
2.4.1 โวลเตจทางตรงขึ้นกับอุณหภูมิ	7
2.4.2 ความยาวคลื่น เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ	10
2.4.3 กำลังทางออก เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ	10
2.5 คุณสมบัติทางกายภาพของไดโอดเปล่งแสง	10
2.5.1 การหุ้มไดโอดเปล่งแสงด้วยตัวหุ้มพลาสติก	10
2.5.2 การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนแสง	10
2.5.3 การสูญเสียเนื่องจกมมริกฤต	11
2.5.4 ประสิทธิภาพทางแสง	13

	หน้า	
2.5.5	ประสิทธิภาพควันทัมภายนอก	13
2.5.6	ประสิทธิภาพควันทัมภายใน	14
2.5.7	การขยายและความเข้มการส่องสว่าง	14
2.5.8	ไดโอด เปล่งแสงแบบแพร์และไม่แพร์ตัวหุ้ม	17
2.6	การสื่อสารและการส่งสัญญาณโดยใช้ไดโอด เปล่งแสง	18
2.6.1	คุณสมบัติของฟลักซ์ในการส่งสัญญาณ	18
2.6.2	ระบบเลนส์กับไดโอดเปล่งแสง	19
2.6.3	การส่งสัญญาณในระยะไกล	21
2.7	ไดโอดรับแสง	23
2.7.1	การออกแบบและการสร้างไดโอดรับแสง	23
2.7.2	การกำหนดคุณลักษณะของไดโอดรับแสง	26
2.7.3	แบบจำลองของวงจร	33
2.7.4	การขยายสัญญาณแบบพื้นฐาน	36
บทที่ 3	ทฤษฎีแอมพลิจูดของคลื่น	38
3.1	ความนำ	38
3.2	หลักการทั่วไป	38
3.2.1	หลักการทำงานของลูกทฤษฎีแอม	38
3.2.2	หลักการทำงานของแม่ทฤษฎีแอม	38
3.3	ลูกทฤษฎีแอม	43
3.4	แม่ทฤษฎีแอม	47
3.5	ภาคส่งสัญญาณ	52
3.6	ภาครับสัญญาณ	53
3.7	ภาคจ่ายกำลัง	55

	หน้า
3.7.1 ภาคจ่ายกำลังของลูกกัญแจ	55
3.7.2 ภาคจ่ายกำลังของแม่กัญแจ	56
3.8 สรุป	57
บทที่ 4 กัญแจอีเลคทรอนิกส์แบบเข้า/ ถอดรหัส	58
4.1 ความนำ	58
4.2 ลูกกัญแจ	58
4.3 แม่กัญแจ	64
4.4 ภาคส่งสัญญาณของลูกกัญแจ	67
4.5 ภาครับสัญญาณของแม่กัญแจ	68
4.6 วงจรใช้งานจริงของลูกกัญแจ	69
4.7 วงจรใช้งานจริงของแม่กัญแจ	71
4.8 ภาคจ่ายกำลัง	72
4.8.1 ภาคจ่ายกำลังของลูกกัญแจ	72
4.8.2 ภาคจ่ายกำลังของแม่กัญแจ	73
4.9 กัญแจแบบใช้แผ่นรหัสเสียบเพื่อถอดรหัส	74
4.10 สรุป	75
บทที่ 5 กัญแจรหัสใช้ Z-80 ไมโครคอมพิวเตอร์	76
5.1 ความนำ	76
5.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบกัญแจ	76
5.2.1 Z-80 ซีพียู	76
5.2.2 สัญญาณนาฬิกา	78
5.2.3 หน่วยความจำ	79
5.2.4 หน่วยไอโอ	84

	หน้า
5.3 แผนผังทางตรรก, อุปกรณ์ที่ใช้และภาคจ่ายกำลัง	87
5.3.1 แผนผังทางตรรก	87
5.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร	87
5.3.3 ภาคจ่ายกำลัง	88
5.4 ซอร์ฟแวร์	90
5.4.1 โฟลว์ชาร์จ	90
5.4.2 โปรแกรม	96
5.4.3 รหัส	116
5.5 การทำงานของระบบและวิธีใช้	120
5.5.1 การทำงานของระบบ	120
5.5.2 วิธีใช้เครื่อง	121
5.6 สรุป	122
บทที่ 6 บทสรุป	123
หนังสืออ้างอิง	124

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ผู้เขียนขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย โภไคยอุดม อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำปรึกษา ให้ความรู้ คำแนะนำและกำลังใจ ตั้งแต่เริ่มต้น และขอขอบคุณ คุณพนม เพ็ชรจตุพร คุณชัยโรจน์ ธรรมวิศวะ และคุณสุพจน์ องปราบปราม ที่ได้ให้ความกรุณาช่วยเหลือบางประการแก่ผู้เขียน



บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นการ เสนอระบบกฎแจรกษาความปลอดภัยอิเล็กทรอนิกส์แบบต่าง ๆ 3 แบบด้วยกัน คือ บทที่ 3 เป็นกฎแจรกษาความปลอดภัยอิเล็กทรอนิกส์แบบใช้การส่งสัญญาณรหัสและสัญญาณควบคุมต่าง ๆ จากลูกกฎแจรกษาไปยังแม่กฎแจรกษาด้วยความถี่ที่แตกต่างกัน โดยใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ที่สามารถควบคุมความถี่ได้ด้วยระดับโวลเตจ บทที่ 4 เป็นกฎแจรกษาความปลอดภัยอิเล็กทรอนิกส์แบบใช้การเข้ารหัส รหัสแล้วส่งออกไปแบบอนุกรมทีละ 9 บิต 3 สภาวะ ไปให้ตัวรับถอดรหัส รหัสแบบอนุกรมเช่นเดียวกัน บทที่ 5 เป็นระบบกฎแจรกษาความปลอดภัยอิเล็กทรอนิกส์แบบที่ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมการถอดรหัส และหน้าที่พิเศษอื่น ๆ จำนวนหลักใน 1 รหัสจะทำให้มีรหัสก็ได้ รหัสของแต่ละประตูสามารถเปลี่ยนไปทุก ๆ คาบเวลาและในแต่ละคาบเวลาจะนานเท่าไรก็ได้ทำให้ระบบนี้มีความปลอดภัยสูงมาก

Abstract

This thesis presents three types of electronic security lock system. In chapter three, an electronic code lock is presented. This lock uses the principle of transmitting code and control signal from key to lock in different frequency. The frequencies from oscillator can be controlled by different voltage level (VCO). In chapter four, electronic encoder/decoder lock is presented. This electronic key will encode nine bit tri-state (0,1,open) of code and serially transmit this code to the lock. The lock will also serially decode data from the key (encoder). In chapter five, we use Z-80 microcomputer as the main controlling component. Its function are to decode the codes and other special function. We can construct how many digit that we desire in one code. It can change code every period and it can adjust the interval of period. So this system has the top security.

บทที่ 1

บทนำ

เป็นที่ยอมรับกันแล้วว่า ในชีวิตประจำวันของคนในปัจจุบันจะต้องมีอิเล็กทรอนิกส์มาเกี่ยวข้องกับอย่างใกล้ชิด อิเล็กทรอนิกส์ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในทุก ๆ วงการ แต่เราจะสังเกตได้ว่าถูกแจ้งที่ใช้กันอยู่ตามอาคารบ้านเรือนต่าง ๆ ล้วนแล้วแต่เป็นกฏแฉทางกลทั้งสิ้น ซึ่งต้องประสบกับปัญหา เรื่องความปลอดภัยและขนาดของกฏแฉซึ่งจะต้องมีขนาดใหญ่ตามความสำคัญของทรัพย์สิน วิทยาลัยนวัตน์จึงได้เสนอกฏแฉอิเล็กทรอนิกส์แบบต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้แทนกฏแฉทางกล

บทที่ 3 เป็นกฏแฉรหัสอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้หลักการส่งสัญญาณรหัสและสัญญาณควบคุมต่าง ๆ จากลูกกฏแฉไปยังแม่กฏแฉด้วยความถี่ต่าง ๆ กัน โดยใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ที่สามารถควบคุมความถี่ได้ด้วยระดับโวลเตจที่ต่างกัน

บทที่ 4 เป็นกฏแฉรหัสอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้หลักการเข้ารหัสรหัส แล้วส่งออกไปแบบอนุกรมที่ละลาย ๆ ไปให้ตัวรับถอดรหัสแบบอนุกรม เช่นเดียวกัน

บทที่ 5 เป็นระบบกฏแฉรหัสอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เป็นตัวถอดรหัสรหัสจะถูเก็บไว้ใน หน่วยความจำ รหัสที่จะนำมาเปรียบเทียบจะถูกอ่านเข้าทางสวิทช์ หัวแม่มือซึ่งจำนวนหลักของแต่ละรหัสจะมีกี่ตัวก็ได้ ทำให้มีความปลอดภัยสูงมาก

บทที่ 2

ตัวส่งและตัวรับแสงอินฟราเรด

2.1 ความนำ

ในการทำคุณแจรห์ทุกแบบในที่นี่จะใช้แสงอินฟราเรดซึ่งได้มาจากอินฟราเรดไดโอด เป็นคลื่นพาหน้าเอาข้อมูลหรือรหัสส่งไปยังตัวรับ ซึ่งตัวรับก็ใช้ตัวรับแสงอินฟราเรดเป็นตัวรับแสง ทั้งนี้เพื่อความเหมาะสมหลายประการคือ

1. กินไฟน้อยและใช้โวลเตจต่ำ
2. การส่งความถี่ในย่านอินฟราเรดไม่ผิดกฎหมาย
3. แสงอินฟราเรดเป็นแสงที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น

ดังนั้น ในบทนี้จะได้กล่าวถึงเกี่ยวกับทฤษฎีของไดโอดเปล่งแสง (LED-Light Emitting Diode) ซึ่งจะครอบคลุมถึงแสงที่มองเห็นและแสงอินฟราเรดเพื่อจะได้ทราบถึง ทฤษฎี, คุณสมบัติ, ตลอดจนการใช้อินฟราเรดไดโอดในการสื่อสาร

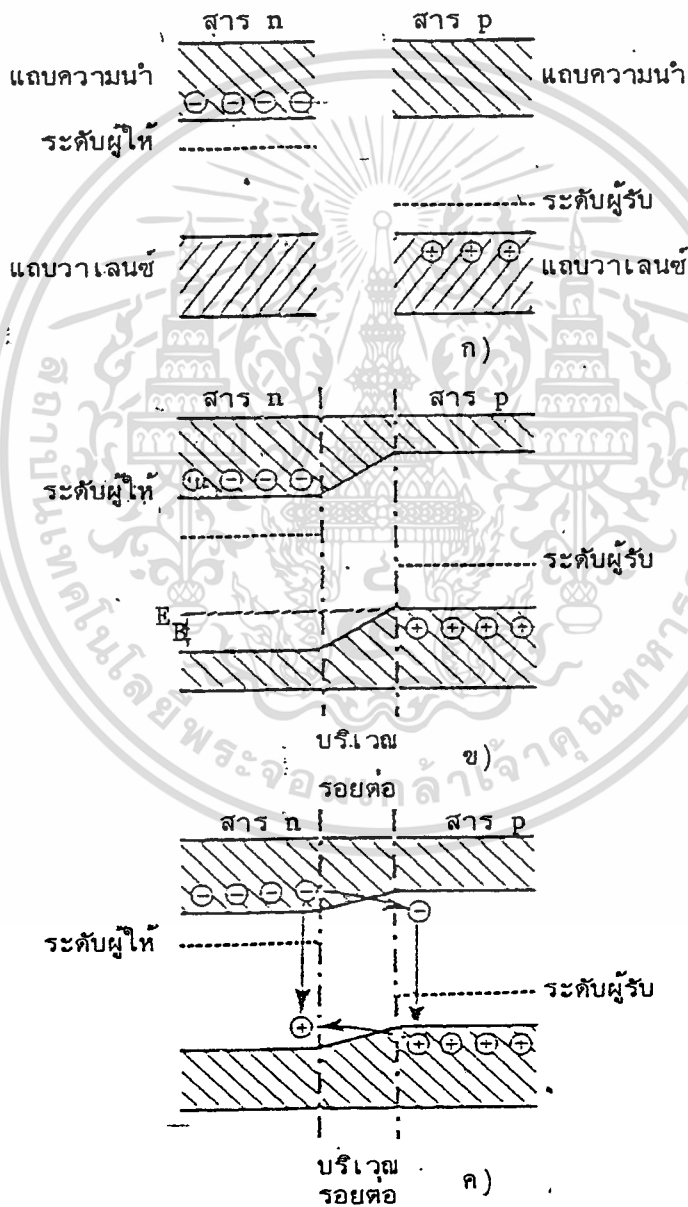
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับไดโอดเปล่งแสง

2.2.1 รอยต่อ p-n

รอยต่อ p-n สามารถสร้างขึ้นบนสารกึ่งตัวนำได้ โดยการเติมสารเจือผู้ให้บนสารกึ่งตัวนำบริเวณหนึ่งซึ่งจะเกิดเป็นสารชนิดหนึ่ง p แล้วเติมสารเจือผู้รับบนบริเวณติดกันซึ่งจะเกิดเป็นสารชนิด n การทำเช่นนี้จะทำให้อิเล็กตรอน และโฮลไหลไปในทิศทางตรงข้าม ข้ามรอยต่อซึ่งจะเกิดขึ้นได้โดยไม่ต้องมีแหล่งจ่ายพลังงานจากภายนอก จนกระทั่งเกิดภาวะสมดุล จะมีความต่างศักย์เกิดขึ้นที่บริเวณรอยต่อ คือ E_B ซึ่งทำให้อิเล็กตรอนไม่สามารถเคลื่อนที่จากสาร n ไป p ได้ รูปที่ 2.1 ก แสดงสภาวะของสารก่อนเกิดการสมดุล รูปที่ 2.1 ข แสดงสภาวะของสารหลังเกิดการสมดุล อย่างไรก็ตาม อิเล็กตรอนและโฮลถูกทำให้ไหลข้ามรอยต่อได้โดยการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากภายนอกให้มีทิศทางตรงข้ามกับ E_B ดังรูปที่ 2.1 ค ซึ่งจะทำให้เกิดริคอมไบเนชัน

2.2.2 รีคอมไบเนชัน

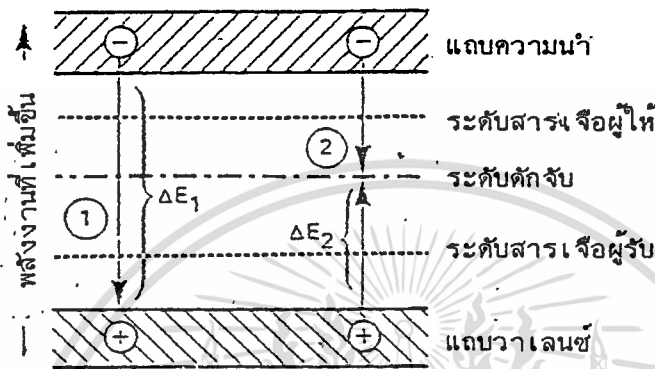
อิเล็กตรอนและโฮลที่ถูกฉีดข้ามรอยต่อจะถูกหักล้างด้วยพาหะที่เป็นชนิดตรงข้ามกัน ซึ่งเป็นขบวนการหนึ่งของรีคอมไบเนชัน ขบวนการรีคอมไบเนชันไม่เป็นแบบแผ่รังสี ก็จะเป็นแบบไม่แผ่รังสี แบบแผ่รังสีจะก่อให้เกิดแสงหรือโฟตอน แบบไม่แผ่รังสีจะก่อให้เกิด



รูปที่ 2.1 ก) สภาวะของสาร p-n ก่อนเกิดการสมดุลง
ข) สภาวะของสาร p-n หลังเกิดการสมดุลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ การเกิดรีคอมไบเนชันเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ความร้อนหรือโฟนอน ขบวนการแผ่รังสี 2 แบบในไดโอดเปล่งแสงดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ขบวนการรีคอมไบเนชันในรอยต่อ p-n

รีคอมไบเนชันระหว่างแถบพลังงาน เป็นรีคอมไบเนชันโดยตรงของอิเล็กตรอนชั้นล่างในแถบความนำกับโฮลชั้นบนในแถบวาเลนซ์ พลังงานของโฟตอนจึงประมาณเท่ากับพลังงานของช่องว่างแถบพลังงานของผลึก รีคอมไบเนชันแบบนี้จึงเกิดระหว่างช่องว่างแถบพลังงานโดยตรง เช่น ในสาร GaAs ส่วนแบบที่ 2 ของช่องการแผ่รังสีเกิดขึ้นโดยที่อิเล็กตรอนที่ถูกฉีดเข้าไปในสาร p จะถูกจับโดยระดับดักจับที่อยู่กึ่งกลางระหว่างช่องว่างพลังงาน (Iso-Electronic Center Potential) ระดับกึ่งกลางนี้ก็จะมีการจับเป็นวง ทำให้โฮลที่อยู่ในแถบวาเลนซ์ถูกจับโดยประจุลบนี้ การหักล้างประจุกันของอิเล็กตรอนและโฮลนี้ จะทำให้เกิดโฟตอนขึ้นมีพลังงานเท่ากับพลังงานของช่องว่างพลังงานลบ พลังงานระหว่างจุดกึ่งกลางถึงแถบวาเลนซ์ การแผ่รังสีแบบนี้เกิดในทางอ้อม เช่น ในสาร GaP

พลังงานโฟตอนสามารถเปลี่ยนเป็นความยาวคลื่นได้โดยสมการ (2.1)

$$\lambda = \frac{1240}{\Delta E} \quad (\text{nm}) \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

โดยที่ λ = ความยาวคลื่น

$$\Delta E = \text{ความแตกต่างของระดับพลังงานมีหน่วยเป็นอิเล็กตรอนโวลต์ eV}$$

2.2.3 สารที่ใช้นำไดโอดเปล่งแสง

แสงในช่วงตั้งแต่เหนือม่วงถึงใต้แดงจะมีสารต่าง ๆ ที่มีช่องว่างพลังงานที่สามารถกำเนิดแสงออกมาในย่านนี้ได้ แต่สารเหล่านี้บางชนิดเราไม่สามารถนำมาสร้างเป็นไดโอดเปล่งแสงได้ เนื่องจากสารบางอย่างไม่สามารถนำมาเติมเป็นสารเจือได้ บางอย่างไม่คายพลังงานในช่วงที่ต้องการ บางอย่างมีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานต่ำเกินไป ตารางที่ 2.1 แสดงสารที่นิยมใช้ทำไดโอดเปล่งแสง

สาร	พลังงานแถบช่องว่าง eV	แสงที่เปล่ง λ nm	ชนิดของการสังแสง
Ge	0.66	1880	โดยอ้อม
Si	1.09	1140	โดยอ้อม
GaAs	1.43	910	โดยตรง
GaP	2.24	560	โดยอ้อม
GaAs ₆₀ P ₄₀	1.91	650	โดยตรง
AlSb	1.60	775	โดยอ้อม
InSb	0.18	6900	โดยตรง
SiC	2.2-30	563-413	โดยอ้อม

ตารางที่ 2.1 สารบางชนิดที่ใช้ทำไดโอดเปล่งแสง

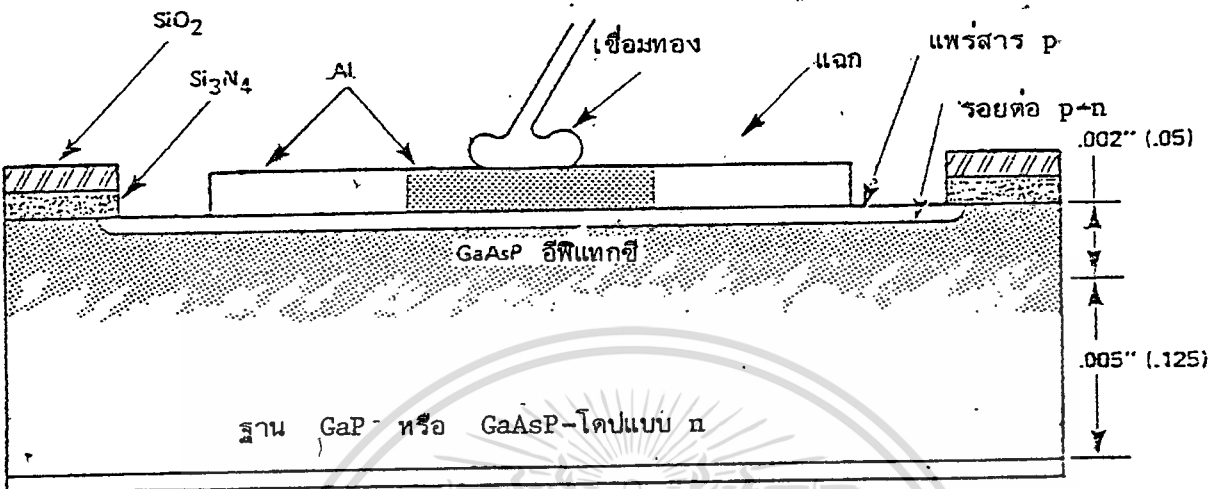
2.3 ขบวนการสร้างไดโอดเปล่งแสง

2.3.1 โครงสร้างของไดโอดเปล่งแสง

เนื่องจากสารประกอบเตอนารี Ga (As, P) ไม่สามารถให้นำมาหลอมให้เข้ากันได้ ดังนั้นการทำให้ GaP มีสัดส่วนที่เหมาะสมจึงทำได้ยาก จึงต้องอาศัยวิธีปลูกชั้นอีพิแทกเซียลบนฐาน GaAs หรือ GaP ฐานนี้เป็นชั้นเวเฟอร์ที่ได้มาจากอินกอตที่สร้างชั้นโดยวิธีของ Czochralski การปลูกชั้นอีพิแทกเซียลในตอนแรก ๆ ก็จะได้ผลึกเหมือนกับฐานของมัน แต่พอถึงชั้นสุดท้ายประมาณ 25 ไมครอน (μm) สาร p ก็จะถูกเติมตามระดับที่ต้องการ เมื่อสารชนิด p ถูกเติมเข้าไปก็จะเกิดรอยต่อ p-n ชั้น ในการทำสารชนิด n และความต้องการสิ่งเจือปนเพื่อให้เกิดแสงชนิดต่าง ๆ จะทำในกระแสก๊าซของระบบ เวเฟอร์ เฟส อีพิแทกซี ต่อจากชั้นชนิด p เวเฟอร์จะถูกคลุมด้วยซิลิคอนไนไตรด์ซึ่งจะกันสาร p ไว้ไม่ให้เกิดการแพร่การทำให้ขนาดรูปร่างของรอยต่อ p-n ใช้วิธีการถ่ายภาพรูปที่ 2, 3 แสดงภาพตัดขวางและด้านบนของไดโอดเปล่งแสง

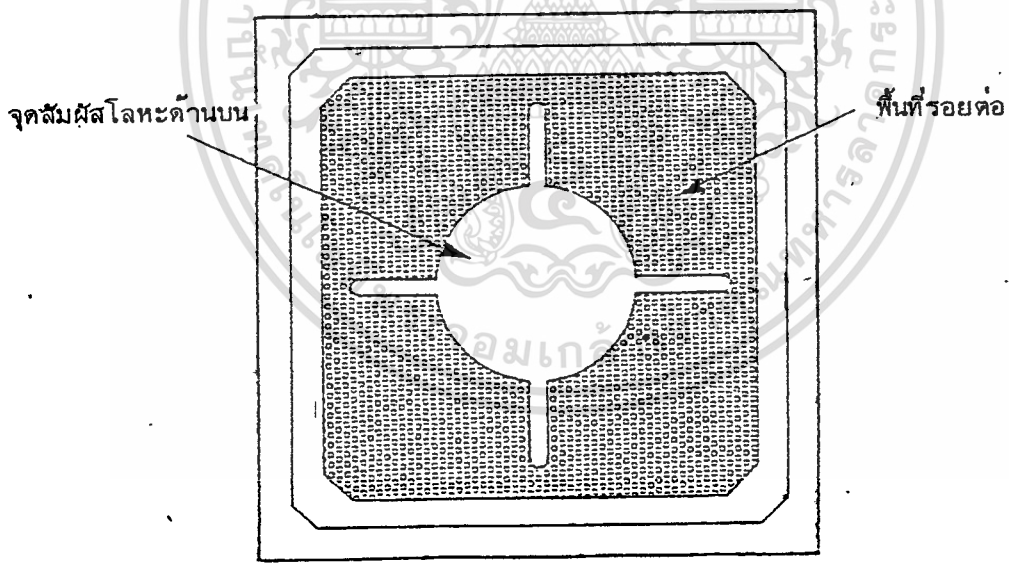
2.3.2 ฐานโปร่งแสงและทึบแสง

โดยปกติแล้วแสงที่เกิดจากรอยต่อ p-n จะกระจายออกไปทุกทิศทาง ถ้าใช้ฐานเป็นวัสดุทึบแสง เช่น GaAs แสงที่ขึ้นข้างบนได้ต้องอยู่ในมุมวิกฤตตามกฎของ สเนลล์ เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ก) แต่ถ้าใช้ฐานเป็นวัสดุโปร่งแสง เช่น GaP จะทำให้ประสิทธิภาพดีขึ้น ดังรูปที่ 2.4 ข) ในทางปฏิบัติถ้าเป็นแสงที่เกิดจากช่องว่างพลังงานทางตรงจะใช้ GaAs เป็นฐาน และทางอ้อมใช้ GaP เป็นฐาน



AuGe จุดสัมผัสด้านหลัง

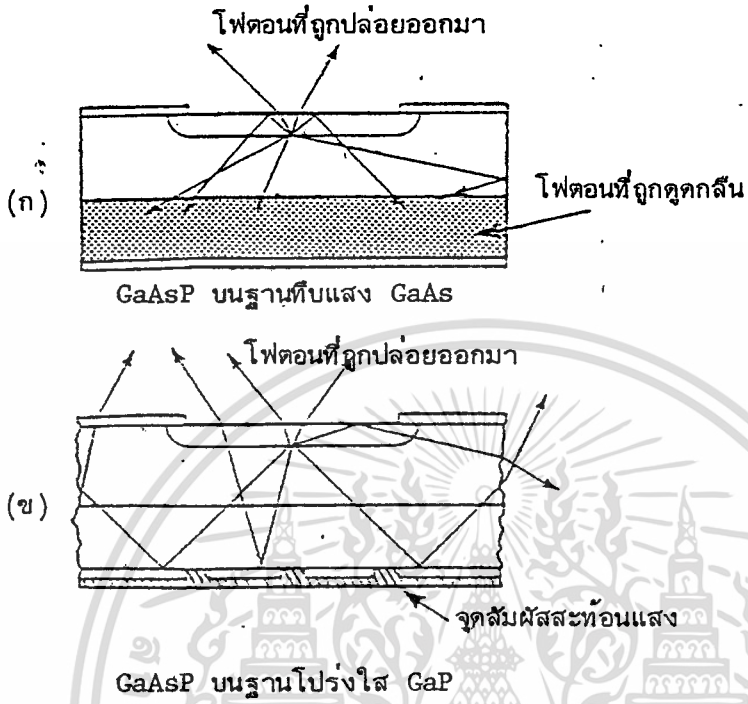
(ก)



(ข)

รูปที่ 2.3 ก) ภาพตัดขวาง

ข) ภาพด้านบนของไดโอดเปล่งแสง



รูปที่ 2.4 ผลของการเปล่งแสงอันเนื่องมาจากฐานทึบแสงและโปร่งแสง

2.4 ผลของอุณหภูมิต่อไดโอดเปล่งแสง

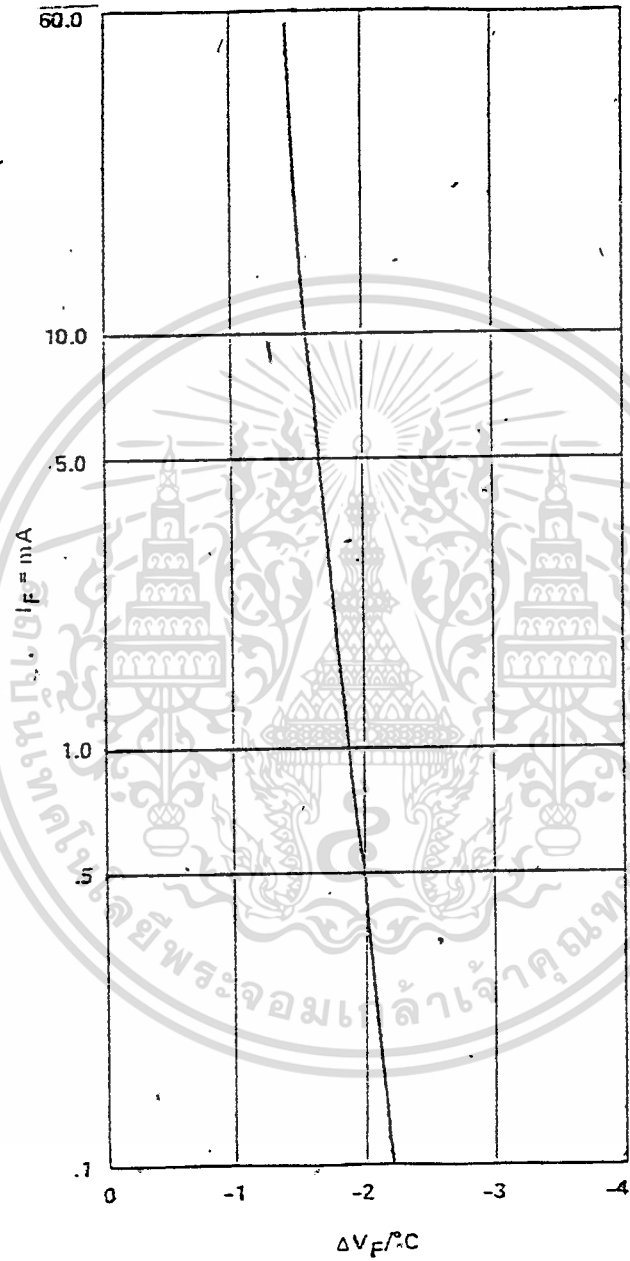
2.4.1 โวลเตจทางตรง (Forward Voltage) ขึ้นกับอุณหภูมิ

โวลเตจทางตรง/กระแสทางตรงของไดโอดเปล่งแสงมีความสัมพันธ์กันดังแสดง
ในสมการ (2.2)

$$I_F = I_o \exp \left(\frac{qV_F}{nkT} \right) \dots\dots\dots (2.2)$$

โดยที่ n เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ, I_F และธรรมชาติของการรีคอมไบเนชัน

รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิต่อโวลเตจทางตรงกับกระแสทางตรง



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของโวลเตจ
ทางตรงกับกระแสทางตรง

2.4.2 ความยาวคลื่นเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ

แสงที่ได้จากช่องว่างพลังงานทางตรงจะเพิ่มขึ้น $0.2 \text{ nm}/^{\circ}\text{C}$ ส่วนแสงที่ได้จากช่องว่างพลังงานทางอ้อมจะเพิ่มขึ้น $0.09 \text{ nm}/^{\circ}\text{C}$

2.4.3 กำลังทางออกเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ

กำลังทางออกของไดโอดเปล่งแสง ทั้งแบบที่ได้จากช่องว่างพลังงานทางตรงและทางอ้อมจะลดลงถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น คือประมาณ $-1\%/^{\circ}\text{C}$

2.5 คุณสมบัติทางกายภาพของ ไดโอดเปล่งแสง

2.5.1 การหุ้มไดโอดเปล่งแสงด้วยพลาสติก

โดยทั่วไปการสร้าง ไดโอดเปล่งแสงมักใช้พลาสติกหุ้มพร้อมทั้งมีเลนส์วางอยู่เหนือรอยต่อ p-n สาเหตุทางกล 3 ประการที่ทำให้ปริมาณของแสงที่ถูกเปล่งออกมาลดลงคือ

- 1) การสูญเสียเนื่องจากการดูดกลืนภายในสารที่ใช้ทำไดโอดเปล่งแสง
- 2) การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนแสง (Fresnel loss)
- 3) การสูญเสียเนื่องจากมุมวิกฤต

2.5.2 การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนแสง

เมื่อแสงผ่านตัวกลางที่มีดัชนีหักเห n_1 ไปยังตัวกลางที่มีดัชนีหักเห n_2 จะมีแสงส่วนหนึ่งที่สะท้อนกลับที่รอยต่อระหว่างตัวกลางทั้งสอง การสูญเสียของแสงนี้เรียกว่า การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนแสงหรือการสูญเสียเฟรสเนล สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงคือ

$$R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \dots\dots\dots (2.3)$$

สัมประสิทธิ์การส่งผ่านข้ามตัวกลางคือ

$$\begin{aligned} T &= 1 - R \\ &= 1 - \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \end{aligned}$$

$$\therefore T = \frac{4n_2 n_1}{n_2^2 + 2n_2 n_1 + n_1^2} = n_{Fr} \dots (2.4)$$

2.5.3 การสูญเสียเนื่องจากมุมวิกฤต

การสูญเสียนี้เกิดเนื่องจากการสะท้อนภายในของแสงที่ส่องไปตกกระทบผิวของแผ่นไดโอดเปล่งแสงมีมุมมากกว่ามุมวิกฤต

รูปที่ 2.7 แสดงลำแสงจากภายในผลึกไปยังผิวนอกจะเกิดการหักเหตามกฎของสเนลล์

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \dots (2.5)$$

โดยที่ θ_1 = มุมตกกระทบภายในผลึกที่ผิวของผลึก

θ_2 = มุมหักเหภายนอกของผลึกที่ผิวของผลึก

n_1 = ดัชนีการหักเหของผลึก

n_2 = ดัชนีการหักเหของตัวกลางภายนอกผลึก

มุม θ_1 ที่ทำให้เกิด $\theta_2 = 90^\circ$ เรียก θ_1 นี้ว่ามุมวิกฤต (θ_C)

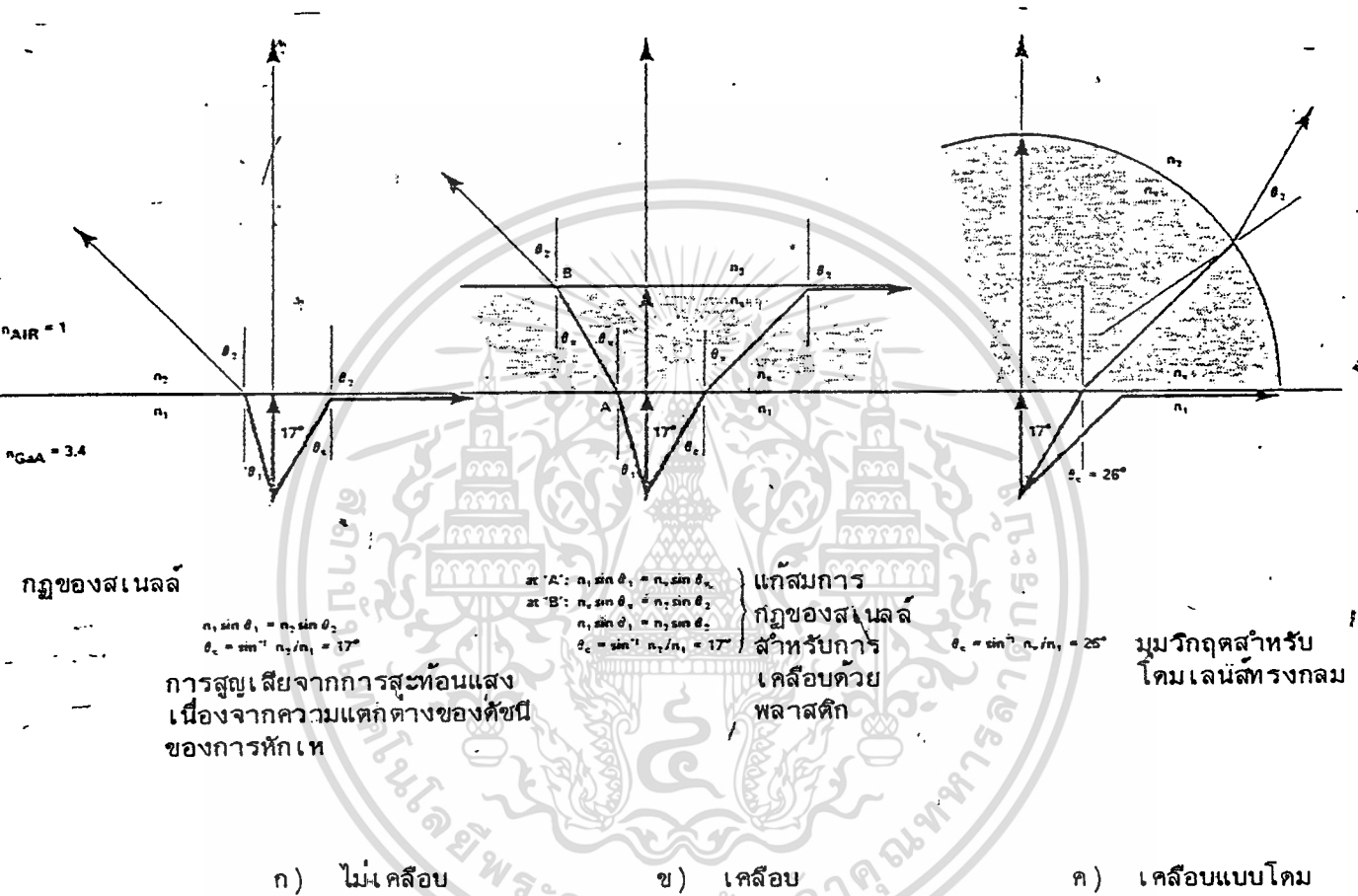
θ_C สำหรับไดโอดเปล่งแสงสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} n_1 \sin \theta_C &= n_2 \sin 90^\circ \\ \sin \theta_C &= n_2/n_1 \\ \theta_C &= \sin^{-1} (n_2/n_1) \dots (2.6) \\ &= \sin^{-1} (1/3.4) \end{aligned}$$

$$\therefore n_1 = \text{ดัชนีการหักเหของ GaAsP} = 3.4$$

$$n_2 = \text{ดัชนีการหักเหของอากาศ} = 1$$

$$\therefore \theta_C = 17.1^\circ$$



รูปที่ 2.6 ผลกระทบต่อประสิทธิภาพทางแสงที่ได้จากการเคลือบ
 ไดโอดเปล่งแสงด้วยลักษณะต่าง ๆ

ตัวประกอบประสิทธิภาพมุมวิกฤต สำหรับไดโอดเปล่งแสงในอากาศ

$$\eta_{Cr} = (n_2/n_1)^2 \dots\dots\dots(2.7)$$

$$= (1/3.4)^2 = .0868$$

การหุ้มไดโอดเปล่งแสงด้วยตัวกลางที่มีดัชนีการหักเหสูง, n_x , จะช่วยเพิ่ม

ปริมาณแสงที่ส่งออกไปมากขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าผิวของตัวกลางแบนเรียบ ดังรูปที่ 2.6 ข) ก็ไม่ช่วยให้ θ_c ตีขึ้น แต่ถ้าทำให้ตัวกลางนั้นเป็นรูปโดม มุมตกกระทบที่ตัวกลางที่ใช้หัก ไปยังอากาศจะน้อยกว่ามุมหักเหที่ผลึก ไปยังตัวกลางที่ใช้หัก ดังรูปที่ 2.6 ค) ทำให้แสง สามารถผ่านโดมไปได้ไม่ถูกจับไว้ในตัวกลาง θ_c ก็จะกว้างมากขึ้น เป็น

$$\begin{aligned}\theta_c &= \sin^{-1} (n_x/n_1) \\ &= \sin^{-1} (1.5/3.4) \\ &= 26.2^\circ \\ \eta_{Cr} &= (n_x/n_1)^2 = (1.5/3.4)^2 = .195\end{aligned}$$

ซึ่งจะทำให้มีแสงที่ส่งออกจากผลึกผ่านโดม ไปยังอากาศมากขึ้น

2.5.4 ประสิทธิภาพทางแสง (Optical Efficiency)

ประสิทธิภาพทางแสง, η_{Op} , ของไดโอดเปล่งแสง คือผลคูณของ η_A , η_{Fr} และ η_{Cr} นั่นคือ

$$\eta_{Op} = \eta_A \cdot \eta_{Fr} \cdot \eta_{Cr} \dots\dots\dots (2.8)$$

โดยที่ η_{Op} = ประสิทธิภาพทางแสง

η_A = ประสิทธิภาพของการดูดกลืน

η_{Fr} = ประสิทธิภาพการสะท้อนแสง

η_{Cr} = ประสิทธิภาพมุมวิกฤต

2.5.5 ประสิทธิภาพคว้นดัมภายนอก, $\eta_{q_{ext}}$

ประสิทธิภาพคว้นดัมภายนอกถูกจำกัดความไว้ดังนี้

$$\eta_{q_{ext}} = \frac{\phi_e}{I_F \cdot E_g} \frac{\text{photon}}{\text{electron}} \dots\dots (2.9)$$

ค่า 1240 เป็นผลคูณของค่าคงตัวของพลังค์กับความเร็วแสง

$$\begin{aligned}
 E_g &= \text{พลังงานของแสงที่มีความยาวคลื่น } \lambda \\
 &= \frac{hC}{\lambda} \\
 &= 1240/\lambda \quad \text{eV/photon} \quad \dots\dots(2.10)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_F &= \text{กระแสไบอัสตรง} \\
 \phi_e &= \text{เรเดียนท์ฟลักซ์}
 \end{aligned}$$

2.5.6 ประสิทธิภาพควมดัมภายใน, η_{int}

ประสิทธิภาพควมดัมภายใน คืออัตราส่วนของกระแสการแผ่รังสีกับกระแสทั้งหมดที่สามารถคำนวณได้โดยการหาร $\eta_{q_{ext}}$ ด้วย η_{op} .

$$\eta_{q_{int}} = \eta_{q_{ext}} / \eta_{op} \quad \frac{\text{photons}}{\text{electron}} \quad \dots\dots(2.11)$$

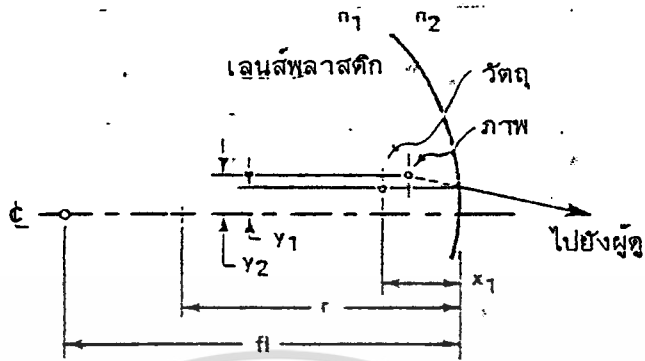
2.5.7 การขยายและความเข้มการส่องสว่าง

ความเข้มการส่องสว่างเป็นฟังก์ชันของการขยาย การขยายสามารถทำได้โดยการใส่เลนซ์ช่วย จากรูปที่ 2.7 สมมติให้แสงเป็นลำขนาน

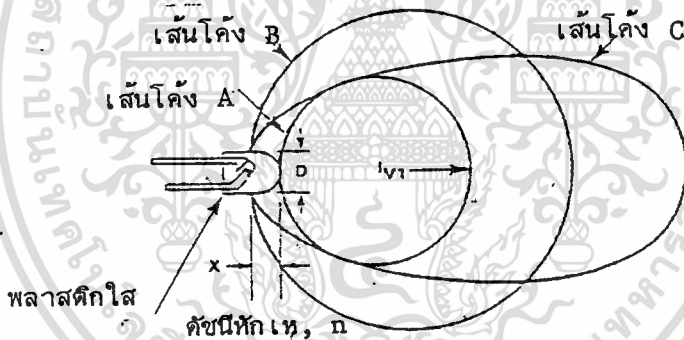
$$\begin{aligned}
 \therefore \text{การขยาย } \gamma &= m \triangleq \frac{Y_2}{Y_1} \\
 &\approx \frac{1}{1 - \frac{X_1}{f_1}} \quad \dots\dots(2.12)
 \end{aligned}$$

$$\text{โดยที่ } X_1 = \text{ระยะวัตถุ}$$

$$f_1 = \frac{r}{1 - \frac{n_2}{n_1}} = \text{ระยะโฟกัสของเลนส์}$$



รูปที่ 2.7 พารามิเตอร์ของเลนซ์ทรงกลม.



