# การวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์เชิงเลขที่ใช้ประกอบการปฏิบัติการ

โดย


กฤษดา วิศวธีรานนท์
ชาตรี ศรีไพพรรณ
โดทม อารียา



โครงการวิจัย เลขที่ 5G-EE-2522
ทุนส่งเสริมการวิจัยวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรุงเทพฯ

สิงหาคม 2525

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# การวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์เชิงเลขที่ใช้ประกอบการปฏิบัติการ

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์กฤษดา วิศวธีรานนท์

วุฒิ B.Eng. M.Eng. (KYOTO)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชาตรี ศรีไพพรรณ

วุฒิ B.E. (Sydney), M.Eng. Sc. (New South Wales)

Ph. D. (Hawaii)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์โกทม อารียา

วุฒิ Doc. Ing (Paris)

โครงการวิจัยเลขที่ 5G-EE-2522

ทุนส่งเสริมการวิจัยวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุงเทพ ฯ

สิงหาคม 2525

สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ
มอบให้หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
14 / ม.ค / 26

017535

# บทคัดย่อ ภาษาไทย

การวิจัยนี้ มุ่งที่จะวิจัยและพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์เชิงเลข สำหรับไว้ใช้ในห้องปฏิบัติการอิเล็คตรอนิคส์ ใช้ประกอบการเรียนการสอนและปฏิบัติการเชิงเลข เป็นเครื่องต้นแบบสำหรับใช้ในการผลิตต่อไป เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ได้ทดลองสร้างขึ้นได้แก่ ชุดทดลองวงจรเชิงเลข ลอจิกโพรบ ลอจิกมอนิเตอร์ เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุดทดลองไมโครโปรเซสเซอร์ เครื่องโปรแกรม EPROM และเครื่องลบโปรแกรม EPROM การวิจัยและพัฒนาการเครื่องมือและอุปกรณ์เหล่านี้ มีหลักการที่จะสร้างเครื่องมือที่มีโครงสร้างง่าย ราคาถูกและใช้งานได้ดี เครื่องมือที่สร้างขึ้นทั้งหมดปัจจุบัน ใช้งานอยู่ในห้องปฏิบัติการอิเล็คตรอนิคส์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ABSTRACT

The objective of this research is to develop digital and training equipments to be used as teaching aids in electronic laboratory. The developed equipments will be a prototype for further production. These are digital circuit training system, logic probe. logic monitor, pulse generator, microprocessor training system, EPROM programmer and eraser. The principle of the design is to achieve a simple, low cost and efficient equipment. All of the designed equipments are being using in electronic laboratory of the Department of Electrical Engineering, Chulalongkorn University.

# กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ให้สถานที่ตึกโคสัมโบ ชั้นล่องสำหรับใช้ในการวิจัย ขอขอบคุณ คุณพิทักษ์ วังวรกุลา คุณประชา เอกวรวงศ์ ผู้ช่วยผู้วิจัยที่ได้ช่วยเหลือในการทดลองและประกอบวงจร ทำให้การวิจัยนี้ดำเนินลุล่วงไปด้วยดี

# รายการตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | เปรียบเทียบคุณสมบัติของชุดทดลองและออกแบบวงจร-อิเล็คตรอนิคส์แบบต่าง ๆ ที่มีจำหน่ายในประเทศ | 9 |
| 5.1 | รหัสของสัญญาณ | 51 |
| 6.1 | ตารางระดับแรงดันและหน้าที่ของขาต่าง ๆ ในโหมดทั้งสามของ 2708 | 67 |

รายการรูปประกอบ


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | แผงต่อวงจร | 7 |
| 2.2 | ชุดทดลอง DD-1, DIGI designer ของบริษัท-E & L Instrument | 7 |
| 2.3 | วงจรภายในของชุดทดลอง DD-1- | 10 |
| 2.4 | ชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์แบบที่หนึ่ง | 13 |
| 2.5 | วงจรแหล่งจ่ายไฟของชุดทดลองแบบที่หนึ่ง | 13 |
| 2.6 | รูปถ่ายของชุดทดลองแบบที่สอง | 15 |
| 2.7 | วงจรของแหล่งจ่ายไฟตรงชนิดบวกลบ | 15 |
| 2.8 | การจำกัดกระแสแบบ Current fold back | 19 |
| 2.9 | วงจรจำกัดกระแสแบบ Current fold back | 19 |
| 2.10 | วงจรกำเนิดสัญญาณ ฮายน์ สี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม-และพัลส์ | 21 |
| 2.11 | บล๊อกไดอะแกรมของวงจรตรวจวัดลอจิก | 21 |
| 2.12 | รูปถ่ายของชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์แบบสมบูรณ์ | 23 |
| 3.1 | วงจรตรวจวัดระดับลอจิก แบบง่าย ๆ | 25 |
| 3.2 | วงจรตรวจวัดลอจิกและพัลส์แบบง่าย ๆ | 25 |
| 3.3 | ระดับแรงดันที่ถือเป็น ลอจิก "1" หรือ "0" | 25 |
| 3.4 | วงจรตรวจวัดระดับลอจิก | 27 |
| 3.5 | วงจรของลอจิกโพรบ | 27 |
| 3.6 | รูปถ่ายของลอจิกโพรบที่สร้างขึ้น | 30 |
| 3.7 | โครงสร้างของลอจิกคลิป | 30 |
| 3.8 | วงจรตรวจวัดระดับลอจิก | 30 |

# รายการรูปประกอบ (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 3.9 | รูปถ่ายของลอจิกมอนิเตอร์ที่ได้สร้างขึ้น | 30 |
| 4.1 | บล็อกไดอะแกรมของไอซี 555 | 34 |
| 4.2 | วงจรกำเนิดพัลส์ โดยใช้ไอซี 555 | 34 |
| 4.3 | รูปคลื่น | 34 |
| 4.4 | ตัวอย่างวงจรกำเนิดพัลส์ที่ใช้อินเวอเตอร์เกท | 36 |
| 4.5 | วงจรกำเนิดพัลส์ที่ใช้ไอซีตระกูล TTL | 36 |
| 4.6 | วงจรกำเนิดพัลส์โดยใช้วงจรโมโนสเตเบิล | 39 |
| 4.7 | หลักการของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ | 39 |
| 4.8 | วงจรกำเนิดพัลส์โดยใช้วงจรเปรียบเทียบ | 39 |
| 5.1 | บล็อกไดอะแกรมของ CU.80 | 45 |
| 5.2 | วงจร CPU | 47 |
| 5.3 | วงจรของหน่วยความจำ | 48 |
| 5.4 | แผนผังการใช้หน่วยความจำ | 49 |
| 5.5 | วงจรของแป้นกดข้อมูล | 50 |
| 5.6 | วงจรภาคแสดงผล | 52 |
| 5.7 | บริเวณในหน่วยความจำที่มอนิเตอร์ใช้งาน | 55 |
| 5.8 | โฟลชาร์ทของโปรแกรมมอนิเตอร์ | 57 |
| 5.9 | โฟลชาร์ทของ DSPKX | 58 |
| 5.10 | โฟลชาร์ท DSPKX (ต่อ) | 59 |
| 5.11 | โฟลชาร์ทของ EXKEY | 60 |
| 5.12 | โฟลชาร์ท ของ RDKEY และ WTKEY | 61 |

รายการรูปประกอบ (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 5.13 | รูปถ่ายของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ CU.30 | 62 |
| 6.1 | เซลหน่วยความจำพื้นฐานและกราฟลักษณะสมบัติ | 66 |
| 6.2 | ชื่อสัญญาณที่ขาต่าง ๆ และบล็อกไดอะแกรม 2708 | 66 |
| 6.3 | รูปคลื่นแรงดันที่ขาต่าง ๆ ในขณะโปรแกรม 2708 | 66 |
| 6.4 | รายละเอียดของ EPROM 2716 | 69 |
| 6.5 | รูปคลื่นแรงดันที่ขาต่าง ๆ ในขณะโปรแกรม 2716 | 69 |
| 6.6 | บล็อกไดอะแกรมของคลื่นโปรแกรม EPROM | 71 |
| 6.7 | การต่อเส้นสัญญาณที่ 8255 | 72 |
| 6.8 | วงจรควบคุมโปรแกรมพัลส์ | 73 |
| 6.9 | วงจรจ่ายแรงดันไฟให้ขา 20 | 74 |
| 6.10 | วงจรจ่ายแรงดันไฟให้ขา 21 | 74 |
| 6.11 | วงจรทั้งหมดของเครื่องโปรแกรม EPROM | 76 |
| 6.12 | รูปถ่ายของเครื่องโปรแกรม EPROM | 77 |
| 6.13 | โฟลชาร์ทของโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องโปรแกรม | 80 |
| 6.14 | วงจรของเครื่องลบโปรแกรม EPROM | 81 |
| 6.15 | ตำแหน่งที่ติดตั้งไมโครสวิทช์ | 82 |

สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| รายการตาราง | ง |
| รายการรูปประกอบ | จ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขต | 2 |
| 1.3 ประโยชน์ที่ได้รับคาดการวิจัย | 2 |
| 1.4 การดำเนินงาน | 3 |
| บทที่ 2 ชุดทดลองวงจรเชิงเลข | 4 |
| 2.1 บทนำ | 4 |
| 2.2 ผลิตภัณฑ์ชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์ | 5 |
| 2.3 ชุดทดลอง ที่ทดลองสร้าง | 8 |
| 2.4 ชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็ตรอนิคส์ที่สมบูรณ์แบบ | 16 |
| 2.5 สรุป | 22 |
| บทที่ 3 ลอจิกโพรบ และลอจิกมอนิเตอร์ | 24 |
| 3.1 บทนำ | 24 |
| 3.2 วงจรตรวจเช็คระดับลอจิก | 24 |
| 3.3 ลอจิกโพรบ | 28 |
| 3.4 ลอจิกมอนิเตอร์ | 29 |
| บทที่ 4 เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ | 32 |
| 4.1 บทนำ | 32 |
| 4.2 ข้อกำหนดของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ | 32 |
| 4.3 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ | 32 |
| 4.4 เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ทดลองสร้าง | 40 |


หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า


บทที่ 5 ชุดทดลองไมโครโปรเซสเซอร์ 43

5.1 บทนำ 43

5.2 ข้อกำหนดในการออกแบบไมโครคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยว CU 80 43

5.3 บล็อกไดอะแกรมของ CU 80 44

5.4 วงจร CPU 44

5.5 หน่วยความจำ 46

5.6 แป้นกดข้อมูล 49

5.7 วงจรแสดงผล 51

5.8 โปรแกรมมอนิเตอร์ 53

5.9 การประกอบวงจรและคู่มือการใช้งาน 62

5.10 สรุป 63

บทที่ 6 เครื่องโปรแกรม EPROM และเครื่องลบโปรแกรม 64

6.1 บทนำ 64

6.2 EPROM 2708 และ 2716 65

6.3 การออกแบบเครื่องโปรแกรม 68

6.4 ซอฟท์แวร์ 78

6.5 เครื่องลบโปรแกรม 81

บทที่ 7 บทสรุป 83

เอกสารอ้างอิง 85



เลขหมู่ จฬ
ว ๑๕ 15
เลขทะเบียน 001677
วัน เดือน ปี ๑ ก.พ. ๒๗

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1 คำนำ

## 1.1 ความเป็นมา

ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่า วิวัฒนาการทางด้านอิเล็คตรอนิคส์ ไม่ว่าจะเป็น เทคโนโลยีในการผลิตสารกึ่งตัวนำ วงจรเชิงเลข (digital circuit) และไมโครโปรเซสเซอร์ ได้เจริญรุดหน้าไปอย่างรวดเร็วมาก การวิวัฒนาการทางด้านนี้ไม่เพียงแต่จะมีผลทำให้เครื่องอิเล็คตรอนิคส์ เครื่องมือสื่อสาร อุปกรณ์ควบคุม เปลี่ยนโฉมหน้าไปจากเดิมอย่างมากมาย ยังมีผลต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม และแม้แต่เครื่องใช้ในสำนักงาน เครื่องใช้ในบ้าน อุปกรณ์รุ่นใหม่ ที่ผลิตโดยใช้ วิวัฒนาการทางอิเล็คตรอนิคส์นี้ มักจะมีขนาดเล็กลง ประสิทธิภาพการทำงานดีขึ้น และมีฟังค์ชั่นการทำงานมากมาย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้เล็งเห็นความสำคัญของวิทยาการทางด้านอิเล็คตรอนิคส์นี้ ในแง่ที่จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาอุตสาหกรรม และการพัฒนาประเทศ จึงได้เปิดสอนวิชาวงจรอิเล็คตรอนิคส์เป็นวิชาบังคับมาโดยตลอด และได้เปิดวิชาเลือกหลายวิชา เช่น วิชาอิเล็คตรอนิคส์เชิงเลข วิชา วงจรอิเล็คตรอนิคส์ วิชาอิเล็คตรอนิคส์อุตสาหกรรมวิชาไมโครโปรเซสเซอร์ เป็นต้น นอกจากนั้นยังเปิดวิชาปฏิบัติการ คือ ปฏิบัติการอิเล็คตรอนิคส์เชิงเลข และปฏิบัติการไมโครโปรเซสเซอร์ ทั้งนี้เพราะได้เล็งเห็นความสำคัญที่จะให้นิสิตมีความรู้ ในเรื่องนี้ ซึ่งจะต้องประสบในชีวิตการทำงานอยู่บ่อย ๆ แต่ภาควิชาได้ประสบกับปัญหาในเรื่องงบประมาณสำหรับไว้จัดซื้ออุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมาโดยตลอด อุปกรณ์และเครื่องมือเหล่านี้มักจะเป็นผลิตภัณฑ์จากต่างประเทศ จึงมีราคาแพงมาก ทั้ง ๆ ที่เครื่องมือบางชนิดก็ไม่ยุ่งยากจนเกินไป ยกตัวอย่างเช่น ชุดทดลองวงจรเชิงเลข ลอจิกโพรบ (logic probe) ซึ่งใช้ในการปฏิบัติการวงจรเชิงเลข เป็นต้น กลุ่มผู้วิจัย ซึ่งประกอบด้วยอาจารย์ที่มีหน้าที่สอนวิชาอิเล็คตรอนิคส์ จึงได้ปรึกษากันกันเพื่อที่จะทดลองสร้างอุปกรณ์ และ เครื่องมือที่ใช้ในปฏิบัติการเชิงเลขให้ไว้ใช้เองในภาควิชา

พอดีในขณะนั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์มีนโยบายที่จะส่งเสริมการวิจัย และได้จัดสรรเงินทุนคณะมาไว้เพื่อการนี้ จึงเป็นโอกาสดีที่จะทำการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์เชิงเลขประกอบการปฏิบัติการ โดยคณะผู้วิจัยมีความเห็นอยู่ว่า นอกจากจะเป็นประโยชน์ในด้านมีเครื่องมือสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการเพิ่มขึ้น และเป็นประโยชน์ต่อการเรียนการสอนในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าแล้ว ยังเป็นประโยชน์ในแง่เป็นเครื่องมือสำหรับงานวิจัยของอาจารย์ นิสิต และยังสามารถเผยแพร่ให้หน่วยงานรัฐบาลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่นรัฐวิสาหกิจ วิทยาลัยเทคนิค ทั้งหลาย

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขต

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์เชิงเลข ซึ่งใช้ประกอบการเรียนการสอน วิชาอิเล็คตรอนิคส์เชิงเลข วิชาไมโครโปรเซสเซอร์ ที่เปิดสอนในภาควิชา อุปกรณ์ที่ทดลองสร้างขึ้น จะเป็นเครื่องต้นแบบสำหรับไว้ใช้ในการผลิตจำนวนมากต่อไปเพื่อเกิดความต้องการอุปกรณ์ประกอบการปฏิบัติการเหล่านี้ไม่เพียงแต่จะเป็น ประโยชน์ต่อภาควิชา ยังเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานรัฐบาลต่าง ๆ และยังเป็นประโยชน์ต่อบุคคลทั่วไปอีกด้วย

ขอบเขตของการวิจัยนี้ ได้แก่การทดลองสร้างอุปกรณ์ประกอบการปฏิบัติการที่มีความจำเป็นในการใช้งานมาก และมีโครงสร้างไม่ยุ่งยาก อุปกรณ์ที่ทดลองสร้างขึ้นมามี

ก. ชุดทดลองวงจรเชิงเลข

ข. ลอจิกโพรบ และลอจิกมอนิเตอร์

ค. เครื่องกำเนิดสัญญาณพัล์

ง. ชุดทดลองไมโครโปรเซสเซอร์

จ. เครื่องโปรแกรม EPROM และเครื่องลบโปรแกรม

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

จากการวิจัยนี้ ผลที่ได้รับคือ

ก. ได้เครื่องต้นแบบ ของอุปกรณ์ประกอบการปฏิบัติการเชิงเลขที่มีการทำงานดี ราคาถูก สามารถใช้เป็นเครื่องต้นแบบในการผลิตต่อไปเมื่อมีงบประมาณ เครื่องต้นแบบที่สร้างให้ ได้แก่

| | |
|---|---|
| ชุดทดลองวงจรเชิงเลข | 3 ต้นแบบ |
| ลอจิกโพรบ | 1 ต้นแบบ |
| ลอจิกมอนิเตอร์ | 1 ต้นแบบ |
| เครื่องกำเนิดสัญญาณพัล์ | 2 ต้นแบบ |

ข. ได้เครื่องต้นแบบ ชุดทดลองไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งเป็นไมโครคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดียว (single board microcomputer) สำหรับใช้ในปฏิบัติการไมโครโปรเซสเซอร์ เครื่องต้นแบบนี้ได้รับการอนุมัติจากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และได้ทำการผลิตขึ้นมาเป็นจำนวน 10 เครื่อง ด้วยงบประมาณของภาควิชา เพื่อ

ใช้ในการเรียนการสอน และการวิจัยในภาควิชา

ค. ได้เครื่อง ต้นแบบ เครื่องโปรแกรม EPROM (erasable programable read only memary) และเครื่องลบโปรแกรม EPROM ซึ่งเป็นประโยชน์ในการทำวิจัย เกี่ยวกับระบบไมโครโปรเซสเซอร์ ของอาจารย์ และนิสิต