เส้นโค้ง	ระยะทาง X	ความเข้มการส่องสว่าง ในแนวแกน, I_{V0}	ฟลักซ์การส่อง สว่าง, ϕ_V	รูปร่างของการ กระจายแสง
A	≈ 0	$I_V: \approx I_{V0}$ ของได โอดเปล่งแสงที่ไม่มีตัวหุ้ม	πI_{V1}	แลมเบิร์ตเตียน
B	$D/2 \approx r$	$n^2 I_{V1}$	$\pi n^2 I_{V1}$	แลมเบิร์ตเตียน
C	$> D/2$	$> n^2 I_{V1}$	$< n^2 \pi I_{V1}$	ไม่ใช่แลมเบิร์ตเตียน

รูปที่ 2.8 ผลของการขยายต่อความเข้มการส่องสว่างและลักษณะของการแผ่รังสี สำหรับไดโอดเปล่งแสงที่หุ้มด้วยพลาสติกแบบไม่มีการแพร่

จากรูปที่ 2.8 ถ้าเราหุ้มด้วยไดโอดเปล่งแสงให้อยู่ใกล้กับผิวโคมมาก ทำให้ผิวโคมดูเสมือนแบนทำให้ไม่มีการขยาย ลักษณะการแผ่รังสี, เส้นโค้ง A, เป็นแบบแลมเบิร์ตเตียน (Lambertian Pattern) ในการแผ่รังสีที่มีลักษณะแลมเบิร์ตเตียนจะมีความเข้มของการส่องสว่างแปรควมโคไซน์ของมุม นอกแนวแกน, θ

$$I(\theta) = I_0 \cos \theta \dots\dots\dots(2.13)$$

โดยที่ I_0 = ความเข้มการส่องสว่างตามแนวแกน

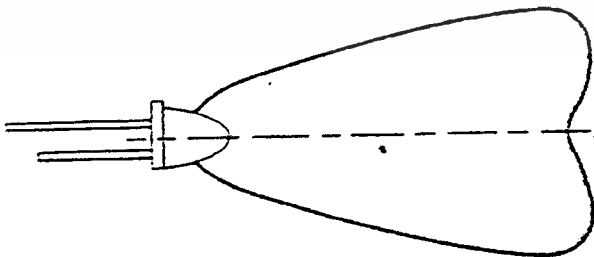
ผลลัพธ์การส่องสว่างเท่ากับ π เท่าของความเข้มการส่องสว่าง

ถ้า $X = r$, ส่วนโค้ง B, การขยายเท่ากับดัชนีหักเหของตัวหุ้ม ความเข้มการส่องสว่างเท่ากับความเข้มการส่องสว่างที่ไม่มีตัวหุ้มคูณกับดัชนีหักเหของตัวหุ้มกำลังสอง

ถ้า X มากกว่ารัศมีของโคมเลนส์ความเข้มการส่องสว่างจะเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันลักษณะการแผ่รังสีจะแคบเข้า ดังรูปส่วนโค้ง C



ไดโอดเปล่งแสงหุ้มด้วยโคมเลนส์ทรงกลม



ไดโอดเปล่งแสงหุ้มด้วยโคมเลนส์ที่ไม่เป็นรูปทรงกลม.

รูปที่ 2.9 ลักษณะการกระจายแสงสำหรับไดโอดเปล่งแสงที่ไม่มีการแพร่

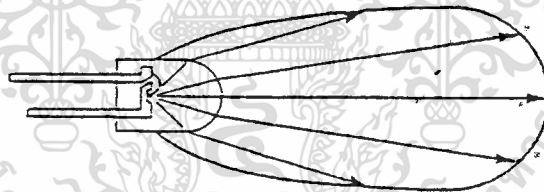
กับโคมเลนส์แบบทรงกลมและไม่เป็นทรงกลม

โคมเลนส์ที่มีรูปร่างไม่เป็นทรงกลมดังรูปที่ 2.9 จะช่วยทำให้ความเข้มการส่องสว่างดคมแนวแกน มีค่ามากขึ้นและลักษณะการกระจายแสงกว้างขึ้นกว่าแบบที่ใช้โคมเลนส์ทรงกลม

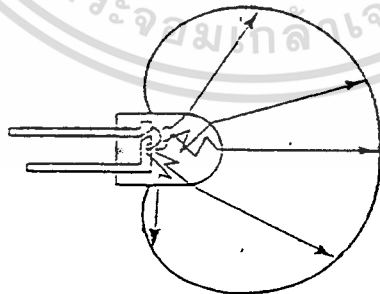
2.5.8 โคมโอดเปล่งแสงแบบแพร์และไม่แพร์ตัวหุ้ม

รูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่างโคมโอดเปล่งแสงแบบแพร์และไม่แพร์ตัวหุ้ม โคมโอดแบบแพร์ตัวหุ้มจะให้ฟลักซ์การส่องสว่างสูงแต่ลักษณะการกระจายแสงแคบ ,เหมาะสำหรับใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ต้องการความเข้มสูง ส่วนที่ไม่แพร์ตัวหุ้มจะให้ฟลักซ์การส่องสว่างต่ำ ลักษณะการกระจายแสงกว้างเหมาะสำหรับแหล่งแสงที่ต้องการมองเห็นในมุมกว้าง แต่ไม่ต้องการความเข้มสูง

โคมโอดเปล่งแสง 2 ดวงนี้มีชื่อและแบบของโคมเลนส์เหมือนกัน



หุ้มพลาสติกโดยการแพร์ : มีความเข้มการส่องสว่างตามแนวแกนสูง, ลำแสงแคบ



หุ้มพลาสติกโดยไม่มีการแพร์ : ลดค่าความเข้มการส่องสว่างตามแนวแกน, ลำแสงกว้าง

รูปที่ 2.10 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างโคมโอดเปล่งแสงที่แพร์และไม่แพร์ตัวหุ้มพลาสติก

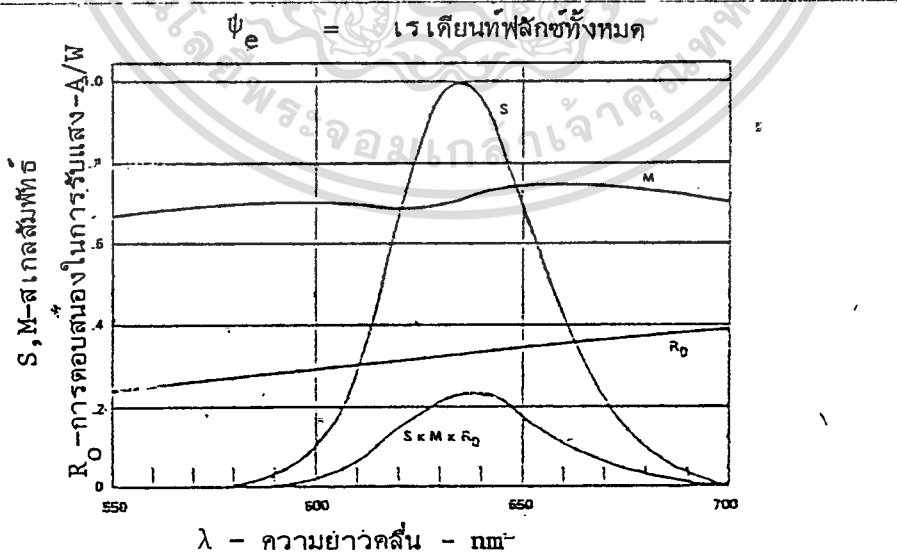
2.6 การสื่อสารและการส่งสัญญาณโดยใช้ไดโอดเปล่งแสง

2.6.1 คุณสมบัติของฟลักซ์ในการส่งสัญญาณ

ในการส่งสัญญาณโดยใช้ไดโอดเปล่งแสงจะต้องมีประเภทรุ่นกันระหว่างคุณสมบัติของสิ่งที่เกี่ยวข้องทั้งหมด คือ ความยาวคลื่นของแสงที่เกิดจากไดโอดเปล่งแสง การยอมให้แสงผ่านของตัวกลางและการตอบสนองความถี่ของตัวรับแสง ดังนั้น ฟลักซ์ที่ตัวรับแสงรับได้จะหาได้จากอินทิเกรต ผลคูณของสเปกตรัมทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับระบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 นั่นคือ

$$I_P = \psi_e \frac{\int S \cdot M \cdot R_o \cdot d\lambda}{\int S d\lambda} \dots\dots\dots(2.14)$$

- โดยที่ I_P = ฟลักซ์ที่ตัวรับแสงรับได้
- S = นอร์มอลไลซ์ สเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสง
- M = การส่งผ่านสเปกตรัมของตัวกลาง
- R_o = การตอบสนองของตัวรับแสง
- λ = ความยาวคลื่นของแสง
- ψ_e = เรตเชิงพื้นที่ฟลักซ์ทั้งหมด



รูปที่ 2.11 การอินทิเกรตเพื่อหาปริมาณแสงที่ส่งผ่านจากแหล่งกำเนิด

แสงผ่านตัวกลาง ไปยังตัวรับแสง

2.6.2 ระบบเลนส์กับไดโอดเปล่งแสง

หลักการพื้นฐานเกี่ยวกับแสงคือ ความเข้มต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของภาพที่เกิดจากเลนส์ จะลดลงจากความเข้มวัตถุ เฉพาะเนื่องจากการสูญเสียจากการสะท้อนแสงที่ผิวของเลนส์เท่านั้น หลักการนี้จะเป็นจริงถ้าวัตถุมีการเปล่งแสงแบบแลมเบิร์ตเตียน และจะใกล้เคียงถ้าลักษณะที่วัตถุเปล่งแสงไม่เบี่ยงเบนไปจากแบบแลมเบิร์ตเตียนมากนัก ความเบี่ยงเบนนี้สามารถแสดงให้เห็นได้จากความเข้มสัมพัทธ์ ($I_r(\theta)$) ของลักษณะการกระจายแสงดังต่อไปนี้

$$\Delta_L = (1 - I_r(\theta) / \cos \theta) \dots \dots \dots (2.15)$$

โดยที่ Δ_L = ความเบี่ยงเบนจากลักษณะแลมเบิร์ตเตียน
 $I_r(\theta)$ = ความเข้มสัมพัทธ์
 θ = มุมที่แหล่งกำเนิดแสงที่ทำระหว่างแนวแกน
 กับความสูงของเลนส์

$$\text{สำหรับเลนส์บาง } \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f}, \quad m = \frac{d_i}{d_o}$$

รูปที่ 2.12 ให้คำจำกัดความของ NA (Numerical Aperture)

ความสัมพันธ์ระหว่างแสงจากเลนส์ที่ตกไปที่ตัวรับ, E_T กับแสงที่ออกจากแหล่งกำเนิด E_S แสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$\frac{E_T}{E_S} = \frac{\pi \tau}{4(f/no)^2 (1 + \frac{d_T}{d_S})^2} \dots \dots \dots (2.16)$$

โดยที่ τ = การส่งผ่าน

f/no = อัตราส่วนระหว่างความยาวโฟกัสกับความกว้างของเลนส์

d_T = ระยะทางระหว่างเลนส์ถึงเป้า

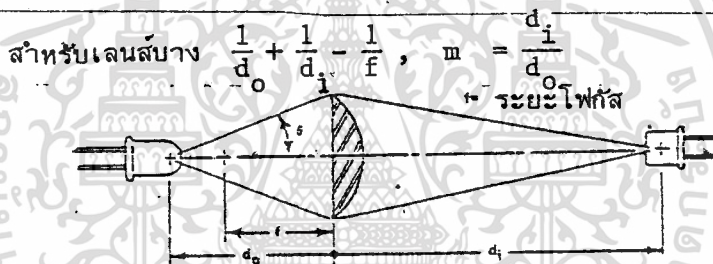
d_S = ระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดแสงถึงเลนส์

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} \dots\dots\dots(2.17)$$

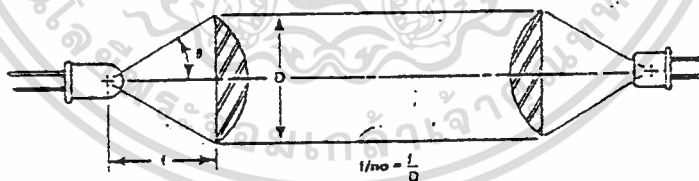
$$m = \frac{d_i}{d_o} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$f/no = \frac{f}{D} \dots\dots\dots(2.19)$$

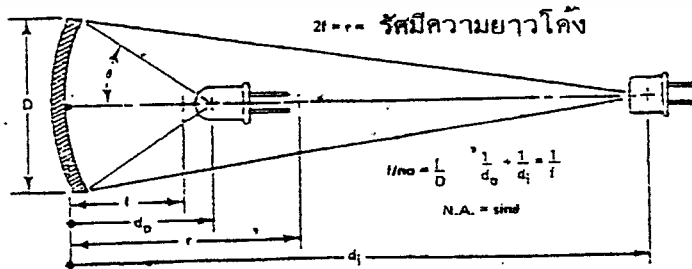
โดยที่ d_o = ระยะทางจากแหล่งกำเนิดแสงถึงเลนส์
 d_i = ระยะทางจากเลนส์ถึงเป้า
 f = ความยาวโฟกัส



ก) ค่าจำกัดความพื้นฐานของ NA., $NA = \sin \theta$



ข) สำหรับเลนส์ที่มีระยะโฟกัสเป็นอนันต์, $NA = \frac{1}{2(f/no)}$



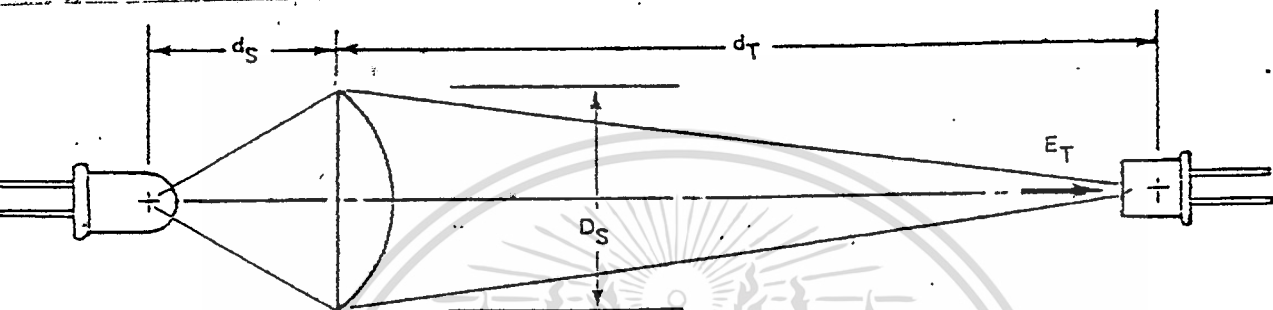
ค) สำหรับกระจกโค้งก็นำเอาสูตรเดิมมาประยุกต์ใช้ได้

รูปที่ 2.12 สูตรสำหรับเลนส์บางแบบง่าย ๆ และค่าจำกัดความของ NA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2.6.3 การส่งสัญญาณในระยะไกล

ระยะไกลในที่นี้หมายถึงระยะที่มากกว่า 1 เมตร การส่งสัญญาณด้วยไดโอดเปล่งแสงในระยะไกลนี้จะต้องอาศัยอุปกรณ์อื่นช่วยด้วย



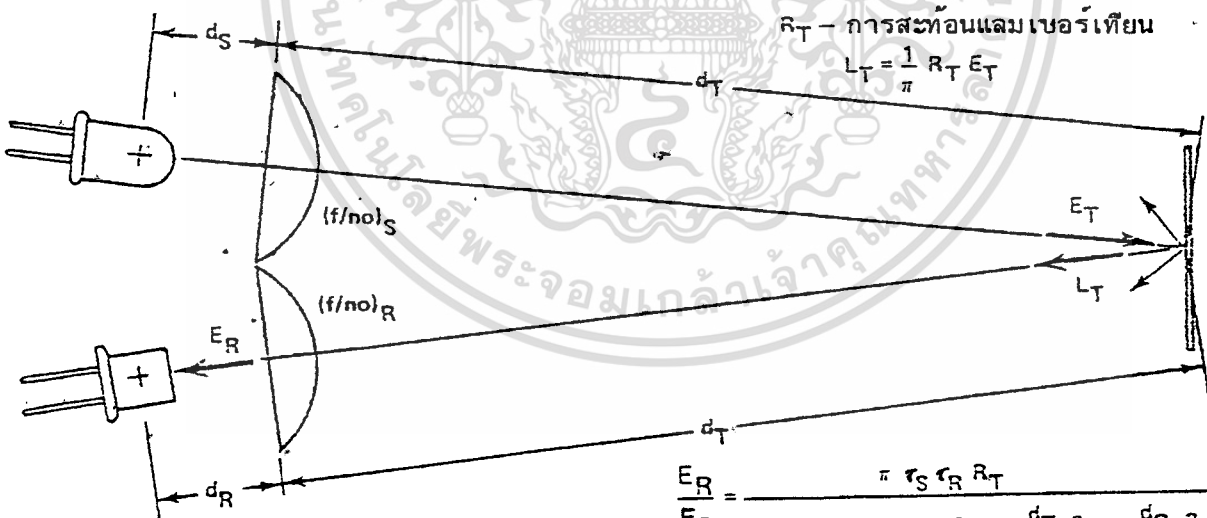
ก) แสงของ ไดโอด เปล่งแสงตกบน เป้าที่อยู่ห่างไกล, แสงที่ตกกระทบบเป้าแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทางและขึ้นกับพื้นที่ของเลนส์ด้วย

$$\frac{E_T}{E_S} = \frac{\pi r}{4(f/No)^2 (1 + \frac{d_T}{d_S})^2}$$

$$= r \left(\frac{\pi}{4} D_S^2 \right) \frac{1}{d_T^2}$$

R_T - การสะท้อนแลมเบิร์ตเตียน

$$L_T = \frac{1}{\pi} R_T E_T$$



ข) แสงตกกระทบบที่ ได้จากเป้าแผ่กระจายบนตัวรับ แปรผกผันกับกำลังสองของระยะทาง

$$\frac{E_R}{E_S} = \frac{\pi r_S r_R R_T}{16 (f/No)_S^2 (f/No)_R^2 (1 + \frac{d_T}{d_S})^2 (1 + \frac{d_R}{d_T})^2}$$

$$= \frac{R_T}{\pi} \times \frac{r_S A_{SL}}{d_T^2} \times \frac{r_R A_{RL}}{d_R^2}$$

รูปที่ 2.13 การส่งสัญญาณระยะไกลโดยตรงและโดยการสะท้อน

โดยการใช้เลนส์และกระจกเงา

ความสัมพันธ์ระหว่างแสงจากแหล่งกำเนิดไดโอดเปล่งแสงและแสงที่ตกไปที่ตัวรับ ดังแสดงในสมการ. (2.16) โดยการนำสมการ (2.17) และ (2.19) สมการ (2.16) จะกลายเป็น

$$\frac{E_T}{E_S} = \tau \left(\frac{\pi}{4} D_S^2 \right) \frac{1}{d_T^2} \dots \dots \dots (2.20)$$

จะเห็นว่าเทอมในวงเล็บคือพื้นที่ของเลนส์ ทำให้เหมือนกับว่ามีแหล่งกำเนิดแสงขนาดเท่ากับเลนส์อยู่ห่างตัวรับและเป็นระยะ d_T ถ้ามีเลนส์อีกอันหนึ่งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง D_R มีความยาวโฟกัส f_R วางอยู่หน้าตัวรับให้ระยะโฟกัสพอดีที่ตัวรับจะรับได้ ดังรูปที่ 2.12ข) จะได้อัตราส่วนของแสงที่ตัวรับ รับผิดชอบได้, E_R ต่อแสงที่ออกจากแหล่งกำเนิด E_S ดังนี้

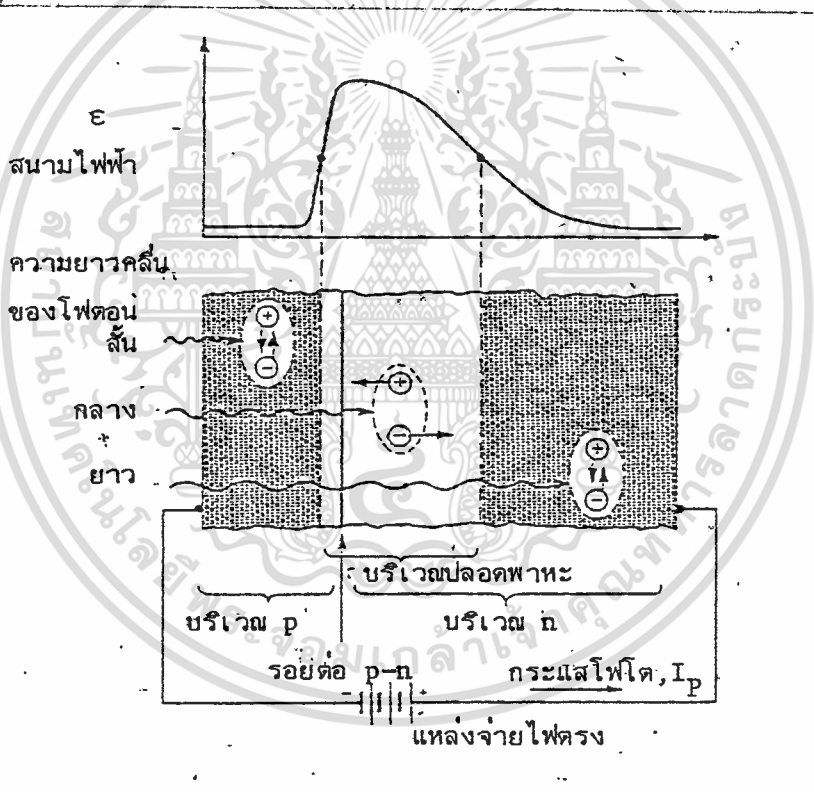
$$\frac{E_R}{E_S} = \tau_S \left(\frac{\pi}{4} D_S^2 \right) \frac{1}{d_T^2} \times \tau_R \left(\frac{\pi}{4} D_R^2 \right) \frac{1}{f_R^2} \dots \dots \dots (2.21)$$

รูปที่ 2.13 ข) แสดงการใช้กระจกเงาสท้อนแสงอัตราส่วน E_R/E_S ก็คล้ายกับสมการ (2.21) แต่จะลดลงด้วยเทอม (R_T/π) เนื่องจากการสะท้อนแสงที่กระจก

2.7 โดโอดรับแสง

2.7.1 การออกแบบและการสร้างโดโอดรับแสง

เมื่อสารกึ่งตัวนำดูดพลังงานโฟตอนไว้ จะทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลขึ้น กระแสโฟโตจะเกิดขึ้นเมื่อคู่อิเล็กตรอน-โฮล ซึ่งเกิดจากโฟตอนนั้นถูกแยกออกจากกัน โดยอิเล็กตรอนวิ่งไปยังด้าน n และโฮลวิ่งไปยังด้าน p



รูปที่ 2.14 แผนผังแสดงผลของสนามไฟฟ้าภายในของรอยต่อโฟโตโดโอด p-n

การแยกตัวของคู่อิเล็กตรอน-โฮลนี้จะเกิดขึ้นได้มากเมื่อคู่อิเล็กตรอน-โฮลนั้นเกิดในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าภายในสารกึ่งตัวนำ ดูรูปที่ 2.14 แต่ถ้าคู่อิเล็กตรอน-โฮลแยกจากกันแล้วกลับมารวมกันใหม่ จะไม่เกิดการขจัดของประจุเกิดขึ้น ดังนั้นจะไม่เกิดกระแส

โฟโต การกระจายของสนามไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำโดโอดไม่สม่ำเสมอ ในบริเวณทางด้าน p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค้ำหน้า) และบริเวณทางด้าน n สนามไฟฟ้าจะอ่อนมากกว่าในบริเวณที่อยู่ตรงกลางมาก ซึ่งเรียกบริเวณดังกล่าวว่า บริเวณปลดพาหะ (Depletion Region) ดังนั้นเพื่อให้ได้การทำงานที่ดีที่สุด ไดโอดรับแสงจะต้องถูกทำให้สามารถดูดโฟตอนได้จำนวนมากที่สุดเท่าที่จะมากได้ในบริเวณปลดพาหะ

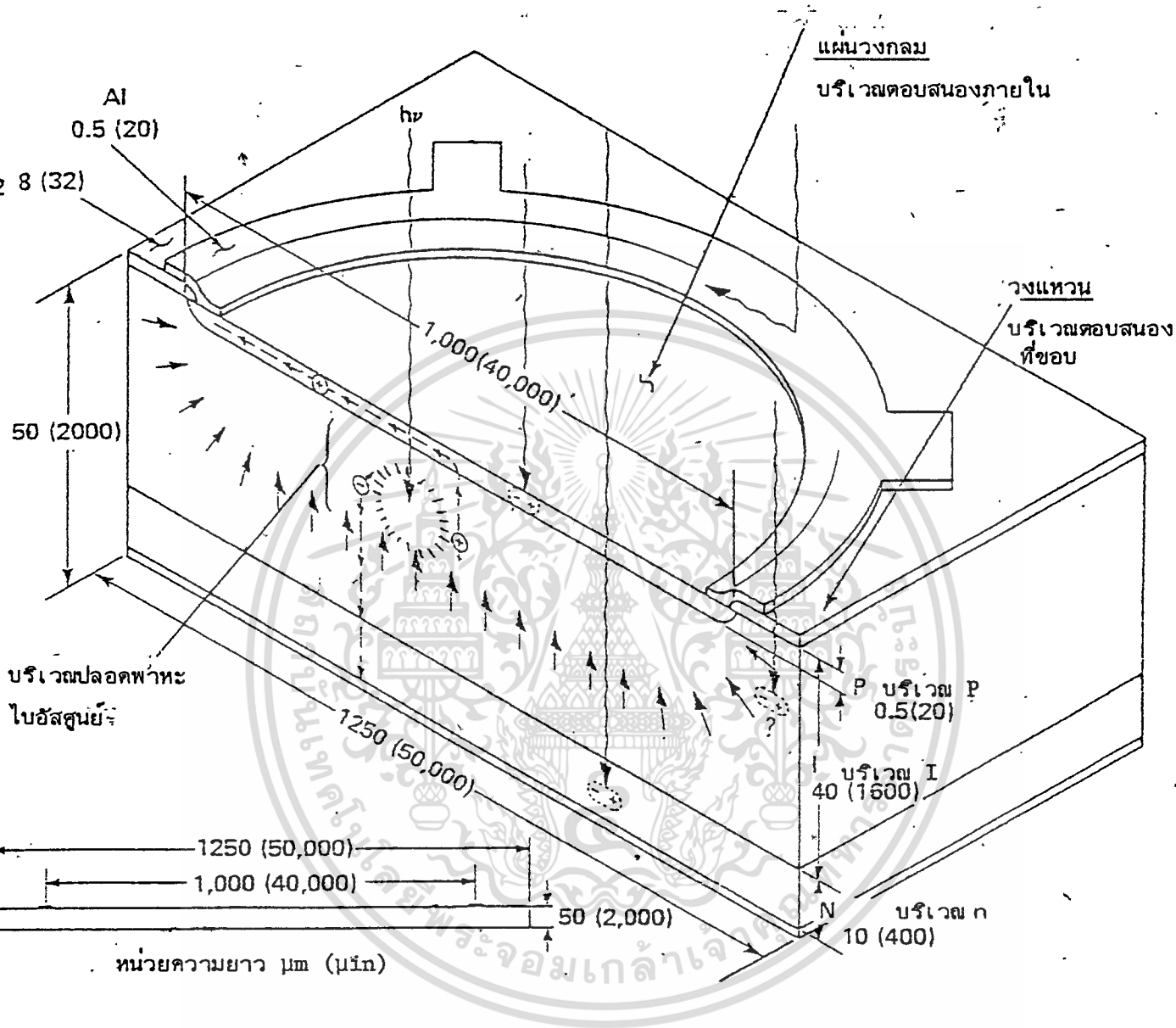
ความลึกที่โฟตอนสามารถผ่านทะลุลงไปได้ก่อนที่มันจะถูกดูดกลืนเป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่นของโฟตอน โฟตอนที่มีความยาวคลื่นสั้นจะถูกดูดที่บริเวณผิว ส่วนที่มีความยาวคลื่นยาวกว่าสามารถผ่านทะลุได้ตลอดความหนาของผลึก จากเหตุผลนี้ ถ้าจะทำให้ไดโอดรับแสงสามารถตอบสนองต่อแถบความยาวคลื่นในช่วงกว้าง จะต้องมีชั้นของชนิด p ที่บางมาก ๆ เพื่อให้โฟตอนที่มีความยาวคลื่นสั้นสามารถผ่านเข้าไปได้ และขณะเดียวกันต้องพยายามทำให้เขตปลดพาหะหนา เพื่อให้จะได้ผลิตระแสโฟโตให้มากที่สุดจากโฟตอนที่มีความยาวคลื่นยาว

ความหนาของบริเวณปลดพาหะขึ้นกับความต้านทานของบริเวณที่จะถูกทำให้ปลดพาหะและขึ้นกับการไบอัสย้อนกลับ

บริเวณปลดพาหะจะเกิดขึ้นได้แม้จะไม่มีกรไบอัสย้อนกลับ บริเวณปลดพาหะนี้ขึ้นอยู่กับสนามไฟฟ้าที่เกิดภายใน ซึ่งเกิดจากการแพร่ของพาหะข้างน้อยข้ามรอยต่อ การไบอัสย้อนกลับช่วยเสริมสนามไฟฟ้าภายในและขยายบริเวณปลดพาหะ

การขยายบริเวณปลดพาหะที่ค่าโวลเตจใด ๆ จะต้องใช้อุปกรณ์ที่มีค่าความต้านที่รอยต่อสูง แต่ที่ผิวทั้ง 2 ด้านที่จะนำจุดสัมผัสโอห์มิกของอุปกรณ์จะต้องมีค่าความต้านทานต่ำ ไดโอดรับแสง pn เช่น เซลแสงอาทิตย์ทำได้จากการแพร่สารชนิด p เข้าไปในสารชนิด n ที่มีค่าความต้านทานต่ำ

ในไดโอดรับแสงการแพร่ชั้น p บาง ๆ จะตอบสนองความยาวคลื่นสั้นได้ดี แต่ถ้าป้อนไบอัสย้อนกลับสูง ๆ จะสามารถขยายบริเวณปลดพาหะได้ลึกพอที่จะตอบสนองความยาวคลื่นยาวได้ดี การแพร่สาร p ให้ลึกจะทำให้ผลตอบสนองต่อความยาวคลื่นสั้นเลวลง แต่จะลดค่าไบอัสที่ต้องใช้เมื่อต้องการให้ได้ผลที่ดีของผลการตอบสนองต่อความยาวคลื่นที่ยาวกว่า



รูปที่ 2.15 ภาพตัดขวางไดโอดรับแสง PIN

ผลการตอบสนองต่อความยาวคลื่นสั้นและยาวที่ค่าการไบฮัสตุนกลับต่ำ ๆ จะเห็นว่าดีขึ้นเมื่อใช้ ไดโอด PIN มากกว่าเมื่อใช้ ไดโอด pnธรรมดา

ไดโอด PIN มีการแพร่สารชนิด p ด้านหน้าบางและการแพร่สารชนิด n ทางด้านของซิลิคอนเวเฟอร์ มีความต้านทานสูง รูปที่ 2.15 สารที่อยู่ระหว่างสารชนิด p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 ตัว ทำให้เกิดการไหลของกระแสโฟโต ประสิทธิภาพคว้นดัม, η_q มีหน่วยเป็น อิเล็กตรอนต่อโฟตอน

ในด้านวิศวกรรมส่วนมากตัวพารามิเตอร์ที่นิยมใช้คือ การตอบสนองต่อฟลักซ์, ซึ่งสัมพันธ์กับพลังงานโฟตอน R_ϕ คืออัตราส่วนระหว่างกระแสโฟโตต่อฟลักซ์ที่เป็นจุด

$$R_\phi = \eta_q \frac{\lambda}{1240} = \frac{I_P}{\phi_e} \dots \dots \dots (2.22)$$

- โดยที่ R_ϕ = การตอบสนองต่อฟลักซ์ มีหน่วยเป็น แอมป์. ต่อ วัตต์
- η_q = ประสิทธิภาพคว้นดัม " อิเล็กตรอน ต่อ โฟตอน
- λ = ความยาวคลื่นของโฟตอน " 10^{-9} เมตร (nm)
- I_P = กระแสโฟโต " แอมป์
- ϕ_e = เร็วเตียนท์ฟลักซ์ " วัตต์

ในรูปที่ 2.16 ประสิทธิภาพคว้นดัมของสเปกตรัม แสดงด้วยเส้นประและการตอบสนองแสดงด้วยเส้นทึบ ค่าเหล่านี้ใช้ได้กับ ไดโอด PIN ทั้งหมด โดยไม่คำนึงถึงขนาดหรือการขยายของเลนส์ ทั้งนี้เพราะการตอบสนอง ไม่ขึ้นกับพื้นที่ เพราะถูกกำหนดด้วยจุดเล็ก ๆ ที่โตขึ้น สังเกตได้ว่ามีข้อแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดระหว่างการตอบสนองของบริเวณภายในและของบริเวณขอบ ดูรูปที่ 2.15

ปกติแล้วการตอบสนองที่ขอบจะได้จากการไบฮัสย์ย้อนกลับเท่านั้น ที่ความยาวคลื่นสั้นกว่าความยาวคลื่นสูงสุดการตอบสนองภายในแทบจะไม่ขึ้นกับการไบฮัสย์ย้อนกลับเลย ที่ความยาวคลื่นที่ยาวกว่าการตอบสนองภายในจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อป้อนไบฮัสย์ย้อนกลับให้มัน ขึ้นอยู่กับว่าป้อนไบฮัสย์ย้อนกลับให้มากเท่าไรและระดับของฟลักซ์สูงเพียงไร ที่ไบฮัสย์ย้อนกลับสูงกว่าโวลเตจทะลุผ่าน (punch through voltage*) การเปลี่ยนแปลงของการตอบสนองภายในมีค่าใกล้ศูนย์ สำหรับที่ระดับของฟลักซ์ปานกลาง

* Punch Through Voltage คือ โวลเตจที่ทำให้บริเวณปลอดพาหะขยายเข้าไปในบริเวณ

พารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งคือ การตอบสนองต่อแสงที่ตกกระทบบ, R_E ซึ่งสัมพันธ์กับบริเวณที่ไวต่อแสง R_E เป็นอัตราส่วนระหว่างกระแสโฟโตกับแสงที่ตกกระทบบ

$$R_E = \frac{I_P}{E_e} = \int [R_\phi(A_D)] dA_D \approx R_\phi A_D \quad \dots\dots\dots (2.23)$$

โดยที่ R_E = การตอบสนองต่อแสงที่ตกกระทบบ มีหน่วยเป็น แอมป์ ต่อ วัตต์ ต่อ ตารางมิลลิเมตร

E_e = แสงที่ตกกระทบบ " วัตต์ ต่อ ตารางมิลลิเมตร

A_D = บริเวณไวแสงที่มีผล " ตารางมิลลิเมตร

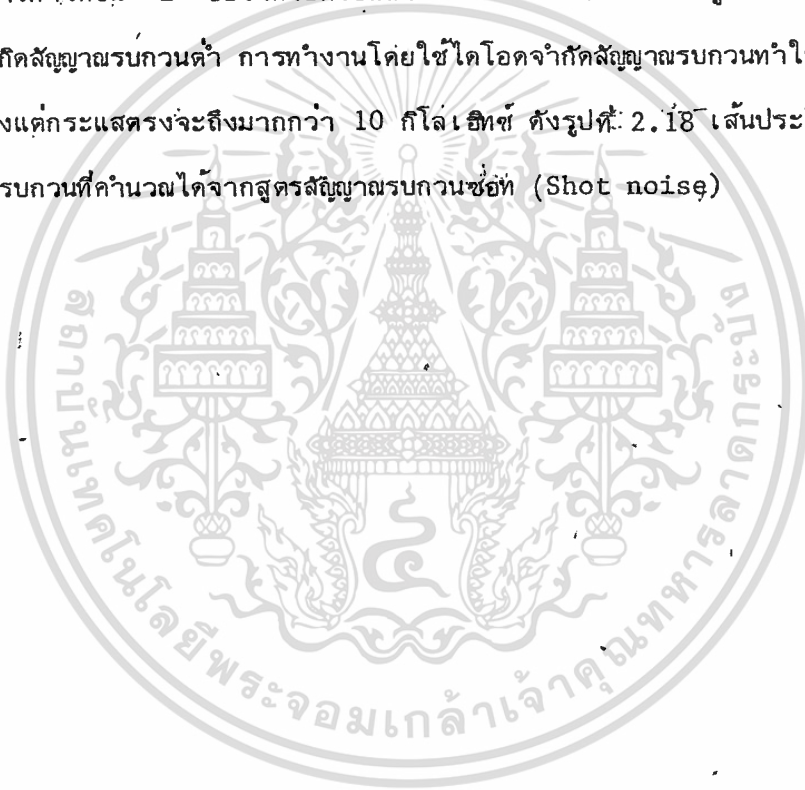
การตอบสนองต่อแสงที่ตกกระทบบจะอธิบายการทำงานของไดโอดรับแสง โดยให้มันถูกฉายด้วยแสงที่กระจายสม่ำเสมอ (flood light) ดังนั้น ผลที่บริเวณขอบจะถูกรวมกับการตอบสนองภายใน การตอบสนองต่อแสงที่ตกกระทบบจะแปรกับการไบอัสย้อนกลับ ในขณะที่บริเวณปลอดพาหะจะแผ่ขยายออกจากบริเวณสาร p