1.4 การดำเนินงาน

ในการวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้ใช้สถานที่ในการวิจัย คือ ห้องชั้นล่างของตึกโคสัมโบ อันเป็นสถานที่ตั้งของ สถาบัน วิจัยและพัฒนา ของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ในปัจจุบัน คณะผู้วิจัยได้แบ่งแยกหน้าที่การวิจัยดังนี้

| | | |
|---|---|---|
| ผู้วิจัยหลัก | นายกฤษดา วิศวธีรานนท์ | รับผิดชอบและดำเนินการวิจัยทั้งหมด |
| ผู้ร่วมวิจัย | นายโคทม อารียา | ให้คำปรึกษาในการวิจัย |
| | นายชาตรี ศรีไพพรรณ | |
| ผู้วิจัย | นายกวินทร์ วิสารัชนนท์ | ประกอบและทดลองวงจร |
| | นายประชา เอกวรวงศ์ | |
| | นายพิทักษ์ วังวรางกูล | |

# บทที่ 2 ชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์

## 2.1 บทนำ

ในช่วงระยะ 10 ปี ที่ผ่านมาวิวัฒนาการทางด้านอิเล็คตรอนิคส์ ได้เจริญรุดหน้าอย่างรวดเร็วดังเราจะเห็นจากการที่อิเล็คตรอนิคส์ ถูกนำไปประยุกต์ในวงการต่าง ๆ ในขณะเดียวกันความเจริญทางอิเล็คตรอนิคส์ก็มีผลกระทบต่อวงการวิศวกรรมและสถาบันศึกษาในประเทศเช่นเดียวกัน จะเห็นจากจำนวนวิชาที่เปิดสอนในสถาบันศึกษาต่าง ๆ ความพยายามในการปรับปรุงการเรียนการสอน การแต่งตำราอิเล็คตรอนิคส์ จำนวนนิสิต นักศึกษาที่ให้ความสนใจทางด้านนี้ ได้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว เพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงนี้ การเรียนการสอนในชั้นอุดมศึกษาก็จำเป็นที่จะต้องได้รับการปรับปรุงเปลี่ยนแปลง เพื่อให้สามารถรองรับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงนี้ เช่นกัน ชุดทดลองวงจรอิเล็คตรอนิคส์ ก็เป็นสิ่งหนึ่งที่จะใช้ในการปรับปรุงการเรียนการสอนให้มีประสิทธภาพเพิ่มขึ้นได้ โดยถือหลักการที่ว่า "ทฤษฎีประสานกับปฏิบัติ"

ชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็ตตรอนิคส์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติการวงจรอิเล็คตรอนิคส์ชนิดหนึ่ง ที่ว ๆ ไปจะมีรูปร่างเป็นกล่อง โลหะ ด้านบนจะมี แผงต่อวงจร (proto board) พร้อมกับเครื่องมืออำนวยสะดวกในการทดสอบวงจรต่าง ๆ เช่น แหล่งจ่ายไฟ มิเตอร์วัดไฟตรง แหล่งกำเนิดสัญญาณเป็นต้น ชุดทดลองนี้ให้ความสะดวกในการทดลองวงจรมาก นิสิตสามารถต่อวงจรที่ต้องการศึกษาให้เสร็จภายในเวลาอันสั้น สามารถป้อนแหล่งจ่ายไฟ และสัญญาณที่ต้องการให้วงจรอย่างรวดเร็ว เพียงใช้สายไฟเล็ก ๆ ต่อเข้าไปในวงจรเท่านั้น นอกจากนั้นเมื่อต้องการลองเปลี่ยนแปลงค่าองค์ประกอบวงจรก็สามารถถอดเปลี่ยนได้ทันทีไม่ต้องเสียเวลามาบัดกรีอย่างเช่นสมัยก่อน

ข้อดีของชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์ พอสรุปเป็นข้อ ๆ คือ

1. ประกอบวงจรได้รวดเร็ว ไม่ต้องใช้การบัดกรี
2. มีเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองพร้อมอยู่บนกล่อง ทำให้สะดวกในการต่อวงจร
3. สามารถเปลี่ยนแบบวงจรและเปลี่ยนค่าองค์ประกอบวงจรได้รวดเร็ว
4. อุปกรณ์ทุกชิ้นอยู่บนกล่องเดียวกัน ทำให้สะดวกในการขนย้าย และดูแล
5. มีขนาดกระทัดรัด สามารถใช้ในการอบรม ในห้องบรรยายได้ ทำให้สามารถสอนทฤษฎีและปฏิบัติควบคู่กันได้พร้อมกัน

จากเหตุผลเหล่านี้ทำให้ชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์ ได้รับความสนใจจาก ครูอาจารย์ทั้งหลายที่ต้องการปรับปรุงการเรียนการสอน วิชาอิเล็คตรอนิคส์ ให้ได้ผลอย่างรวดเร็ว ไม่เพียงเท่านั้นชุดทดลองอิเล็คตรอนิคส์ยังได้รับความสนใจ จากผู้ วิจัยและนักทดลองวงจรด้วย การใช้ชุดทดลองจะย่นย่อเวลาในการประดิษฐ์คิดค้น และสร้างเครื่องต้นแบบ

ทั่ว ๆ ไปวงจรอิเล็คตรอนิคส์ในปัจจุบันพอที่จะแยกออกเป็นสองชนิดใหญ่ได้แก่ วงจรอนาลอก (analog circuit) ซึ่งได้แก่วงจรที่ใช้ออฟแอมป์ และไอซีเชิงเส้น (linear integrated circuit) และอีกชนิดหนึ่งคือวงจรเชิงเลข (digital circuit) ได้แก่วงจรที่ใช้เกท (gate) ตัวนับ (counter) และไมโครโปรเซสเซอร์เป็นต้น วงจรเชิงเลขนี้จะมีสัญญาณภายในวงจรเป็นระดับสูงกับต่ำ หรือ "1" กับ "0" เท่านั้น ชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์ จึงอาจจะแบ่งได้ง่ายเป็นสองชนิด คือ ชุดทดลองสำหรับวงจรอนาลอก และ ชุดทดลองสำหรับวงจรเชิงเลข แต่ชุดทดลองบางชนิดสามารถจะใช้ได้กับวงจรทั้งสองชนิด สำหรับชุดทดลองวงจรเชิงเลข จะมีข้อแตกต่างจากชุดทดลองทั่วไปตรงที่ แหล่งจ่ายไฟจะเป็นชนิดไฟตรง 5 v แปรค่าไม่ได้ แหล่งกำเนิดสัญญาณ เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกา หรือ สัญญาณพัลส์ มีสวิทช์สำหรับเลือกระดับลอจิกเพื่อป้อนให้วงจร มีลอจิกมอนิเตอร์ (logic monitor) สำหรับวัดระดับลอจิกตามส่วนต่าง ๆ ของวงจรที่ต่อขึ้น

ถึงแม้ชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์จะมีคุณสมบัติดีหลายประการดังที่กล่าวมาแล้วก็จริงแต่มีข้อเสียตรงที่มีราคาแพงมาก เป็นเพราะผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ผลิตในต่างประเทศ ทำให้ชุดทดลองยังไม่เป็นที่ใช้กันอยู่แพร่หลาย

การวิจัยในหัวข้อนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะทดลองสร้างชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์แบบง่าย ๆ หลาย ๆ แบบ เพื่อเป็นเครื่องต้นแบบสำหรับการผลิตเพื่อใช้ในการเรียนการสอนในสถาบันการศึกษาต่อไป ชุดทดลองที่สร้างขึ้นสามารถใช้ได้สำหรับการทดลองวงจรอนาลอกและวงจรเชิงเลข

2.2 ผลิตภัณฑ์ชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์

ผลิตภัณฑ์ชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์ที่มีจำหน่ายในประเทศ ส่วนมากจะเป็นผลิตภัณฑ์ต่างประเทศ มีผลิตภัณฑ์ภายในประเทศเพียงรายเดียว ชุดทดลองทั้งหลายจะมีอุปกรณ์ประกอบ คล้ายคลึงกันคือ

1. แผงต่อวงจร (proto board) เป็นแผงที่เต็มไปด้วยรูเสียบเรียงกันเป็นแถวตรงกลาง จะเว้นช่องห่าง 0.3 นิ้ว หรือ 0.6 นิ้ว เพื่อให้ไอซีเสียบลงได้ ขนาดความยาวของแผงต่อวงจรมีตั้งแต่ 1.3 นิ้ว ถึง 6.5 นิ้ว แผงต่อวงจรบางชนิดจะเป็น Bus Strip ซึ่งเป็นรูเสียบวางเป็นแนวเดียวกันหนึ่งหรือสองแนวภายในจะต่อถึงกันทางด้านไฟฟ้า รูป 2.1 จะเป็นตัวอย่างของแผงต่อวงจร[1] ทั่ว ๆ ไปชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์จะต้องมีแผงต่อวงจร ตั้งแต่ 1 ถึง 4 ชุด