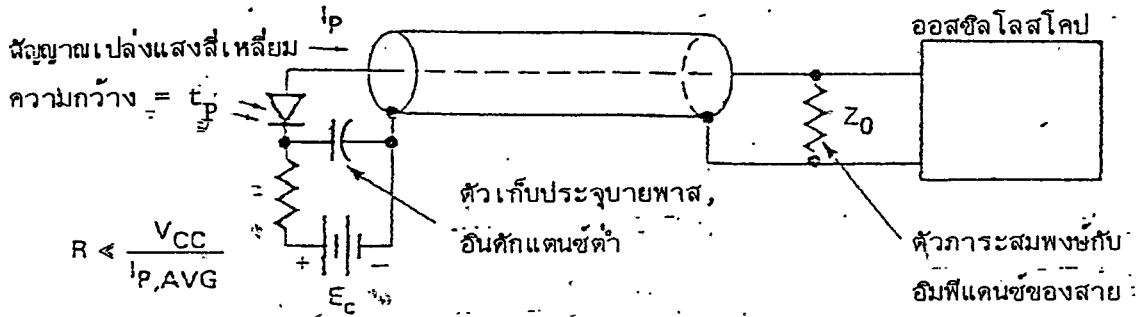
ผลก็คือสามารถอธิบายได้ว่า การตอบสนองต่อแสงที่ตกกระทบบเป็นผลคูณของการตอบสนองกับพื้นที่เท่านั้น อัตราส่วนของเส้นรอบวงต่อพื้นที่จะลดลงขณะที่พื้นที่ของไดโอดรับแสงเพิ่มขึ้นจึงเป็นการปรับปรุงให้มีพื้นที่เพิ่มขึ้น ขณะที่พื้นที่ลดลงโดยการให้ไบอัสย้อนกลับสูงมาก ๆ (มากกว่า 100 โวลท์) พื้นที่ผิวของตัวไดโอดรับแสงจะมีความไวต่อแสง นั่นคือ บริเวณปลอดพาหะสามารถขยายได้ตลอดทาง จากขอบของสาร p ไปยังขอบของแผ่นโฟโตไดโอด

ความเร็วในการตอบสนองยังขึ้นกับพื้นที่ของไดโอดรับแสงที่ถูกฉายแสงและขึ้นกับค่าของไบอัสย้อนกลับ ดังจะเห็นได้จากรูปที่(2.17) นอกจากนี้ยังขึ้นกับความต้านทานของตัวการะฮักด้วย กระแสโฟโตเริ่มไหลเพียงไม่กี่ไมโครวินาที หลังจากที่ป้อนพัลส์ให้ แต่จะมีค่าความจระหว่างรอยต่อ, ความจุของตัวถังและความจุ ระหว่างสายที่ถูกประจุ ค่าคงที่ของเวลาขึ้น/ลง จะขึ้นกับความต้านทานของตัวการะฮักอย่างมาก เว้นเสียแต่ว่าตัวการะฮักจะมีความต้านทานภายในของไดโอดรับแสงเป็นตัวจำกัดความเร็ว ความต้านทานภายในก็คือ ความต้านทาน

ระหว่างแผ่นของสาร p ที่บางมาก ๆ โดยการป้อนพลังที่จุดกลางของบริเวณภายใน กระแสโฟโตที่เกิดขึ้นจะต้องผ่านความต้านทานที่มีค่าสูงสุด อาจสูงถึง 50 โอห์ม ส่วนพลังที่ป้อนให้กับบริเวณภายในที่ส่วนใกล้กับจุดสัมผัสวงแหวนอลูมิเนียมจะให้กระแสที่ต้องผ่านความต้านทานน้อยกว่า

การทำให้ชั้น I ของไดโอดรับแสง PIN มีความต้านทานสูงมาก ๆ จะมีข้อดีคือ ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนต่ำ การทำงานโดยใช้ไดโอดจำกัดสัญญาณรบกวนทำให้สามารถผสมความถี่ได้ตั้งแต่กระแสตรงจะถึงมากกว่า 10 กิโลเฮิทซ์ ดังรูปที่ 2.18 เส้นประในแนวนอนเป็นสัญญาณรบกวนที่คำนวณได้จากสูตรสัญญาณรบกวนช็อต (Shot noise)





ความกว้าง = t_p

ปริมาณเปล่งแสงสีเหลี่ยม

$R < \frac{V_{CC}}{I_{P,AVG}}$

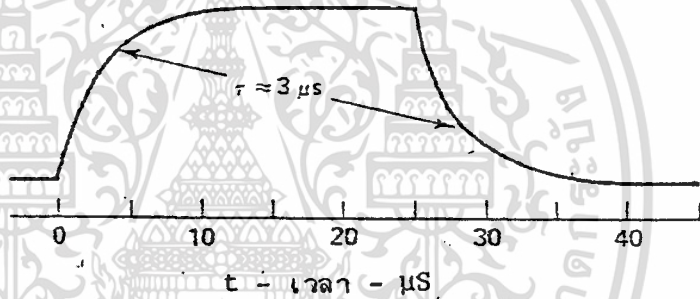
E_c

อย่างน้อยที่สุด 5 โวลต์ เพื่อให้มีความเร็วสูง

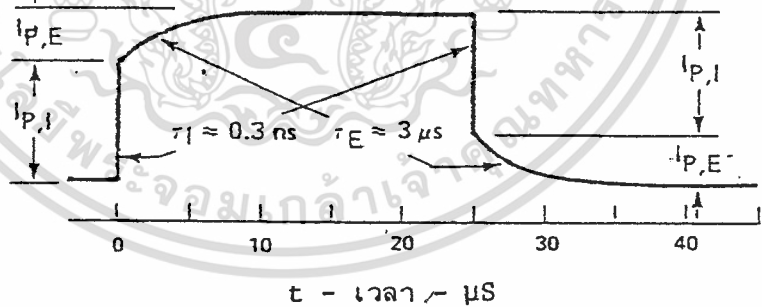
$$C \gg \frac{I_{P,PK} \times t_b}{V_{CC}}$$

ก) วงจรสำหรับความเร็วของการสังเกตการตอบสนอง

แหล่งแสงสม่ำเสมอ โดยที่ $E_c = 0$ (ไบอัสศูนย์) หรือแหล่งแสงเป็นจุดที่ขอบ โดยที่ $E_c < 50 \text{ V}$

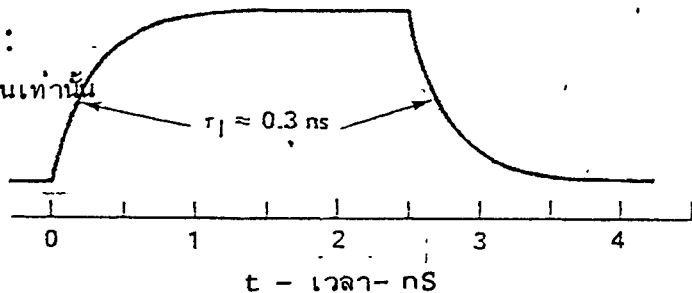


แหล่งแสงสม่ำเสมอ โดยที่ $E_c = 0$ (ไบอัสศูนย์) $I_{P,E}$ = การตอบสนองจากขอบ $I_{P,I}$ = การตอบสนองจากภายใน

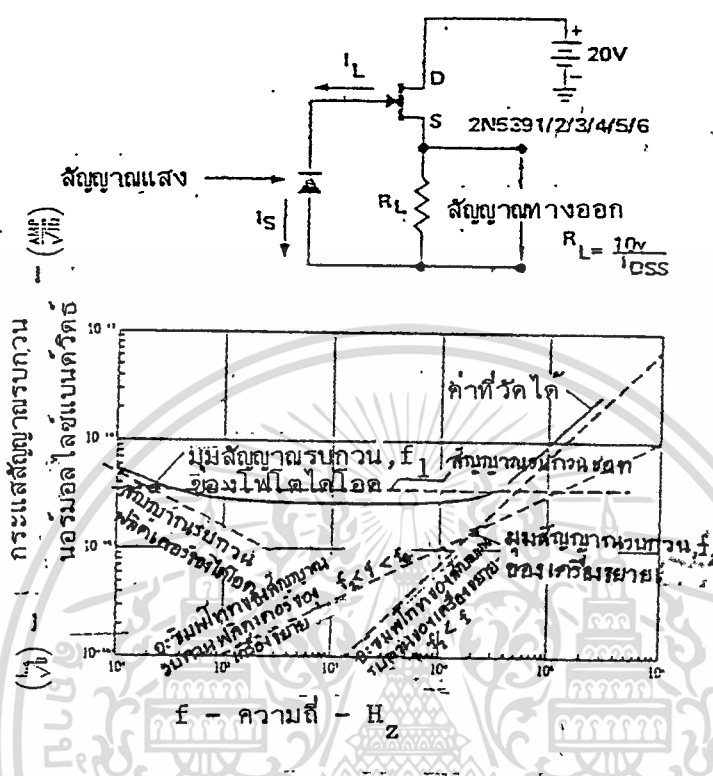


ปลายการตอบสนองที่ขอบจะหายไปเมื่อ:

- จ่ายแหล่งแสงเป็นจุดบริเวณภายในเท่านั้น
- หรือ-ไบอัสสูง ๆ $E_c > 100 \text{ V}$
- หรือ-กวาดคลื่นเร็ว ๆ



ข) รูปคลื่นที่ได้จากการทดสอบความเร็ว



รูปที่ 2.18 แถบความถี่ของสัญญาณรบกวนที่นอร์มอลไลซ์แบบควร์ตซ์ในการผลมสัญญาณเปรียบเทียบกับสัญญาณทางเข้าของเครื่องขยาย

$$\frac{I_{N, Shot}}{\sqrt{B}} = \sqrt{2q I_{dc}} = 17.9 \sqrt{I_{dc}} \dots\dots(2.24)$$

โดยที่ I_N/\sqrt{B} = กระแสสัญญาณรบกวนนอร์มอลไลซ์แบบควร์ตซ์
 มีหน่วยเป็น เฟมโทแอมป์ (1 femtoamps = 1fA = 10^{-16} amp.) ต่อรากที่สองของเฮิรตซ์

q = ประจุอิเล็กตรอน = 1.602×10^{-16} คูลอมป์

I_{dc} = กระแสตรงที่ไหลในไฟโตไดโอด มีหน่วยเป็น นาโนแอมป์ (nA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ปกติกระแสสัญญาณรบกวนที่คำนวณได้จากสมการ (2.24) จะมากกว่าที่วัดได้ถ้าความถี่สูงกว่ามุมสัญญาณรบกวนฟลิคเคอร์ (flicker noise), f_N เพราะกระแสที่ใช้ในสูตร ประกอบด้วยกระแสรบกวนและกระแสรอยต่อ เฉพาะกระแสรอยต่อทำให้เกิดสัญญาณรบกวนชนิดสัญญาณรบกวนความร้อนและสัญญาณรบกวนฟลิคเคอร์ เกิดจากกระแสรบกวน

ในช่วงจากความถี่ต่ำ f_1 ถึงความถี่สูง f_2 กระแสสัญญาณรบกวนทั้งหมดคือ

$$i_N(f_2, f_1) = i_{NO} \sqrt{(f_2 - f_1) + f_n \ln(f_2/f_1)} \quad \dots\dots\dots(2.25)$$

โดยที่ $i_N(f_2, f_1)$ = กระแสสัญญาณรบกวนทั้งหมด มีหน่วยเป็น แอมป์

$$i_{NO} = I_{N, Shot} \sqrt{B}$$

f_2, f_1 = ความถี่ 3 dB สูงและต่ำ มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์

f_N = มุมสัญญาณรบกวนฟลิคเคอร์ มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ ปกติ < 20 เฮิรตซ์

สัญญาณรบกวนที่ไบอัสเป็นศูนย์ คือ สัญญาณรบกวนที่เกิดจากความร้อน ดังมีสูตร คือ

$$I_{N, Therm} = \sqrt{\frac{4kT}{R_{DO}}} = \frac{4}{\sqrt{R_{DO} (G\Omega)}} \left(\frac{fA}{\sqrt{Hz}} \right) \quad \dots\dots\dots(2.26)$$

โดยที่ k = ค่าคงที่โบลทซ์แมนท์ 1.38×10^{-23} จูลต่อองศาเคลวิน

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ คิดที่ $290^\circ K$

R_{DO} = ความต้านทานไดนามิกของไดโอดรับแสงที่ไบอัสเป็นศูนย์

มีหน่วยเป็น กิกกาโอห์ม = 10^9 โอห์ม

$i_{NO} \sqrt{B}$ = กระแสสัญญาณรบกวนนอร์มอลไลซ์แบนด์วิธ มีหน่วยเป็น fA

$$R_{DO} = \left(\frac{kT}{q} \right) \left(\frac{1}{I_S} \right) \quad \text{กิกกาโอห์ม} \quad \dots\dots\dots(2.27)$$

โดยที่ I_S = กระแสอิ่มตัวไบอัสย้อนกลับ มีหน่วยเป็น นาโนแอมป์

แทนค่า R_{DO} ในสมการ (2.26)

$$I_{N, Therm} = \sqrt{4q I_S} = 25.3 \sqrt{I_S (nA) (fAVHz)}$$

เมื่อป้อนพัลส์สัญญาณให้ไดโอดรับแสงกระแสไฟโตที่ใดจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนข้อห
เต็มที ดังนั้น อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนถูกจำกัดความถี่ด้วยกระแสไฟโต เมื่อป้อน
สัญญาณต่อกระแสสัญญาณรบกวนเมื่อไม่ป้อนสัญญาณ

$$\frac{S}{N} \triangleq \frac{I_P}{I_N} = \frac{\psi \cdot R_\phi}{I_N} \dots\dots (2.28)$$

$\psi =$ พัลส์ทั้งหมด

กำลังสมมูลย์ของสัญญาณรบกวน (Noise Equivalent Power) ถูกจำกัด

ความถี่ระดับพัลส์ของสัญญาณ ซึ่ง $S/N = 1.0$ สำหรับ $B = 1 \text{ Hz}$

$$NEP \triangleq \frac{I_N / \sqrt{B}}{R_\phi} \left(\frac{fW}{\sqrt{Hz}} \right) \dots\dots (2.29)$$

ในกรณีที่ใช้แสงกระจาย อัตราส่วนสัญญาณ นอร์มอลไลซ์แบนด์วิดซ์ในการผสมสัญญาณ

สัญญาณรบกวนคือ $\frac{S}{N} = \frac{E_e R_\phi A_D}{I_N / \sqrt{B}} \dots\dots (2.30)$

2.7.3 แบบจำลองของวงจร

แบบจำลองที่ง่ายที่สุดของไดโอดรับแสง คือ ไดโอดธรรมดาต่อขนานกับแหล่งจ่ายกระแส
ดังรูปที่ 2.19ก) ขนาดของแหล่งจ่ายกระแสขึ้นกับเรเดียนพัลส์ที่ไดโอดรับแสงรับได้ กระแสไฟโต
ไหลจากคาโอดไปอะโนด ถ้าไบฮัสเป็นศูนย์กระแสไฟโตจะทำให้อะโนดเป็นบวกเมื่อเทียบกับคาโอด
กระแสไฟโตบางส่วนจะไหลผ่านตัวการะ, บางส่วนจะไหลกลับผ่านไฟโตไดโอด ถ้าตัวการะมีความต้าน
ทานสูงมาก หรือวงจรถูกเปิดกระแสเกือบทั้งหมดจะไหลในทิศทางตรงผ่านไดโอด

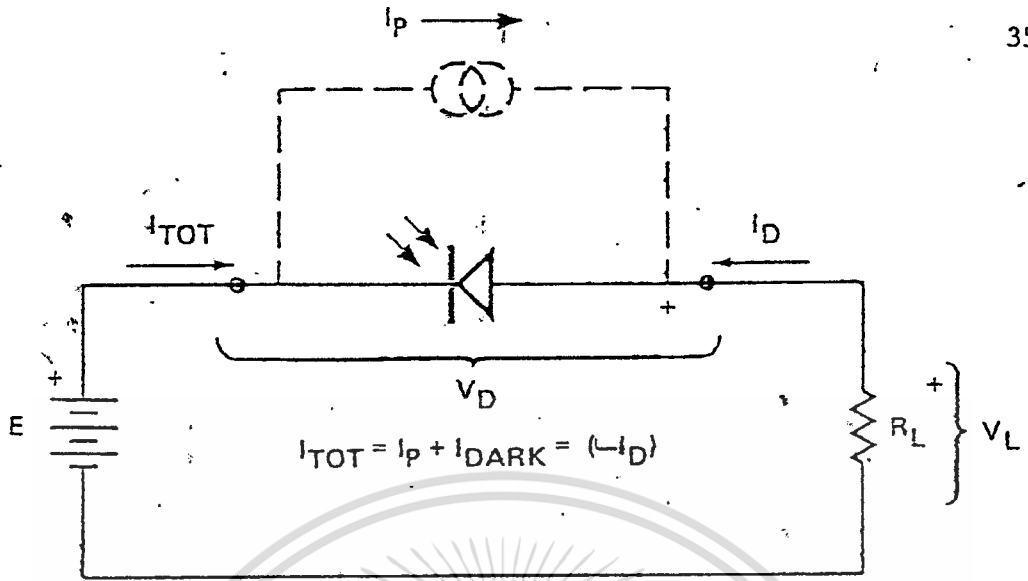
การทำงานเมื่อไบฮัสเป็นศูนย์เรียกว่า วิธีไฟโตโวลตาอิก เพราะว่าไดโอดรับแสงจ่าย

โวลเตจให้ตัวภาวะโดยตรง การทำงานวิธีโฟโตโวลตาอิก จะเป็นเชิงเส้นหรือลอการิทึมขึ้นกับ ความต้านทานของตัวภาวะ ถ้าความต้านทานต่ำการทำงานจะเป็นแบบเชิงเส้น ถ้าความต้านทาน ภาพสูง ๆ คือมีมากกว่า 10^{11} โอห์ม การทำงานจะเป็นแบบลอการิทึม และความไวจะสูงขึ้น

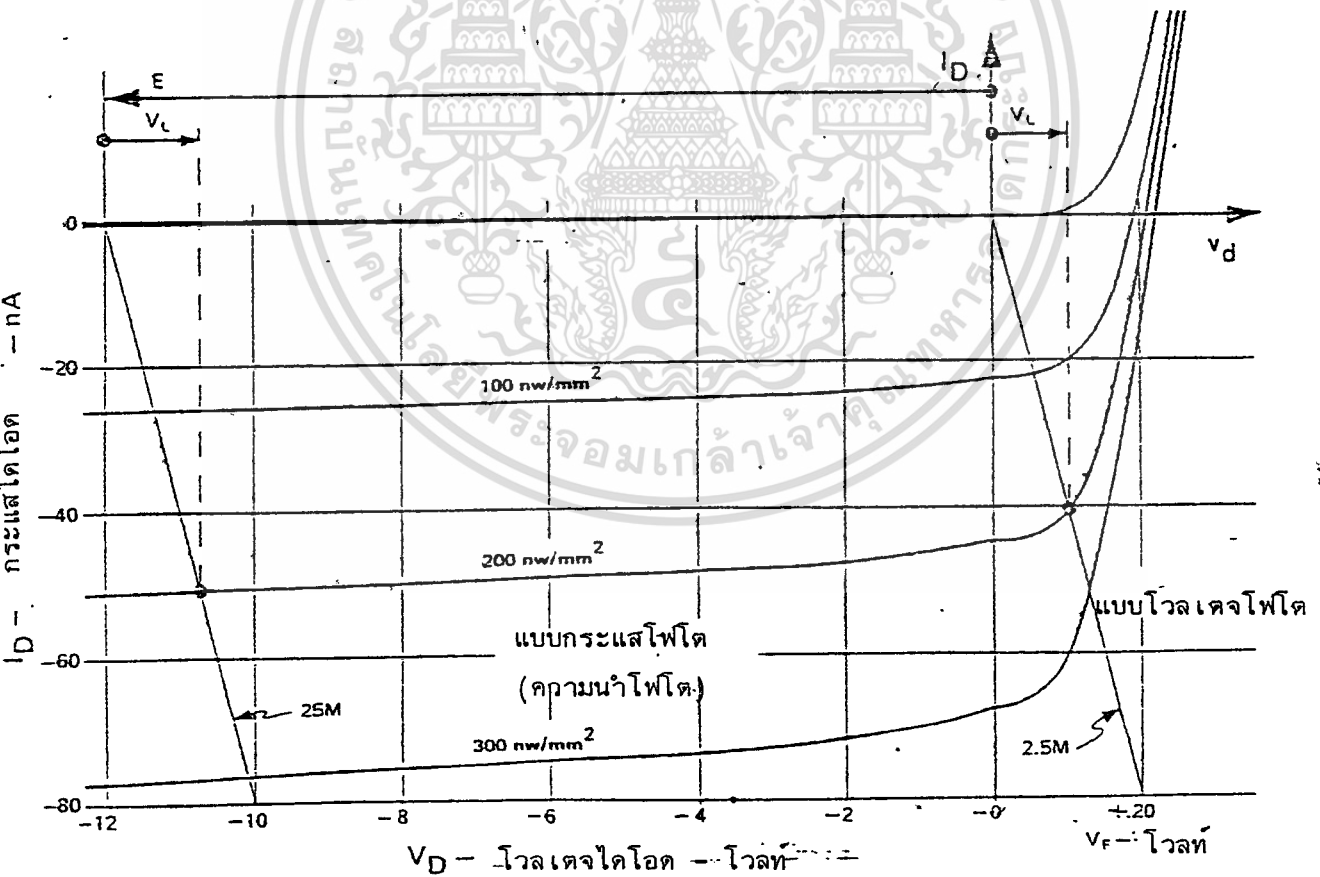
การทำงานเมื่อไบฮัสย้อนกลับ เรียกว่าวิธีกระแสโฟโต หรือการนำโฟโตซึ่งมีข้อดีกว่า วิธีโฟโตโวลตาอิกคือ

1. ความเร็วสูงกว่า
2. มีความเสถียรมากกว่า
3. ช่วงกว้าง ไดนามิกมากกว่า
4. สัมประสิทธิ์อุณหภูมิต่ำกว่า
5. ปรับปรุงการตอบสนองต่อคลื่นยาวที่บริเวณภายใน
6. ปรับปรุงการตอบสนองต่อคลื่นสั้นที่บริเวณขอบ

การทำงานวิธีกระแสโฟโตนี้ กระแสที่ไหลกลับส่วนใหญ่คือ กระแสมืด (~~$I_{Dark} = Dark$~~ Current) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการไบฮัสย้อนกลับ กระแสมืดคือ กระแสที่ไหลเมื่อไม่มีเรเดียนท์ ฟลักซ์ให้ไดโอดรับแสง กระแสมืดจะไหลผ่าน R_L ทำให้เกิดออฟเซตโวลเตจซึ่งแปรอย่างเอกซโป เนนเชียลกับอุณหภูมิ, สัญญาณรบกวนฟลิคเคอร์รี่ก็เกิดจากการไบฮัสย้อนกลับเช่นเดียวกัน



ก) วงจรจำลองของ ไดโอดรับแสง PIN

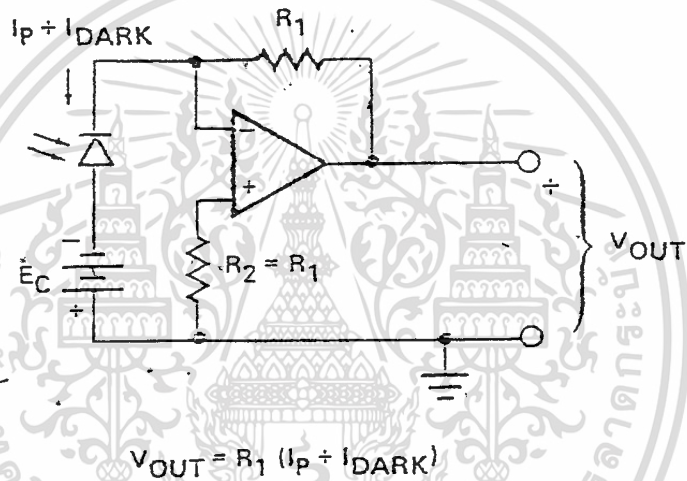


ข) คุณสมบัติ โวลเตจ/กระแสของไดโอดรับแสง PIN

รูปที่ 2.19 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดรับแสง PIN

2.7.4 การขยายสัญญาณแบบพื้นฐาน

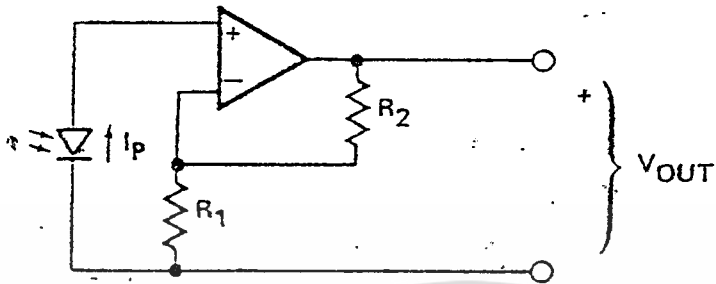
สำหรับการทำงานแบบเชิงเส้น ความต้านทานตัวการะของไดโอดรับแสงจะต้องมีค่าต่ำ รูปที่ (2.20) แสดงวงจรการขยายที่นำไปใช้ได้



รูปที่ 2.20 วงจรขยายไดโอดรับแสงแบบการตอบสนองเชิงเส้น

ความต้านทานไดนามิกที่มองจากไดโอดรับแสงคือ R_1 หากด้วยรูปแทน, R_2 ใส่ไว้เพื่อช่วยแก้กระแสออฟเซต ความเร็วในการตอบสนองถูกจำกัดด้วยค่าเวลาคงตัวที่เกิดจาก R_1 กับค่าความจุของตัว R_1 เอง วิธีแก้ก็คือ ใช้ค่าความต้านทานต่ออนุกรมกันหลาย ๆ ตัว แทนที่จะใช้ตัวเดียวเพื่อทำให้ค่าความจุลดลง

สำหรับการทำงานแบบลอกการหิมต้องการให้ความต้านทานตัวการะสูงเท่าที่จะทำได้ อย่างน้อย 10 กิโลโอห์ม โดยใช้เพอซิทอปโฟลอมป์ ดังรูปที่ 2.21 การทำแบบนี้ทำให้ความเร็วในการตอบสนองต่ำ คือค่าเวลาคงที่, τ ประมาณ 0.1 วินาที



$$V_{OUT} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{kT}{q} \log_e \left(1 + \frac{I_p}{I_S}\right)$$

$$\frac{kT}{q} \approx 25 \text{ mV}$$

$$I_S = \frac{I_F}{\frac{qV}{kT} - 1} \quad \text{AT} \quad 0 < I_F < 0.1 \text{ mA}$$

รูปที่ 2.21 วงจรขยายของไดโอดรับแสงแบบการตอบสนอง

ลอกการพิมพ์

บทที่ 3

กฎแฉรหัสอิเล็กทรอนิกส์

3.1 ความนำ

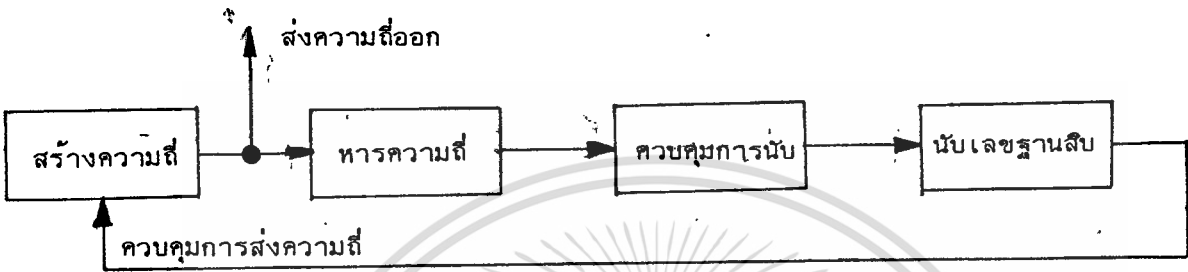
การสร้างกฎแฉรหัสมีจุดประสงค์เพื่อนำไปใช้งานที่ต้องการความปลอดภัยและความเชื่อถือได้สูง รวมทั้งขนาดของลูกกุญแจจะต้องมีขนาดเล็กกระทัดรัดสามารถนำติดตัวไปได้สะดวก กินกำลังไฟน้อย บทนี้จึงได้เสนอวิธีการเข้ารหัสแล้วส่งสัญญาณไปกับแสงอินฟราเรดโดยใช้อินฟราเรดไดโอด และรับด้วยตัวรับแสงอินฟราเรด การถอดรหัสจะเกิดขึ้นเมื่อความถี่ที่ส่งไปถูกต้องตามที่ตั้งไว้เท่านั้น วงจรนี้เหมาะสำหรับนำไปสร้างเป็นวงจรร่วมขนาดกลาง (MSI) ได้เป็นอย่างดีซึ่งจะทำให้ขนาดเล็กระทัดรัดตามจุดประสงค์

3.2 หลักการทั่วไป

กฎแฉรหัสนี้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ลูกกุญแจ และแม่กุญแจ

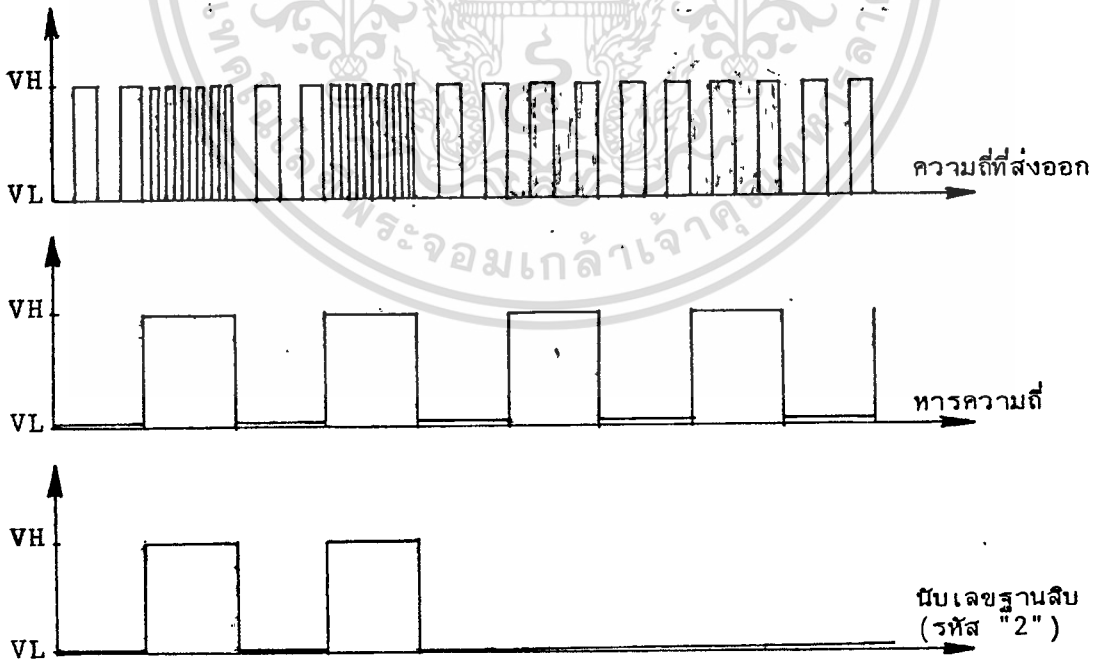
3.2.1 หลักการทำงานของลูกกุญแจ

หลักการทำงานของลูกกุญแจคือ มีตัวสร้างความถี่ซึ่งสามารถเปลี่ยนความถี่ได้โดยการควบคุมด้วยสัญญาณลอจิก "0" หรือ "1" ผ่านตัวหารความถี่ เพื่อให้ความถี่ลดลงสำหรับนำไปสร้างเป็นรหัส ผ่านวงจรควบคุมการนับซึ่งเราสามารถตั้งเอาไว้ได้ว่าในการส่งรหัสแต่ละครั้งจะให้ป็นรหัสอะไร ผ่านวงจรมับเลขฐานสิบ เพราะในที่นี้เราใช้รหัสเป็นเลขฐานสิบ เพื่อไปควบคุมการส่งรหัสออกอีกต่อหนึ่ง เมื่อส่งรหัสตัวแรกออกไปเรียบร้อยแล้ว ก็ทำการส่งรหัสตัวต่อไปให้ครบถูกต้องตามลำดับ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงการทำงานของลูกกฏยแจ

แผนภาพเวลาการทำงานของลูกกฏยแจ ดังรูปที่ 3.2

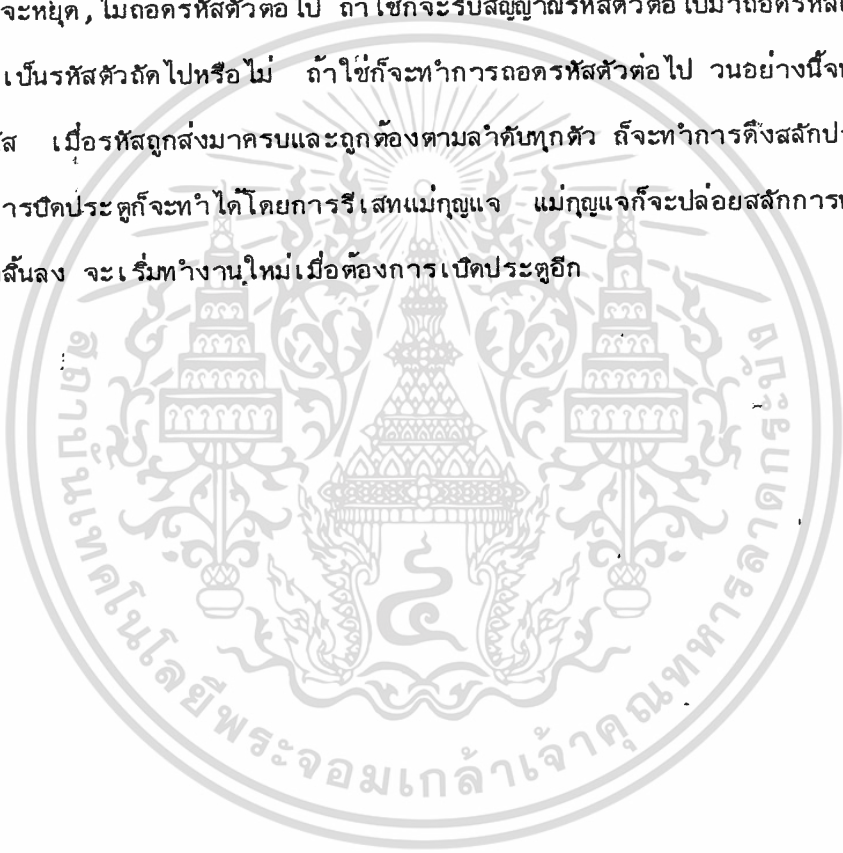


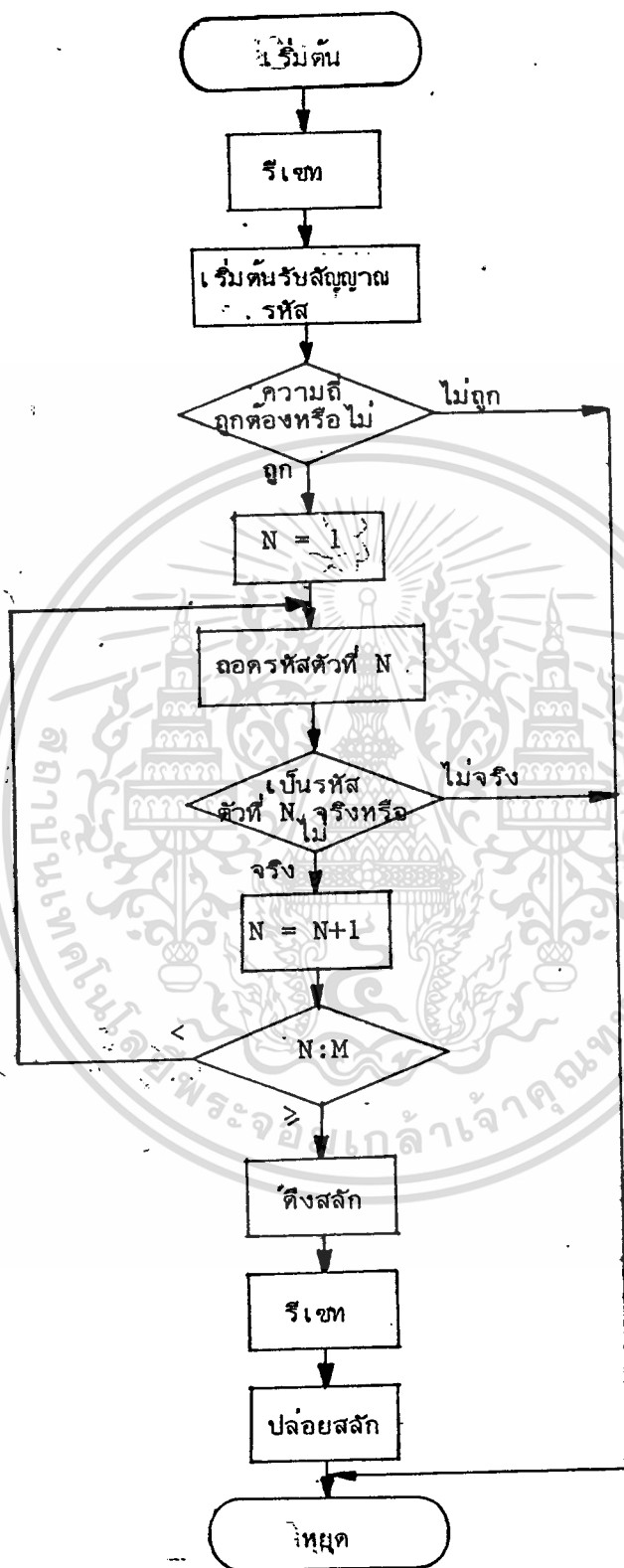
รูปที่ 3.2 แผนภาพเวลาของสัญญาณทางออกที่ตำแหน่งต่าง ๆ

ของลูกกฏยแจเมื่อทำการกดสวิทช์ส่งรหัส

3.2.2 หลักการทํางานของแม่กัญแจ

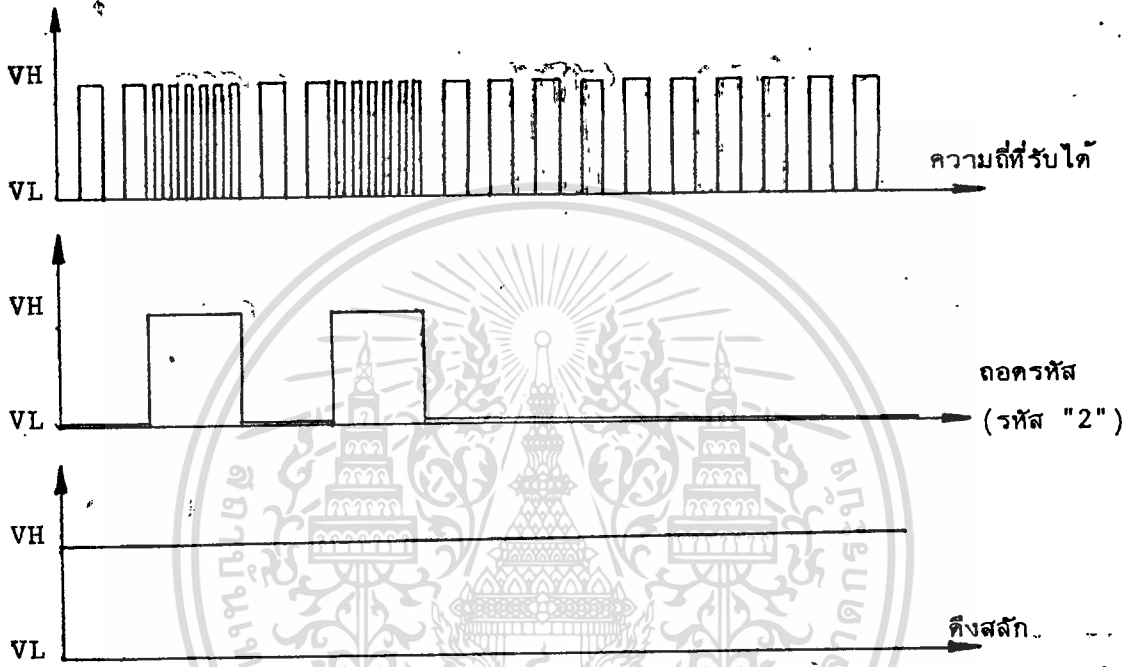
สำหรับแม่กัญแจมีหลักการทํางานดังโพลซาร์จรูปที่ 3.3 กล่าวคือ เริ่มต้นรับสัญญาณรหัส ถ้าความถี่ถูกต้องก็จะเริ่มทำการถอดรหัส ถ้าไม่ถูกต้องก็จะหยุด ถอดรหัสไม่ได้ เมื่อถอดรหัสตัวแรกได้ก็จะทำการตรวจดูว่าเป็นรหัสตัวที่ 1 ตามที่ตั้งไว้หรือไม่ ถ้าไม่ใช่ก็จะหยุด, ไม่ถอดรหัสตัวต่อไป ถ้าใช่ก็จะรับสัญญาณรหัสตัวต่อไปมาถอดรหัสและตรวจดูว่าเป็นรหัสตัวถัดไปหรือไม่ ถ้าใช่ก็จะทำการถอดรหัสตัวต่อไป วนอย่างนี้จนกว่าจะหมดรหัส เมื่อรหัสถูกส่งมาครบและถูกต้องตามลำดับทุกตัว ก็จะทำการดึงสลับประตูออก เมื่อต้องการปิดประตูก็จะทำได้โดยการรีเซ็ตแม่กัญแจ แม่กัญแจก็จะปล่อยสลับการทํางานก็จะเสร็จสิ้นลง จะเริ่มทํางานใหม่เมื่อต้องการเปิดประตูอีก