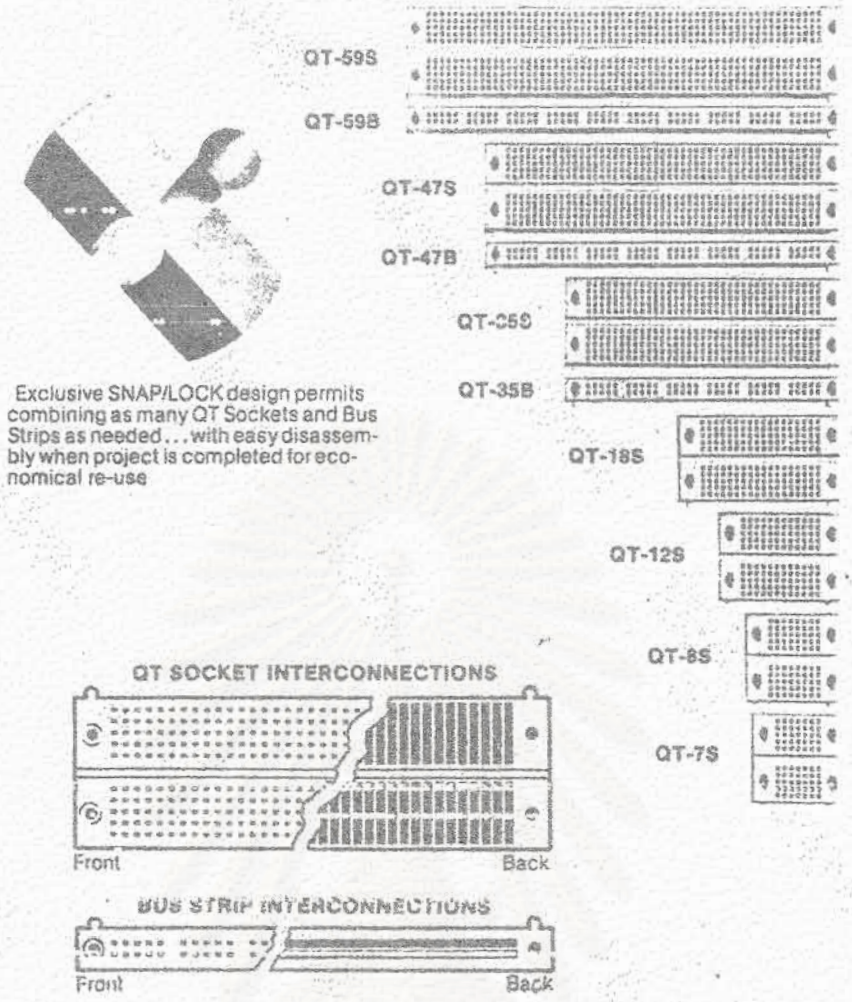
2. แหล่งจ่ายไฟตรง เพื่อใช้ป้อนให้วงจรที่ใช้ทดลอง มักเป็นแหล่งจ่ายไฟตรง 5 V เมื่อเป็นชุดทดลองวงจรเชิงเลข และเป็นแหล่งจ่ายไฟแปรค่าได้ตั้งแต่ 0-20 V เพื่อใช้เป็นชุดทดลองวงจรอิเล็คตรอนิคส์ทั่วไป ถ้าเป็นชุดทดลองวงจรออฟแอมป์ มักเป็นแหล่งจ่ายไฟตรง $\pm$15 V แหล่งจ่ายไฟบนชุดทดลองนี้มักเป็นแหล่งจ่ายไฟขนาดเล็กที่พอเหมาะกับการจ่ายไฟให้วงจรที่ทดลอง ส่วนมากจะจ่ายกระแสได้ไม่เกิน 1 แอมป์

3. แหล่งกำเนิดสัญญาณ กำเนิดสัญญาณพัลส์ หรือสัญญาณนาฬิกา เมื่อเป็นชุดทดลองวงจรเชิงเลข และกำเนิดสัญญาณซายน์ สี่เหลี่ยม และสามเหลี่ยม เมื่อเป็นชุดทดลองทั่วไป ความถี่ของสัญญาณมักจะต่ำ ประมาณ 1 Hz ถึง 100 kHz ตามปรกติแหล่งกำเนิดสัญญาณบนชุดทดลอง มักจะเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณที่มีโครงสร้างวงจรง่าย ๆ ราคาถูก มีคุณสมบัติด้อยว่าแหล่งกำเนิดสัญญาณที่สร้างเป็นเครื่องโดด ๆ

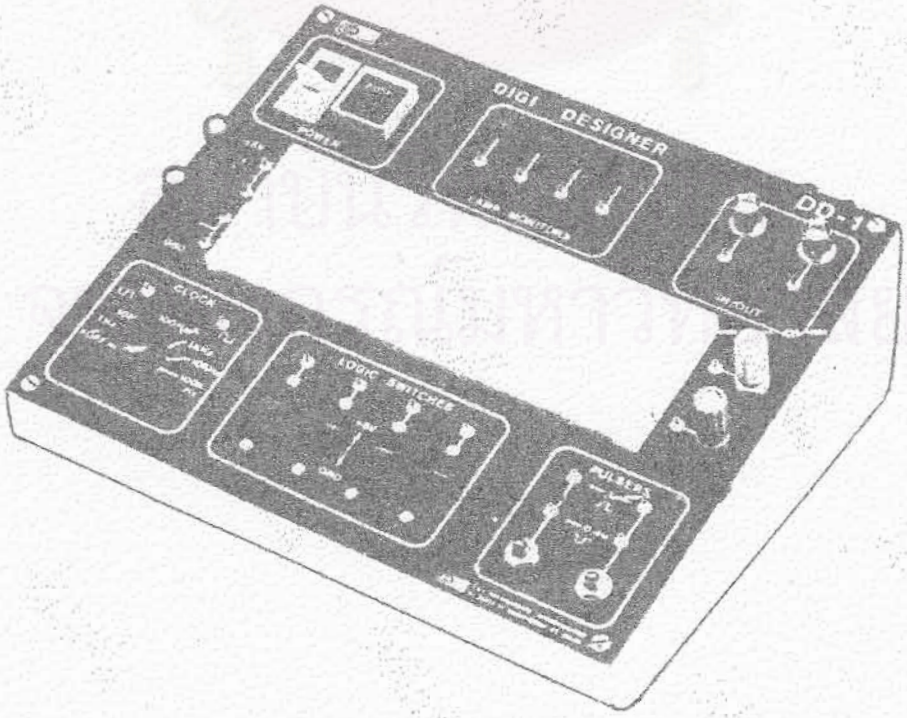
4. ลอจิกมอนิเตอร์และสวิทช์ ชุดทดลองและออกแบบวงจรเชิงเลข มักจะมีลอจิกมอนิเตอร์ซึ่งเป็นตัวตรวจสอบระดับลอจิกของวงจร และสวิทช์โยกเพื่อป้อนสัญญาณลอจิกเข้าวงจรเสมอ ลอจิกมอนิเตอร์มีทั้งที่เป็นหลอดลอจิกแสดงภาวะสูงต่ำธรรมดา กับลอจิกมอนิเตอร์ที่มีความสามารถในการตรวจจับพัลส์ได้ หลอดลอจิกมีกมีจำนวน 2 ถึง 8 ตัว ส่วนสวิทช์นั้นมีทั้งสวิทช์โยกเพื่อเลือกระดับลอจิกและสวิทช์ปุ่มกดที่ใช้ผลิตพัลส์เดี่ยว เพื่อป้อนเข้าวงจร

5. อุปกรณ์อื่น ๆ มีเฉพาะในชุดทดลองบางชนิด เช่นมีมิเตอร์วัดแรงดันไฟตรง มีความต้านทานแปรค่าได้ มีขั้วต่อวงจรเพื่อใช้ต่อกับอุปกรณ์ภายนอกเป็นต้น

ผลิตภัณฑ์ชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์ที่ได้ทำการสำรวจในการวิจัยนี้ มีด้วยกันทั้งสิ้น 6 แบบ เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท E&L Instruments บริษัท Continental Specialties Corp. บริษัท Hewlett-Packard และบริษัท Se-iducation จำกัด




รูป 2.1 แผงต่อวงจร




รูป 2.2 ชุดทดลอง DD-1 DIGI Designer ของบริษัท S&L Instrument

บริษัทหลังสุดนี้เป็นบริษัทในประเทศที่ทำการผลิตชุดทดลอง ภายหลังจากเริ่มโครงการวิจัยได้ 1 ปี ตาราง 2.1 เป็นตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์แบบต่างๆ ที่มีจำหน่ายในประเทศ ชุดทดลอง OA-2 เป็นชุดทดลองวงจรออฟแอมป์ ชุดทดลอง Proto board 203A เป็นชุดทดลองวงจรทั่วไป ส่วนชุดทดลองอื่น ๆ เป็นชุดทดลองและออกแบบวงจรเชิงเลข

รูป 2.2 เป็นรูปชุดทดลอง DD-1 ของบริษัท E&L Instruments ซึ่งมีออกจำหน่ายสู่งสุดในประเทศไทย (พศ. 2523) คุณสมบัติชุดทดลองมีดังนี้ [2]

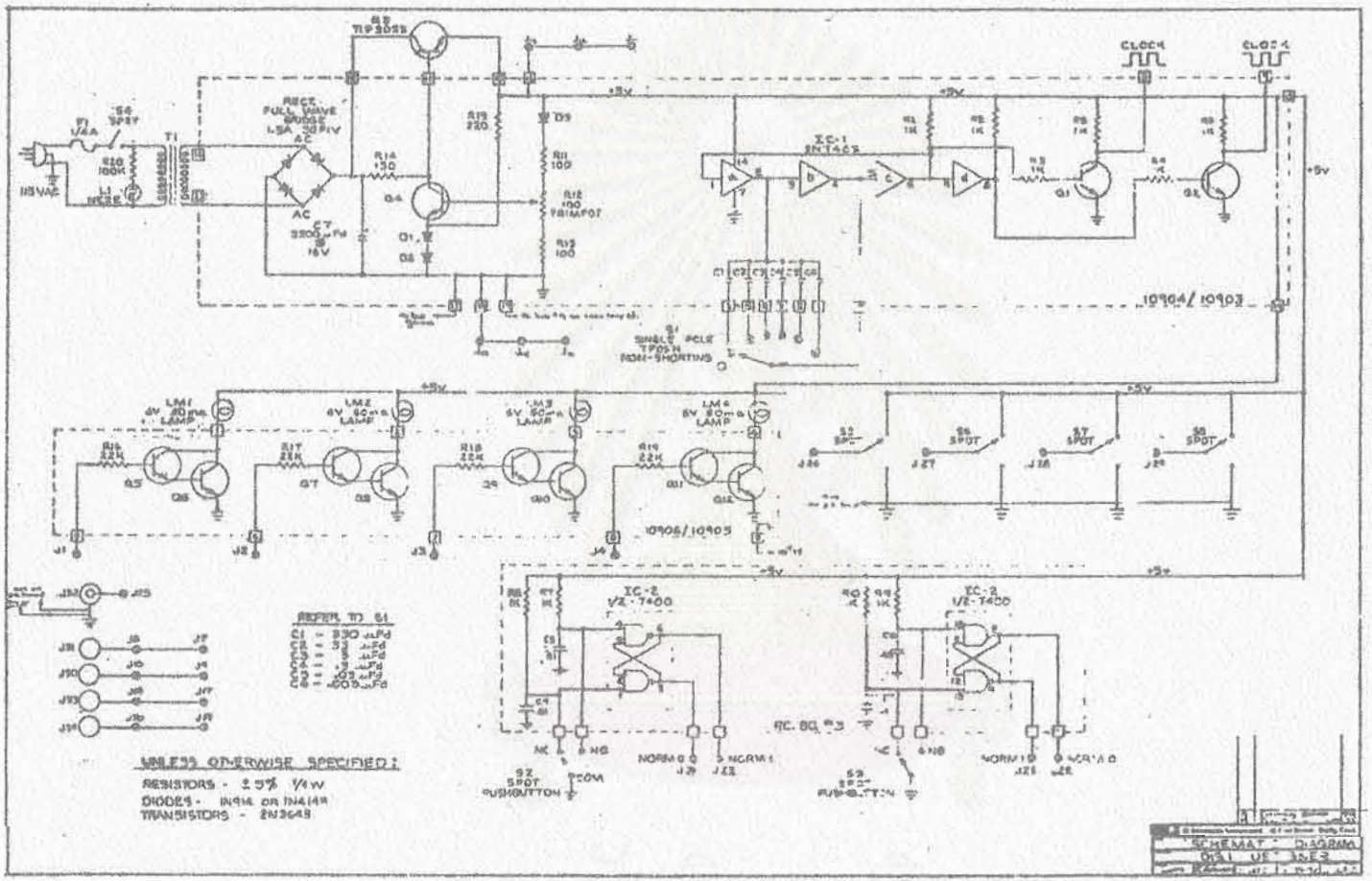
1. มีแผงต่อวงจร 1 ชุด
2. แหล่งจ่ายไฟตรง 5 V 400mA (ปรับค่าได้จาก 4.0 Vถึง 7.0 V)
3. แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกา 1 แหล่ง เลือกได้ 6 ความถี่ คือ 1, 10, 100, 1k, 10k และ 100kHz มีสองสัญญาณออกซึ่งกลับเฟสกัน
4. สวิทช์ปุ่มกดผลิตพลัส์ 2 ปุ่ม (แก้การ เบาน์ เรียบร้อยแล้ว)
5. สวิทช์ โยกเลือกระดับลอจิก จำนวน 4 ตัว
6. หลอดลอจิก สำหรับ วัดระดับลอจิก จำนวน 4 หลอด

ชุดทดลอง DD-1 นี้เหมาะสำหรับการทดลองวงจรเชิงเลขแบบง่าย ๆ เหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นเรียนวัดอิเล็คตรอนิคส์เชิงเลข แต่ไม่เหมาะสำหรับการออกแบบวงจรเชิงเลขที่มีขนาดใหญ่ขึ้นมาหรือมีความซับซ้อน ข้อเสียของชุดทดลองนี้อยู่ตรงที่จำนวนแผงต่อวงจรน้อยเกินไป ควรมีอย่างน้อย 2 ชุด และแหล่งจ่ายไฟ มีความสามารถจ่ายกระแสได้เพียง 400 mA ควรเพิ่มเป็น 1A โครงสร้างวงจรของ DD-1 นี้ง่ายมาก รูป 2.3 แสดงวงจรภายในของชุดทดลองนี้ [3] จากวงจรจะเห็นแหล่งจ่ายไฟใช้องค์ประกอบวงจรที่เป็นทรานซิสเตอร์ ไม่มีการป้องกันการลัดวงจร วงจรหลอดลอจิก ใช้การขยายสัญญาณด้วยทรานซิสเตอร์และขับหลอดโดยตรง ทำให้ระดับลอจิกที่วัดได้ไม่แน่นอน และมีอินพุทอิมพิแดนซ์ของวงจรต่ำ

## 2.3 ชุดทดลองที่ทดลองสร้าง

จากการศึกษาผลิตภัณฑ์ชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์ที่มีจำหน่ายในประเทศได้ข้อสรุป สำหรับใช้ในการออกแบบชุดทดลองที่จะสร้างขึ้นดังนี้

1. ควรมีแผงต่อวงจรขนาดใหญ่พอ อย่างน้อยควรมีแผงต่อวงจรตั้งแต่ 2 ชุดขึ้นไป




รูป 2.3 วงจรภายในของชุดทดลอง DD-1

2. แหล่งจ่ายไฟตรง 5 V จ่ายกระแสได้ 1 V สำหรับชุดทดลองเชิงเลข
แหล่งจ่ายไฟตรงแปรค่าได้ $\pm$ - 20 V จ่ายกระแสได้ 500 mA สำหรับชุดทดลองวงจรอานาลอก
3. แหล่งกำเนิดสัญญาณ ซายน์ สี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม แปรความถี่ได้ตั้งแต่ 10 - 100 kHz สำหรับชุดทดลอง วงจรอานาลอก
แหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ชนิดง่าย ๆ แปรความถี่แบบขั้นตั้งแต่ 1 Hz-1mHz สำหรับชุดทดลองวงจรเชิงเลข
4. มีลอจิกมอนิเตอร์ ที่ใช้ตรวจวัดระดับลอจิก และพัลส์ 1 ชุด
5. มีสวิทช์ปุ่มกดสำหรับให้สัญญาณพัลส์ 1 หรือ 2 ปุ่ม

ชุดทดลองที่ได้ทดลองสร้างขึ้นมาในโครงการนี้มีด้วยกัน 3 แบบ เป็นชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์ที่ใช้ได้ทั้งวงจรอนาลอคและวงจรเชิงเลข 2 แบบแรกเป็นชุดทดลองแบบง่ายสุดมีแผงต่อวงจรและแหล่งจ่ายไฟตรงเท่านั้น แบบที่สามเป็นชุดทดลองสมบูรณ์แบบที่ประกอบด้วยอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในการทดลองหลายชิ้น

2.3.1 ชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์แบบง่าย

ในการทดลองวงจรอิเล็คตรอนิคส์ไม่ว่าจะเป็นวงจรอนาลอคหรือ วงจรเชิงเลข สิ่งที่สำคัญที่สุดคือการประกอบวงจรง่ายและสามารถให้วงจรทำงานได้อย่างรวดเร็ว อุปกรณ์จำเป็นที่สุดในการประกอบวงจรคือแผงต่อวงจร อุปกรณ์ที่สำคัญต่อมาคือแหล่งจ่ายไฟ เมื่อมีอุปกรณ์ทั้งสองชนิดแล้ว ตามปรกติเราสามารถต่อวงจรทั่ว ๆ ไปใช้ทำงานโดยตัวของมันเองได้ สำหรับในการทดลองและออกแบบวงจร เครื่องมือที่มีความจำเป็นต่อมาได้แก่มัลติมิเตอร์ ซึ่งตามปรกติในห้องปฏิบัติการสอนอิเล็คตรอนิคส์ได้จัดเตรียมไว้เรียบร้อยแล้ว สำหรับกรณีการทดลองวงจรเชิงเลข เครื่องมือที่จำเป็นคือลอจิกโพรบ(logic probe)ซึ่งใช้วัดระดับลอจิกและพัลส์ เครื่องมือสามารถสร้างขึ้นเองได้ง่าย ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดการสร้างในบทต่อไป

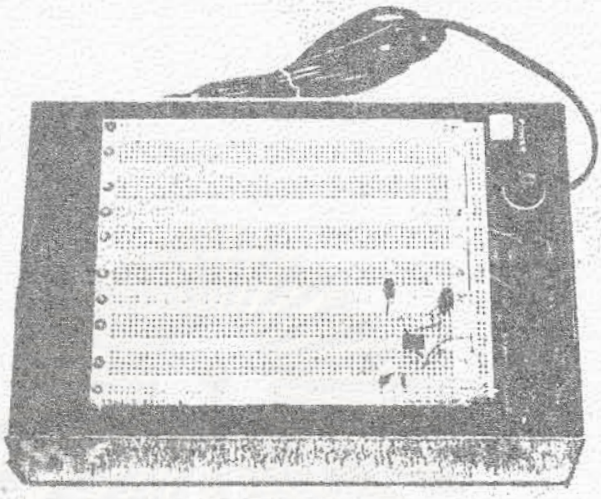
จากแนวคิดที่ว่าอุปกรณ์ที่จำเป็นที่สุด ในการทดลองและออกแบบวงจรได้แก่ แผงต่อวงจรและแหล่งจ่ายไฟ ผู้วิจัยได้ทดลองสร้างเครื่องต้นแบบของชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์ขึ้น 2 แบบ ทั้งสองแบบนี้ใช้ในการทดลองและออกแบบวงจรทั้งที่เป็นชนิดอนาลอกและวงจรเชิงเลข ดังมีรายละเอียดดังนี้