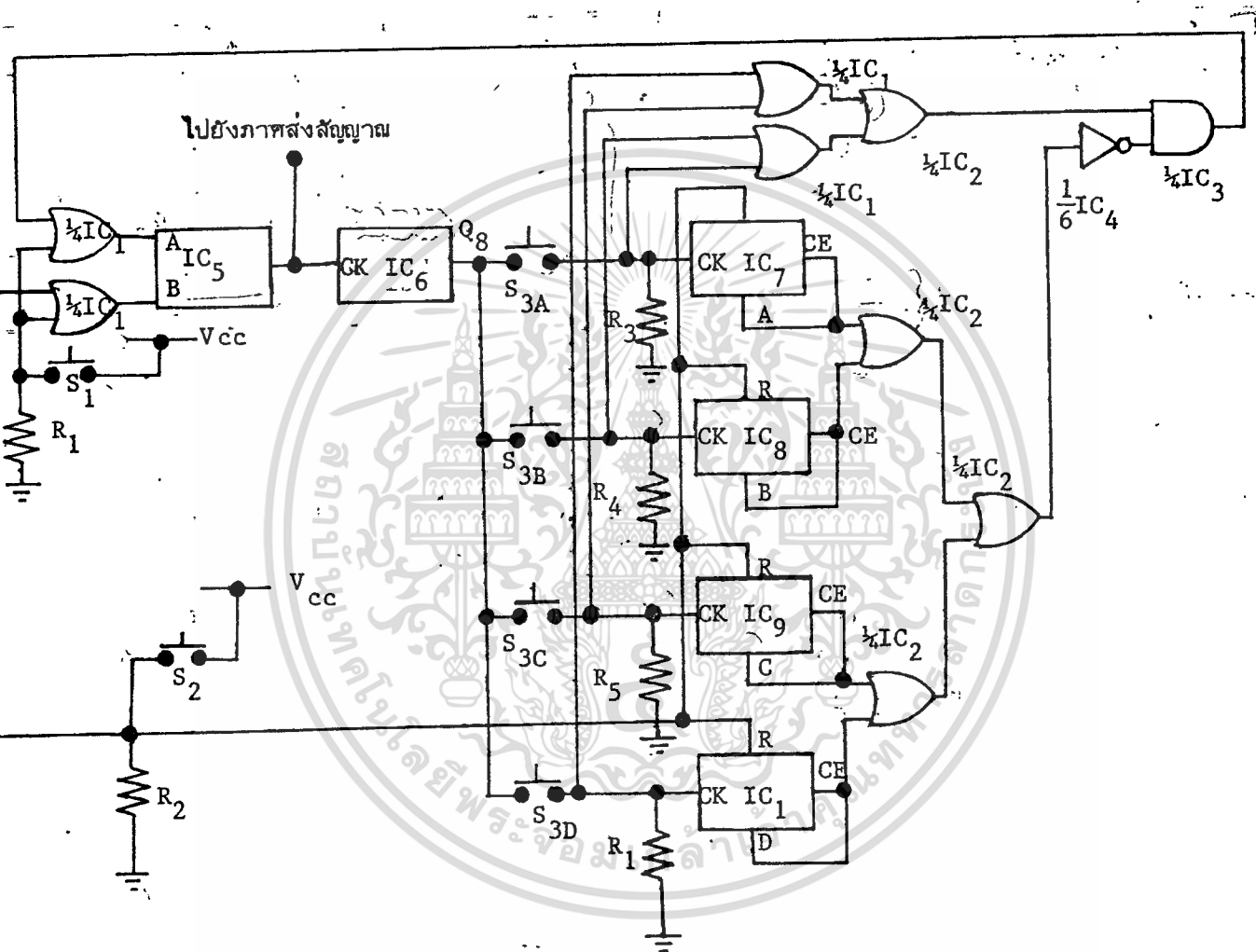
รูปที่ 3.3 โฟลชาร์จแสดงการทำงานของแม่กุญแจ

แผนภาพเวลาการทำงานของแม่กุญแจ. ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผนภาพเวลาที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของแม่กุญแจที่รับได้ เมื่อลูกกุญแจส่งรหัสมาให้

3.3 ลูกกฏญแจ

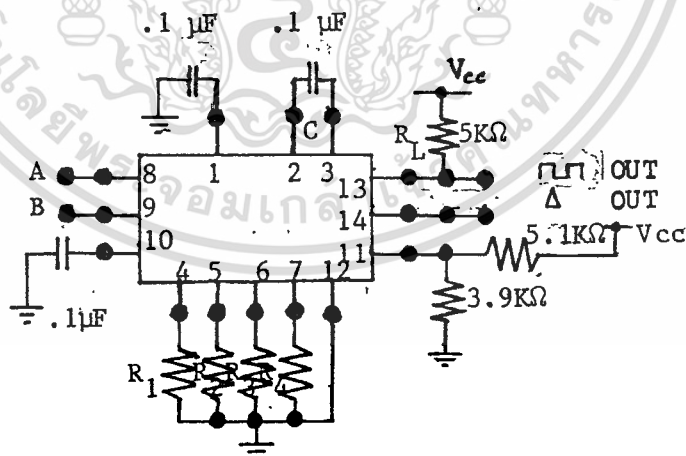


รูปที่ 3.5 วงจรใช้งานของลูกกฏญแจ

จากรูปที่ 3.5 เป็นรูปวงจรถ่ายใช้งานของลูกกฏญแจ ดังมีรายละเอียดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

IC_1, IC_2	=	74C32
IC_3	=	74C08
IC_4	=	74C04
IC_5	=	XR2207
IC_6	=	CD4020
$IC_7, IC_8, IC_9, IC_{10}$	=	CD4017
$R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$	=	100 K Ω
S_1, S_2, S_3	=	สวิตช์บอร์ดสรีทซ์

ลูกกฏณเจ้านี้ใช้ไอซีเบอร์ XR2207 ซึ่งเป็นออสซิลเลเตอร์ที่ควบคุมด้วยระดับ
 ศักดา (VCO) เป็นออสซิลเลเตอร์ซึ่งสามารถโปรแกรมความถี่ได้ถึง 4 ความถี่ โดยการ
 ควบคุมขา A, B ด้วยสัญญาณลอจิก ดังนี้



รูปที่ 3.6 วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ควบคุมด้วยระดับศักดา
 ใช้ไอซีเบอร์ XR2207

A	B	ความถี่	
0	0	$f_1 = f_A$	$f_1 = 1/R_3 C$
0	1	$f_1 + \Delta f_1 = f_C$	$\Delta f_1 = 1/R_4 C$
1	0	$f_2 = f_D$	$f_2 = 1/R_2 C$
1	1	$f_2 + \Delta f_2 = f_B$	$\Delta f_2 = 1/R_1 C$

ในที่นี้ใช้ $R_1 = 10 \text{ K}\Omega$ นั่นคือ $\Delta f_2 = 1 \text{ KHz}$
 $R_2 = 5 \text{ K}\Omega$ " $f_2 = 2 \text{ KHz}$
 $R_3 = 15 \text{ K}\Omega$ " $f_1 = 660 \text{ Hz}$
 $R_4 = 20 \text{ K}\Omega$ " $\Delta f_1 = 500 \text{ Hz}$

ดังนั้น ความถี่ที่ส่งออกมีทั้งหมด 4 ความถี่ ดังนี้

$$f_A = 600 \text{ Hz}$$

$$f_B = 3 \text{ KHz}$$

$$f_C = 1.16 \text{ KHz}$$

$$f_D = 2 \text{ KHz}$$

รายละเอียดการทำงานของลูกกุญแจมีดังนี้

ในสภาวะปกติเมื่อเริ่มเปิดสวิตช์ให้ลูกกุญแจทำงาน ขา A, B จะมีลอจิกเป็น "0", "0" จะมีความถี่ f_A ถูกส่งออกไป ความถี่ f_A นี้เราใช้ส่งไปเพื่อตรวจสอบว่าแม่กุญแจพร้อมที่จะทำการถอดรหัสหรือไม่ โดยถ้าแม่กุญแจพร้อมที่จะทำงานแล้ว จะมีไดโอดเปล่งแสงแสดงผล ถ้าไดโอดเปล่งแสงติดแสดงว่าพร้อมแล้ว

ต่อไปเมื่อกดสวิตช์ S_1 ขา A, B จะเป็น "1", "1" จะมีความถี่ f_B

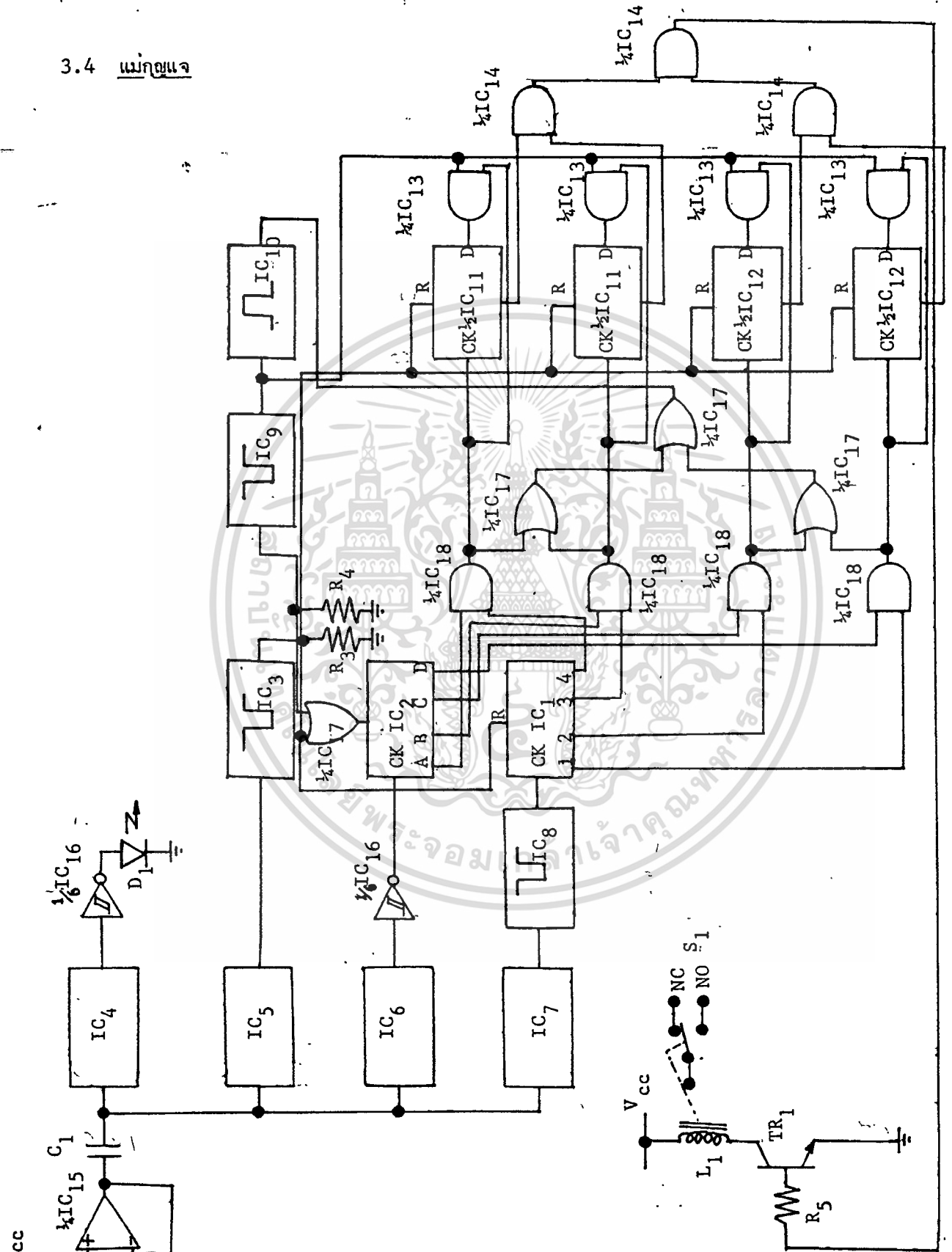
ถูกส่งออกไป เราใช้ความถี่ในการรีเฟรชฟิล์มฟลอมและวงจรมับเลขฐานสิบ

ต่อไปกกดสวิตช์ S_2 เพื่อรีเซ็ตวงจรนับเลขฐานสิบของลูกกุญแจ ขณะเดียวกันขา A , B จะเป็น "0", "1" ความถี่ f_C จะถูกส่งออกไปเพื่อให้วงจรนับเลขฐานสิบ (IC_1) นับต่อไปอีก 1 เพื่อให้เกต AND ตัวที่จะส่งข้อมูล ไปให้ฟิล์มฟลอมข้อมูล (D-Flip-Flop) พร้อมทั้งจะทำงานได้

จากนั้นเราก็สามารถที่จะกดสวิตช์รหัส เพื่อส่งสัญญาณ ไปให้แม่กุญแจถอดรหัสได้ โดยการกดสวิตช์ S_{3A} , S_2 , S_{3B} , S_2 , S_{3C} , S_2 , S_{3D} ตามลำดับ ในที่นี้ ใช้ 4 รหัส จะได้รหัสที่เป็นไปได้ถึง 10^4 รหัส การกดสวิตช์รหัสทั้งหมดจะต้องกดตามลำดับดังนี้ S_1 , S_2 , S_{3A} , S_2 , S_{3B} , S_2 , S_{3C} , S_2 และ S_{3D} ไม่เช่นนั้นแล้วการถอดรหัสก็จะล้มเหลว ดังนั้น ผู้ที่กดสวิตช์รหัสจะต้องรู้ตำแหน่งที่แน่นอนของรหัสทั้งหมด คนที่ไม่รู้รหัสจะมีโอกาสสุ่มได้น้อยมากและซึ่งถ้าเราเพิ่มสวิตช์ S_3 เป็น 10 ตัว หลอกไว้ก็ยิ่งทำให้โอกาสที่จะกดสุ่มได้ถูกยิ่งน้อยลงมาก ๆ หรือแทบจะไม่มีเลย

ทุกครั้งที่กดสวิตช์ S_3 ตัวใดตัวหนึ่ง เช่น S_{3A} สมมติให้วงจรนับเลขฐานสิบ (CD 4017) ตัวที่ต่อกับ S_{3A} ถูกต่อตำแหน่ง "8" กับขา CE (Clock Enable) ดังนั้นวงจรนับเลขฐานสิบก็จะนับสัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรนับเลขฐานสอง (CD 4020) จนครบ 8 พัลส์ ก็จะบังคับตัวมันเองไม่ให้ทำงานต่อ ขณะที่วงจรนับเลขฐานสิบนับพัลส์อยู่นั้น พัลส์เหล่านี้ก็จะผ่านเกต AND ไปยังขา A ของ XR2207 ได้นั้นคือถ้าขา A เป็น "1" ขา B เป็น "0" XR2207 ก็จะส่ง f_D ออกไปเป็นช่วง ๆ ตามลักษณะของพัลส์พอ วงจรนับเลขฐานสิบนับพัลส์ครบตามที่เรากำหนด ขา "8" และ CE ของมันก็จะมีลอจิก "1" วงจรนับเลขฐานสิบก็จะหยุดนับและเกต AND ก็จะถูกปิดเกตด้วยลอจิก "0" ที่ขาสัญญาณทางเข้าขาหนึ่ง จึงไม่มีพัลส์ไปที่ขา A ของ XR2207 อีก ดังนั้น ถ้าต้องการให้เกต AND เปิดใหม่ เพื่อที่จะส่งรหัสตัวต่อไปออกไปเราต้องกดสวิตช์ S_2 เพื่อรีเซ็ตวงจรนับเลขฐานสิบใหม่ ขณะเดียวกันก็จะส่ง f_C ออกไป เพื่อให้วงจรนับเลขฐานสิบทางแม่กุญแจนับไปอีก 1 เพื่อจะได้ตรวจสอบได้ว่ารหัสตัวต่อไปถูกต้อง

3.4 แมกนุญแจ



รูปที่ 3.7 วงจรใช้งานของแมกนุญแจ

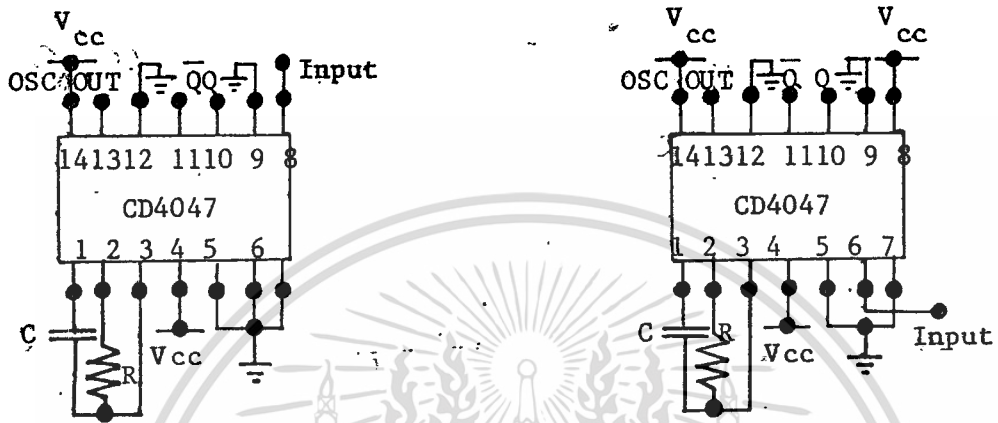
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.7 เป็นรูปร่างการใช้งานของแม่กฏแล ดังมีรายละเอียดของอุปกรณ์

ต่าง ๆ ดังนี้

D_1	=	ไดโอดเปล่งแสง
IC_1, IC_2	=	CD4017
$IC_7, IC_8, IC_9, IC_{10}$	=	CD4047
IC_4, IC_5, IC_6, IC_7	=	LM567
IC_{11}, IC_{12}	=	CD4013
$IC_{13}, IC_{14}, IC_{18}$	=	74C08
IC_{15}	=	LM324
IC_{16}	=	74C14
IC_{17}	=	74C32
TR_1	=	2N2222A
R_1, R_2, R_3, R_4	=	100 K Ω
R_5	=	5 K Ω
L_1	=	ขดลวดรีเลย์
S_1	=	รีเลย์คอนแทค
C_1	=	1 μF

รายละเอียดอุปกรณ์เพิ่มเติมของ IC LM567 และ CD4047 มีดังนี้

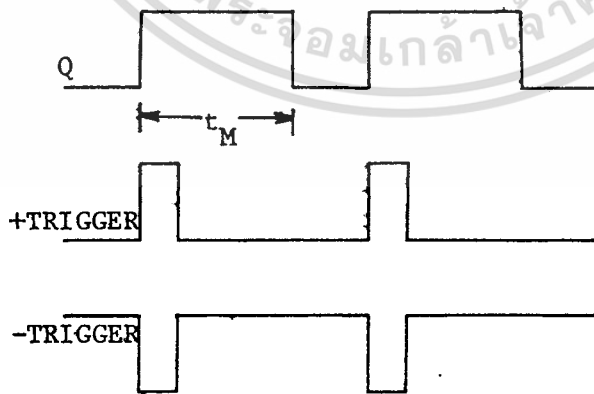


ก)

ข)

รูปที่ 3.8 ก) Positive Edge Trigger

ข) Negative Edge Trigger

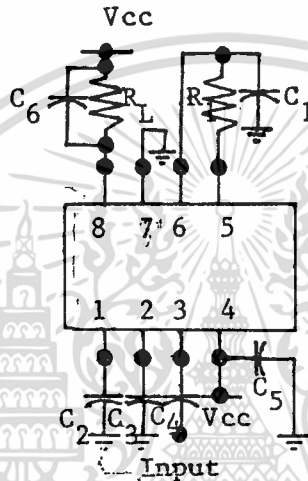


รูปที่ 3.9 แผนภาพเวลาของ CD4047

จากรูปที่ 3.8 ใช้ $C = 0.05 \mu\text{F}$

$R = 100 \text{ K}\Omega$

$$t_M = 2.48 RC$$



รูปที่ 3.10 รายละเอียดอุปกรณ์ของโทนดีโคเดอร์ LM567

จากรูปที่ 3.10 เป็นรูปรายละเอียดอุปกรณ์ของ LM567 โทนด์โคเดอร์

ซึ่งมีอุปกรณ์ที่ใช้ดังนี้

$$C_2, C_5 = 1 \mu\text{F}$$

$$C_3 = 22 \mu\text{F}$$

$$C_4, C_6 = 1 \mu\text{F}$$

$$R_L = 20 \text{ K}\Omega$$

$$R_1 = \text{VR } 10 \text{ K}\Omega \text{ แบบปรับ } 10 \text{ รอบ}$$

$$C_1 \text{-- คำนวณจาก } f_o = \frac{1}{R_1 C_1} \text{ โดยให้ } R_1 = 5 \text{ K}\Omega$$

$$C_1 \text{ ของ } IC_4 = 0.3 \mu\text{F}$$

$$C_1 \text{ ของ } IC_5 = 0.05 \mu F$$

$$C_1 \text{ ของ } IC_6 = 0.1 \mu F$$

$$C_1 \text{ ของ } IC_7 = 0.2 \mu F$$

รายละเอียดการทำงานของแมกนุญแจมีดังนี้

แมกนุญแจเมื่อรับสัญญาณจากลูกกุญแจแล้วก็จะแยกผ่านโทนดีโคดเตอร์ ดังนี้

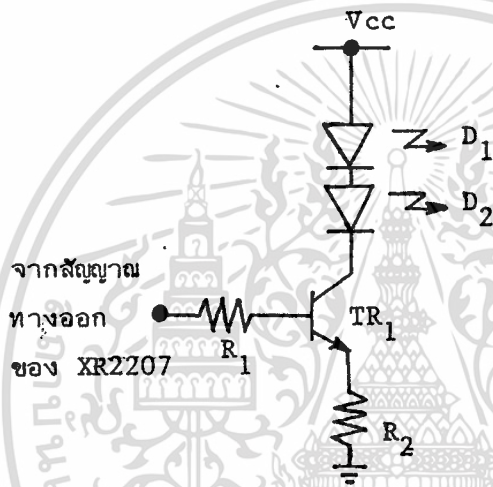
f_A เมื่อโทนดีโคดเตอร์ สำหรับ f_A แปลสัญญาณที่ได้สัญญาณทางออกของโทนดีโคดเตอร์ก็จะมีลอจิก "0" ผ่าน ตัวกลับขั้วคาสำหรับทำให้ไดโอดเปล่งแสงติด เพื่อเป็นดัชนีชี้บอกให้ทราบว่าเครื่องส่ง-รับทำงานปกติ พร้อมทั้งจะส่ง-รับรหัสระหว่างกันได้

f_B เมื่อโทนดีโคดเตอร์แปลสัญญาณ f_B ได้สัญญาณทางออกของมันก็จะมีลอจิก "0" ผ่านวงจรหน่วงเวลาแบบทำงานในช่วง "1" ไป "0" (Negative-Edge Trigger) จะได้อัลไซไปรีเลทวงจรมับเลขฐานสิบและฟลิปฟลอปทุกตัว

f_C ส่งไปเพื่อให้เกิดการทำงานเช่นเดียวกับ f_B แต่จะเอาอัลไซที่ได้จากวงจรหน่วงเวลาไปให้วงจรมับเลขฐานสิบไปที่ละ 1 เพื่อไปเปิดเกต AND ของรหัสแต่ละตัว ในที่นี้เราใช้รหัส 4 ตัว จึงต่อตำแหน่ง "1", "2", "3" และ "4" ไว้เพื่อเปิดเกต AND ของรหัสแต่ละตัว สมมติให้รหัสเป็น A, B, C, D ตามลำดับ ดังนั้น ตำแหน่ง "1", "2", "3" และ "4" ก็ใช้เปิดเกต AND ของรหัส A, B, C และ D ตามลำดับ นั่นคือ รหัสตัวแรกที่จะต้องส่งมาคือรหัสเลข A ถ้ารหัสส่งมาถูกเกต AND ตัวแรกก็จะมีสัญญาณทางออกเป็น "1" ทำให้ฟลิปฟลอปข้อมูลถ่ายเทข้อมูลไปที่สัญญาณทางออก สัญญาณนี้ก็จะไปเปิดเกต AND ตัวแรก (IC_{14}) ขณะเดียวกันจะมีอัลไซจากวงจรหน่วงเวลาแบบทำงานในช่วง "1" ไป "0" ไปรีเลทวงจรมับเลขฐานสิบ (IC_2) เพื่อให้วงจรมับเลขฐานสิบนี้สามารถถอดรหัสตัวต่อไปได้ ถ้ารหัสทุกตัวที่ส่งไปถูกต้องหมด สัญญาณทางออกของเกต AND ตัวสุดท้าย (IC_{14}) จะมีลอจิก "1" เราสามารถนำสัญญาณนี้ไปควบคุมโซลินอยด์ให้ดึงสลักเปิดประตูได้

ถ้าหากรหัสที่ส่งออกไปตัวใดไม่ถูกต้อง การทำงานทั้งหมดก็จะล้มเหลว ต้องเริ่มต้นใหม่โดยการกดสวิตช์ $S_1, S_2, S_{3D}, S_2, S_{3B}, S_2, S_{3C}, S_2$ และ S_{3D} ตามลำดับ

3.5 ภาคส่งสัญญาณ



รูปที่ 3.11 วงจรภาคส่งสัญญาณ

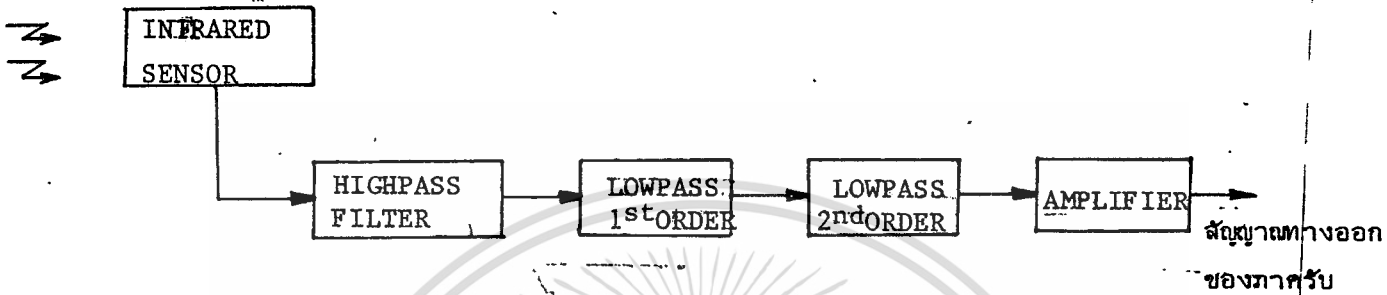
จากรูปที่ 3.11 รายละเอียดของอุปกรณ์มีดังนี้

D_1, D_2	=	อินฟราเรดไดโอด
TR_1	=	2N2222 A ทรานซิสเตอร์
R_1, R_2	=	1 K Ω

ภาคส่งสัญญาณใช้ อินฟราเรด ไดโอด ซึ่งมีข้อดีคือ

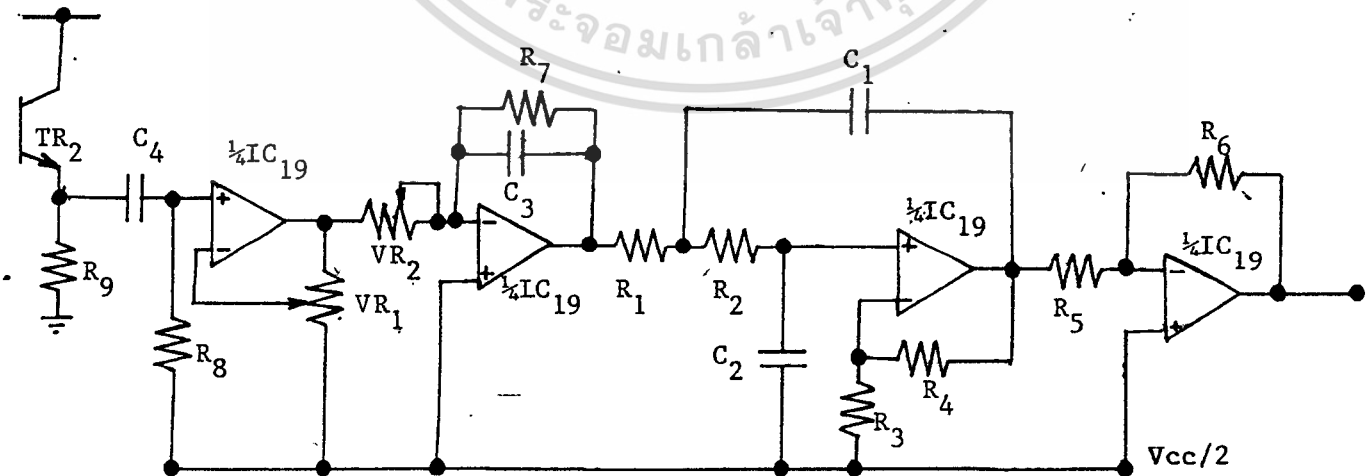
1. เป็นการส่งสัญญาณในย่านที่ไม่ผิดกฎหมายว่าด้วยการสื่อสารวิทยุ
2. กินกำลังไฟน้อย
3. เป็นแสงที่มองไม่เห็น
4. เนื่องจากอยู่ในย่านความถี่แสงจึงสามารถใช้กับระบบเลนส์ได้

3.6 ภาครับสัญญาณ



รูปที่ 3.12 แผนผังแสดงการทำงานของภาครับสัญญาณ

จากรูปที่ 3.12 เป็นแผนผังแสดงการทำงานของภาครับ กล่าวคือ เมื่อตัวรับแสงอินฟราเรดรับสัญญาณที่ถูกส่งมากับแสงอินฟราเรด ได้มันก็จะส่งสัญญาณที่ได้ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเพื่อกรองเอาความถี่ต่ำที่ไม่ต้องการออก ในที่นี้ความถี่ต่ำสุดที่ผ่านได้คือ 500 Hz แล้วผ่านไปยังวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 1 เพื่อกรองเอาความถี่สูงที่ไม่ต้องการออก ในที่นี้ความถี่สูงสุดที่ผ่านได้คือ 3.25 kHz จากนั้นก็ผ่านไปยังวงจรกรองความถี่ต่ำลำดับที่ 2 แล้วส่งไปยังภาคขยายอีกต่อหนึ่ง ดังมีวงจรใช้งานในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 วงจรใช้งานของภาครับสัญญาณ

จากรูปที่ 3.18 เป็นวงจรภาครับสัญญาณซึ่งมีรายละเอียดอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้

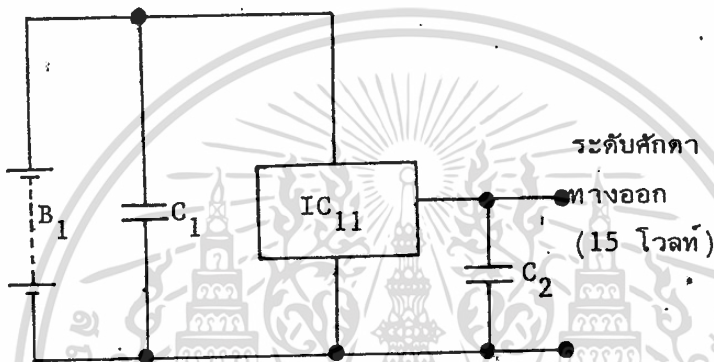
ในวงจรดังนี้

TR_1	=	ตัวรับแสงอินฟราเรด OPB 707 A
IC_{19}	=	LM 324
C_1, C_2, C_3, C_4	=	0.0068 μ F
R_1	=	2.2 K Ω
R_2	=	12 K Ω
R_3	=	18 K Ω
R_4	=	57 K Ω
R_5	=	20 K Ω
R_6	=	100 K Ω
R_7	=	7.5 K Ω
R_8	=	470 K Ω
R_9	=	5 K Ω
VR_1, VR_2	=	50 K Ω

สำหรับการเลือกใช้ค่า R_1, R_2, R_3, R_4, C_1 และ C_2 นั้น ทำการออกแบบโดยใช้ตารางที่มีอยู่แล้วจากหนังสืออ้างอิงเล่มที่ 3

3.7 ภาคจ่ายกำลัง

3.7.1 ภาคจ่ายกำลังของลูกกัญแจ



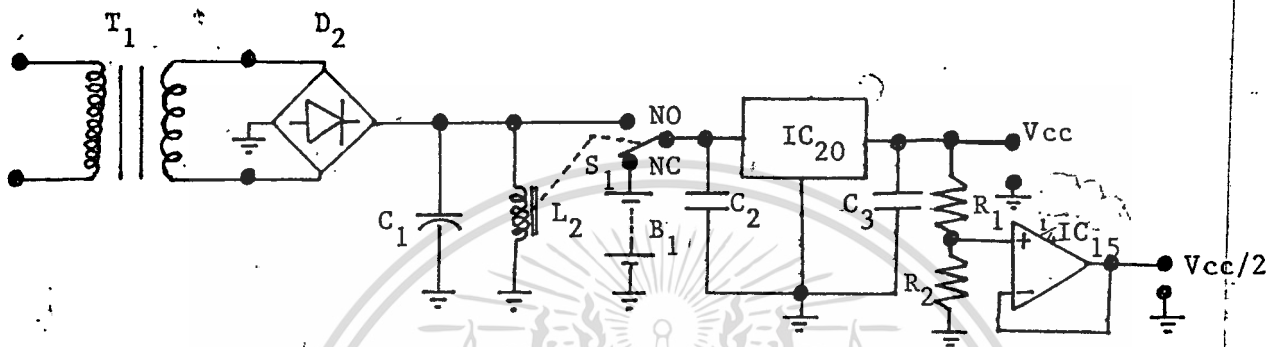
รูปที่ 3.14 วงจรภาคจ่ายกำลังของลูกกัญแจ

รายละเอียดอุปกรณ์ในรูปที่ 3.14 คือ

B_1	=	แบตเตอรี่ 9 V ก้อนเล็ก
IC_{11}	=	78L05 เรกกูเลเตอร์
C_1	=	.33 μF
C_2	=	.01 μF

รูปที่ 3.14 เป็นวงจรภาคจ่ายกำลังของลูกกัญแจ ใช้ไอซีเรกกูเลเตอร์ รักษา
ระดับสัปดาห์ภาคจ่ายกำลังให้คงที่ตลอดเวลา เพื่อให้ความถี่ที่ส่งออกไปคงที่

3.7.2 ภาคจ่ายกำลังของแมกนุแจ



รูปที่ 3.15 วงจรภาคจ่ายกำลังของแมกนุแจ

รายละเอียดอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในวงจรรูปที่ 3.15 คือ

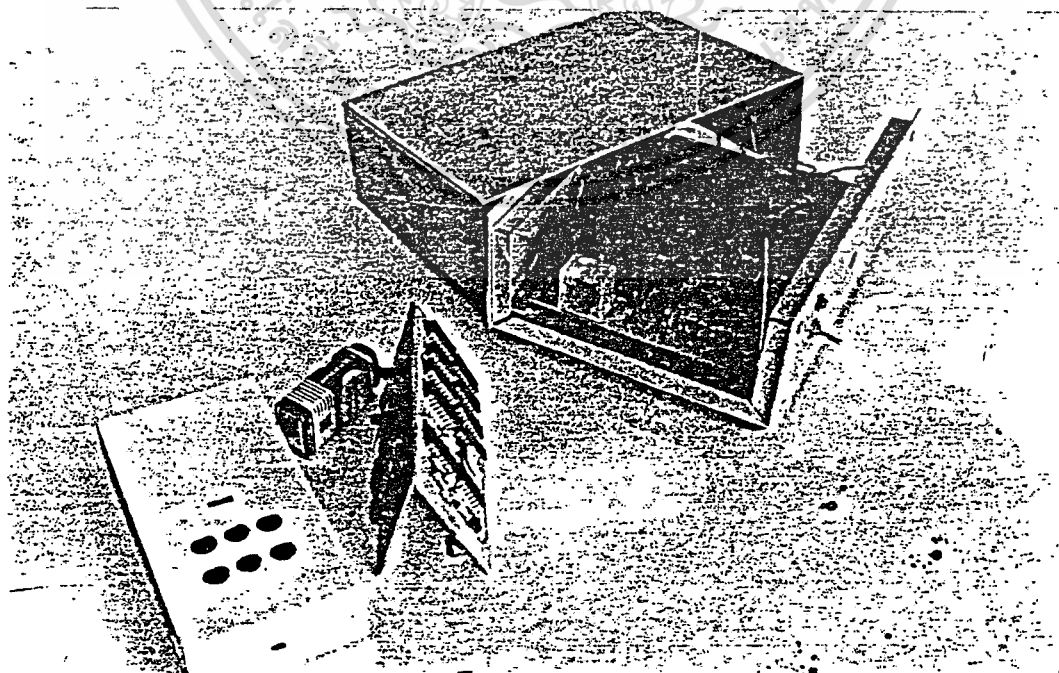
T_1	=	ทรานสฟอเมอร์ 220/9 โวลต์ 1 แอมป์
D_2	=	บริดจ์ไดโอด 1 แอมป์
IC_{20}	=	78M05 เรกกูเลเตอร์
IC_{15}	=	LM324
L_2	=	ขดลวดรีเลย์ 6 โวลต์ 300 มิลลิแอมป์
C_1	=	2,200 $\mu F/16 V$
C_2	=	4,400 μF
C_3	=	.01 μF
R_1, R_2	=	50 $K\Omega$
B_1	=	แบตเตอรี่ 12 V
S_1	=	รีเลย์คอนแทคท์

เช่นเดียวกับลูกกัญแจ คือต้องใช้ไอซีเรกกูเลเตอร์รักษาระดับศักดาให้คงที่ และเนื่องจากแม่กัญแจใช้ไฟบ้าน ดังนั้นเพื่อให้มีความเชื่อถือได้สูงจึงจำเป็นต้องมีวงจรตัดต่อภาคจ่ายกำลังสำรองอัตโนมัติโดยใช้รีเลย์

3.8 สรุป

กัญแจรหัสนี้เป็นกัญแจอีเลคทรอนิกส์ สร้างรหัสด้วยแสงอินฟราเรดและรับรหัสด้วยตัวรับแสงอินฟราเรด ดังนั้น ตอนใช้กัญแจ ลูกกัญแจและแม่กัญแจจึงไม่ต้องเอาไปสั้มผัสกัน ที่สำคัญคือ กัญแจนี้มีความปลอดภัยสูงผู้ที่ไม่รู้รหัสกัญแจจะมีโอกาสเบ็ดออกได้น้อยมากหรือแทบจะไม่มีเลย เนื่องจากจะต้องรู้ทั้งรหัส, จำนวนรหัสและวิธีการกดสวิตซ์รหัส นอกจากนั้น ความถี่ที่ผสมมาแสงอินฟราเรดสำหรับสร้างรหัสนั้นจะต้องมีค่าที่แน่นอน ไม่เช่นนั้นแล้วแม่กัญแจจะถอดรหัสไม่ได้ กัญแจนี้จึงเหมาะที่จะนำไปใช้กับงานที่ต้องการความปลอดภัยสูง เช่น สถานที่ลับเฉพาะ, ตู้เก็บเอกสารสำคัญ เป็นต้น

กัญแจรหัสนี้ยังเหมาะสำหรับที่จะนำไปสร้างเป็นวงจรรวม (IC) ขนาดกลางได้ ซึ่งจะทำให้มีขนาดเล็กลงอีกมาก สะดวกในการใช้และนำไปใช้ยิ่งขึ้น ตลอดจนราคาก็จะถูกลงอีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 3.16 แสดงถึง เครื่องต้นแบบกัญแจรหัสอีเลคทรอนิกส์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

กฎแจอีเลคตรอนิกส์แบบ เข้า/ถอทรหัส

4.1 ความนำ

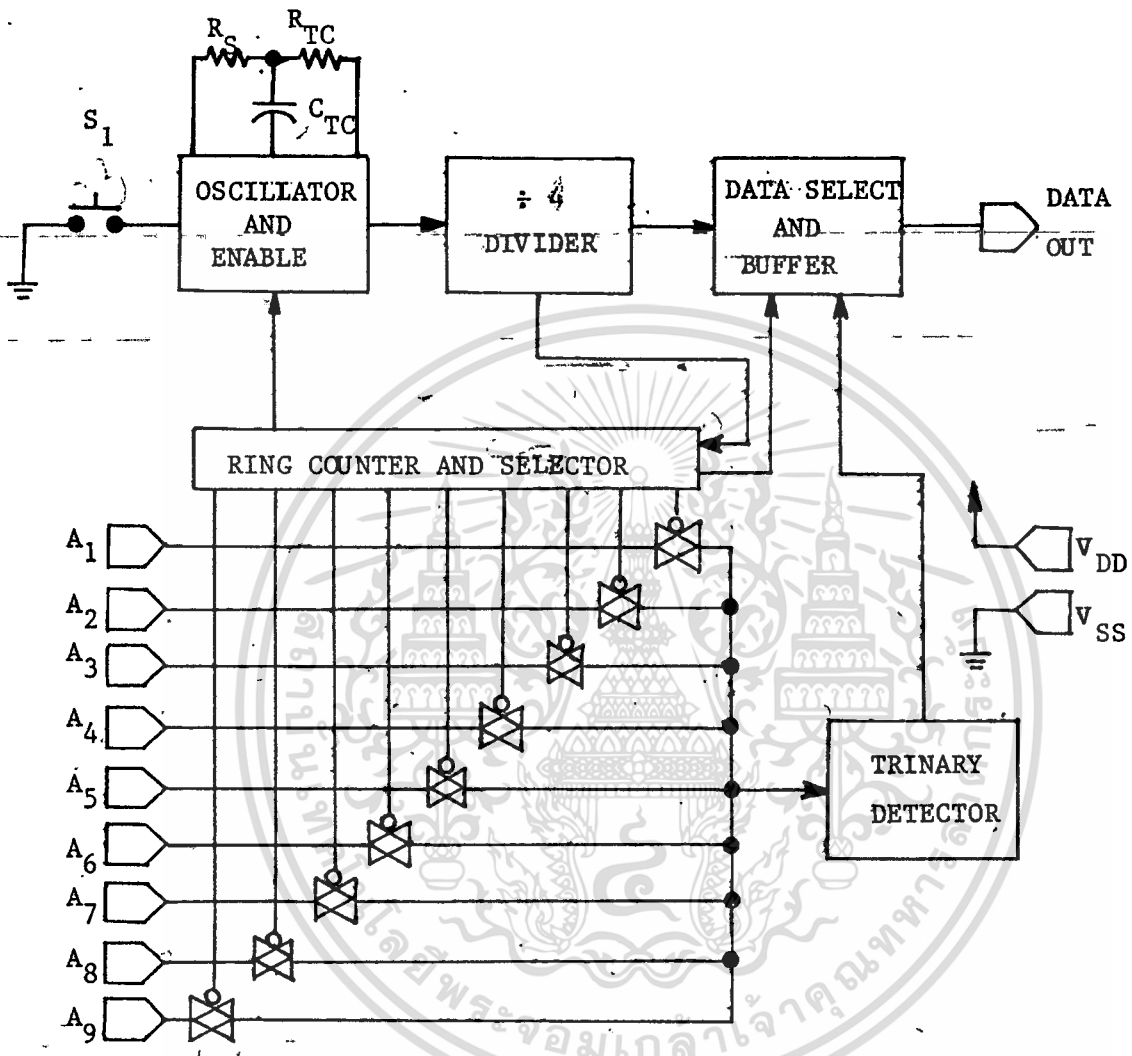
กฎแจแบบเข้าและถอทรหัสนี้ใช้ไอซีเบอร์ MC145026 เป็นตัวเข้ารหัส และ MC145028 เป็นตัวถอทรหัส ซึ่งสามารถเข้ารหัสได้ถึง 3^9 หรือ 19, 683 รหัส สำหรับ ลูกกฎแจเราสามารถทำได้ 2 แบบด้วยกันคือ แบบกลุ่มบนบนลูกกฎแจ และแบบใช้แผ่นรหัสเสียบเพื่อถอทรหัส

4.2 ลูกกฎแจ

ลูกกฎแจใช้ไอซีเบอร์ MC145026 ดังรูปที่ 4.1 เป็นตัวเข้ารหัส ตัวเข้ารหัส จะส่งข้อมูลแบบ 9 บิต 3 สภาวะออกไปอย่างอนุกรม โดยที่เราสามารถกำหนดรหัสได้ที่สำคัญทางเข้า $A_1 - A_9$ ขาเหล่านี้แต่ละขาสามารถกำหนดได้ถึง 3 สภาวะ คือ "0", "1" และ "วงจรเปิด" ซึ่งจะทำให้ได้รหัสที่เป็นไปได้ทั้งหมดถึง 3^9 หรือ 19, 683 รหัส รหัสทั้ง 9 บิตนี้ สามารถส่งออกไปเรียงตามลำดับได้โดยควรทำให้ขา \overline{TE} (Transmit Enable) มีลอจิก "0" ทุกครั้งที่สัญญาณทางเข้า \overline{TE} ถูกทำให้มีลอจิก "0" ตัวเข้ารหัสจะส่งรหัสข้อมูลออกไป 2 คำ คำละ 9 บิต การทำเช่นนี้ก็เพื่อให้การรับข้อมูลเกิดผลลดน้อยลง ถ้าสัญญาณทางเข้า \overline{TE} ที่ลอจิก "0" อยู่ ตัวเข้ารหัสก็จะส่งคำข้อมูลออกไปตลอดเวลา การส่งคำข้อมูลจะสมบูรณ์ในตัวมันเอง กล่าวคือ 2 คำข้อมูลในแต่ละ \overline{TE} พัลส์

แต่ละบิตข้อมูลที่ส่งออกไปจะถูกเข้ารหัสเป็น 2 พัลส์ ข้อมูลลอจิก "0" จะถูกเข้ารหัสเป็นพัลส์สั้น 2 พัลส์ โกลสั้น ลอจิก "1" เป็น พัลส์ยาวโกลสั้น และ "วงจรเปิด" เป็น พัลส์ยาวตามด้วยพัลส์สั้น

ออสซิลเลเตอร์จะหยุดทำงานทันทีที่ \overline{TE} มีลอจิก "1" กระแสที่ใช้ในวงจรถึงจะลดลงจนถึงค่าต่ำสุด ทำให้ประหยัดกำลังไฟได้มาก ถ้า \overline{TE} มีลอจิก "0" ออสซิลเลเตอร์ก็จะเริ่มทำงานและ เริ่มต้นส่งข้อมูลออกเรียงตามลำดับทันที



รูปที่ 4.2 แผนภาพการทำงานของตัวเข้ารหัส

จากรูปที่ 4.2 เมื่อจ่ายไฟให้วงจรแล้วและได้รับรหัสสัญญาณทางเข้า $A_1 - A_9$ ไว้แล้ว พอกดสวิตช์ S_1 ให้ \overline{TE} มีลอจิก "0" ออสซิลเลเตอร์ก็จะเริ่มทำงาน วงจรตรวจสอบสถานะก็จะตรวจดูว่า $A_1 - A_9$ มีสถานะเป็น "0", หรือ "1" หรือ "วงจรเปิด" จริง

หรือไม่ถ้ามีสภาวะใดผิดพลาดก็จะส่งผลที่ตรวจพบ ไปยังวงจรคัดเลือกข้อมูลไม่ให้ส่งข้อมูลออก ถ้าถูกต้องก็ให้วงจรคัดเลือกข้อมูลพร้อมที่จะส่งข้อมูลออกได้ วงจรนับวนก็จะนำเอาสัญญาณข้อมูลทางเข้าตั้งแต่ปีแรกไปยังวงจรรอสซิงเคลเตอร์ เพื่อทำการเข้ารหัสตั้งได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น แล้วผ่านไปยังวงจรหาร 4 เพื่อให้ได้รูปสัญญาณรหัสตามที่ต้องการ แล้วส่งรหัสข้อมูลที่ได้ผ่านท่วงวงจรคัดเลือกข้อมูลและบัฟเฟอร์พร้อมทั้งส่งสัญญาณไปให้วงจรถับสัญญาณนำเอาสัญญาณข้อมูลทางเข้าปีต่อไปไปทำการเข้ารหัส วนอยู่อย่างนี้จนครบ 18 ปี หรือ 2 คำ วงจรนับวนก็จะส่งสัญญาณไปให้วงจรคัดเลือกข้อมูลทราบว่าครบ 2-คำแล้ว

สำหรับความถี่ของฮอสซิงเคลเตอร์สามารถกำหนดได้ดังนี้

$$f = \frac{1}{2.3 R_{TC} C_{TC}} \text{ Hz}$$

สำหรับ $1 \text{ KH}_z < f < 400 \text{ KH}_z$

โดยที่ $C_{TC} = C_{TC} + C_{\text{Layout}} + 12 \text{ pF}$

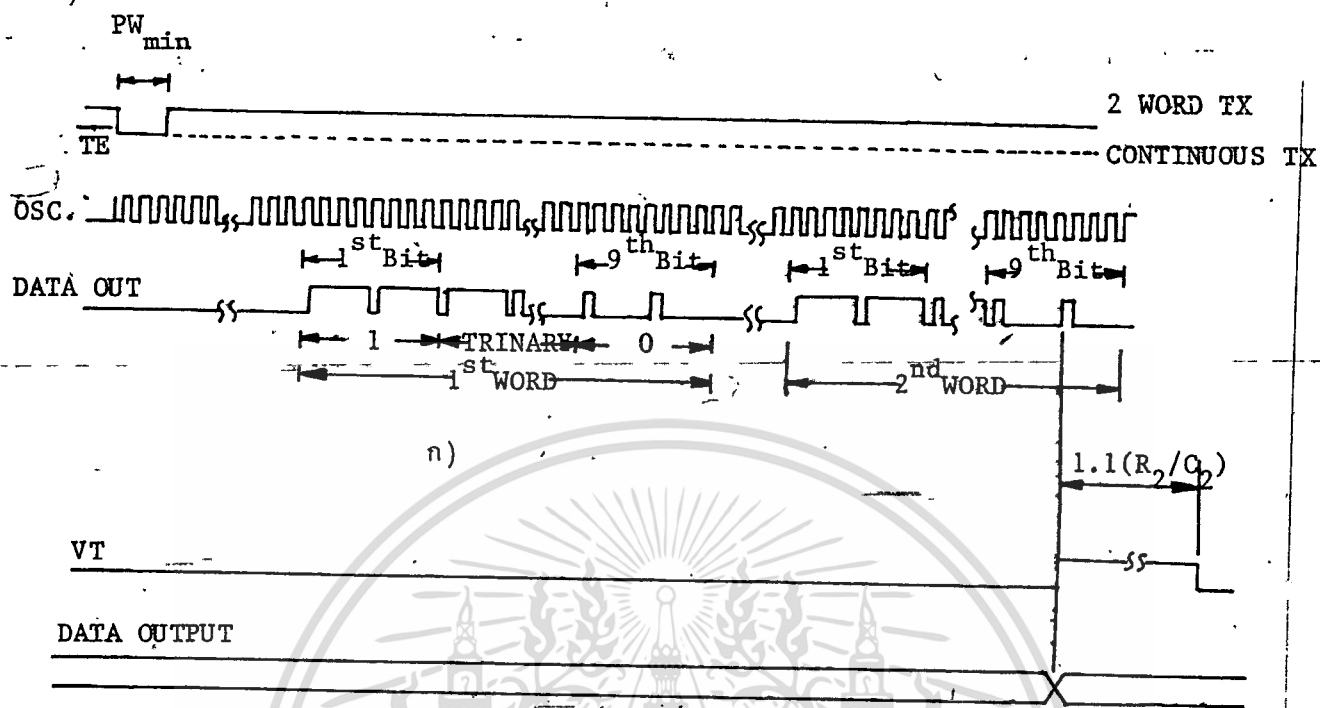
$$R_S \approx 2 R_{TC}$$

$$> 20 \text{ K}\Omega$$

$$> 10 \text{ K}\Omega$$

$$400 \text{ pF} < C_{TC} < 15 \text{ }\mu\text{F}$$

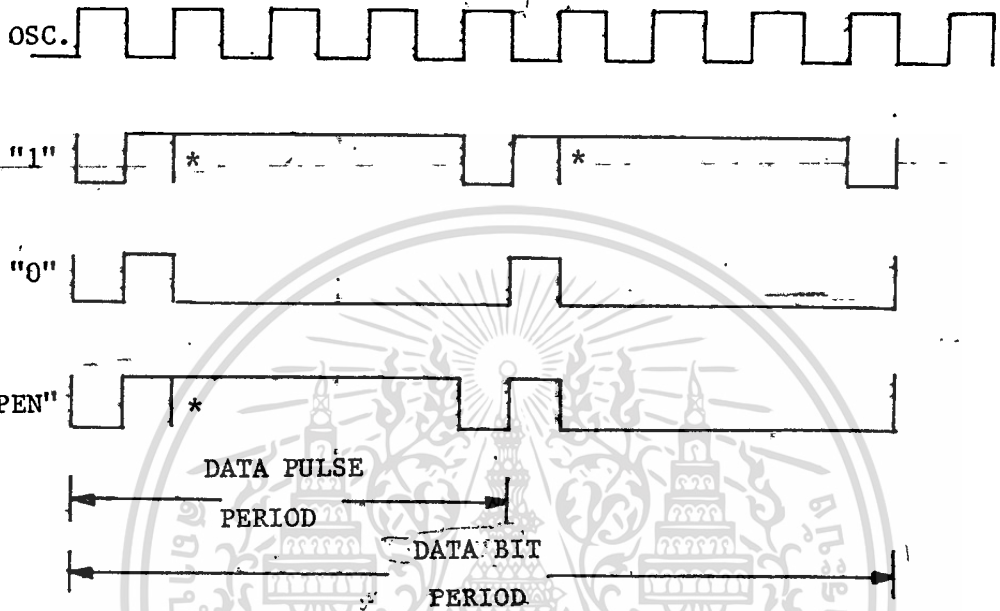
ค่า R_S ควรเลือกให้ได้ประมาณ 2 เท่าของ R_{TC} เพื่อประกันว่ากระแสที่ผ่าน R_S น้อยมากเมื่อเทียบกับกระแสที่ผ่าน R_{TC}



รูปที่ 4.3 ก) , แผนภาพเวลาของตัวเข้ารหัส MC145026

ข) , แผนภาพเวลาของตัวถอดรหัส MC145028

รูปที่ 4.3 เป็นแผนภาพเวลาของตัวเข้ารหัสและถอดรหัส



* 150 nS Pulse เกิดขึ้นในช่วงนี้ แต่จะไม่ทำให้เกิดผลกระทบกระเทือนต่อการส่งและรับข้อมูล

รูปที่ 4.4 รูปสัญญาณของการเข้ารหัสข้อมูลของตัวเข้ารหัส

รูปที่ 4.4 แสดงรูปสัญญาณการเข้ารหัสของสภาวะทั้ง 3 ของข้อมูลของตัวเข้ารหัส

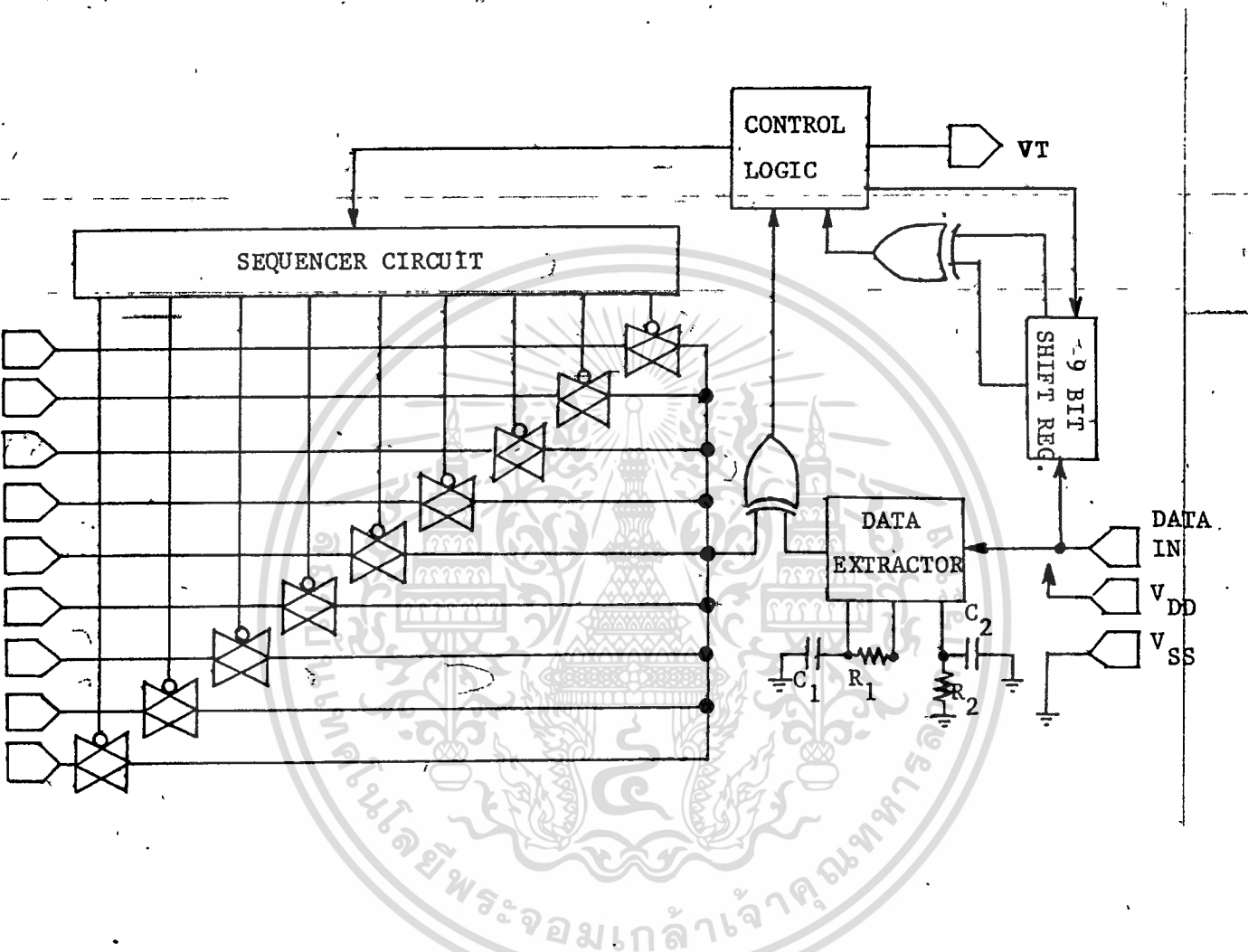
4.3 แม่กุญแจ

แม่กุญแจใช้ไอซีเบอร์ MC145028 ดังรูปที่ 4.5 เป็นตัวถอดรหัส ตัวถอดรหัสนี้จะรับข้อมูลเข้ามาแบบอนุกรมจากตัวเข้ารหัสนำข้อมูลมาตรวจหาข้อผิดพลาด ข้อมูลที่ถูกลส่งมาจะเป็น 2 คำ ที่เหมือนกันจะถูกตรวจสอบบิตต่อบิต ถ้าถูกต้อง ขา VT (Valid Transmission) จะมีลอจิก "1" และจะเป็น "1" อยู่จนกว่าจะมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นหรือไม่มีข้อมูลเข้ามาเป็นเวลา 4 บิต



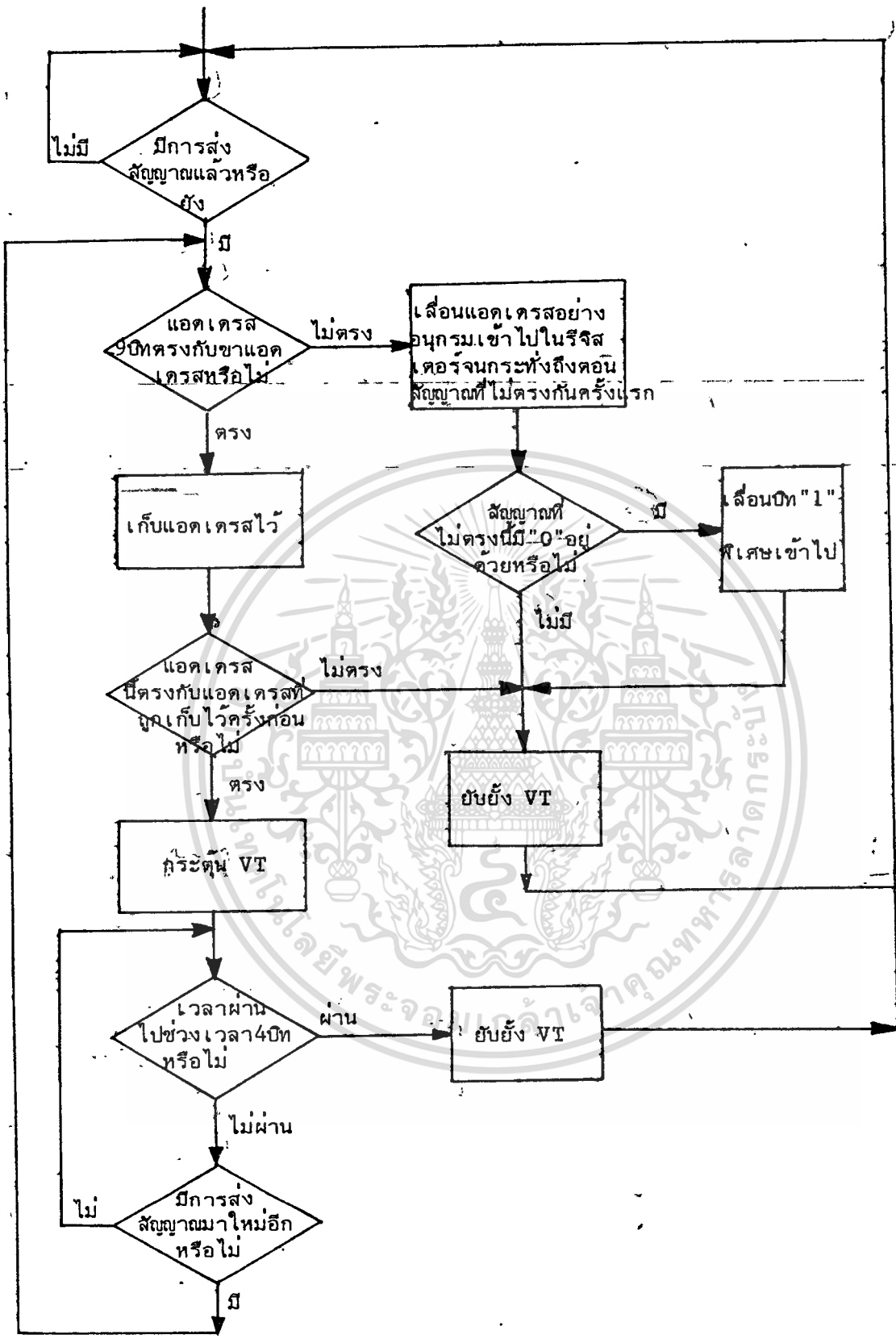
รูปที่ 4.5 แสดงรายละเอียดของขาของตัวถอดรหัส MC145028

จากรูปที่ 4.6 เป็นรูปแผนภาพการทำงานของตัวถอดรหัส (MC145028) เมื่อตัวถอดรหัสรับข้อมูลเข้ามาได้ การทำงานของมันก็จะสามารถอธิบายโดยใช้โฟลชาร์จรูปที่ 4.7 ประกอบได้ดังนี้



รูปที่ 4.6 แผนภาพการทำงานของตัวถดถอส MC145028

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

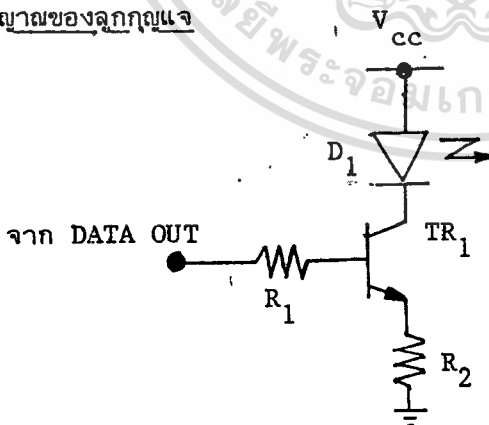


รูปที่ 4.7 โพลซาร์จของตัวถอดรหัส MC145028

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มต้นมันก็จะตรวจดูว่าการส่งข้อมูลเข้ามาหรือไม่ ถ้าไม่มีก็จะวนตรวจอยู่ต่อไปจนกว่าจะพบข้อมูล ถ้ามีข้อมูลที่ส่งเข้ามาเมื่อไรมันก็จะทำการตรวจต่อไปว่า แอดเดรสทั้ง 9 บิตที่ส่งเข้ามานั้นตรงกับขาแอดเดรสของมันหรือไม่ ถ้าไม่ก็จะเลื่อนแอดเดรสเข้าไปที่รีจิสเตอร์เรื่อย ๆ จนถึงบิตแรกที่สุด แล้วตรวจดูว่าบิตนั้นเกี่ยวกับ "0" หรือไม่ ถ้าไม่ก็เลื่อน "1" บิตพิเศษเข้าไปในรีจิสเตอร์ และยังบังคับไม่ให้เกิดสัญญาณทางออก VT แล้วกลับไปตรวจข้อมูลทางเข้าใหม่ ถ้าใช้ก็จะบังคับไม่ให้เกิดสัญญาณทางออก VT แล้ววนกลับไปตรวจข้อมูลทางเข้าใหม่ ถ้าแอดเดรสทั้ง 9 บิต ตรงกับขาแอดเดรสของมันมันก็จะเก็บแอดเดรสที่ไว้ในรีจิสเตอร์ จากนั้นก็จะตรวจดูอีกครั้งว่าแอดเดรสทั้ง 9 บิตนี้ตรงกับขาแอดเดรสที่ตั้งไว้หรือไม่ ถ้าไม่ก็จะไปบังคับไม่ให้เกิดสัญญาณทางออก VT แล้ววนกลับไปตรวจข้อมูลทางเข้าใหม่ ถ้าตรงก็จะกระตุ้นให้เกิดสัญญาณ VT เมื่อมีสัญญาณ VT แล้วก็จะเริ่มนับเวลาที่มันว่านานกว่าเวลาของ 4 บิตแล้วหรือยัง ถ้าเกินก็จะไปบังคับไม่ให้เกิดสัญญาณ VT อีก ถ้ายังไม่เกินก็จะทำการตรวจดูว่า มีข้อมูลทางเข้าชุดใหม่เข้ามาอีกหรือไม่ ถ้าไม่ก็จะวนไปตรวจนับเวลาต่อ ถ้ามีข้อมูลเข้ามาใหม่ก็จะวนกลับไปตรวจดูว่าข้อมูลตรงกับขาแอดเดรสของมันที่ตั้งไว้หรือไม่ แล้วก็จะทำงานต่อไปเหมือนตอนต้น

4.4 ภาคส่งสัญญาณของลูกกุญแจ



รูปที่ 4.8 วงจรใช้งานของภาคส่งสัญญาณ

รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรรูปที่ 4.8 คือ

$$R_1, R_2 = 1 \text{ K}\Omega$$

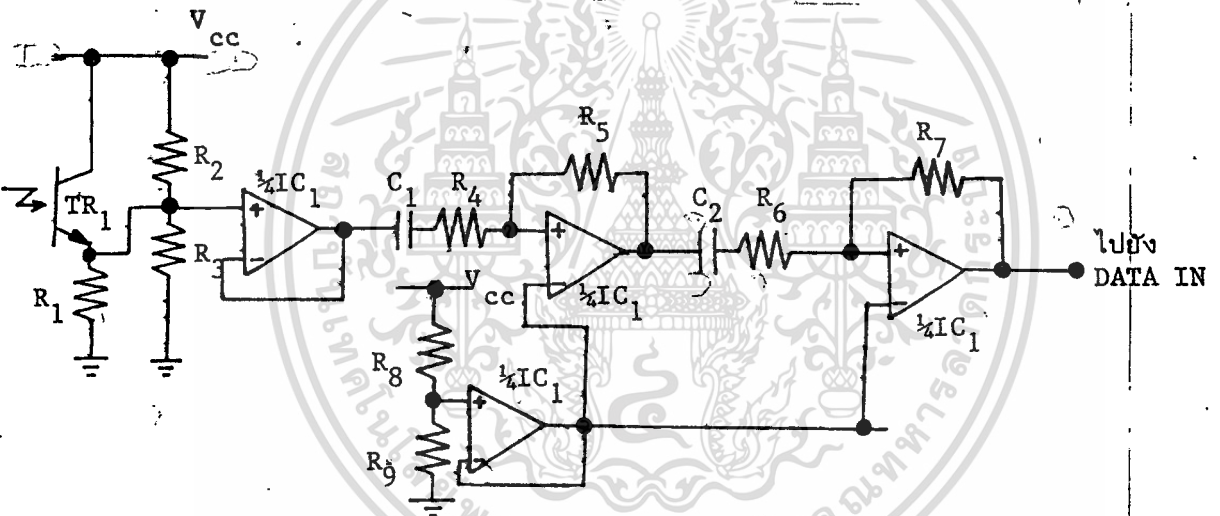
$$TR_1 = 2N2222 \text{ A}$$

$$D_1 = \text{อินฟราเรดไดโอด}$$

รูปที่ 4.8 เป็นวงจรใช้งานของภาคส่งสัญญาณหรือดูกุญแจ เราส่งข้อมูลออกไป

กับแสงอินฟราเรด

4.5 ภาครับสัญญาณของแม่กุญแจ



รูปที่ 4.9 วงจรใช้งานของภาครับสัญญาณ

รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในรูปที่ 4.9 คือ

$$R_1 = 5 \text{ K}\Omega$$

$$R_2, R_3, R_5, R_7, R_8, R_9 = 100 \text{ K}\Omega$$

$$R_4, R_6 = 20 \text{ K}\Omega$$

$$C_1, C_2 = 4.7 \text{ }\mu\text{F}$$

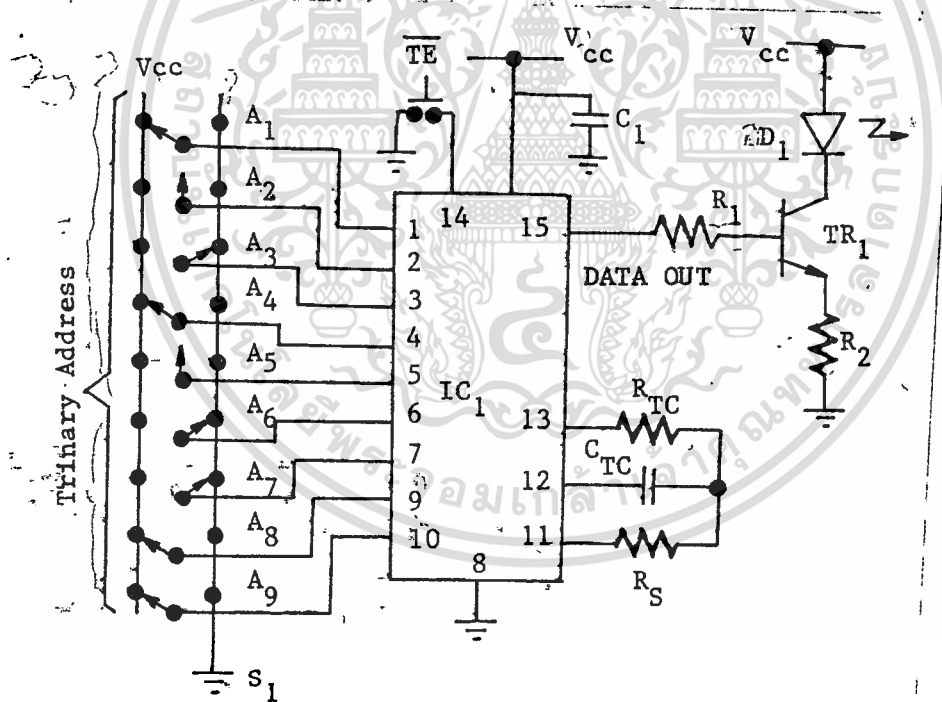
TR_1 = ตัวรับสัญญาณอินฟราเรด OPB 707 A

IC_1 = LM324

จากรูปที่ 4.9 เป็นวงจรใช้งานของภาครับสัญญาณ ใช้ตัวรับแสงอินฟราเรดรับแสงอินฟราเรดส่งผ่านบัฟเฟอร์แล้วผ่านวงจรขยาย 2 ครั้ง เพื่อให้สัญญาณที่ขยายแล้วมีเฟสเหมือนเดิม จากนั้นก็ส่งไปยังขาสัญญาณทางเข้าของตัวถอดรหัส เพื่อทำการถอดรหัสต่อไป

4.6 วงจรใช้งานจริงของลูกกุญแจ

จากรูปที่ 4.10 เป็นวงจรใช้งานจริงของลูกกุญแจ ซึ่งมีรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรดังนี้



รูปที่ 4.10 วงจรใช้งานของลูกกุญแจ

$IC_1 = MC145026$
 $TR_1 = 2N2222 A$
 $D_1 =$ อินฟราเรดไดโอด
 $R_1, R_2 = 1 K\Omega$

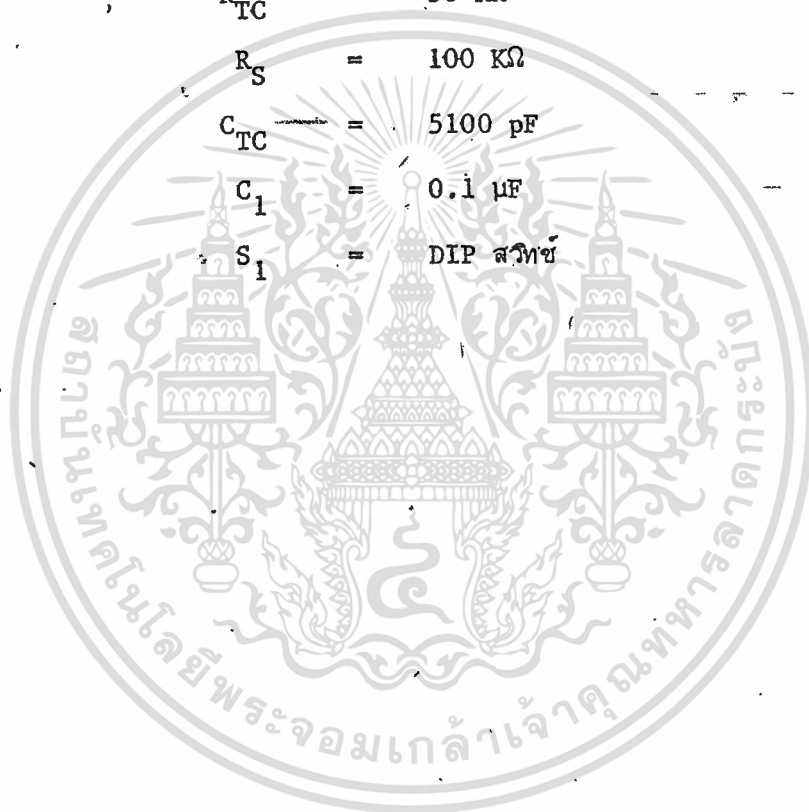
$R_{TC} = 50 K\Omega$

$R_S = 100 K\Omega$

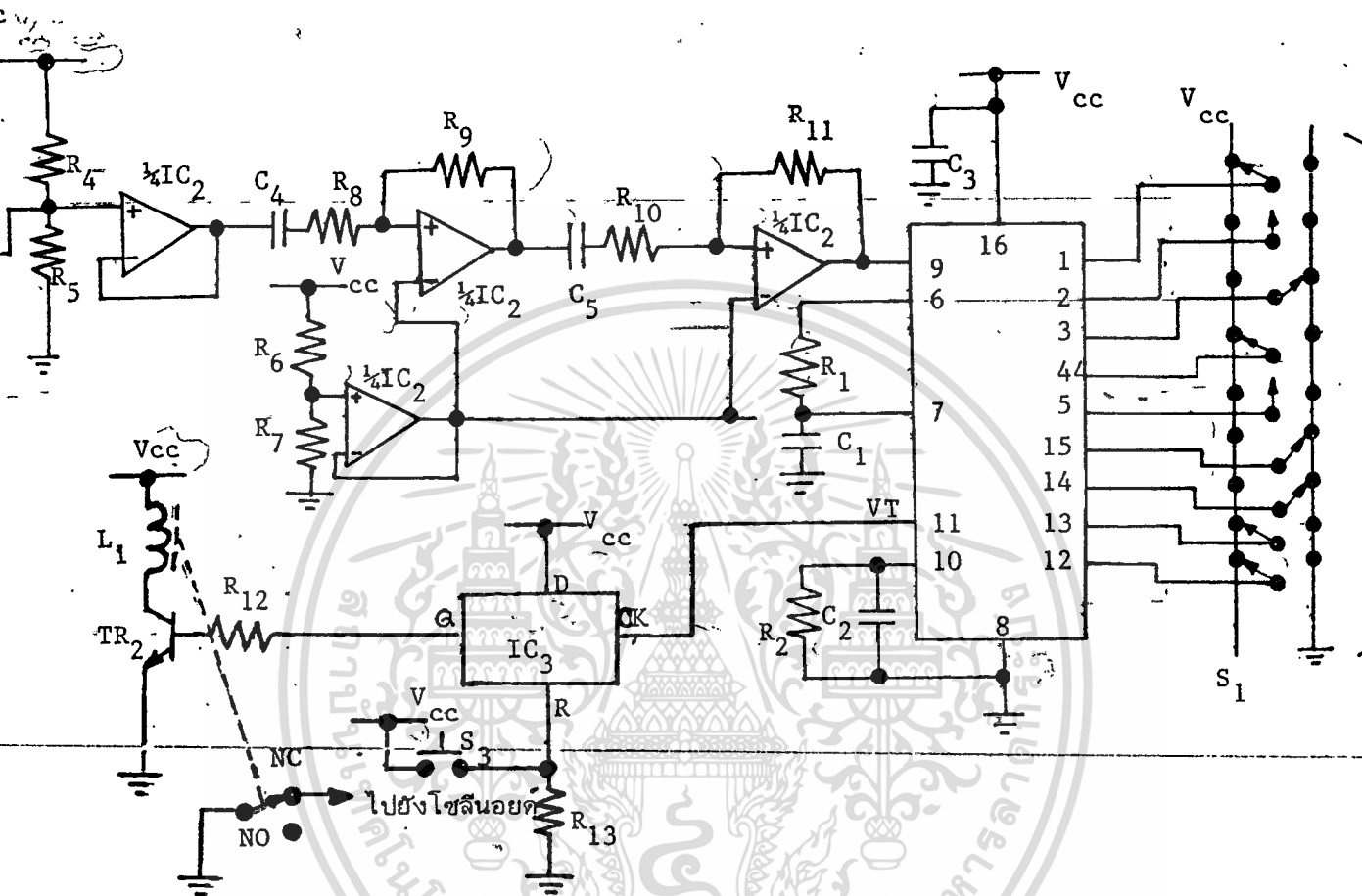
$C_{TC} = 5100 pF$

$C_1 = 0.1 \mu F$

$S_1 =$ DIP สวิทช์



4.7 วงจรใช้งานจริงของแม่กุญแจ



รูปที่ 4.11 วงจรใช้งานของแม่กุญแจ

จากรูปที่ 4.11 เป็นวงจรใช้งานของแม่กุญแจซึ่งมีรายละเอียดของอุปกรณ์ที่

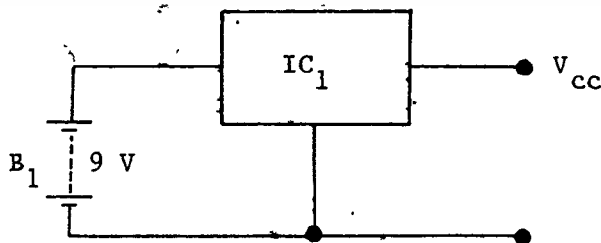
ใช้ในวงจรดังนี้

IC ₁	=	MC145028
IC ₂	=	LM324
IC ₃	=	MM4013

TR_1	=	OPB 707 A
TR_2	=	2SC458
L_1	=	คอยล์รีเลย์
R_1	=	50 K Ω
R_2	=	200 K Ω
R_3, R_{12}	=	5 K Ω
$R_4, R_5, R_6, R_7, R_8, R_{11}, R_{13}$	=	100 K Ω
R_9, R_{10}	=	20 K Ω
C_1	=	0.02 μ F
C_2	=	0.01 μ F
C_3	=	0.1 μ F
C_4, C_5	=	4.7 μ F
S_1	=	DIP สวิทช์
S_2	=	สวิตช์สัมผัสของรีเลย์
S_3	=	สวิตช์กดติดปล่อยดับ

4.8 ภาคจ่ายกำลัง

4.8.1 ภาคจ่ายกำลังของลูกกุญแจ

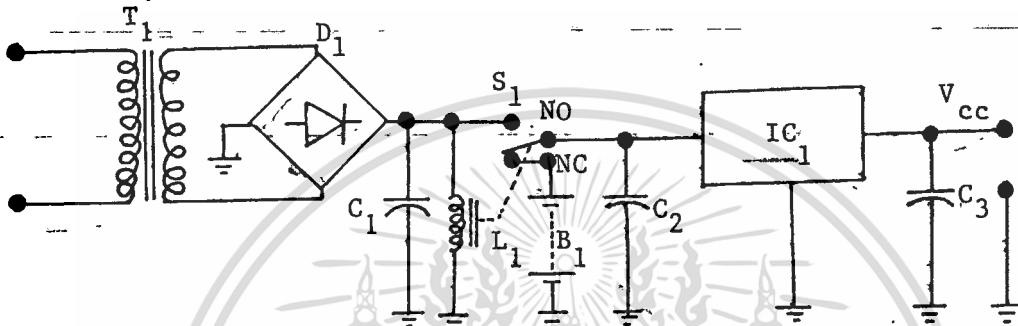


รูปที่ 4.12 ภาคจ่ายกำลังของลูกกุญแจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 เป็นภาคจ่ายกำลังของลูกกัญแจโดยใช้ $IC_1 = 78L05$ ซึ่งเป็นไอซีเรกกูเลเตอร์