2.3.2 ชุดทดลองแบบที่หนึ่ง เป็นชุดทดลองง่าย ๆ ประกอบด้วยแผงต่อวงจร และแหล่งจ่ายไฟ 3 แหล่งประกอบลงบนกล่องเดียวกันมีขนาดเล็กกระทัดรัด จึงสามารถขนย้ายได้ง่าย และทดลองวงจรได้ทั้งวงจรอนาลอค และวงจรเชิงเลข มีคุณสมบัติดังนี้

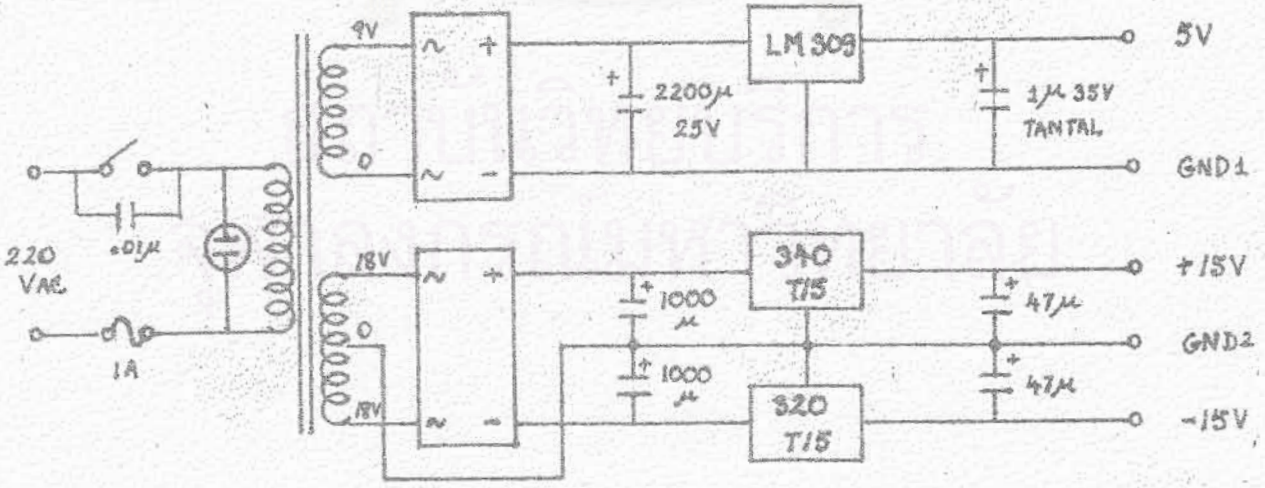
1. แผงต่อวงจรจำนวน 3 แผง มีบัสว่างขึ้นระหว่างแผงต่อวงจร 5 บัส
2. แหล่งจ่ายไฟ 3 แหล่ง คือ 5 V, +15 และ -15 V
   ความสามารถในการจ่ายกระแส 5 V 1A , $\pm$15 V 500 mA
   แรงดันไฟริปเปิล (rippie Voltage) 20 mVp-p
   เร็คกูเลชั่น (regulation at full lood) 0.01 %
3. กล่องโลหะ เป็นกล่องเหล็กมีขนาด 250x160x80 มม.
   มีสวิทช์เปิดปิดหลอดไพลอด (pilol lamp) ฟิวส์ ขั้วต่อ 4 ขั้ว ของแหล่งจ่ายไฟต่อไว้ด้านบนของตัวกล่อง
4. ใช้กับไฟ 220 VAC 50-60 Hz 25 W

รูป 2.4 เป็นรูปถ่ายของชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์แบบที่หนึ่งนี้ ส่วนรูปที่ 2.5 เป็นวงจรแหล่งจ่ายไฟ และวงจรของภายในเครื่องทั้งหมด จะเห็นว่าในวงจรแหล่งจ่ายไฟ ได้ใช้ ไอซีเร็คกูเลเตอร์ ชนิดที่ให้แรงดันคงที่ เพื่อให้การประกอบวงจรง่าย และมีคุณสมบัติดี ไอซีเร็คกูเลเตอร์เหล่านี้ มีความสามารถในการจำกัดกระแสขาออกเพื่อป้องกันการลัดวงจรอันอาจจะเกิดขึ้นจากการต่อวงจรผิด ดังนั้นจึงทำให้เครื่องมีความเชื่อถือได้สูง และทนทานในการใช้งาน

ชุดทดลองและออกแบบวงจรนี้ใช้ได้ทั้งวงจรเชิงเลขและวงจรอนาลอค . วงจรเชิงเลขชนิดที่ใช้ไอซีตระกูล TTL (Transistor-Transistor Logic) ต้องการแหล่งจ่ายไฟ 5 V ส่วนวงจรอานาลอกที่เป็นจำนวนวงจรออฟแอมป์ มักใช้แหล่งจ่ายไฟ $\pm$15V แผงต่อวงจร 3 แผงในชุดทดลองมีขนาดใหญ่พอที่จะบรรจุ ไอซี ชนิด DIP 14 ขา ได้ถึง 24 ตัว ซึ่งพอเพียงกับการต่อวงจรในระบบเล็กทั่ว ๆ ไป แบบนี้มีข้อเสียตรงที่แหล่งจ่ายไฟ ไม่สามารถจะแบ่งค่าได้ ทำให้การทดลองวงจรถูกจำกัดขอบเขต ปัจจุบันไอซีเชิงเลขตระกูล CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) ราคาถูกลงมากและเป็นที่นิยมในวงการอิเล็คตรอนิคส์ ไอซีชนิดนี้สามารถใช้กับแหล่งจ่ายไฟตั้งแต่ 3 V ถึง 15 V แรงดันแหล่งจ่ายไฟยังสูงจะทำให้วงจรยิ่งทำงานเร็วขึ้น



รูป 2.4 ชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์แบบที่หนึ่ง




รูป 2.5 วงจรแหล่งจ่ายไฟของชุดทดลองแบบที่หนึ่ง

2.3.3 ชุดทดลองแบบที่สอง เป็นชุดทดลองและออกแบบวงจรทั้ง ฌาลอกและวงจรเชิงเลข แบบง่าย ๆ ที่ปรับปรุงคุณสมบัติของแหล่งจ่ายไฟ ให้มีความสามารถในการแปรค่าแรงดันขาออกได้ มีคุณสมบัติของเครื่องดังนี้

1. แผงต่อวงจร จำนวน 2 แผง และใช้ 3 บัส
2. แหล่งจ่ายไฟบวกลบ แปรค่าได้ตั้งแต่ 3 V - 24 V

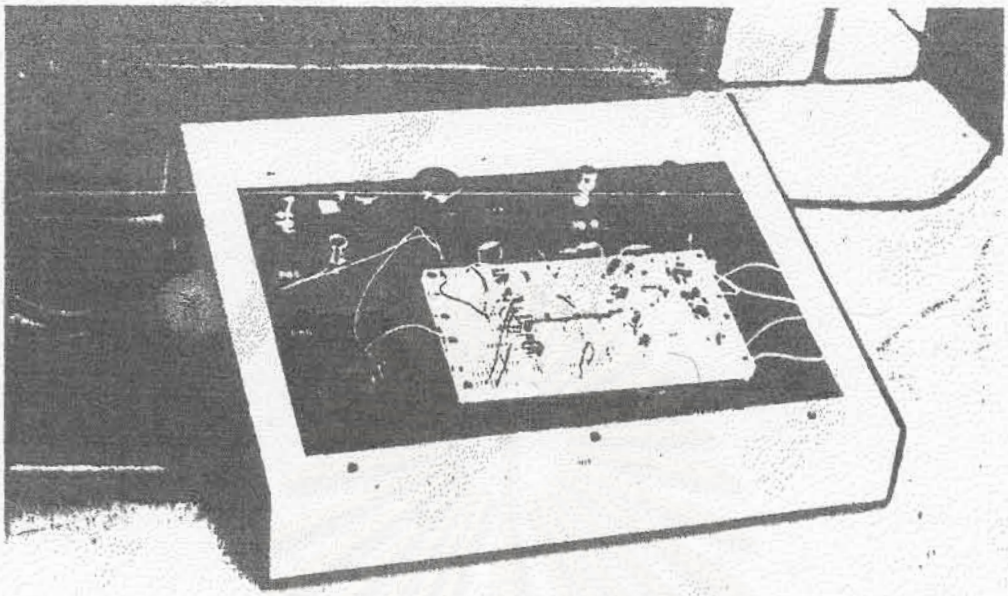
| | | | |
|---|---|---|---|
| ความสามารถในการจ่ายกระแส | แหล่งจ่ายไฟ | บวก | |
| | แหล่งจ่ายไฟ | ลบ | 300 mA |
| แรงดันไฟริปเปิล | แหล่งจ่ายไฟ | บวก | 20 mvp-p |
| | แหล่งจ่ายไฟ | ลบ | 50 mvp-p |
| เร็คกูเลชั่นที่โหมดเต็มที่ | แหล่งจ่ายไฟ | บวก ลบ | 0.01 % |

3. กล่อง โลหะ เป็นกล่องยาวแบนเอียงขนาด 350x270x105 มม. ด้านบนที่เอียงราบเป็นแผ่นอาดิลิค สำหรับวางแผงต่อวงจร และติดตั้งสวิทช์ และขั้วต่อวงจรของแหล่งจ่ายไฟ
4. ใช้กับไฟ 220 VAC 50-60 Hz 45 W

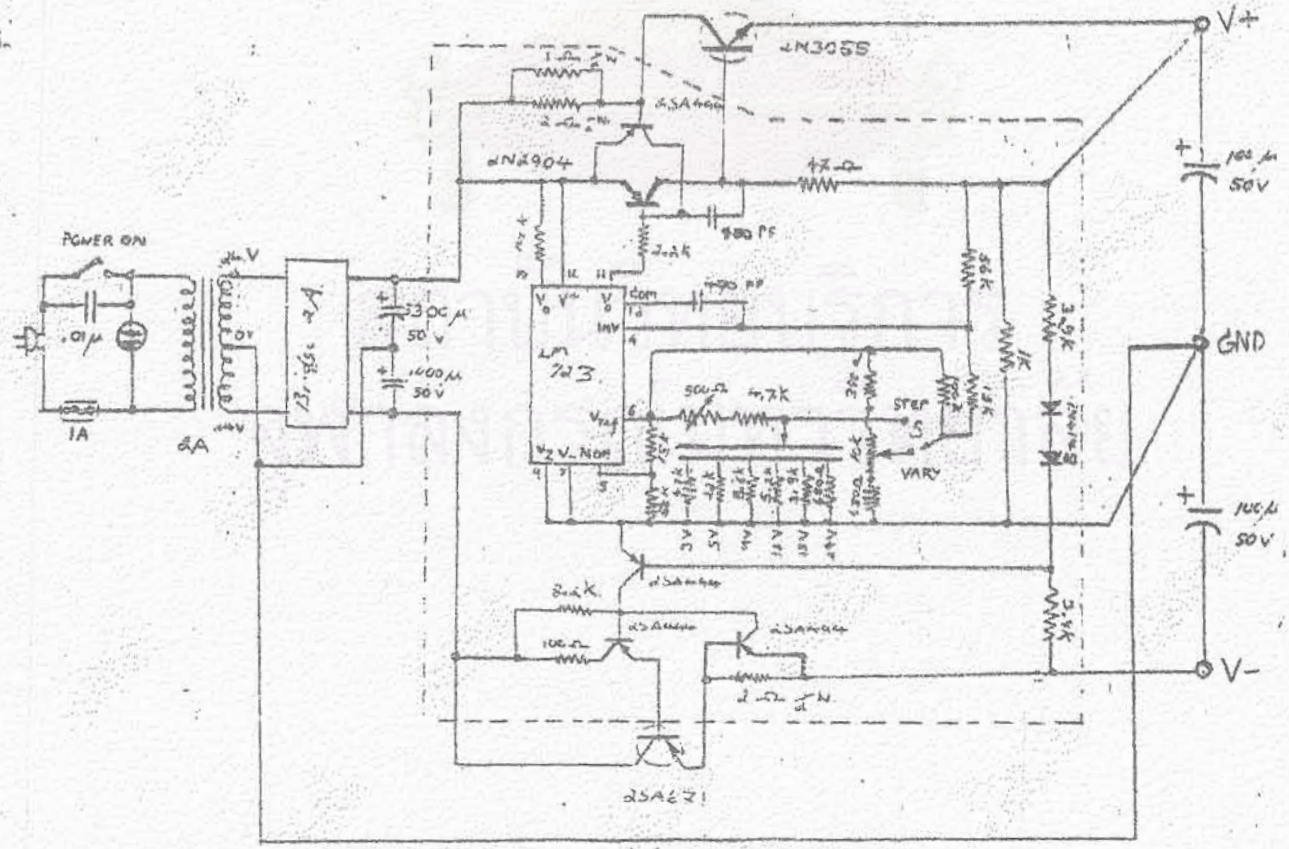
รูป 2.6 เป็นรูปถ่ายของชุดทดลองแบบที่สองนี้ ส่วนรูป 2.7 เป็นวงจรของแหล่งจ่ายไฟชนิดบวก ลบ ในวงจรจะเห็นว่าใช้ไอซีเร็คกูเลเตอร์ LM 723 เป็นตัวควบคุมแหล่งจ่ายไฟบวก แรงดันขาออกสามารถแปรค่าได้เป็นขั้น ๆ โดยใช้สวิทช์เลือก แรงดันไฟที่เลือกได้มี 3 V, 5 V, 9 V, 12 V, 15 V, และ 24 V. นอกจากนั้นเมื่อโยกสวิทช์ S ไปที่ตำแหน่ง VARY จะสามารถปรับแรงดันขาออกได้ต่อเนื่องโดยปรับที่ความต้านทานแปรค่าได้ 10 KΩ แรงดันสามารถแปรได้ระหว่าง 0.5 V ถึง 24 V สำหรับแหล่งจ่ายไฟทางด้านลบเป็นแหล่งจ่ายไฟง่าย ๆ ชนิดตามรอย (tracking regulator) โดยใช้แรงดันไฟบวกเป็นแรงดันไฟมาตรฐานสำหรับการทำแรงดันไฟลบ แหล่งจ่ายไฟนี้ใช้วงจรง่าย ๆ และเลือกขนาดทรานซิสเตอร์ที่เล็กลง ทำให้ความสามารถในการจ่ายกระแสน้อย และคุณสมบัติของแหล่งจ่ายไฟด้วยกว่าแหล่งจ่ายไฟบวก แต่ก็ยังมีคุณสมบัติดีพอที่จะใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟสำหรับการทดลองวงจรประเภท อนาลอคทั่วไปได้

ข้อดีของแหล่งจ่ายไฟนี้คือ

1. ใช้สวิทช์เลือกแรงดันไฟ ทำให้ประหยัดไม่ต้องใช้มิเตอร์วัดไฟ
2. เลือกการแปรค่าแรงดันได้ทั้งแบบเป็นขั้นและแบบต่อเนื่อง



รูป 2.6 ชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์ แบบที่สอง




รูป 2.7 วงจรแหล่งจ่ายไฟบวกลบของชุดทดลอง แบบที่สอง

3. แหล่งจ่ายไฟบวกมีคุณสมบัติในการจ่ายกระแสได้มากสามารถใช้ในงานทดลองวงจรได้ทั้งที่เป็นชนิด อนาลอค และวงจรเชิงเลข

4. แหล่งจ่ายไฟลบ ซึ่งใช้เฉพาะงานทดลองวงจร อนาลอค เป็นแหล่งจ่ายไฟง่าย ๆ แต่มีคุณสมบัติดี ทำให้ลดต้นทุนของแหล่งจ่ายไฟลงได้

ชุดทดลองแบบที่สองนี้ปัจจุบันได้สร้างใช้งานในห้องปฏิบัติการอิเล็คตรอนิคส์ จำนวน 2 เครื่อง ปรากฏว่าใช้งานได้ดี เป็นที่นิยมใช้ของ นิสิต และ อาจารย์

2.4 ชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์ที่สมบูรณ์แบบ

จากข้อมูลการสำรวจผลิตภัณฑ์ชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์ ที่มีจำหน่ายในประเทศพร้อมกับข้อมูลจากผู้ใช้ชุดทดลอง ผู้วิจัยได้รวบรวมทำเป็นข้อกำหนดในการออกแบบสร้างชุดทดลองที่สมบูรณ์แบบขึ้นมา ชุดทดลองนี้มีคุณสมบัติที่ต้องการดังนี้

1. เป็นชุดทดลองที่สามารถใช้ได้ทั้งในการทดลองวงจร อนาลอค และวงจรเชิงเลข

2. แผงต่อวงจรสามารถถอดเปลี่ยนได้เป็นชุด

3. อุปกรณ์อำนวยความสะดวกในการทดลอง ต้องประกอบด้วย

แหล่งจ่ายไฟตรง 5 V

แหล่งจ่ายไฟแรงแปรค่าได้ 0-20 V

เครื่องกำเนิดสัญญาณ ฟังก์ชั่น สี่เหลี่ยม สามเหลี่ยมและพัลส์ ความถี่ 1 Hz - 100 KHz

วงจรตรวจสอบลอจิก

4. อุปกรณ์ทั้งหมดบรรจุอยู่ในกล่องเดียวกัน สามารถใช้งานได้ง่าย

การที่ต้องการให้สามารถถอดเปลี่ยนแผงต่อวงจรได้นั้น เป็นเพราะตามปรกติการทดลองวงจรยุ่งยากซับซ้อนมักจะใช้เวลาในการทดลองนาน เมื่อต่อวงจรบนแผงต่อวงจรเสร็จแล้ว ผู้ทดลองมักจะไม่ถอดวงจรออกง่าย ๆ ทำให้ชุดทดลองในขณะนั้นไม่สามารถจะใช้งานได้ ถ้าให้ชุดทดลองที่มีอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในการทดลองเป็นเครื่องร่วมใช้ในห้องปฏิบัติการ ผู้ใช้จะต่อวงจรบนแผงต่อวงจรแล้วนำมาติดตั้งบนเครื่องชุดทดลอง เมื่อทดลองเสร็จหรือจะพักการทดลอง ก็ปลดแผงต่อวงจรของตัวเองออก ปล่อยโอกาสให้ผู้ใช้อื่นทำวงจรของตัวเองที่ต่อบนแผงต่อวงจรอีกแผงหนึ่งนำ มาติดตั้งบนเครื่องได้ เมื่อเป็นเช่นนี้การใช้เครื่องจะมีประสิทธิภาพสูงสุด