4.8.2 ภาคจ่ายกำลังของแม่กัญแจ



รูปที่ 4.13 ภาคจ่ายกำลังของแม่กัญแจ

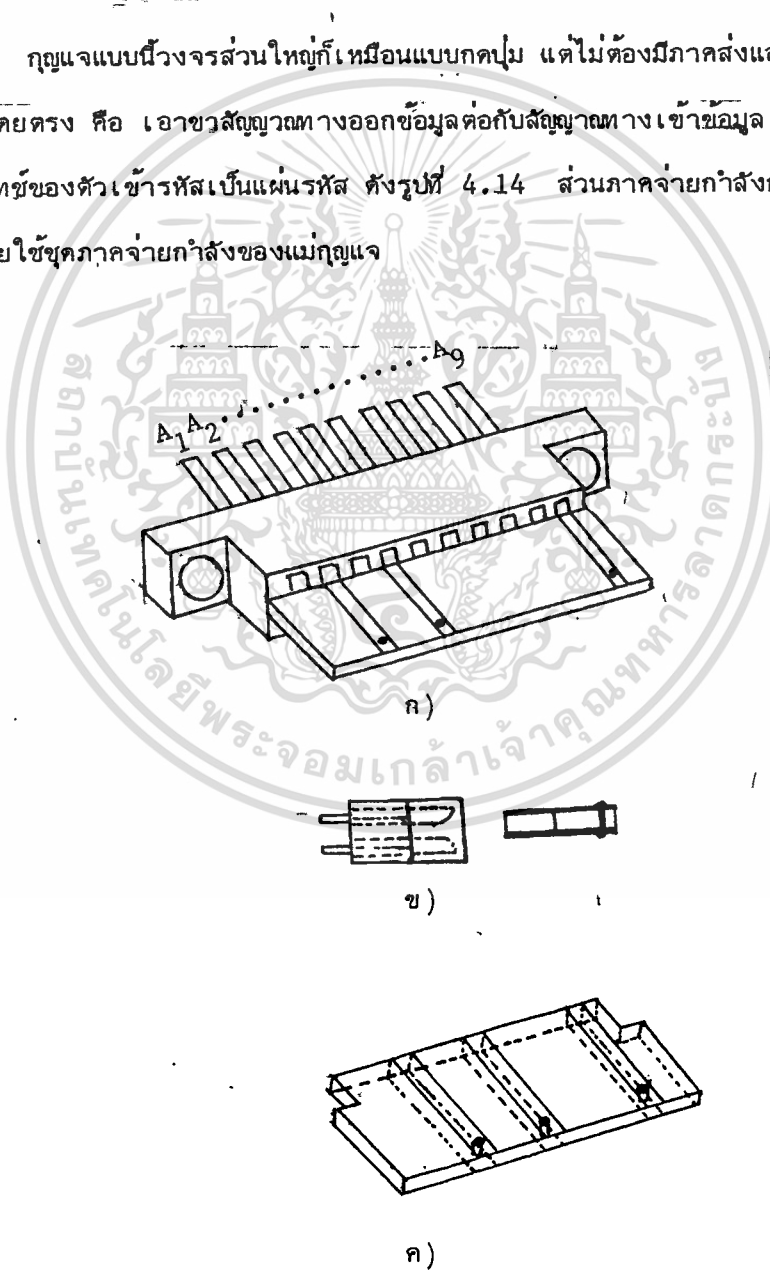
จากรูปที่ 4.13 เป็นวงจรภาคจ่ายกำลังของแม่กัญแจ ดังมีรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรดังนี้

T_1	=	ทรานสฟอเมอร์ 220/9 โวลท์
D_1	=	บริดจ์ไดโอด ขนาด 1 แอมป์
L_1	=	ขดลวดรีเลย์
S_1	=	รีเลย์คอนแทค
IC_1	=	78L05 เรกกูเลเตอร์
B_1	=	แบตเตอรี่ 12 V
C_1	=	2200 μF / 16 V
C_2	=	4400 μF / 16 V
C_3	=	0.01 μF

จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าปกติวงจรนี้จะใช้ไฟบ้าน 220 โวลต์เป็นตัวจ่ายกำลัง ถ้าไฟบ้านเกิดดับขึ้นมาวงจรก็จะได้รับไฟจากแบตเตอรี่ 12 โวลต์แทน ทำให้มีความเชื่อถือได้สูง

4.9 กฎแจแบบใช้แผ่นรหัสเสียบเพื่อถอดรหัส

กฎแจแบบนี้วงจรส่วนใหญ่ก็เหมือนแบบกดปุ่ม แต่ไม่ต้องมีภาคส่งและภาครับสัญญาณใช้ต่อกันโดยตรง คือ เอาขั้วสัญญาณทางออกข้อมูลต่อกับสัญญาณทางเข้าข้อมูล แล้วเปลี่ยน DIP สวิตช์ของตัวเข้ารหัสเป็นแผ่นรหัส ดังรูปที่ 4.14 ส่วนภาคจ่ายกำลังก็ใช้เพียงชุดเดียวร่วมกันโดยใช้ชุดภาคจ่ายกำลังของแม่กฎแจ

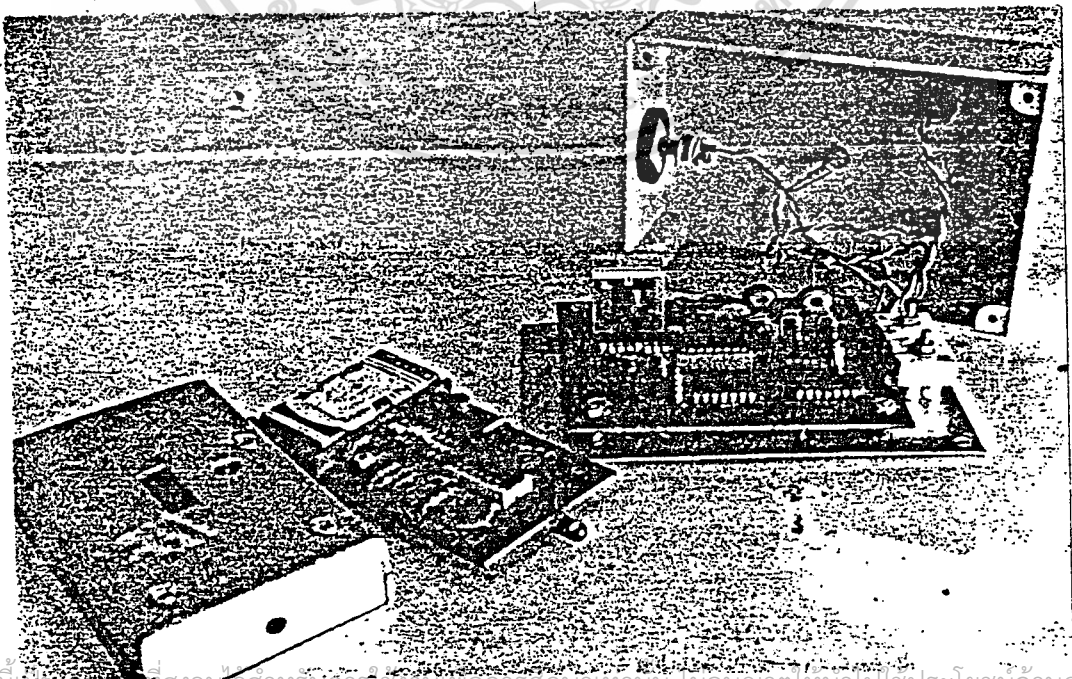


รูปที่ 4.14 ก) ตัวต่อและแผ่นเสียบ, ข) ภาพด้านข้าง, ค) แผ่นรหัส

จากรูปที่ 4.14 ก) เป็นรูปตัวต่อและแผ่นรหัสซึ่งเราใช้เป็นตัวกำหนดสภาวะของข้อมูลทางเข้า ("0", "1" หรือ "วงจรเปิด") แทน DIP สวิตช์ คือ เราใช้แผ่น PCB(Printed Circuit Board) แบบ 2 หน้า เป็นแผ่นรหัส ถ้าเราต้องการให้ขาทั้ง 2 ของตัวต่อ ต่อกันเพื่อให้มีสภาวะเป็น "0" หรือ "1" จากรูปที่ 4.14 ข) เราก็จะเจาะรูบนแผ่น PCB แล้วเอาสายไฟดกกรีให้แผ่นตัวนำทั้ง 2 หน้าต่อกัน ถ้าเราต้องการให้ข้อมูลมีสภาวะเป็น "วงจรเปิด" เราก็ไม่ต้องต่อสายไฟระหว่างแผ่นตัวนำทั้ง 2 ส่วนรูปที่ 4.14 ค) แสดงแผ่นรหัสซึ่งเราสามารถนำไปเสียบเข้ากับตัวต่อ แล้วเราก็จะกำหนดสภาวะของข้อมูลได้ด้วยแผ่นรหัสนี้

4.10 สรุป

กุญแจแบบเข้า/ถอดรหัสนี้มีขนาดเล็กกระทัดรัด โดยเฉพาะลูกกุญแจเมื่อทำขึ้นมาแล้วสามารถพกติดตัวไปได้สะดวก เป็นกุญแจที่มีความปลอดภัยสูง คือมีรหัสที่เป็นไปได้ทั้งหมดถึง 19,683 รหัส ลูกกุญแจลูกเดียวสามารถไขแม่กุญแจที่มีรหัสต่างกันได้ถึง 19,683 ตัว เหมาะสำหรับสถานที่ที่มีประตูมาก ๆ อาคารทั้งหลายเราสามารถถือลูกกุญแจไว้เพียงอันเดียวก็พอแล้ว และถ้าทำลูกกุญแจเป็นแบบแผ่นรหัสก็จะทำให้มีขนาดเป็นแผ่นบาง ๆ เล็ก ๆ พกไปไหนมาไหนได้สะดวก



รูปที่ 4.15

แสดงถึง เครื่องต้นแบบของกุญแจอิเล็กทรอนิกส์แบบ เข้า/ถอด รหัส

บทที่ 5

กฎแฉรหัสใช้ Z-80 ไมโครคอมพิวเตอร์5.1 ความนำ

สำหรับในบทนี้เป็นการพัฒนากฎแฉรหัสในขั้นสูงโดยการนำเอา Z-80 ไมโครคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับ 8255 ซีพียู (Programmable Peripheral Interface) ทำให้มีความปลอดภัยสูงมาก ๆ - กล่าวคือ จะใช้เลขรหัสที่รหัสก็ได้ สำหรับในการทดลองนี้ใช้ 16 รหัส นั้นหมายความว่าถึงมีรหัสถึง 10^{16} รหัส ที่ต่างกัน ดังนั้นโอกาสที่จะแฉรหัสได้ถูกแทบจะพูดได้ว่าไม่มีเลย คือมีโอกาสเดาถูก 1 ใน 10^{16} เท่านั้น เรายังสามารถเปลี่ยนรหัสได้โดยเปลี่ยน EPROM ตัวใหม่ นอกจากนั้นรหัสแต่ละชุดยังถูกเปลี่ยนไปทุก ๆ 2 ชั่วโมง และกฎแฉรหัสนี้ยังมีความคล่องตัวสูง กฎแฉตัวแม่ 1 ตัว สามารถควบคุมประตูที่ประตูก็ได้ โดยแต่ละประตูมีรหัสต่างกันประตูละ 12 รหัส, มีการบันทึกไว้ในแต่ละวันมีการเปิดประตูกี่ครั้ง ฯลฯ กฎแฉนี้จึงเหมาะอย่างยิ่งในการที่จะนำไปใช้กับสถานที่ที่ต้องการความปลอดภัยสูงมาก ๆ

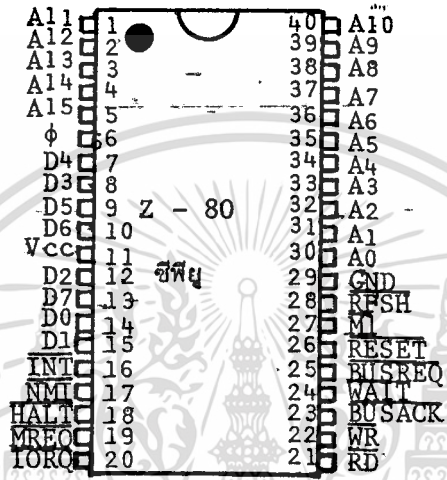
5.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบกฎแฉ

เนื่องจากกฎแฉรหัสใช้ Z-80 ไมโครคอมพิวเตอร์ในการถอดรหัสและเก็บข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นไว้ ดังนั้น ระบบกฎแฉรหัสจึงประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

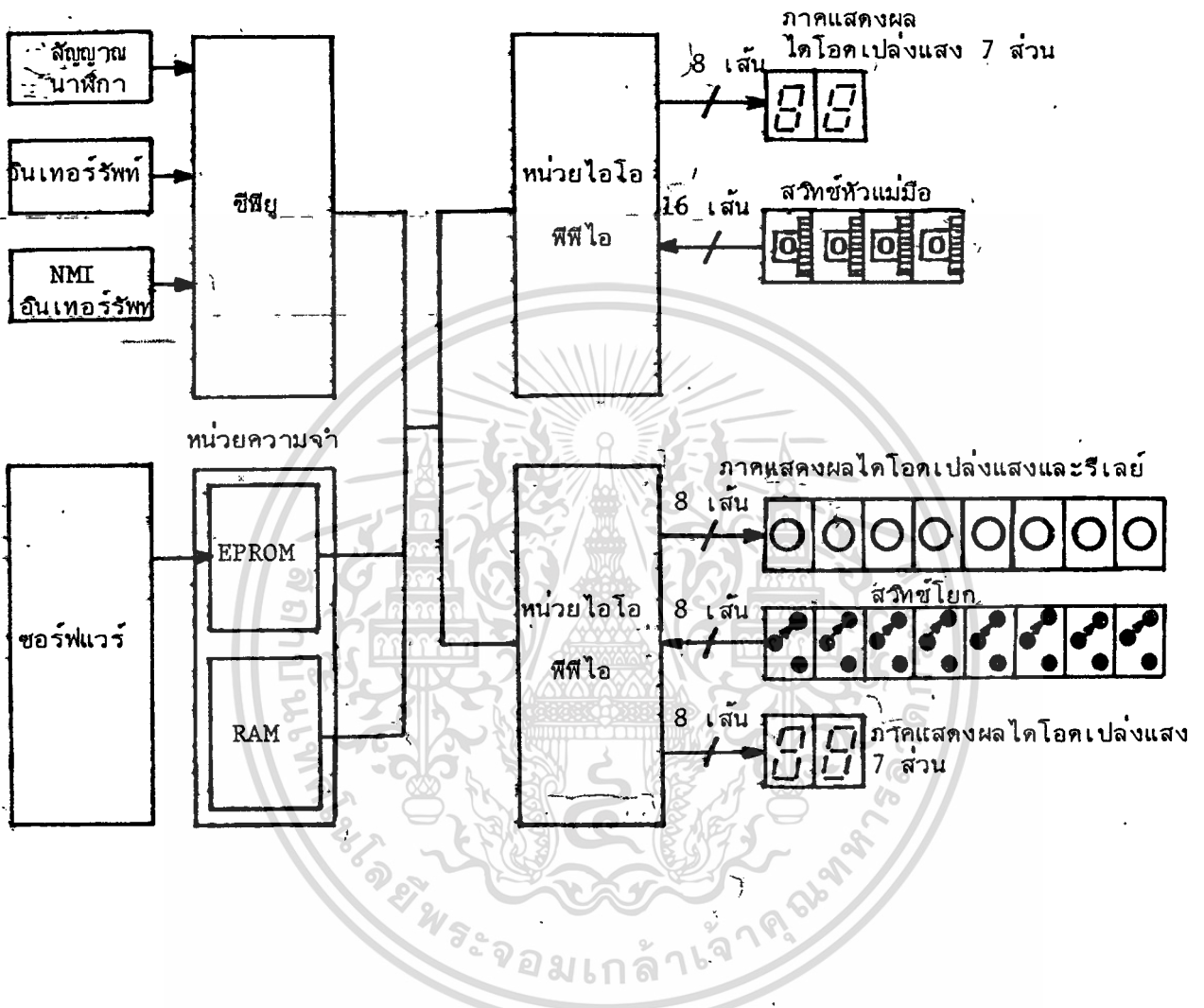
5.2.1 Z-80 ซีพียู

ซีพียู หรือหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit) เป็นอุปกรณ์ควบคุมหลักของระบบ ทำหน้าที่แปลและปฏิบัติคำสั่งจากหน่วยความจำ, เก็บและอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ, เก็บและอ่านข้อมูลจากหน่วยไอโอและหน้าที่อื่น ๆ ทั้งหมดของระบบ

ซีพียู ในที่นี้ใช้ Z-80 ซีพียู Z-80 ซีพียูเป็นไมโครโพรเซสเซอร์ขนาด 8 บิต ลักษณะภายนอกเป็นไอซีขนาดใหญ่ มี 40 ขา ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แผนภาพขาของ Z-80 ซีพียู



รูปที่ 5.2 แผนภาพของระบบกฎจราจร

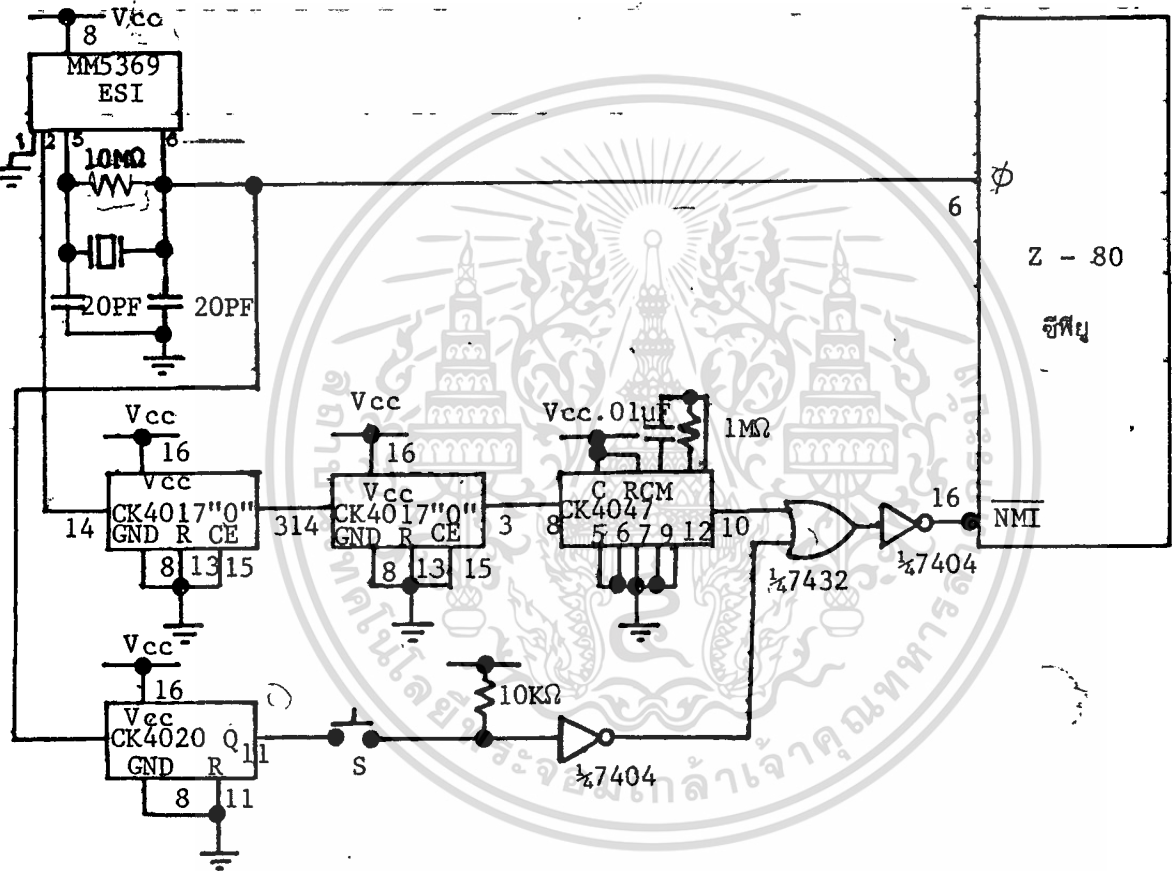
รูปที่ 5.2 เป็นรูปแผนภาพส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบกฎจราจร

5.2.2 สัญญาณนาฬิกา

เนื่องจากซีพียูต้องทำงานในอัตราที่คงที่อยู่เสมอ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสร้างสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่คงที่ขึ้นจากร่มสลิคให้แก่อีพียู เพื่อใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาในการกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานต่าง ๆ ของมันและเรายังได้สร้างความถี่ 1 เฮิร์ตซ์ ขึ้นมาเพื่อทำเป็นนาฬิกา จากแรมล็กเดียวกันนี้ นาฬิกาที่เราใช้เป็นตัวกำหนดในการเปลี่ยนรหัสของทุกประตูทุก ๆ 2 ชั่วโมง วงจรดังแสดงในรูปที่ 5.3



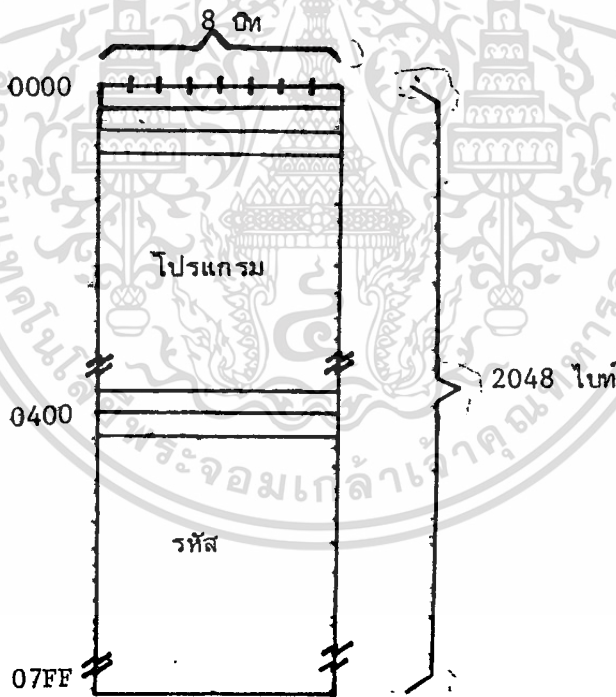
รูปที่ 5.3 วงจรสัญญาณนาฬิกาความถี่ 3.579 แมกกาเฮิร์ตซ์

5.2.3 หน่วยความจำ

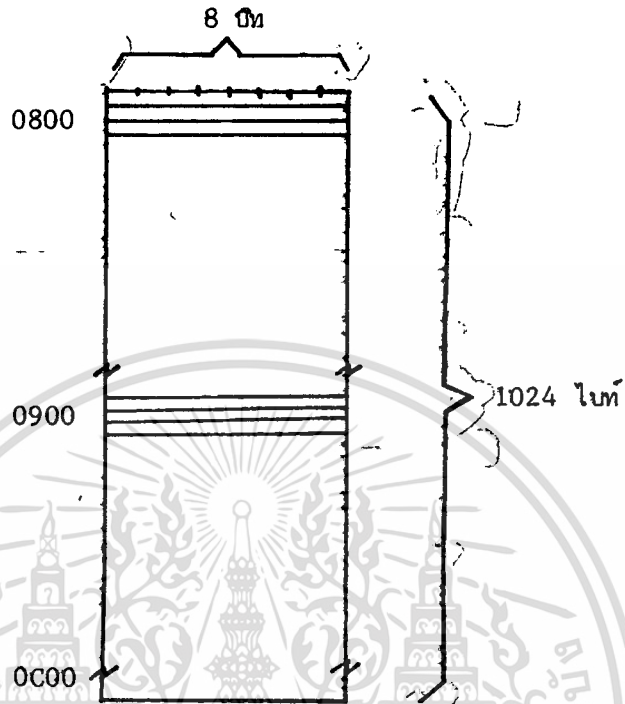
หน่วยความจำแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) และ RAM (Read/Write Random Access Memory)

EPROM ในที่มีมีขนาด 2 กิโลไบต์ แบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกตั้งแต่แอดเดรส 0000₁₆ ถึง 03FF₁₆ ใช้เก็บส่วนโปรแกรม ส่วนที่สองตั้งแต่แอดเดรส 0400₁₆ ถึง 07FF₁₆ ใช้เก็บส่วนของข้อมูลหรือรหัสต่าง ๆ ของกฎแฉ ดังรายละเอียดภาพสถาปัตยกรรมของ EPROM รูปที่ 5.4

ส่วน RAM ในที่มีมีขนาด 1 กิโลไบต์ ใช้สำหรับเก็บสแตคพอยน์เตอร์, คีย์แฟล็ก, หลักที่มีนัยยะสำคัญน้อยที่สุดครั้งสุดท้าย, หลักที่มีนัยยะสำคัญมากที่สุดครั้งสุดท้าย, เคาน์เตอร์การสมพงษ์ของข้อมูล, สภาวะของประตู, และบันทึกจำนวนครั้งในการใช้กฎแฉ ตลอดจนหลักชั่วโมง, นาที วินาที และบัพเฟอร์ของรหัส ดังมีสถาปัตยกรรมของ RAM ดังในรูปที่ 5.5

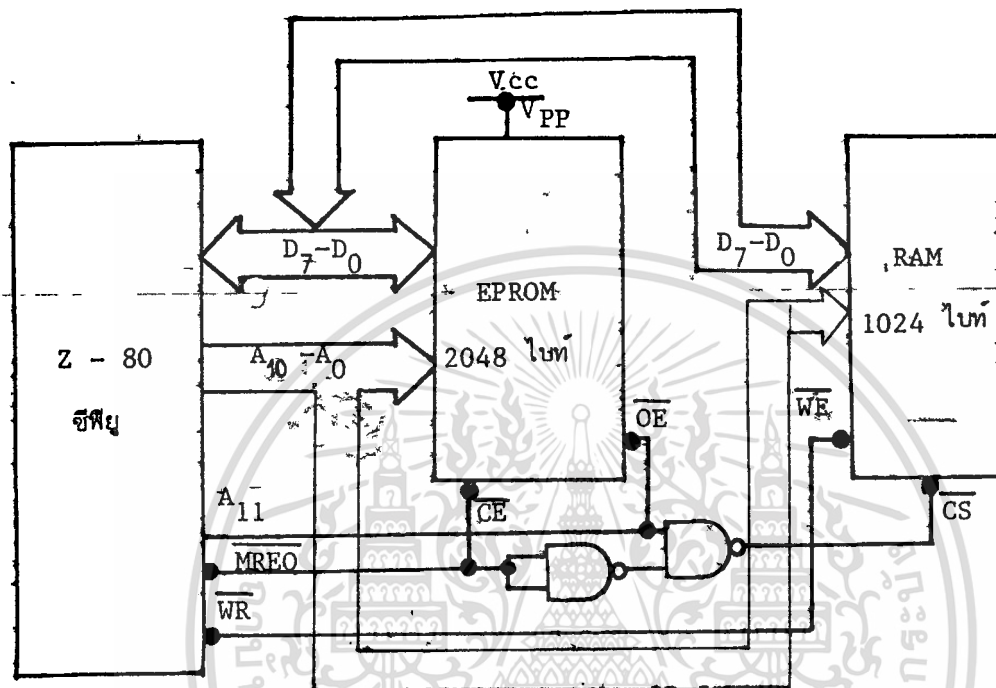


รูปที่ 5.4 สถาปัตยกรรมของ EPROM



รูปที่ 5.5 สถาปัตยกรรมของ RAM

ในทางฮาร์ดแวร์เราได้ต่อแอดเดรสของ RAM ให้เป็นแอดเดรสที่ต่อจาก
 แอดเดรสของ EPROM นั่นคือ แอดเดรสของ RAM จะเริ่มตั้งแต่ 0800_{16} ถึง
 $0C00_{16}$ ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 แสดงการต่อ EPROM และ RAM เข้ากับซีพียู

กำหนดค่าใน RAM ดังนี้

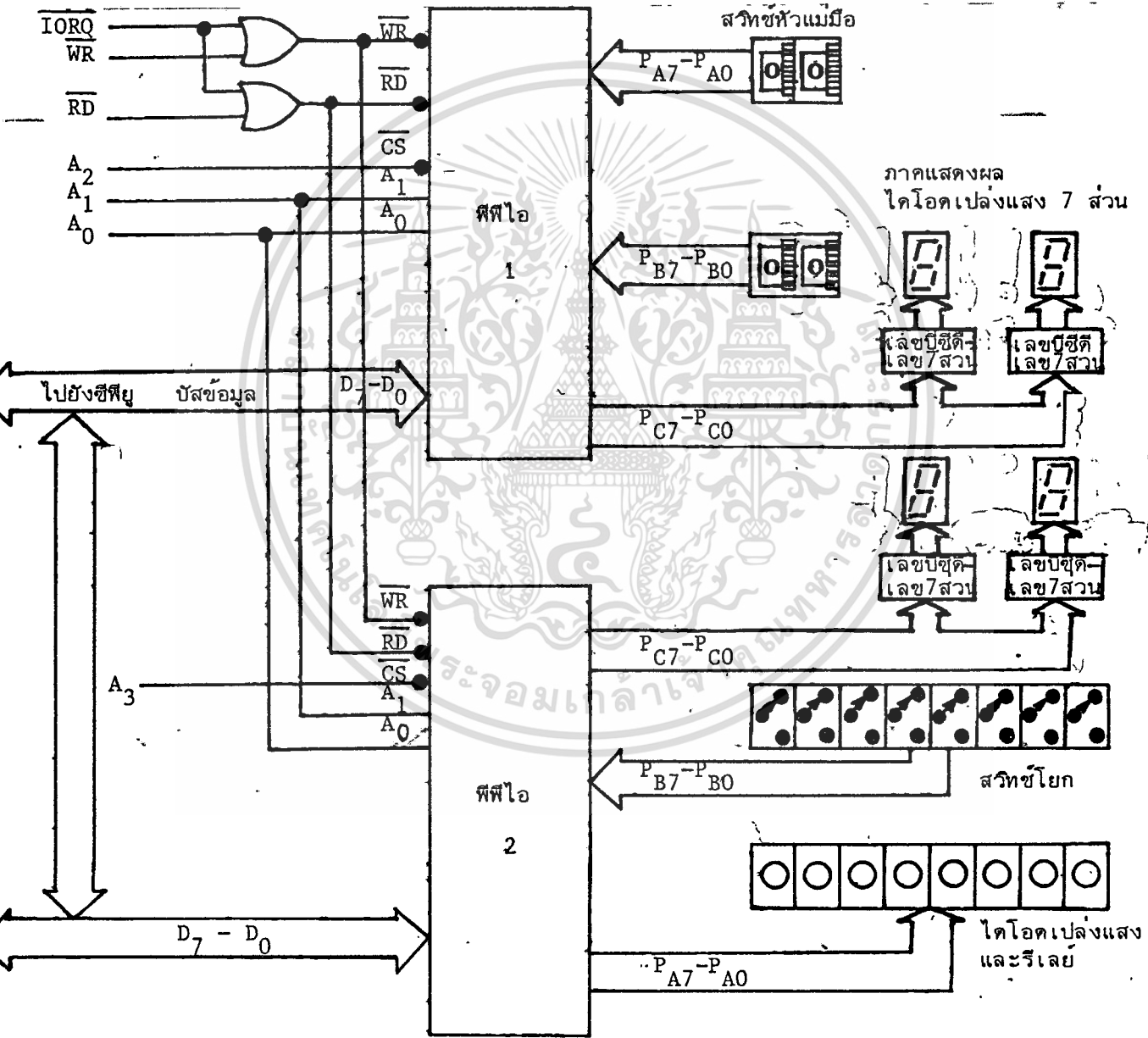
แอดเดรส	หน้าที่	ชื่อ
0800	คีย์แฟล็ก	KEYFLG
0801	หลักนัยยะสำคัญน้อยสุดตัวสุดท้าย	LLSD
0802	หลักนัยยะสำคัญมากที่สุดตัวสุดท้าย	LMSD
0803	นับจำนวนครั้งที่ข้อมูลสมพงษ์	CDMTH
0804	-	-
0805	เก็บเลขหลัก 10,000 ในฟอร์ม 2'S	FIFDGT
0806	" 1,000 " 2'S	FOUDGT
0807	" 100 " 2'S	TRDDGT
0808	" 10 " 2'S	SNDDGT
0809	" 1 " 2'S	FSTDGT
0900	สถานะของประตู	TMNSTS
0901	จำนวนครั้งของการเปิดประตูที่ 1	CNTCH1
0902	" " 2	CNTCH2
0903	" " 3	CNTCH3
0904	" " 4	CNTCH4
0905	" " 5	CNTCH5
0906	" " 6	CNTCH6
0907	" " 7	CNTCH7
0908	" " 8	CNTCH8
0910	เก็บหลักชั่วโมง	HOURL
0911	เก็บหลักนาที	MIN
0912	เก็บหลักวินาที	SEC
0913	เก็บแอดเดรสแรกของรหัสแต่ละชุด (ไบท์ต่ำ) LOCODE	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใด (ในที่สุด) HICODE โยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4 หน่วยไอโอ

หน่วยไอโอ คือหน่วยที่ทำหน้าที่รับข้อมูล เข้าและส่งข้อมูลออกกระหว่างซีพียูกับอุปกรณ์ไอโอ ในที่นี้ใช้พีซีไอ (PPI-Programmable Periferron Interface) 2 ตัว เป็นหน่วยไอโอ รายละเอียดตัวแสดงในรูปที่ 5.7



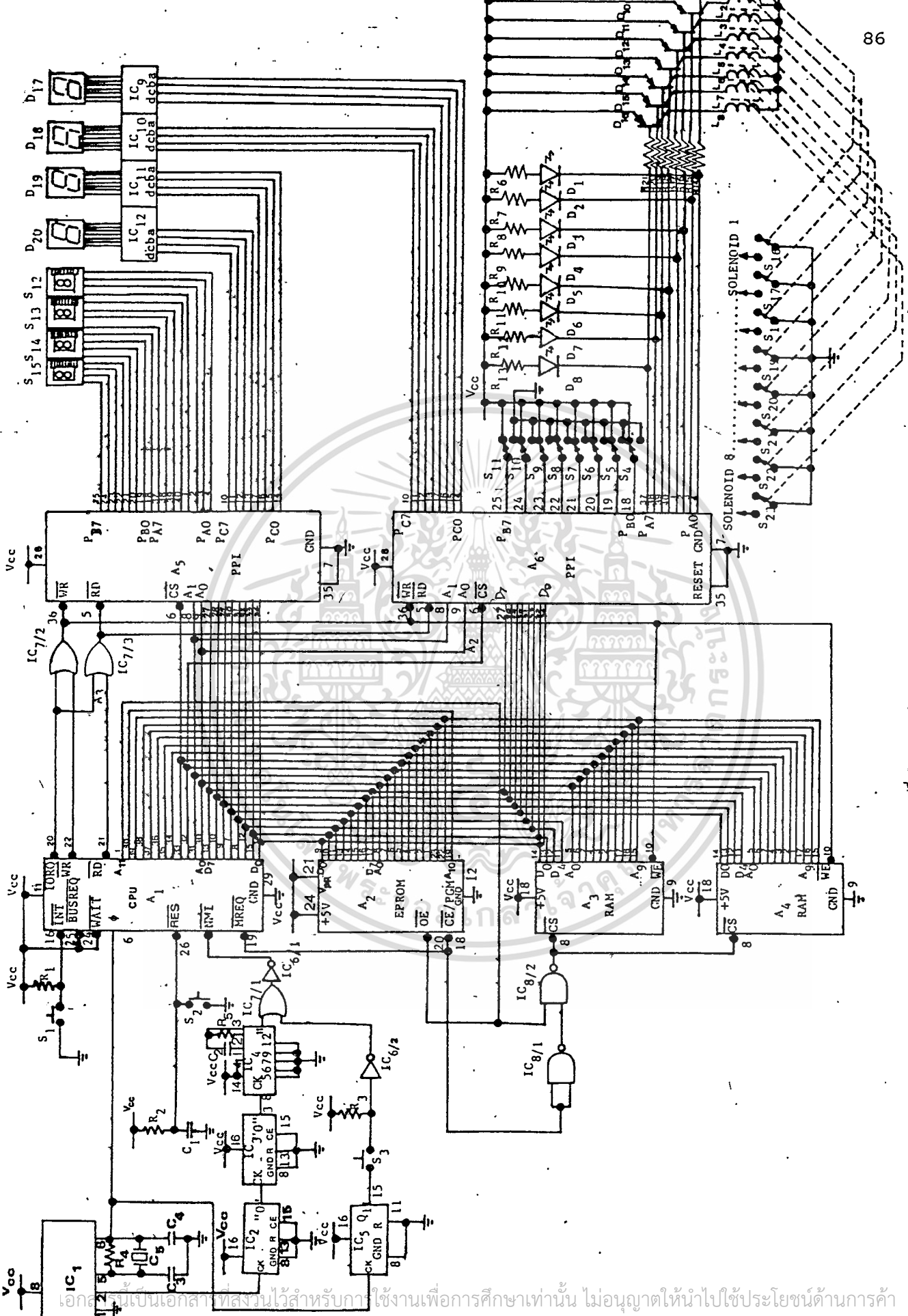
รูปที่ 5.7 การต่อพีซีไอเป็นอุปกรณ์ไอโอ

เราใช้แอดเดรส A_2 ควบคุมการทำงานของพีซีไอตัวที่ 1 และ A_3 ควบคุมการทำงานของพีซีไอตัวที่ 2 กล่าวคือ ถ้า A_2 เป็นศูนย์พีซีไอ, ตัวที่ 1 จะถูกเลือกใช้ ถ้า A_3 เป็นศูนย์พีซีไอตัวที่ 2 จะถูกเลือกใช้ ส่วนที่จะเลือกใช้พอร์ท P_A, P_B, P_C เป็นพอร์ทรับข้อมูลเข้าซีพียูหรือนำข้อมูลออกจากซีพียูนั้นจะใช้ขาแอดเดรส A_0 , และ A_1 ร่วมกับขา \overline{RD} และ \overline{WR} ในการเลือก ดังตารางที่ 5.1

A_1	A_0	\overline{RD}	\overline{WR}	\overline{CS}	รับข้อมูลเข้า (READ)
0	0	0	1	0	พอร์ท A → บัสข้อมูล
0	1	0	1	0	พอร์ท B → บัสข้อมูล
1	0	0	1	0	พอร์ท C → บัสข้อมูล
-	-	-	-	-	นำข้อมูลออก (WRITE)
0	0	1	0	0	บัสข้อมูล → พอร์ท A
0	1	1	0	0	บัสข้อมูล → พอร์ท B
1	0	1	0	0	บัสข้อมูล → พอร์ท C
1	1	1	0	0	บัสข้อมูล → ควบคุม
-	-	-	-	-	ไม่ทำหน้าที่ไอโอ
X	X	X	X	1	บัสข้อมูล → 3-สถานะ
1	1	0	1	0	เงื่อนไขที่ผิด

ตารางที่ 5.1 การทำงานของ 8255 พีซีไอ

เนื่องจากพีซีไอเป็นหน่วยไอโอที่สามารถโปรแกรมได้ถึง 3 แบบ (Mode) ใหญ่ ๆ ด้วยกันคือ แบบ 0, แบบ 1 และแบบ 2 และในแต่ละแบบยังแบ่งเป็นหลายอย่างตาม ความประสงค์ของผู้ใช้ ดังมีรายละเอียดในคู่มือการใช้ 8255 พีซีไอ ดังนั้นก่อนที่เราจะใช้พีซีไอทำหน้าที่ตามที่เรากำลังต้องการ เราจึงจำเป็นต้องโปรแกรมให้พีซีไอทำงานตามที่เรา



รูปที่ 5.8 แผนผังทางตรรกะของระบบหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการ ในที่นี้เราต้องการให้พีไอตัวแรกรับข้อมูลเข้าที่พอร์ท P_A และ P_B จากสวิชหัวแม่มือ และ P_C รับข้อมูลออกไปยังภาคแสดงผลไดโอดเปล่งแสง 7 ส่วน ดังนั้น จึงต้องโปรแกรมให้พีไอทำงานแบบ 0 และมีค่าควบคุม #10 ส่วนพีไอตัวที่ 2 ให้พอร์ท P_A รับข้อมูลออกไปยังรีเลย์เพื่อควบคุมการปิด-เปิดประตู, P_B นำข้อมูลเข้าจากสวิชโยกและ P_C รับข้อมูลออกไปยังภาคแสดงผลไดโอดเปล่งแสง 7 ส่วน ดังนั้น เราจึงต้องโปรแกรมให้พีไอทำงานแบบ 0 และมีค่าควบคุม #2

5.3 แผนผังทางตรรก, อุปกรณ์ที่ใช้และภาคจ่ายกำลัง

5.3.1 แผนผังทางตรรก

รูปที่ 5.8 เป็นแผนผังทางตรรกที่สมบูรณ์ของระบบกฎแจารหัสซึ่งมีรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ดังนี้

5.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร

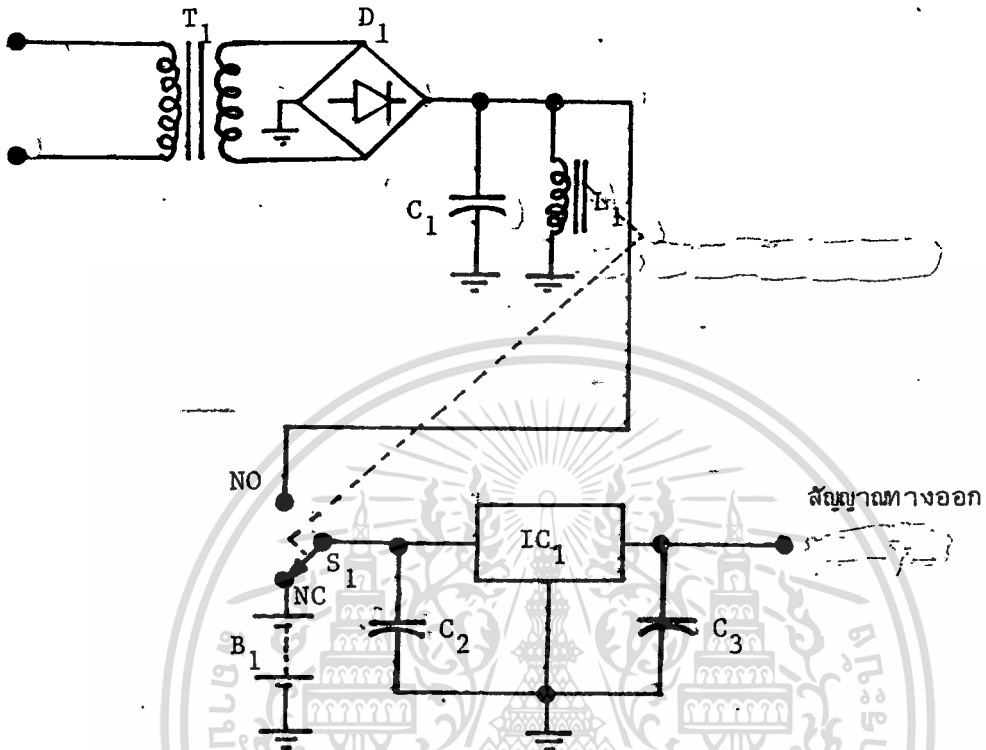
A_1	- Z-80	ซีพียู
A_2	- MM2716	อีพรอม
A_3, A_4	- MM2714	แรม
A_5, A_6	- INS8255	พีไอ
IC_1	- MM5369	ตัวกำเนิดสัญญาณ 100 เฮิรตซ์
IC_2, IC_3	- CD4017	ตัวหาร 10
IC_4	- CD4047	โมโนสเตเบิล/อะสเตเบิล มัลติไวเบเรเตอร์
IC_5	- CD4020	ตัวหารเลขฐาน 2
IC_6	- 7404	ตัวกลับสัญญาณ
IC_7	- 7432	เกต OR
IC_8	- 7400	เกต NAND
$IC_9 - IC_{12}$	- 7447	ตัวแปลงสัญญาณบิซีดีเป็นเลข 7 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$D_1 - D_8$	ไดโอดเปล่งแสง
$D_9 - D_{16}$	-2SC9302 ทรานซิสเตอร์พีเอ็นพี
$D_{17} - D_{20}$	ไดโอดเปล่งแสง 7 ส่วน
$S_1 - S_3$	สวิตช์กดติดปล่องดับ
$S_4 - S_{11}$	สวิตช์ปิด-เปิด 3 ชั่ว
$S_{12} - S_{15}$	สวิตช์หัวแม่มือเลขหลักสิบ
$S_{16} - S_{23}$	รีเลย์คอนแทกต์สวิตช์
C_1	ตัวเก็บประจุ 1 ไมโครฟารัด
C_2	" .01 ไมโครฟารัด
C_3, C_4	" 20' พิคโคฟารัด
C_5	แร่งผลึก
R_1, R_2, R_3	ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม
R_4	" 10 เมกกะโอห์ม
R_5	" 1 เมกกะโอห์ม
$R_6 - R_{13}$	" -680 โอห์ม
$R_{14} - R_{21}$	" 1 กิโลโอห์ม
$L_1 - L_8$	รีเลย์คอยล์ 6 โวลท์, 300 มิลลิแอมป์

5.3.3 ภาคจ่ายกำลัง

โดยปกติภาคจ่ายกำลังจะใช้ไฟกระแสสลับ 220 โวลท์ นำมาแปลงเป็นไฟตรง แล้วป้อนให้กับไอซีโวลเตจเรกกูเลเตอร์ สัญญาณทางออก 5 โวลท์ และเพื่อให้มีความเชื่อถือได้สูงจึงได้ต่อแบตเตอรี่สำรองคอนไฟฟ้าคับ รายละเอียดวงจรดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 วงจรภาคจ่ายกำลัง

รายละเอียดอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในวงจรรูปที่ 5.9 คือ

- T_1 = ทรานส์ฟอร์มเมอร์ 220/9 โวลต์ 5 แอมป์
 D_1 = บริดจ์ไดโอด 5 แอมป์
 IC_1 = LM323K 5 โวลต์ 5 แอมป์ โวลเตจเรกกูเลเตอร์
 C_1 = ตัวเก็บประจุ 470 ไมโครฟารัด 16 โวลต์
 C_2 = " 4,400 " 16 "
 C_3 = " .01
 B_1 = แบตเตอรี่ 12 V · 100 แอมป์-ชั่วโมง

$$L_1 = \text{รีเลย์ 6 โวลท์ 300 มิลลิแอมป์}$$

$$S_1 = \text{รีเลย์คอนเทกต์สวิตช์}$$

5.4 ซอร์ฟแวร์

ซอร์ฟแวร์ในระบบนี้แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

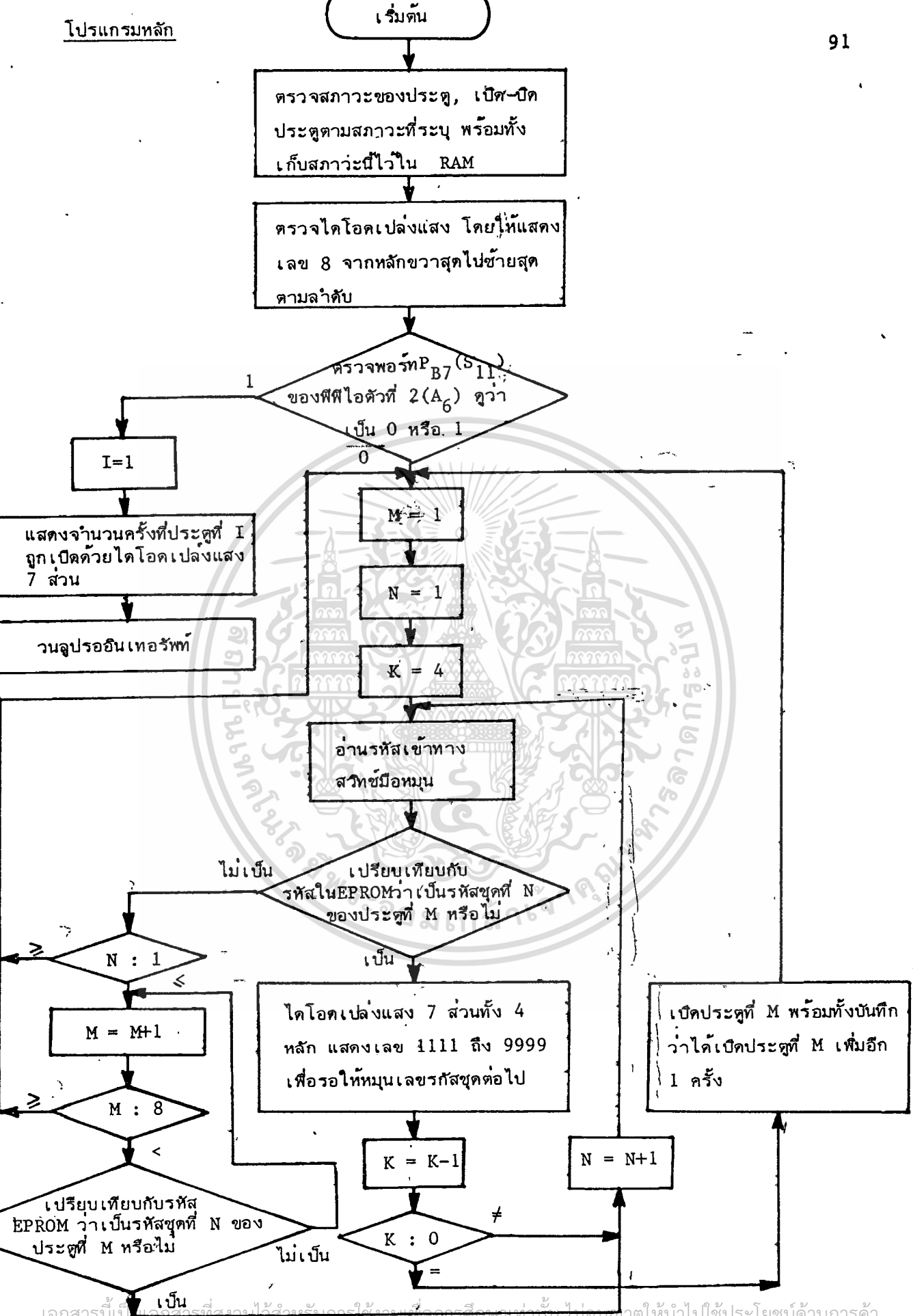
1. ส่วนโปรแกรม หน้าหน้าที่ถอดรหัส, สั่งให้ซีพียูทำหน้าที่เป็นนาฬิกา, บันทึกจำนวนครั้งในการเปิดประตูแต่ละประตู, ปิด-เปิดประตูฉุกเฉิน และแสดงผลด้วยไดโอดเปล่งแสง : 7 ส่วน โปรแกรมนี้ยาวประมาณ 1 กิโลไบต์
2. ส่วนรหัส ในระบบนี้สร้างขึ้นสำหรับ 8 ประตู แต่ละประตูมี 12 รหัส เพราะรหัสจะเปลี่ยนทุก ๆ 2 ชั่วโมง แต่ละรหัสมีความยาว 9 ไบต์ ดังนั้น ส่วนรหัสนี้จะกินเนื้อที่อีกประมาณ 1 กิโลไบต์

ส่วนโปรแกรมและส่วนรหัสอยู่ใน EPROM

3. ส่วนบัฟเฟอร์ ใช้สำหรับเก็บสแคตพอยน์เตอร์, คีย์แฟล็ก, หลักที่มีนัยยะสำคัญน้อยที่สุดครั้งสุดท้าย, หลักที่มีนัยยะสำคัญมากที่สุดครั้งสุดท้าย, เควนเตอร์การสมพงษ์ของข้อมูล, สภาวะของประตู, บัฟเฟอร์บันทึกจำนวนครั้งในการเปิดประตู, หลักชั่วโมง, นาที, วินาที, บัฟเฟอร์แอดเดรสของรหัส, หลัก 10,000 2'S, 1,000 2'S, 100 2'S, 10 2'S และ 1 2'S ส่วนนี้จะอยู่ใน RAM 1 กิโลไบต์

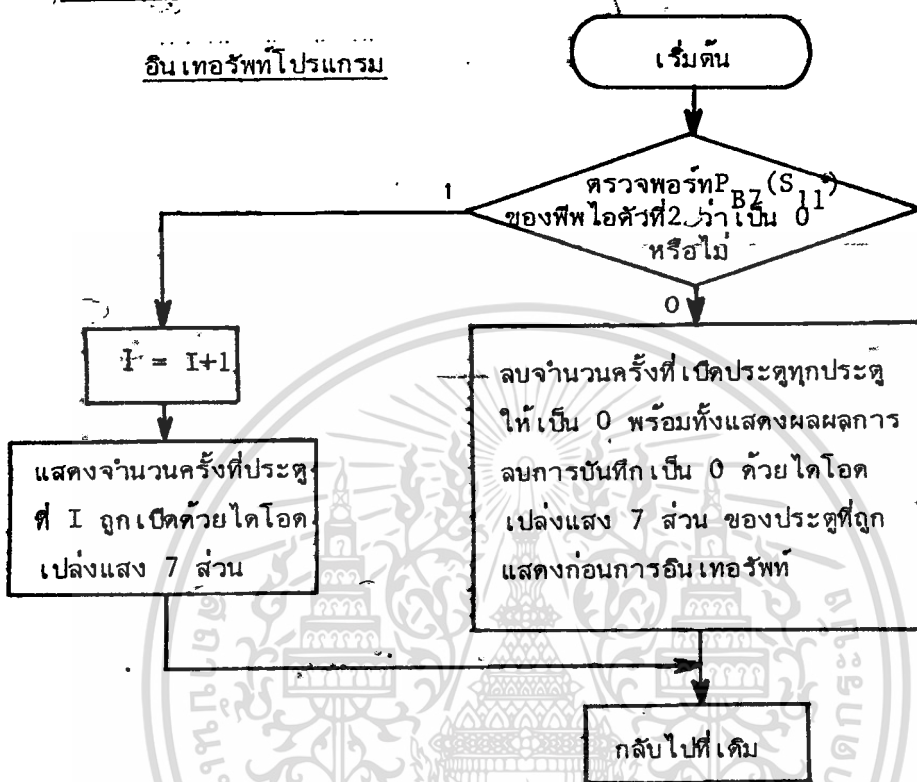
5.4.1 โพลีซาร์จ

ระบบกฏจราจรที่มีโพลีซาร์จ ดังรูปที่ 5.10



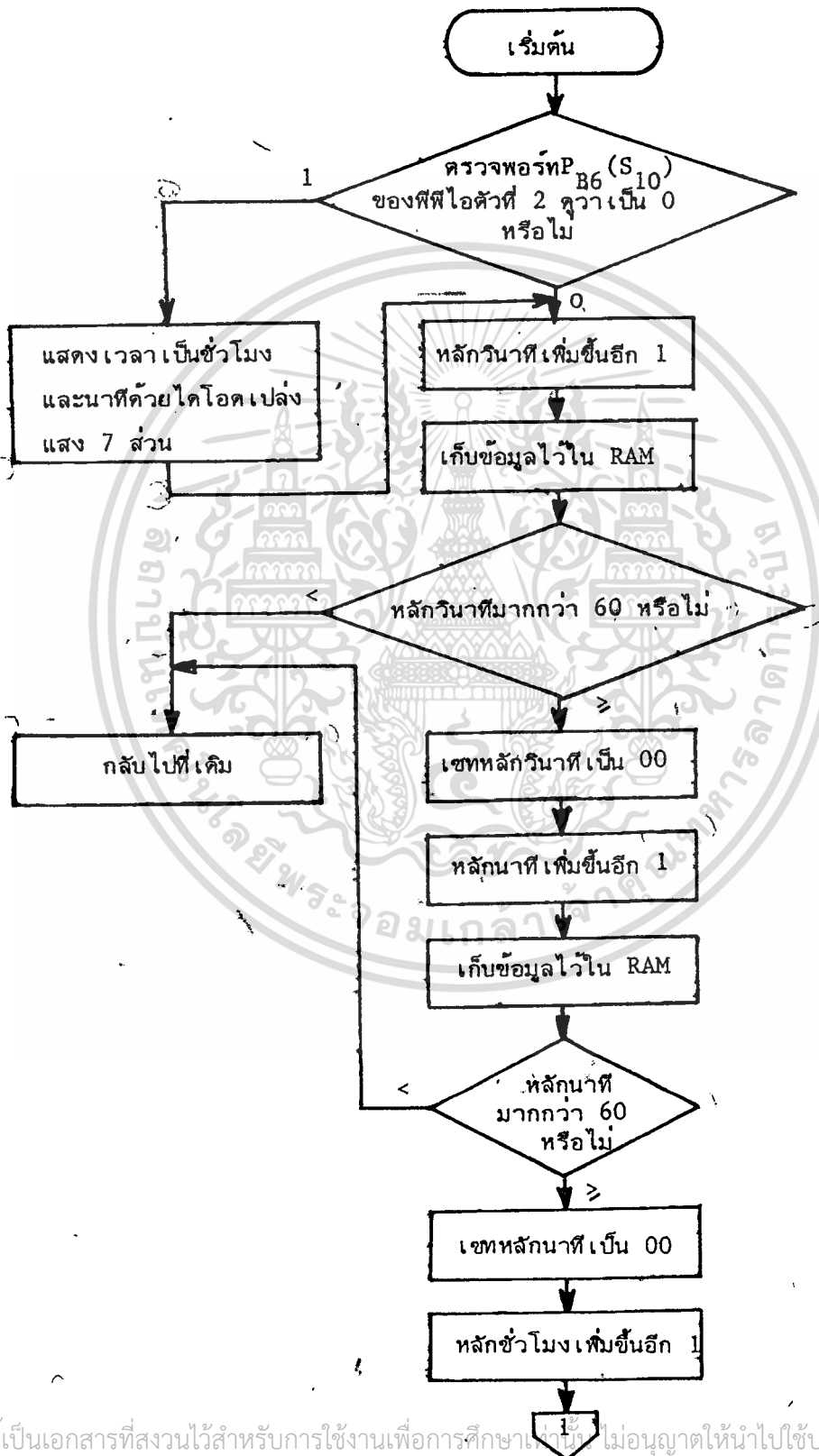
โปรแกรมย่อย

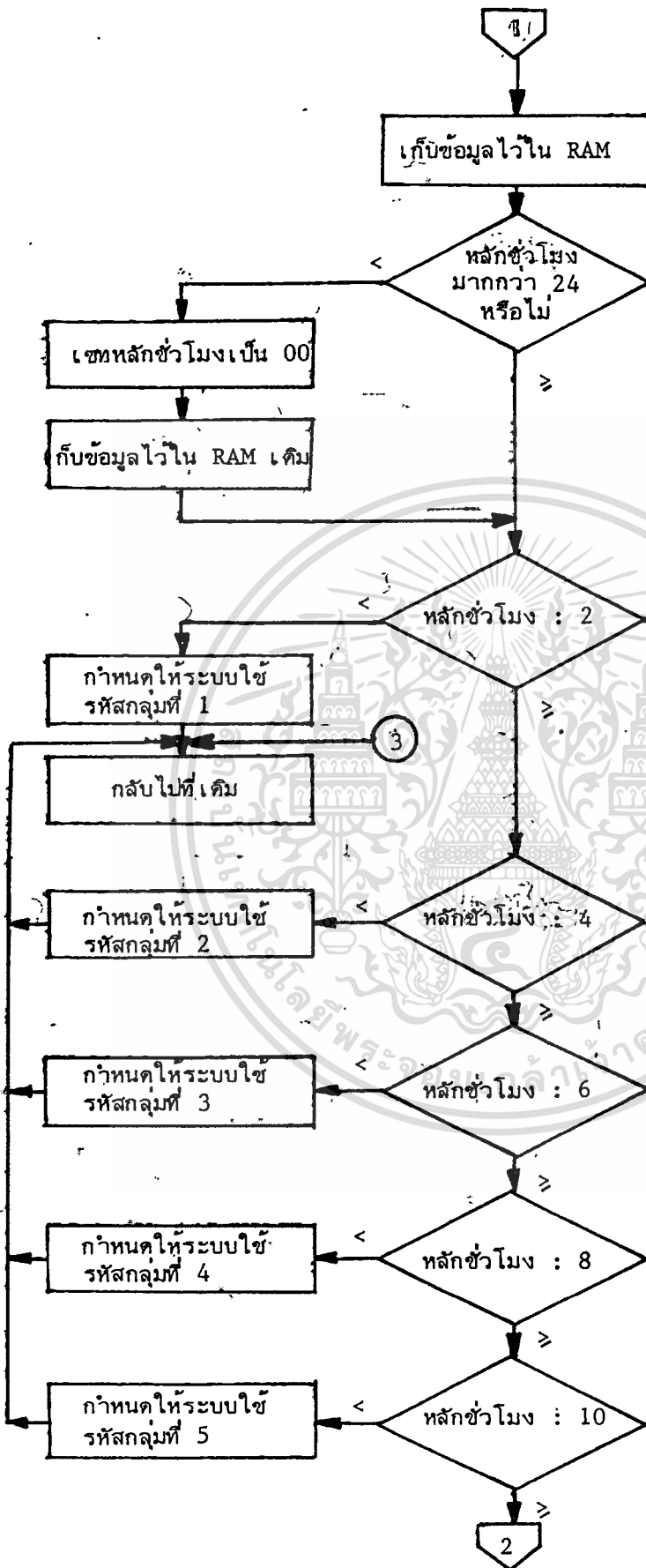
อินเทอร์พรีเตอร์โปรแกรม



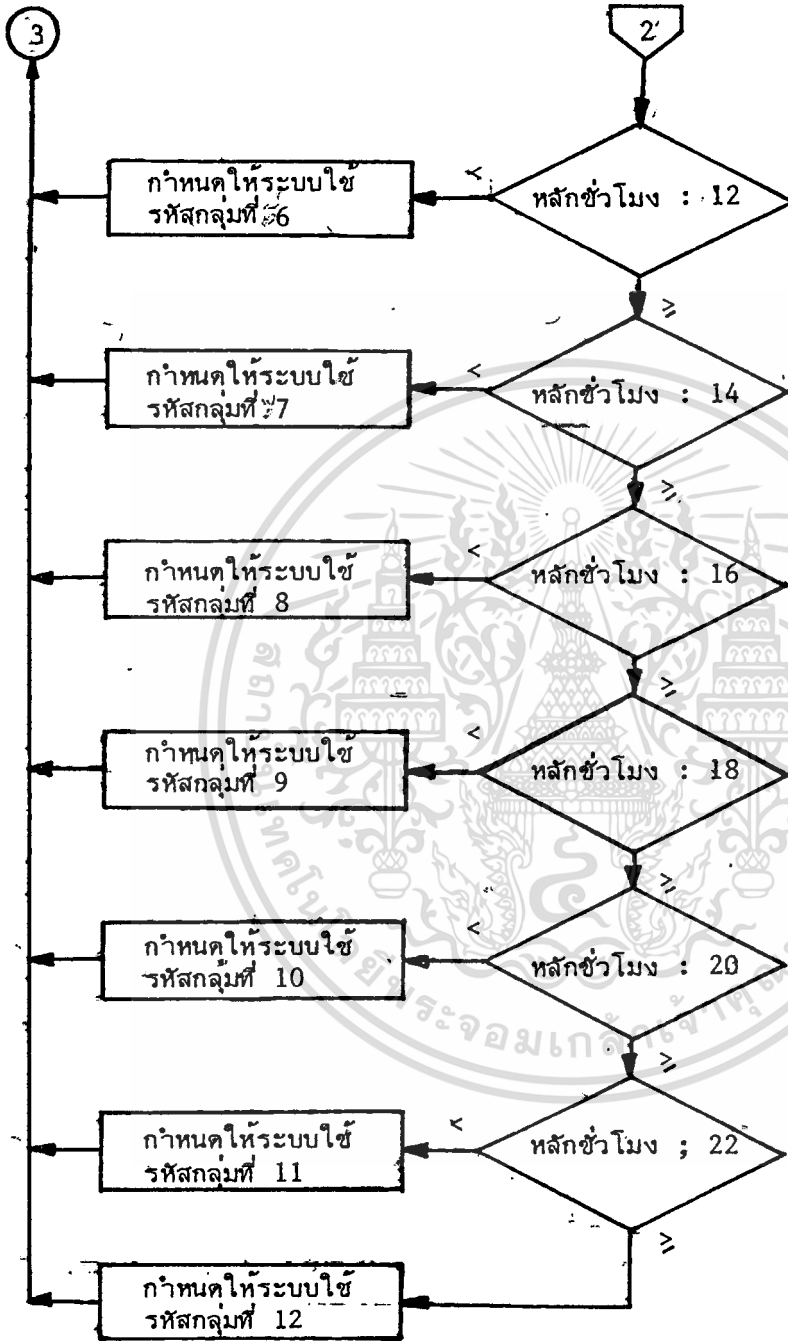
รูปที่ 5.11 โฟลว์ชาร์จของอินเทอร์พรีเตอร์โปรแกรม

นอมมาสคเอบีลอินเทอร์พรีแกรม





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 โฟลว์ชาร์จของนอมนาสค์เอเชียนเทอร์ทิโปรแกรม

5.4.2 โปรแกรม

โปรแกรมหลัก

SECURITY LOCKED SYSTEM

Address	Obj.Code	Label	MNE.	Operand	Comment
0000	ED56		IMI		;SET INTERRUPT MODE 1
0002	C30002		JP	0200	;JUMP TO ADDR. 0200H
0200	F3		DI		;DISABLE INTERRUPT
0201	3E92		LD	A,92	;LOAD ACC. WITH PPI ;CONTROL WORD #10
0203	D3FB		OUT	(FB),A	;SET PPI(A ₅) IN MODE 0 ;CONFIG. WITH CONTROL ;WORD #10
0205	3E82		LD	A,82	;LOAD ACC. WITH PPI ;CONTROL WORD #2
0207	D3F7		OUT	(F7),A	;SET PPI (A ₆) IN MODE 0 ;CONFIG. WITH CONTROL ;WORD #2
0209	31C00B		LD	SP,(OBC0)	;INITIALIZE STACK
020C	DBF5		IN	A,(F5)	;LOAD ACC. WITH INPUT ;FROM INPUT PORT F5 ;(ON/OFF SW)
020E	F6C0		OR	CO	;MASK CH.6, 7
0210	320009		LD	(TMNSTS),A	;LOAD CONTENT IN ACC. ;INTO THE MEMORY LOCATION ;TMNSTS
0213	D3F4		OUT	(F4),A	;LOAD OUTPUT PORT F4 WITH ;CONTENT IN ACC.
0215	3EFF		LD	A,FF	;LOAD ACC. WITH FFH
0217	D3F6		OUT	(F6),A	;BLINK 7 SEGMENT LED 3 rd , ;4 th DIGIT

Address	Obj.Code	Label	MNE.	Operand	Comment
0219	D3FA		OUT	(FA),A	;BLINK 7 SEGMENT LED 1 st ;2 nd DIGIT
021B	3EF8		LD	A,F8	;LOAD ACC. WITH F8H
021D	D3FA		OUT	(FA),A	;7 SEGMENT LED FIRST DIGIT ;SHOW CHAR.8
021F	CDC001		CALL	DELAY	;DELAY
0222	3E0F		LD	A,OF	;LOAD ACC. WITH OFH
0224	D3FA		OUT	FA,A	;BLINK 7 SEGMENT LED 1 st DIGIT
0226	CDC001		CALL	DELAY	;DELAY
0229	C680		ADD	A,80	;ADD ACC. WITH 08H
022B	D3FA		OUT	(FA),A	;7 SEGMENT LED 2 nd DIGIT ;SHOW CHAR.8
022D	CDC001		CALL	DELAY	;DELAY
0230	3EFF		LD	A,FF	;LOAD ACC. WITH FFH
0232	D3FA		OUT	(FA),A	;BLINK 7 SEGMENT LED 1 st ;2 nd DIGIT
0234	3EF8		LD	A,F8	;LOAD ACC. WITH F8
0236	D3F6		OUT	F6,A	;7 SEGMENT LED 3 rd DIGIT ;SHOW CHAR.8
0238	CDC001		CALL	DELAY	;DELAY
023B	3E0F		LD	A,OF	;LOAD ACC. WITH OFH
023D	D3F6		OUT	(F6),A	;BLINK 7 SEGMENT LED 3 rd ;DIGIT
023F	CDC001		CALL	DELAY	;DELAY
0242	C680		ADD	A,80	;ADD. ACC. WITH 80H
0244	D3F6		OUT	(F6),A	;7 SEGMENT LED 4 th DIGIT ;SHOW CHAR.8
0246	CDC001		CALL	DELAY	;DELAY
0249	3EFF		LD	A,FF	;LOAD ACC. WITH FFH
024B	D3F6		OUT	(F6),A	;BLINK 7 SEGMENT LED 3 rd , ;4 th DIGIT
024D	DBF5		IN	A,(F5)	;LOAD ACC. WITH INPUT FROM ;ON/OFF SW.

Address	Obj.Code	Label	MNE.	Operand	Comment
024F	CB7F		BIT	7,A	;CHECK 7 th ON/OFF SW.
0251	2003		JR	NZ,CHECK	;JUMP TO LOCATION CHECK ;IF CONDITION TRUE
0253	C3B000		JP	MAIN	;JUMP TO LOCATION MAIN
0256	FB	CHECK	EI		;ENABLE INTERRUPT
0257	ED56		IMI		;SET INTERRUPT MODE 1
0259	1608		LD	D,08	;LOAD REG.D WITH NO.OF CH.
025B	1F01		LD	E,01	;01 = CH.1
025D	210109		LD	HL,0901	;CH.1 COUNTER MEMORY
0260	01FFFF	LOC1	LD	BC,FFFF	;LOAD REG.B,C WITH FEH
0266	0D	LOC2	DEC	C	;DEC. REG. C WITH 1
0267	20FD		JR	NZ,LOC1	;JUMP TO LOCATION LOC2 ;IF CONDITION TRUE
0269	05		DEC	B	;DEC. REG. B WITH 1
026A	20FA		JR	NZ,LOC2	;JUMP TO LOCATION LOC2 ;IF CONDITION TRUE
026C	18F5		JR	LOC1	;JUMP TO LOCATION LOC1
00B0	FB		EI		;ENABLE INTERRUPT
00B1	ED56		IMI		;SET INTERRUPT MODE 1
00B3	3EFF	LOCC	LD	A,FF	;LOAD ACC. WITH FFH
00B5	320008		LD	(KEYFLG),A	;SET KEYFLAG WITH FFH.
0038	2A1309	LOCB	LD	HL,(CODE)	;START OF CODE GROUP
00BB	3E04		LD	A,04	;CODE MATCH COUNTER
00BD	320308		LD	(CDMTH),A	;CODE MATCH COUNTER BUFFER
00C0	110108		LD	DE,0801	;08=NO. OF CH., 01=CH.1
00C3	DBF9	LOCE	IN	A,(F9)	;LOAD ACC. WITH INPUT FROM ;3 rd AND 4 th THUMPWHEEL SW.
00C5	47		LD	B,A	;LOAD CONTENT IN ACC. TO ;REG. B
00C6	DBF8		IN	A,(F8)	;LOAD ACC. WITH INPUT FROM ;1 st AND 2 nd THUMPWHEEL SW.

Address	Obj.Code	Label	MNE.	Operand	Comment
00C8	4F		LD	C,A	;LOAD CONTENT IN ACC. TO ;REG. C
00C9	3A0008		LD	A,(KEYFLG)	;LOAD KEYFLAG TO ACC.
00CC	B7		OR	A	;TEST KEYFLAG
00CD	2004		JR	NZ,COMP	;JUMP TO LOCATION COMP ;IF CONDITION TRUE
00CF	ED430108		LD	(LLSD),BC	;LOAD CONTENT IN REG. C ;TO LLSD BUFFER ;LOAD CONTENT IN REG. B ;TO LMSD BUFFER
00D3	3A0108	COMP	LD	A,(LLSD)	;LOAD CONTENT IN LLSD ;BUFFER TO ACC.
00D6	B9		CP	C	;COMPARE REG.C WITH ACC.
00D7	2018		JR	NZ,LOCA	;JUMP TO LOCATION LOCA IF ;CONDITION TRUE
00D9	3A0208		LD	A,(LMSD)	;LOAD CONTENT IN LMSD ;BUFFER TO ACC.
00DC	B8		OP	B	;COMPARE REG.B WITH ACC.
00DD	2012		JR	NZ,LOCA	;JUMP TO LOCATION LOCA IF ;CONDITION TRUE
00DF	18D2		JR	LOCC	;JUMP TO LOCATION LOCC
00E1	3EFF	LOCF	LD	A,FF	;LOAD ACC. WITH FFH
00E3	D3FA		OUT	(FA),A	;BLINK 7 SEGMENT LED 1 st ;2 nd DIGIT
00E5	D3F6		OUT	(F6),A	;BLINK 7 SEGMENT LED 3 rd ;4 th DIGIT
00E7	3E09		LD	A,09	;NO. OF BYTE OF CODE
00E9	85		ADD	L	;ADD REG.L WITH ACC.
00EA	6F		LD	L,A	;LOAD CONTENT IN ACC.TO ;REG.L
00EB	1C		INC	E	;INCREMENT REG.E WITH 1

Address	Obj.Code	Label	MNE.	Operand	Comment
00EC	15		DEC	D	;DECREMENT REG.D WITH 1
00ED	2007		JR	NZ,LOCD	;JUMP TO LOCATION LOCD ;IF CONDITION TRUE
00EF	18C7		JR	LOCB	;JUMP TO LOCATION LOCB
00F1	3E00	LOCA	LD	A,00	;LOAD ACC. WITH 00H
00F3	320008		LD	(KEYFLG),A	;RESET KEYFLAG
00F6	78	LOCD	LD	A,B	;LOAD CONTENT IN REG.B ;TO ACC.
00F7	BE		CP	(HL)	;COMPARE 1 st 2 DIGIT CODE
00F8	20E7		JR	NZ,LOCF	;JUMP TO LOCATION LOCF IF ;CONDITION TRUE
00FA	79		LD	A,C	;LOAD CONTENT IN REG.C TO ACC.
00FB	23		INC	HL	;INCREMENT HL TO NEXT CODE
00FC	BE		CP	(HL)	;COMPARE 2 nd 2 DIGIT CODE
00FD	20B9		JR	NZ,LOCB	;JUMP TO LOCATION LOCB IF ;CONDITION TRUE
00FF	CD9F02		CALL	"1-9"	;DISPLAY 1111-9999 RESPEC ;RESPECTIVELY
0102	23		INC	HL	;INCREMENT HL TO NEXT CODE
0103	3A0308		LD	A,(CDMTH)	;LOAD CODE MATCH COUNTER ;TO ACC.
0106	3D		DEC	A	;DECREMENT MATCH COUNTER
0107	201C		JR	NZ,LOGG	;JUMP TO LOCATION LOGG IF ;CONDITION TRUE
0109	3A0009		LD	A,(TMNSTS)	;LOAD TERMINAL STATUS TO ACC.
010C	A6		AND	(HL)	;AND CONTENT IN HL WITH ACC.
010D	320009		LD	(TMNSTS),A	;LOAD CONTENT IN ACC. TO ;MEMORY LOCATION TMNSTS
0110	D3F4		OUT	(F4),A	;OUTPUT TERMINAL STATUS ;TO RELAYS AND LEDS
0112	1609		LD	D,09	;LOAD REG.D WITH 09
0114	62		LD	H,D	;H POINT TO ADDR. 09--H

Address	Obj.Code	Label	MNE.	Operand	Comment
0115	6B		LD	L,E	;L POINT TO ADDR.--(E)H
0116	34		INC	(HL)	;INCREMENT CH. COUNTER
0117	CD9001		CALL	DISPLY	;DISPLAY CH. COUNTER
011A	CDC001		CALL	DELAY	;DELAY
011D	CDC001		CALL	DELAY	;DELAY
0120	CDC001		CALL	DELAY	;DEALY
0123	188E		JR	LOCC	;JUMP TO LOCATION LOCC
0125	320308	LOCG	LD	(CDMTH),A	;LOAD CONTENT IN ACC. TO ;MATCH CONTER BUFFER
0128	3EFF		LD	A,FF	;LOAD ACC. WITH FF
012A	320008		LD	(KEYFLG),A	;SET KEY FLAG
012D	1894		JR	LOCF	;JUMP TO LOCATION LOCF

โปรแกรมย่อย

CALL DISPLY

SUBROUTINE TO DISPLAY DATA ON 7 SEGMENT LED

0190	C5	DISPLY PUSH	BC		;SAVE BC INTO STACK
0191	7B	LD	A,E		;LOAD ACC. WITH CONTENT ;IN REG.E
0192	D3F6	OUT	(F6),A		;7 SEGMENT LED 3 rd AND 4 th ;DIGIT SHOW CONTENT IN ACC.
0194	7E	LD	A,(HL)		;LOAD ACC. FROM MEMORY ;LOCATION ADDRESSED BY HL
0195	D5	PUSH	DE		;SAVE DE
0196	E5	PUSH	HL		;SAVE HL
0197	5F	LD	E,A		;LOAD CONTENT IN ACC. ;TO REG.E

Address	Obj.Code	Label	MNE.	Operand	Comment
0198	1600		LD	D,00	;IGNORE 3 rd AND 4 th DIGIT
019A	CD5001		CALL	BTTOBC	;CONVERT BINARY TO BCD
019D	E1		POP	HL	;RESTORE HL FROM TOP OF ;STACK
019E	D1		POP	DE	;RESTORE DE FROM TOP OF ;STACK
019F	3A0908		LD	A, (ESTDGT)	;LOAD ACC. WITH 1 st ;DIGIT BCD
01A2	47		LD	B,A	;LOAD CONTENT IN ACC. ;TO REG. B
01A3	3A0808		LD	A, (SNDDGT)	;LOAD ACC. WITH 2 nd ;DIGIT BCD
01A6	07		RLCA		;ROTATE ACC. LEFT WITH ;BRANCH CARRY
01A7	07		RLCA		;ROTATE ACC. LEFT WITH ;BRANCH CARRY
01A8	07		RLCA		;ROTATE ACC. LEFT WITH ;BRANCE CARRY
01A9	07		RLCA		;ROTATE ACC. LEFT WITH ;BRANCH CARRY
01AA	B0		OR	B	;OR ACC. WITH REG. B
01AB	D3FA		OUT	(FA),A	;7 SEGMENT LED SHOW ;CONTENT IN ACC.
01AD	C1		POP	BC	;RESTORE BC FROM TOP OF ;STACK
01AE	C9		RET		;RETURN

CALL BITOBC

 SUBROUTINE TO CONVERT 8 BIT BINARY VALUE TO 2 BCD CHARACTORS

Address	Obj.Code	Label	MNE.	Operand	Comment
0150	210508	BITOBC	LD	HL,0805	;08=NO. OF BIT THAT ;WILL BE CONVERT .. TO A ;5 BCD.
0153	F5		PUSH	AF	;SAVE AF INTO STACK
0154	C5		PUSH	BC	;SAVE BC INTO STACK
0155	D5		PUSH	DE	;SAVE DE INTO STACK
0156	E5		PUSH	HL	;SAVE HL INTO STACK
0157	EB		EX	DE,HL	;EXCHANGE THE CONTENT ;OF DE AND HL
0158	01F0D8		LD	BC,D8P0	;LOAD REG. PAIR BC WITH ;10,000 IN FORM OF 2'S
015B	CD7901		CALL	DECNO	;CONVERT TO DECIMAL NO.
015E	0118FC		LD	BC,FC18	;LOAD REG. PAIR BC WITH ;1,000 IN FORM OF 2'S
0161	CD7901		CALL	DECNO	;CONVERT TO DECIMAL NO.
0164	019CFF		LD	BC,FF9C	;LOAD REG. PAIR BC WITH ;100 IN FORM OF 2'S
0167	CD7901		CALL	DECNO	;CONVERT TO DECIMAL NO.
0164	01F6FF		LD	BC,FFF6	;LOAD REG. PAIR BC WITH ;10 IN FORM OF 2'S
016D	CD7901		CALL	DECNO	;CONVERT TO DECIMAL NO.
0170	7D		LD	A,L	;LOAD CONTENT IN REG.L ;TO ACC.
0171	C600		ADD	A,00	;ADD ACC. WITH 00H
0173	12		LD	(DE),A	;LOAD CONTENT IN ACC. TO ;MEMORY LOCATION ADDRESSED ;BY DE

Address	Obj.Code	Label	MNE.	Operand	Comment
0174	E1		POP	HL	;RESTORE HL FROM TOP OF ;STACK
0175	D1		POP	DE	;RESTORE DE FROM TOP OF ;STACK
0176	C1		POP	BC	;RESTORE BC FROM TOP OF ;STACK
0177	F1		POP	AF	;RESTORE AF FROM TOP OF ;STACK
0178	C9		RET		;RETURN
CALL DECNO					

SUBROUTINE TO CONVERT BCD TO DECIMAL					

0179	3E00	DECNO:	LD	A,00	;LOAD ACC. WITH 00H
017B	D5		PUSH	DE	;SAVE DE INTO STACK
017C	5D	LOCX	LD	E,L	;LOAD CONTENT IN REG.L ;TO REG.E
017D	54		LD	D,H	;LOAD CONTENT IN REG.H ;TO REG.D
017E	3C		INC	A	;INCREMENT CONTENT OF ;ACC. BY 1
017F	09		ADD	HL,BC	;ADD CONTENT OF REG. PAIR ;BC TO REG. PAIR HL
0180	38FA		JR	C,LOCX	;JUMP TO LOCATION LOCX ;IF CONDITION TRUE
0182	3D		DEC	A	;DECREMENT CONTENT OF ACC. ;BY 1
0183	6B		LD	L,E	;LOAD CONTENT OF REG.E ;TO REG.L
0184	62		LD	H,D	;LOAD CONTENT OF REG.D ;TO REG.H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Address	Obj.Code	Label	MNE.	Operand	Comment
0185	D1		POP	DE	;RESTORE DE FROM TOP OF ;STACK
0186	12		LD	(DE),A	;LOAD CONTENT OF ACC.TO ;MEMORY LOCATION ADDRESSED ;BY DE
0187	13		INC	DE	;INCREMENT CONTENT IN REG. ;PAIR DE BY 1
0188	C9		RET		;RETURN
CALL ONTONI					

SUBROUTINE TO DISPLAY 1111 TO 9999					

029F	F5	ONTONI	PUSH	AF	;SAVE AF INTO STACK
02A0	D5		PUSH	DE	;SAVE DE INTO STACK
01A1	1605		LD	D,09	;LOAD REG. D WITH 09H
02A3	3E00		LD	A,00	;LOAD ACC. WITH 00H
02A5	C611	LOCY	ADD	11	;ADD CONTENT OF ACC. ;WITH 11'H
02A7	F5		PUSH	AF	;RESTORE AF FROM TOP OF ;STACK
02A8	D3FA		OUT	(FA),A	;7 SEGMENT LED 1 st , 2 nd ;DIGIT SHOW CHAR. 11
02AA	D3F6		OUT	(F6),A	;7 SEGMENT LED 3 rd , 4 th ;DIGIT SHOW CHAR. 11
02AC	CDC001		CALL	DELAY	;DELAY
02AF	GDC001		CALL	DELAY	;DELAY
02B2	3EFF		LD	A,FF	;LOAD ACC. WITH FF
02B4	D3FA		OUT	(FA),A	;BLINK 7 SEGMENT LED 1 st ;AND 2 nd DIGIT

Address	Obj.Code	Label	MNE.	Operand	Comment
02B6	D3F6		OUT	(F6),A	;BLINK 7 SEGMENT LED ;3 rd AND 4 th DIGIT
02B8	CDC001		CALL	DELAY	;DELAY
02BB	CDC001		CALL	DELAY	;DELAY
02BE	F1		POP	AF	;RESTORE AF FROM TOP OF ;STACK
02BF	15		DEC	D	;DECREMENT CONTENT OF ;REG.D BY 1
02C0	20D7		JR	NZ,LOCY	;JUMP TO LOCATION LOCY ;IF CONDITION TRUE
02C2	D1		POP	DE	;RESTORE DE FROM TOP OF ;STACK
02C3	F1		POP	AF	;RESTORE AF FROM TOP OF ;STACK
02C4	C9		RET		;RETURN
			CALL	DELAY	

SUBROUTINE TO DELAY 100 mS					

01C0	E5		PUSH	HL	;SAVE HL INTO STACK
01C1	21FFFF		LD	HL,FFFF	;LOAD REG. PAIR HL ;WITH FFFFH
01C4	2D	LOCZ	DEC	L	;DE CREMENT CONTENT ;OF REG.L BY 1
01C5	20FD		JR	NZ,LOCZ	;JUMP TO LOCATION LOCZ ;IF CONDITION TRUE
01C7	25		IEC	H	;DECREMENT CONTENT OF ;REG,H BY 1
01C8	20FA		JR	NZ,LOCZ	;JUMP TO LOCATION LOCZ ;IF CONDITION TRUE

Address	Obj.Code	Label	MNE.	Operand.	Comment
01CA	E1		POP	HL	;RESTORE HL FROM TOP OF ;STACK
01CB	C9		RET		;RETURN

อินเทอร์พท์โปรแกรม

INTERUPT ROUTINE

0038	F3		DI		;DISABLE INTERRUPT
0039	DBF5		IN	A,F5	;LOAD ACC. WITH INPUT ;FROM ON/OFF SW.
003B	CB7F		BIT	7,A	;CHECK 7 th ON/OFF SW.
003D	2017		JR	NZ,INC	;JUMP TO LOCATION INC. ;IF CONDITION TRUE
003F	C5	CLEAR	PUSH	BC	;SAVE BC INTO STACK
0040	D5		PUSH	DE	;SAVE DE INTO STACK
0041	E5		PUSH	HL	;SAVE HL INTO STACK
0042	210109		LD	HL,0901	;CH.1 COUNTER MEMORY
0045	1608		LD	D,08	;LOAD REG.D WITH ;NO. OF CH.
0047	3600	LOCM	LD	(HL),00	;LOAD 00H TO MEMORY ;LOCATION ADDRESSED BY HL
0049	23		INC	HL	;INCREMENT CONTENT IN ;HL BY 1
004A	15		DEC	D	;DECREMENT CONTENT IN D BY 1
004B	20FA		JR	NZ,LOCM	;JUMP TO LOCATION LOCM IF ;CONDITION TRUE
004D	E1		POP	HL	;RESTORE HL FROM TOP OF STACK
004E	D1		POP	DE	;RESTORE DE FROM TOP OF STACK
004F	C1		POP	DC	;RESTORE BC FROM TOP OF STACK
0050	CD9001		CALL	DISPLAY	;DISPLAY CH. COUNTER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Address	Obj.Code	Label	MNE.	Operand	Comment
0053	FB		EI		;ENABLE INTERRUPT
0054	ED4D		RETI		;RETURN FROM INTERRUPT
0056	CDC001	INC	CALL	DELAY	;DELAY
0059	23		INC	HL	;INCREMENT CONTENT IN HL BY 1
005A	1C		INC	E	;INCREMENT CONTENT IN E BY 1
005B	C5		PUSH	BC	;SAVE BC INTO STACK
005C	D5		PUSH	DE	;SAVE DE INTO STACK
005D	E5		PUSH	HL	;SAVE HL INTO STACK
005E	CD9001		CALL	DISPLAY	;DISPLAY CH. COUNTER
0061	C31000		JP	0010	;JUMP TO LOCATION 0010
0010	E1		POP	HL	;RESTORE HL FROM TOP OF STACK
0011	D1		POP	DE	;RESTORE DE FROM TOP OF STACK
0012	C1		POP	BC	;RESTORE BC FROM TOP OF STACK.
0013	15		DEC	D	;DECREMENT CONTENT IN D BY 1
0014	200A		JR	NZ,LOCN	;JUMP TO LOCATION LOCN IF ;CONDITION TRUE
0016	1607		LD	D,08	;LOAD REG.D WITH NO. OF CH.
0018	1E01		LD	E,01	;LOAD REG.E WITH 01H
001A	210109		LD	HL,0901	;LOAD REG. PAIR HL WITH CH.1 ;COUNTER MEMORY
001D	CD9001		CALL	DISPLAY	;DISPLAY CH. 1 COUNTER
0020	FB	LOCN	EI		;ENABLE INTERRUPT
0021	ED4D		RETI		;RETURN FROM INTERRUPT

นอนมาสคเอบิลอินเทอร์พท์โปรแกรม

NONMASKABLE INTERUPT ROUTINE

0066	DBF5		IN	A,(F5)	;LOAD ACC. WITH INPUT FROM ;ON/OFF SW.
0068	CB77		BIT	6,A	;CHECK 6 th ON/OFF SW.

Address	Obj.Code	Label	MNE.	Operand	Comment
006A	CAD002		JP	NZ,LOCP	;JUMP TO LOCATION LOCP IF ;CONDITION TRUE
006D	F5		PUSH	AF	;SAVE AF INTO STACK
006E	C5		PUSH	BC	;SAVE BC INTO STACK
006F	D5		PUSH	DE	;SAVE DE INTO STACK
0070	E5		PUSH	HL	;SAVE HL INTO STACK
0071	3A1109		LD	A,(MIN.)	;LOAD ACC. WITH CONTENT IN ;MEMORY LOCATION MIN
0074	5F		LD	E,A	;LOAD CONTENT IN ACC. TO ;REG.E
0075	1600		LD	D,00	;LOAD REG.D WITH 00H
0077	CD5001		CALL	BITOBC	;CONVERT BINARY TO BCD
007A	3A0908		LD	A,(FSTDGT)	;LOAD ACC. WITH CONTENT IN ;MEMORY LOCATION FSTDGT
007D	47		LD	B,A	;LOAD CONTENT IN ACC. TO REG.B
007E	3A0808		LD	A,(SNDDGT)	;LOAD ACC. WITH CONTENT IN ;MEMORY LOCATION SNDDGT
0081	07		RLCA		;ROTATE ACC. LEFT WITH ;BRANCH CARRY
0082	07		RLCA		;ROTATE ACC. LEFT WITH ;BRANCH CARRY
0083	07		RLCA		;ROTATE ACC. LEFT WITH ;BRANCH CARRY
0084	07		RLCA		;ROTATE ACC. LEFT WITH ;BRANCH CARRY
0085	B0		OR	B	;LOGICAL OR CONTENT IN ACC. ;WITH CONTENT IN REG.B
0086	D3FA		OUT	(FA),A	;7 SEGMENT LED 1 st AND 2 nd ;DIGIT SHOW DISPLAY OF MINUTE
0088	3A1009		LD	A,(HOUR)	;LOAD ACC. WITH CONTENT IN ;MEMORY LOCATION HOUR

Address.	Obj.Code	Label	MNE.	Operand	Comment
008B	5F		LD	E,A	;LOAD CONTENT IN ACC. TO ;REG. E
008C	1600		LD	D,00	;LOAD REG.D WITH 00H
008E	CD5001		CALL	BTTOBC	;CONVERT BINARY TO BCD
0091	3A0908		LD	A,(FSTDGT)	;LOAD ACC. WITH CONTENT IN ;MEMORY LOCATION FSTDGT
0094	47		LD	B,A	;LOAD CONTENT IN ACC. TO REG.B
0095	3A0808		LD	A,(SNDDGT)	;LOAD ACC. WITH CONTENT IN ;MEMORY LOCATION SNDDGT
0098	07		RLCA		;ROTATE ACC. LEFT WITH ;BRANCH CARRY
0099	07		RLCA		;ROTATE ACC. LEFT WITH ;BRANCH CARRY
009A	07		RLCA		;ROTATE ACC. LEFT WITH ;BRANCH CARRY
009B	07		RLCA		;ROTATE ACC. LEFT WITH ;BRANCH CARRY
009C	B0		OR	B	;LOGICAL OR CONTENT IN ACC. ;WITH CONTENT IN REG.B
009D	D3F6		OUT	(F6),A	;7 SEGMENT 3 rd AND 4 th DIGIT ;SHOW DISPLAY-OF HOUR
009F	E1		POP	HL	;RESTORE HL FROM TOP OF STACK
00A0	D1		POP	DE	;RESTORE DE FROM TOP OF STACK
00A1	C1		POP	BC	;RESTORE BC FROM TOP OF STACK
00A2	F1		POP	AF	;RESTORE AF FROM TOP OF STACK
00A3	C3D002		JP	LOCP	;JUMP TO LOCATION LOCP
02D0	F5	LOCP	PUSH	AF	;SAVE AF INTO STACK
02D1	C5		PUSH	BC	;SAVE BC INTO STACK
02D2	D5		PUSH	DE	;SAVE DE INTO STACK
02D3	E5		PUSH	HL	;SAVE HL INTO STACK
02D4	3A1009		LD	A,(HOUR)	;LOAD ACC. WITH CONTENT IN ;MEMORY LOCATION HOUR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Address	Obj.Code	Label	MNE.	Operand	Comment
02D7	47		LD	B,A	;LOAD CONTENT IN ACC. TO REG.B
02D8	3A1109		LD	A,(MIN)	;LOAD ACC. WITH CONTENT IN ;MEMORY LOCATION MIN
02DB	4F		LD	C,A	;LOAD CONTENT IN ACC. TO REG.C
02DC	3A1209		LD	A,(SEC)	;LOAD ACC. WITH CONTENT IN ;MEMORY LOCATION SEC.
02DF	57		LD	D,A	;LOAD CONTENT IN ACC. TO REG.D
02E0	14		INC	D	;INCREMENT CONTENT IN REG.D ;BY 1
02E1	7A		LD	A,D	;LOAD CONTENT IN REG.D TO ACC.
02E2	321209		LD	(SEC),A	;LOAD CONTENT IN ACC. TO ;MEMORY LOCATION SEC.
02E5	3E3B		LD	A,3B	;LOAD ACC. WITH 3BH
02E7	BA		CP	D	;COMPARE CONTENT IN ACC. WITH ;CONTENT IN REG.D
02E8	3806		JR	C,RES1	;JUMP TO LOCATION RES1 IF ;CONDITION TRUE
02EA	E1	RETN	POP	HL	;RESTORE HL FROM TOP OF STACK
02EB	D1		POP	DE	;RESTORE DE FROM TOP OF STACK
02EC	C1		POP	BC	;RESTORE BC FROM TOP OF STACK
02ED	F1		POP	AF	;RESTORE AF FROM TOP OF STACK
02EE	ED45		REIN		;RETURN FROM NONMASKABLE ;INTERRUPT
02F0	3E00	RES1	LD	A,00	;LOAD ACC. WITH 00H
02E2	321209		LD	(SEC),A	;LOAD CONTENT OF ACC. TO ;MEMORY LOCATION SEC.
02F5	0C		INC	C	;INCREMENT CONTENT IN REG.C ;BY 1
02F6	79		LD	A,C	;LOAD ACC. WITH CONTENT IN ;REG.C

Address	Obj.Code	Label	MNE.	Operand	Comment
02F7	321109		LD	(MIN),A	;LOAD CONTENT IN ACC. TO ;MEMORY LOCATION MIN.
02FA	3F3B		LD	A,3B	;LOAD ACC. WITH 3BH
02FC	B9		CP	C	;COMPARE CONTENT IN ACC. ;WITH CONTENT IN REG.C
02FD	3802		JR	C,RES2	;JUMP TO LOCATION RES2 ;IF CONDITION TRUE
02FF	18E9		JR	RETN	;JUMP TO LOCATION RETN
0301	3E00	RES2	LD	A,00	;LOAD ACC. WITH 00H
0303	321109		LD	(MIN),A	;LOAD CONTENT IN ACC. TO ;MEMORY LOCATION MIN.
0306	04		INC	B	;INCREMENT CONTENT IN ;REG.B BY 1
0307	78		LD	A,B	;LOAD ACC. WITH CONTENT ;IN REG.B
0308	321009		LD	(HOUR),A	;LOAD CONTENT IN ACC. TO ;MEMORY LOCATION HOUR
030B	3E17		LD	A,17	;LOAD ACC. WITH 17H
030D	B8		CP	B	;COMPARE CONTENT IN ACC. ;WITH CONTENT IN REG.B
030E	3802		JR	C,RES3	;JUMP TO LOCATION RES.3 ;IF CONDITION TRUE
0310	180C		JR	CHNGCD	;JUMP TO LOCATION CHNGCD
0312	3E00	RES.3	LD	A,00	;LOAD ACC. WITH 00H
0314	321009		LD	(HOUR),A	;LOAD CONTENT IN ACC. TO ;MEMORY LOCATION HOUR
0315	3A1009	CHNGCD	LD	A,(HOUR)	;LOAD ACC. WITH CONTENT IN ;MEMORY LOCATION HOUR
0318	1E02		LD	E,02	;LOAD REG.E WITH 02H
031A	BB		CP	E	;COMPARE CONTENT IN ACC. ;WITH CONTENT IN REG.E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Address	Obj.Code	Label	MNE.	Operand	Comment
031B	3834		JR	C,LOCI	;JUMP TO LOCATION LOCI ;IF CONDITION TRUE
031D	1E04		LD	E,04	;LOAD REG.E WITH 04H
031F	BB		CP	E	;COMPARE CONTENT IN ACC. ;WITH CONTENT IN REG.E
0320	3838		JR	C,LOCII	;JUMP TO LOCATION LOCII ;IF CONDITION TRUE
0322	1E06		LD	E,06	;LOAD REG.E WITH 06H
0324	BB		CP	E	;COMPARE CONTENT IN ACC. ;WITH CONTENT IN REG.E
0325	3838		JR	C,LOCIII	;JUMP TO LOCATION LOCIII ;IF CONDITION TRUE
0327	1E08		LD	E,08	;LOAD REG.E WITH 08H
0329	BB		CP	E	;COMPARE CONTENT IN ACC. ;WITH CONTENT IN REG.E
032A	3838		JR	C,LOCIV	;JUMP TO LOCATION LOCIV ;IF CONDITION TRUE
032C	1E0A		LD	E,0A	;LOAD REG.E WITH 0AH
032E	BB		CP	E	;COMPARE CONTENT IN ACC. ;WITH CONTENT IN REG.E
032F	3838		JR	C,LOCV	;JUMP TO LOCATION LOCV ;IF CONDITION TRUE
0331	1E0C		LD	E,0C	;LOAD REG.E WITH 0CH
0333	BB		CP	E	;COMPARE CONTENT IN ACC. ;WITH CONTENT IN REG.E
0334	3838		JR	C,LOCVI	;JUMP TO LOCATION LOCVI ;IF CONDITION TRUE
0336	1E0E		LD	E,0E	;LOAD REG.E WITH 0EH
0338	BB		CP	E	;COMPARE CONTENT IN ACC. ;WITH CONTENT IN REG.E
0339	3838		JR	C,LOCVII	;JUMP TO LOCATION LOCVII ;IF CONDITION TRUE

Address.	Obj.Code	Label	MNE.	Operand.	Comment
033B	1E10		LD	E,10	;LOAD REG.E WITH 10H
033D	BB		CP	E	;COMPARE CONTENT IN ACC. ;WITH CONTENT IN REG.E
033E	3838		JR	C,LOCVIII	;JUMP TO LOCATION LOCVIII ;IF CONDITION TRUE
0340	1E12		LD	E,12	;LOAD REG.E WITH 12H
0342	BB		CP	E	;COMPARE CONTENT IN ACC. ;WITH CONTENT IN REG.E
0343	3838		JR	C,LOCIX	;JUMP TO LOCATION LOCIX ;IF CONDITION TRUE
0345	1E14		LD	E,14	;LOAD REG.E WITH 14H
0347	BB		CP	E	;COMPARE CONTENT IN ACC. ;WITH CONTENT IN REG.E
0348	3838		JR	C,LOCX	;JUMP TO LOCATION LOCX ;IF CONDITION TRUE
034A	1E16		LD	E,16	;LOAD REG.E WITH 16H
034C	BB		CP	E	;COMPARE CONTENT IN ACC. ;WITH CONTENT IN REG.E
034D	3838		JR	C,LOCXI	;JUMP TO LOCATION LOCXI ;IF CONDITION TRUE
034F	183B		JR	LOCXII	;JUMP TO LOCATION LOCXII ;IF CONDITION TRUE
0351	210004	LOC I	LD	HL,0400	;LOAD REG.PAIR HL WITH 0400H
0354	221309	PRERT	LD	(LOCODE),HL	;LOAD CONTENT IN REG.PAIR TO ;MEMORY LOCATION LOCODE
0357	C3EA02		JR	RETN	;JUMP TO LOCATION RETN
035A	214804	LOCII	LD	HL,0448	;LOAD REG.PAIR HL WITH 0448H
035D	18F5		JR	PRERT	;JUMP TO LOCATION PRERT
035F	219004	LOCIII	LD	HL,0490	;LOAD REG.PAIR HL WITH 0490H
0362	18F0		JR	PRERT	;JUMP TO LOCATION PRERT
0364	21D804	LOCIV	LD	HL,04D8	;LOAD REG.PAIR HL WITH 04D8
0367	18EB		JR	PRERT	;JUMP TO LOCATION PRERT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Address	Obj.Code	Lable	MNE.	Operand	Comment
0369	212005	LOCV	LD	HL,0520	;LOAD REG.PAIR HL WITH 0520H
036C	18E6		JR	PRERT	;JUMP TO LOCATION PRERT
036E	216805	LOCVI	LD	HL,0568	;LOAD REG.PAIR HL WITH 0568H
0371	18E1		JR	PRERT	;JUMP TO LOCATION PRERT
0373	21B005	LOCVII	LD	HL,05B0	;LOAD REG.PAIR HL WITH 05B0H
0376	18DC		JR	PRERT	;JUMP TO LOCATION PRERT
0378	21F805	LOCVIII	LD	HL,05F8	;LOAD REG.PAIR HL WITH 05F8H
037B	18D7		JR	PRERT	;JUMP TO LOCATION PRERT
037D	214006	LOCIX	LD	HL,0640	;LOAD REG.PAIR HL WITH 0640H
0380	18D2		JR	PRERT	;JUMP TO LOCATION PRERT
0382	218806	LOCX	LD	HL,0688	;LOAD REG.PAIR HL WITH 0688H
0385	18CD		JR	PRERT	;JUMP TO LOCATION PRERT
0387	21D006	LOCXI	LD	HL,06D0	;LOAD REG.PAIR HL WITH 06D0
038A	18C8		JR	PRERT	;JUMP TO LOCATION PRERT
038C	211807	LOCXII	LD	HL,0718	;LOAD REG.PAIR HL WITH 0718H
038F	18C3		JR	PRERT	;JUMP TO LOCATION PRERT

5.4.3 รหัส

ระบบนี้สามารถควบคุมประตูได้ 8 ประตู แต่ละประตูจะมี 12 รหัส คือรหัสจะเปลี่ยนทุก ๆ 2 ชั่วโมง แต่ละรหัสจะมี 16 หมายเลข หรือ 8 ไบท์ รวมกับรหัสที่ใช้ระบุว่าเป็นประตูที่เท่าไร อีก 1 ไบท์เป็น 9 ไบท์ ดังนั้น รหัสทั้งหมดจะมีความยาว 864 ไบท์ อยู่ใน EPROM ตั้งแต่ตำแหน่ง 0400H ถึง 075FH ดังนี้

รหัสในช่วงเวลา 00.00 - 01.59 น.

แอดเดรส	รหัส					ประตูที่
0400	0000	1111	2222	3333	FE	1
0409	4444	5555	6666	7777	FD	2
0412	0123	1234	2345	3456	FB	3
041B	4567	5678	6789	7890	F7	4
0424	1357	3579	5791	7913	EF	5
042D	9135	1357	3579	5791	DF	6
1436	2468	4680	6802	8024	BF	7
043F	0246	2468	4680	6802	7F	8

รหัสในช่วงเวลา 02.00 - 03.59 น.

แอดเดรส	รหัส					ประตูที่
0448	9999	8888	7777	6666	FE	1
0451	5555	4444	3333	2222	FD	2
045A	9876	8765	7654	6543	FB	3
0463	5432	4321	3210	0123	F7	4
046C	9753	7531	5319	3197	EF	5
0475	1975	9753	7531	5319	DF	6
047E	8642	6420	4208	2086	BF	7
0487	0864	8642	6420	4208	7F	8

รหัสในช่วงเวลา 04.00 - 05.59 น.

แอดเดรส	รหัส						ประตูที่
0490	0585	6977	4783	2633	FE	1	
0499	5097	9186	4723	8061	FD	2	
04A2	5827	0127	8023	8260	FB	3	
04AB	2398	4205	6756	2591	F7	4	
04B4	8326	3230	5431	6262	EF	5	
04BD	0015	5518	9985	1151	DF	6	
04C6	1675	9176	8696	9950	BF	7	
04CF	4503	7327	6515	5879	7F	8	

รหัสในช่วงเวลา 06.00 - 07.59 น.

แอดเดรส	รหัส						ประตูที่
04D8	7821	0973	1607	5644	FE	1	
04E2	0093	6368	3154	0140	FD	2	
04EA	2834	8468	5080	0473	FB	3	
04F3	3975	8158	5342	5249	F7	4	
04FC	5709	2085	6739	3359	EF	5	
0505	6298	5187	6700	5418	DF	6	
050E	2561	2332	9296	1231	BF	7	
0517	6954	2420	2371	8066	7F	8	

รหัสในช่วงเวลา 08.00 - 09.59 น.

แอดเดรส	รหัส						ประตูที่
0520	0928	0065	9233	8429	FE	1	
052A	9129	1591	6527	7797	FD	2	
0532	9184	2968	8028	8974	FB	3	
053B	1042	7471	7051	8289	F7	4	
0544	1537	3694	9035	1984	EF	5	
054B	1527	5639	7361	8150	DF	6	
0556	7131	3890	9356	4208	BF	7	
055F	0596	1102	4534	6594	7F	8	

รหัสในช่วงเวลา 10.00 - 11.59 น.

แอดเดรส	รหัส					ประตูที่
0568	0000	6621	3644	3932	FE	1
0572	3868	3041	2116	6894	FD	2
057A	0154	8502	7756	7334	FB	3
0583	7257	9200	5130	5386	F7	4
058C	9799	6251	3057	1571	EF	5
0595	9902	1644	7234	3050	DF	6
059E	6367	0747	8335	1696	BF	7
05A7	2212	1981	2221	5564	7F	8

รหัสในช่วงเวลา 12.00 - 13.59 น.

แอดเดรส	รหัส					ประตูที่
05B0	6114	0797	8065	2322	FE	1
05B9	6211	1931	5288	4925	FD	2
05C2	8372	2451	3825	4882	FB	3
05CB	9548	5064	3356	9754	F7	4
05D4	5095	5198	3206	1032	EF	5
05DD	4578	9158	3078	1702	DF	6
05E6	8833	4255	0306	6529	BF	7
05EF	4408	7499	2086	8019	7F	8

รหัสในช่วงเวลา 14.00 - 15.59 น.

แอดเดรส	รหัส					ประตูที่
05F8	9111	8222	7333	6444	FE	1
0602	5555	4666	3777	2888	FD	2
060A	8271	6059	4837	2615	FB	3
0613	9786	7564	5342	3120	F7	4
061C	0156	0468	0781	1093	EF	5
0625	1406	1718	2031	2348	DF	6
062E	2656	2968	3281	3593	BF	7
0637	3906	4218	4531	4843	7F	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัสในช่วงเวลา 16.00 - 17.59 น.

แอดเดรส	รหัส					ประตูที่
0640	2048	9002	5999	1707	FE	1
064A	8171	9279	7685	1056	FD	2
0652	2474	2110	4749	0752	FB	3
065B	1226	3382	6252	6048	F7	4
0664	6969	2143	5444	9877	EF	5
066D	9485	2569	4169	2759	DF	6
0676	0405	0689	4875	9422	BF	7
067F	0223	1034	4038	2003	7F	8

รหัสในช่วงเวลา 18.00 - 19.59 น.

แอดเดรส	รหัส					ประตูที่
0688	7179	8083	6735	6488	FE	1
0692	3610	9159	9635	2523	FD	2
069A	1901	7964	5453	6398	FB	3
06A3	3712	7850	6223	3519	F7	4
06AC	4733	3479	6027	7311	EF	5
06B5	5872	5784	4710	2662	DF	6
06BE	6607	7029	4076	1490	BF	7
06C7	4514	7546	5043	0525	7F	8

รหัสในช่วงเวลา 20.00 - 21.59 น.

แอดเดรส	รหัส					ประตูที่
06D0	2715	5161	4563	9122	FE	1
06D9	9713	4111	8821	5004	FD	2
06E2	0505	2101	6572	6264	FB	3
06EB	7739	2331	9861	2449	F7	4
06F4	5812	0671	1605	3798	EF	5
06FD	6776	1602	9077	3267	DF	6
0706	9931	0235	9138	0704	BF	7
070F	7557	5818	3861	8324	7F	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัสในช่วงเวลา 22.00 - 23.59 น.

แอดเดรส	รหัส					ประตูที่
718	9833	4388	8942	5208	FE	1
722	9689	5103	7318	8950	FD	2
72A	5786	1254	1080	0754	FB	3
733	5837	4024	2145	3000	F7	4
73C	0009	4637	0152	6380	EF	5
745	5547	3772	5326	9347	DF	6
74E	3321	3523	0092	7573	BF	7
757	9554	7636	5251	7919	7F	8

5.5 การทำงานของระบบและวิธีใช้

5.5.1 การทำงานของระบบ

เมื่อเราเปิดสวิทช์จ่ายกำลังให้แก่ระบบ ซีพียูจะถูกรีเซต เริ่มทำงานจากแอดเดรส 0000 H ไปตามไฟล์บาร์จ รูปที่ 5.10 ถ้าเราต้องการให้ซีพียูเริ่มต้นทำงานใหม่อีกเราก็ทำได้โดยการกดสวิทช์รีเซต S_2

เมื่อกดสวิทช์ S_1 ซีพียูก็จะเข้าสู่อินเทอร์พโรแกรม จนจบโปรแกรมแล้วจึงกลับมาสู่โปรแกรมหลักต่อจากเดิมก่อนที่จะถูกอินเทอร์พท์

ส่วนอนอมมาสค์เอเปิดอินเทอร์พโรแกรมนั้นเราใช้ท่าंनाพิก้าและเราจะใช้ंनाพิก้าเป็นตัวกำหนดกลุ่มของรหัสให้แก่ระบบในช่วงเวลาต่าง ๆ รหัสแต่ละกลุ่มจะถูกเปลี่ยนทุก ๆ 2 ชั่วโมง การอินเทอร์พท์นี้จะอินเทอร์พท์ซีพียูเพื่อเข้าสู่โปรแกรมนี้นัก ๆ 1 วินาที การอินเทอร์พท์นี้ แต่ละครั้งกินเวลาประมาณ 1 มิลลิวินาที เวลาที่เหลือออกนั้นจะใช้สำหรับไปทำโปรแกรมหลัก และอินเทอร์พท์โปรแกรม

ंनाพิก้านี้เราสามารถทำให้มันเดินเร็วกว่าปกติมาก ๆ ได้โดยการป้อนความถี่ประมาณ 2 กิโลเฮิร์ตซ์ ความถี่นี้ได้มาจากการหารความถี่ 3.579545 เมกกะเฮิร์ตซ์ ด้วยไอซีเบอร์ 4020 ซึ่งเป็นไอซีหารเลขฐาน 2 เข้าทางขานอนมาสค์เอเปิดอินเทอร์พท์ของซีพียู

เพื่อใช้ในตอนที่ เราต้องการตั้งนาฬิกาให้ตรงกับเวลาท้องถิ่น

5.5.2 วิธีใช้เครื่อง

เราใช้โซลินอยด์ ไฟตรง 12 โวลท์ ในการดึงสลักประตู ต่อสวิตช์ $S_{16}-S_{23}$ เข้ากับโซลินอยด์ของประตูที่ 1-8 ตามลำดับ แล้วทำตามลำดับดังนี้

1. สวิตช์ S_4-S_{11} เราใช้ในการเปิด-ปิดประตูที่ 1-8 อย่างฉุกเฉิน ตามลำดับ ถ้าสวิตช์อยู่ที่ตำแหน่ง "0" เมื่อกดสวิตช์ S_2 ประตูนั้นก็จะถูกเปิดทันทีและทำนองเดียวกัน ถ้าสวิตช์อยู่ที่ตำแหน่ง "1" เมื่อกดสวิตช์ S_2 ประตูนั้นก็จะถูกปิดทันที ดังนั้น ก่อนที่จะกดสวิตช์ S_2 ทุกครั้ง เราต้องตรวจดูว่าสวิตช์ S_4-S_{11} อยู่ในตำแหน่งที่เราต้องการหรือไม่

2. โยกสวิตช์ S_{10} และ S_{11} ไปที่ "1" แล้วเปิดสวิตช์จ่ายกำลังให้กับวงจรไดโอดแปลงแสง 7 ส่วน จะแสดงเลข **8** จากหัวขาสุด เลื่อนไปทางซ้ายทีละตัวจนครบแล้วไดโอดแปลงแสง 7 ส่วนทั้ง 4 ตัวก็จะแสดงเวลา **0000** ให้เห็น

3. กดสวิตช์ S_3 เวลาจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อตรงกับเวลาท้องถิ่นก็ปล่อยสวิตช์ S_3 นาฬิกา ก็จะเดินต่อไปตามปกติ

4. โยกสวิตช์ S_{10} กลับไปที่ "0" กดสวิตช์ S_2 ไดโอดแปลงแสง 7 ส่วน จะแสดงเลข **8** เลื่อนจากขวาไปซ้ายเช่นเดียวกับข้อ 1 แล้วจะแสดงผลการบันทึกจำนวนครั้งของการเปิดประตูที่ 1 ขึ้นมาอย่างลุ่ม ถ้าเรากดสวิตช์ S_2 ต่อไปอีกมันก็จะแสดงผลการบันทึกจำนวนครั้งของการเปิดประตูที่ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 แล้วกลับไป 1 อีกตามลำดับ

5. โยกสวิตช์ S_{11} ไปที่ "0" กดสวิตช์ S_1 ผลการบันทึกจำนวนครั้งของการเปิดประตูที่ 1-8 จะถูกลบเป็น **00** ทุกประตู

6. โยกสวิตช์ S_{10} และ S_{11} ให้อยู่ที่ตำแหน่ง "0" แล้วกดสวิตช์ S_2 ถึงตอนนี้ เครื่องก็พร้อมที่จะถอดรหัสที่เราป้อนให้ทางสวิตช์หัวแม่มือ

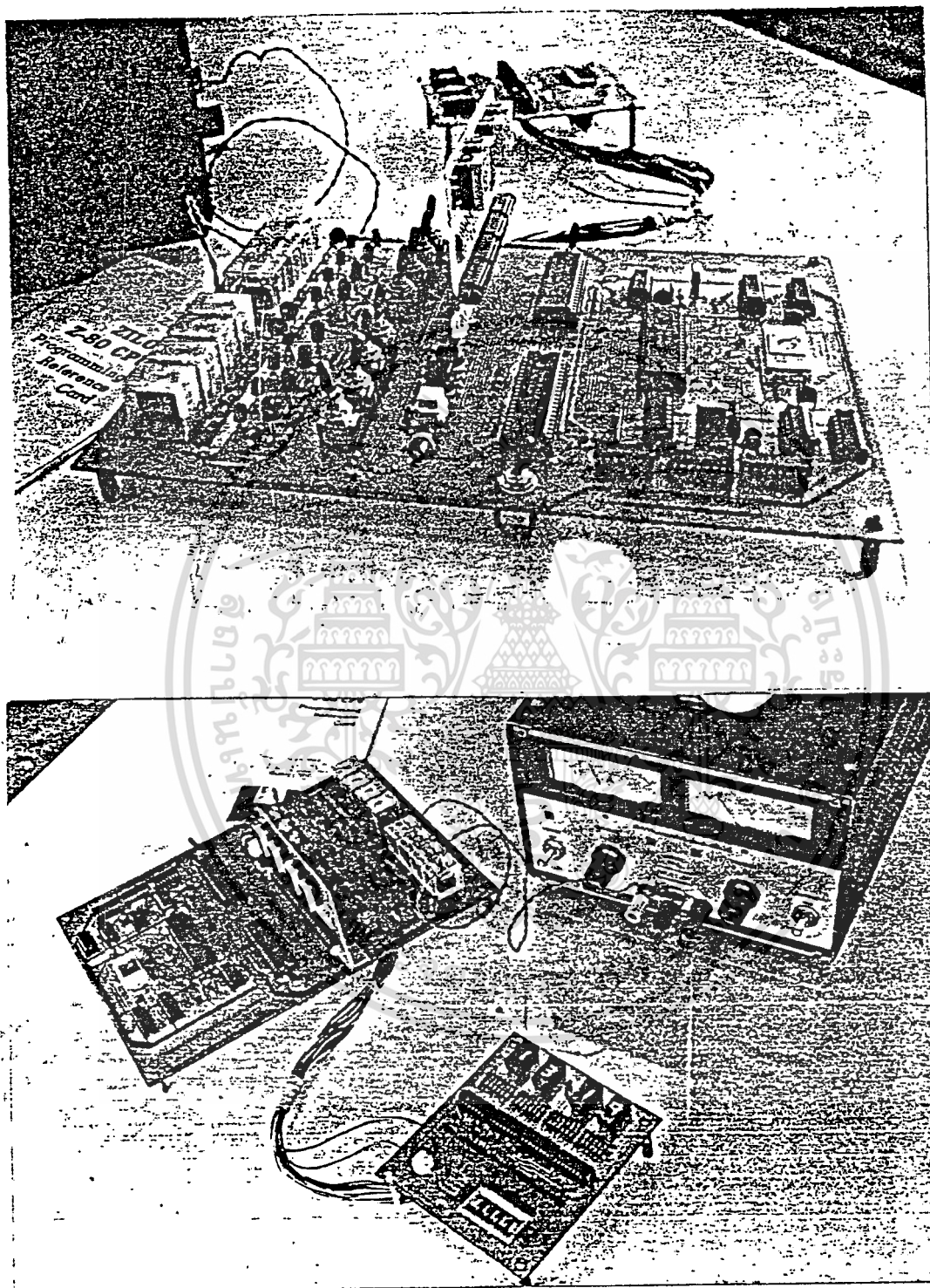
สวิตช์หัวแม่มือนี้จะมีด้วยกัน 4 ตัว รหัสของแต่ละประตูจะมี 16 หมายเลข ดังนั้น เราต้องหมุนสวิตช์มีอหมุนให้ถูกทั้ง 4 ครั้ง จึงจะสามารถเปิดประตูได้ รหัสของแต่ละประตูจะ

จะต้องสอดคล้องกับเวลาในขณะนั้นด้วย

เมื่อเราทราบรหัสของประตูที่เราต้องการจะเปิด เราก็เริ่มหมุนรหัส 4 ตัวแรก ให้ถูกต้อง ถ้าถูกไดโอดเปล่งแสง 7 ส่วนทั้ง 4 ตัวจะแสดงเลข **IIII** แล้วเพิ่มเป็น **2222** ถึง **9999** ตามลำดับ ซึ่งในช่วงเวลานี้เราต้องหมุนรหัส 4 ตัวต่อไปให้ทัน ถ้าหมุนไม่ทันมันก็จะดับไป เราต้องเริ่มหมุน 4 ตัวแรกใหม่ และ ถ้าหมุนรหัส 4 ตัวถัดไปให้ทันไดโอดเปล่งแสง 7 ส่วนก็จะแสดงเลข 1111-9999 ใหม่ เราก็จะต้องหมุนรหัส 4 ตัวถัดไปให้ทันอีก ทำอย่างนี้จนครบ 4 ครั้ง หรือครบ 16 หมายเลข ประตูที่เราต้องการเปิดก็จะถูกเปิดออก การเปิดครั้งใหม่จะถูกบันทึกเพิ่มขึ้นอีก 1 และจะแสดงผลด้วยไดโอดเปล่งแสง 7 ส่วนว่าประตูที่เราเปิดเป็นประตูที่เท่าใด และถูกเปิดไปแล้วกี่ครั้ง เป็นเวลา 300 มิลลิวินาที แล้วก็ดับ พร้อมทั้งจะถอดรหัสตัวต่อไป

5.6 สรุป

การใช้ไมโครคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้งานในด้านระบบความปลอดภัยนั้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง ความสามารถในการทำงานและประสิทธิภาพสูง ลักษณะการทำงานนั้นขึ้นอยู่กับความประสงค์ของผู้ใช้ ระบบกุญแจรหัสที่กล่าวมาในบทนี้เป็นระบบความปลอดภัยแบบหนึ่งซึ่งสร้างขึ้นมาจากจุดประสงค์ว่า แม่กุญแจ 1 ตัว สามารถเปิดประตูอื่น ๆ ทุกประตู มีการบันทึกจำนวนครั้งในการเปิดประตูทุกครั้ง รหัสของแต่ละประตูจะถูกเปลี่ยนทุก ๆ 2 ชั่วโมง จากผลการทดลองใช้เครื่องปรากฏว่าทำงานได้ดีมากตรงตามความประสงค์



รูปที่ 5.13 แสดงถึง เครื่องต้นแบบกฏูเจอร์สไอซ์ Z-80 ไมโครคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุป

ในบทที่ 2 ได้กล่าวถึงทฤษฎีของไดโอดเปล่งแสงและไดโอดรับแสงซึ่งรวมถึงแสงอินฟราเรดด้วย เพื่อให้ทราบถึงการทำงานและคุณสมบัติต่าง ๆ ข้อดีและข้อเสียของการนำเอาไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดและไดโอดรับแสงอินฟราเรดมาใช้ในการส่งและรับสัญญาณตามลำดับ เพราะในบทที่ 3 และบทที่ 4 นั้นได้ใช้ไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดเป็นตัวส่งสัญญาณและไดโอดรับแสงอินฟราเรดเป็นตัวรับสัญญาณ

บทที่ 3 เป็นการสร้างกฏแฉีเลคทรอนิกส์ขึ้นมา จุดประสงค์คือต้องการสร้างกฏแฉีเลคทรอนิกส์ที่มีความปลอดภัยสูงและมีขนาดเล็กกระทัดรัด ดังนั้น เพื่อความเหมาะสมก่อนนำวงจรนี้ไปใช้งานจะต้องสร้างเป็นวงจรรวมชิ้นเดียว (Mono Chip IC) เสียก่อน

บทที่ 4 เป็นกฏแฉีเลคทรอนิกส์อีกแบบหนึ่ง ที่ใช้งานได้ดีเป็นแบบเข้ารหัสแล้วส่งออกไปให้ตัวรับถอดรหัสแบบอนุกรมคราวละหลาย ๆ บิต คือ 1 รหัส ซึ่งในที่นี้ใช้ 9 บิต 3 สภาวะ

บทที่ 5 เป็นกฏแฉีระบบใหญ่มีความสามารถและประสิทธิภาพสูงมาก สามารถปฏิบัติงานพิเศษอย่างอื่นได้มากมาย เช่น บันทึกจำนวนครั้งในการเปิดประตูแต่ละประตู สามารถเปลี่ยนรหัสได้ทุกคาบเวลา คาบเวลาหนึ่งจะนานเท่าไรก็ได้แล้วแต่ความต้องการ ฯลฯ เนื่องจากระบบกฏแฉีรหัสนี้ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด แม้กฏแฉีตัวหนึ่งสามารถควบคุมประตูได้จำนวนมาก มีความปลอดภัยและความเชื่อถือได้สูง

หนังสืออ้างอิง

1. Alan Chappell; "Optoelectronics Theory and Practice"
McGraw-Hill Book Company, New York, 1978.
2. Robert G. Seippel "Optoelectronics"
Reston Publishing Co., Inc., Virginia, 1981.
3. J.L. Hilburn and D.D. Johnson; "Manual of Active Filter Design",
McGraw-Hill, New York, 1973.
4. Rodney Zaks; "Programming the Z-80"
SYBEX Inc., USA, 1980.
5. William Barden, Jr.; "The Z-80 Microcomputer Handbook"
Howard W. Sams & Co., Inc., Indiana, 1978.
6. William Barden, Jr.; "Z-80 Microcomputer Design Projects"
Howard W. Sams & Co., Inc., Indiana, 1980.
7. Peter R. Rony, David G. Larsen and Jonathan A. Titus;
"The 8080A Bugbook Microcomputer Interfacing and Programming"
Howard W. Sams & Co., Inc., Indiana, 1977.
8. Stan Gage, Dave Evans, Mark Hodapp and Hans Sorensen;
"Optoelectronic Application Manual",
McGraw-Hill Book Co., New York, 1977.