2.4.1 ข้อกำหนดในการออกแบบวงจรของชุดทดลอง

รายละเอียดของข้อกำหนดในการออกแบบชุดทดลองชนิดสมบูรณ์แบบมีดังนี้

1. แหล่งจ่ายไฟตรง 5 V

ความสามารถในการจ่ายกระแส 1 A

แรงดันไฟริปเปิล 20 mvp-p

เร็คกูเลชั้น 0.01 %

2. แหล่งจ่ายไฟตรงแปรค่าได้ 0-20 V

ความสามารถในการจ่ายกระแส 500 mA

ควรจำกัดกระแสเป็นแบบ Current fold back

แรงดันไฟริปเปิล 10 mvp-p

เร็คกูเลชั้น 0.01 %

3. เครื่องกำเนิดสัญญาณ

ชนิดของสัญญาณ ซายน์ สี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม และพลัส์

ความถี่ 10 Hz 100 kHz

แอมบริจูด แปรได้ ตั้งแต่ 0-20 V

อัตราการเพี้ยนของรูปคลื่นน้อยกว่า 5%

4. วงจรตรวจสอบลอจิก

- แสดงผลด้วย LED 7 ชีด แสดงเป็นตัวอักษร
- ความหมายของตัวอักษร

H หมายถึงระดับสัญญาณ "1"

L หมายถึงระดับสัญญาณ "0"

O หมายถึง วงจรเปิด

P หมายถึง พลัส์

I หมายถึง พลัส์ ที่ระดับลอจิกไม่ถูกต้อง

- ระดับ Threshold ในการตรวจสอบลอจิกสามารถแปรได้

ระดับ "1" สามารถแปรได้ตั้งแต่ 1/2 $V_{cc}$ ถึง $V_{cc}$

ระดับ "0" สามารถแบ่งได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1/3 $V_{cc}$

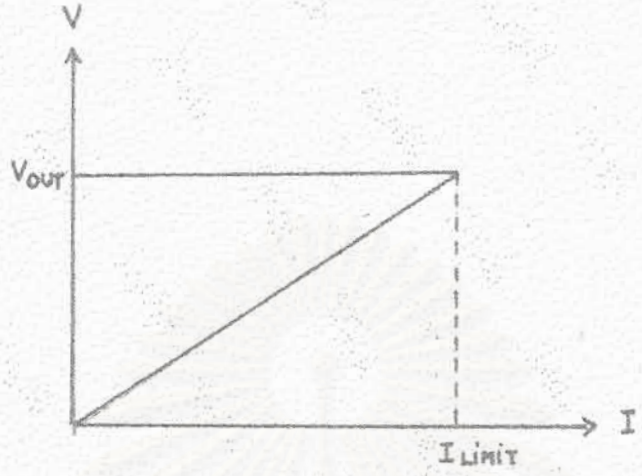
- ใช้กับไอซีเชิงเลขตระกูล TTL, DTL, CMOS, MOS ได้
- ความกว้างของพัลส์เล็กสุดที่วัดได้ 50 mS

ต่อไปจะกล่าวถึงรายละเอียดวงจรแต่ละส่วนของเครื่อง

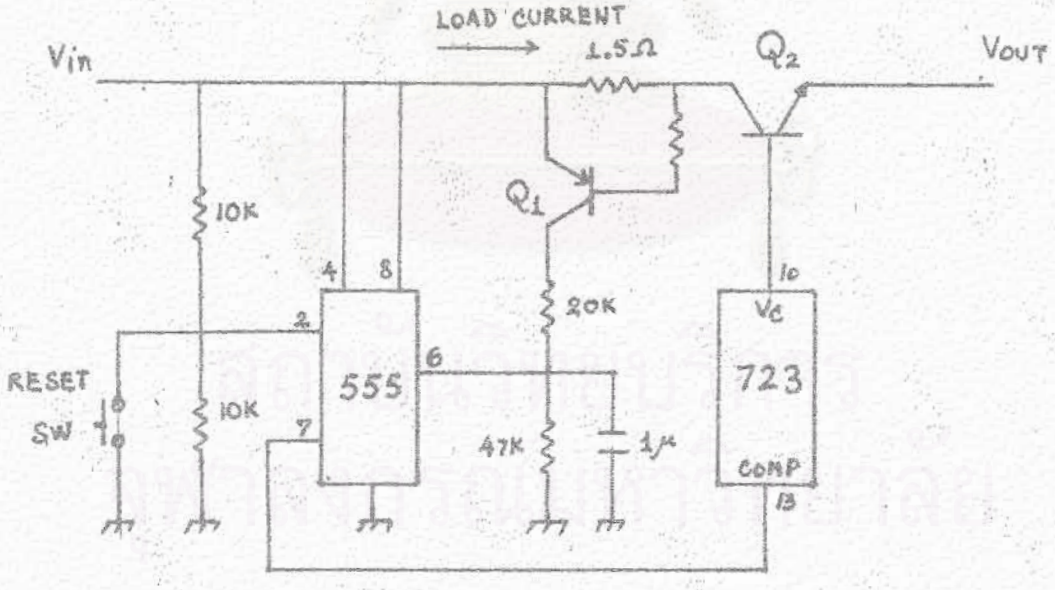
2.4.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

แหล่งจ่ายไฟแบ่งออกเป็น 2 แหล่งคือ แหล่งจ่ายไฟตรง 5V 1A และ แหล่งจ่ายไฟแปรค่าได้ 0-20V 1A แหล่งจ่ายไฟ 5V มีรายละเอียดของวงจรเหมือนกับวงจรที่ใช้ไฟชุดทดลอง และออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์แบบหนึ่ง คือใช้ ไอซีเร็คกูเลเตอร์ LM 309 เป็นตัวคงค่าแรงดันไฟ สำหรับแหล่งจ่ายไฟแปรค่าได้จาก 0-20 Vนั้น ภายในใช้ไอซี LM 723 เป็นตัวทำให้เกิดการคงค่าแรงดัน วงจรแหล่งจ่ายไฟที่สร้างขึ้นมีคุณสมบัติพิเศษอย่างหนึ่งคือมีการป้องกันการลัดวงจร แบบ Current fold back ลักษณะสมบัติการจ่ายกระแสของแหล่งจ่ายไฟจะเป็นดังที่แสดงในรูป 2.8 คือเมื่อแหล่งจ่ายกระแสมากกว่ากระแสที่กำหนด (500 mA) วงจรป้องกันจะทำงานทำให้แรงดันและกระแสลดลงเป็นศูนย์อย่างรวดเร็ว เป็นการป้องกันไม่ให้แหล่งจ่ายไฟต้องจ่ายกระแสมากเกินไป วงจรป้องกันชนิดนี้จะช่วยให้ทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่คงค่าแรงดันไม่ร้อนจัดในขณะที่เกิดการลัดวงจร ทำให้แหล่งจ่ายไฟมีความทนทานในการใช้งานมากขึ้น

รูป 2.9 เป็นรูปวงจรการป้องกันการลัดวงจรแบบ Current fold back ใช้ความต้านทาน 1.5 โอห์ม ในการตรวจวัดกระแสที่จ่ายออก ถ้ากระแสน้อยแรงดันตกคล่อมตัวต้านทานจะน้อย ทรานซิสเตอร์ Q1 จะไม่ทำงาน เมื่อกระแสไหลมากจนถึงกระแสที่กำหนดแรงดันตกคล่อมตัวต้านทานจะเท่ากับแรงดัน VBE (0.65 V) ทรานซิสเตอร์จะทำงานจ่าย กระแสให้ตัวต้านทานโหลด ไอซี 555 จะตรวจวัดระดับแรงดันที่เกิดจากการไหลของกระแสนี้ ถ้าระดับแรงดันเกินแรงดันเทรช-โฮล ฟลิบฟล็อปภายใน ไอซี 555 จะเปลี่ยนภาวะ ทำให้ทรานซิสเตอร์ภายในที่ต่อออกมาที่ขา 7 ทำงาน แรงดันที่ขา 7 นี้จะถูกดึงให้ต่ำลง ขา 7 ของ ไอซี 555 จะต่อกับขา 13 ของไอซี 723 ซึ่งเป็นตัวเร็คกูเลเตอร์ ขา 13 เป็นขาควบคุมการจ่ายกระแสโหลด เมื่อแรงดันที่ขานี้ถูกดึงให้ต่ำเป็นศูนย์ กระแสขาออกจะตกเป็นศูนย์อย่างรวดเร็ว สภาพกระแสเป็น ศูนย์และแรงดันขาออกเป็นศูนย์นี้จะค้างอยู่ในสภาพเช่นนี้ตลอดไป แม้การลัดวงจรจะถูกตรวจสอบพบและนำออกไปแล้วก็ตาม การรีเซทไอซี 555 ให้กลับมาอยู่ในสภาพปรกติ โดยวิธีการปิดสวิทช์และเปิดเครื่องใหม่ หรืออาจใช้วิธีการกดปุ่มรีเซท ซึ่งเป็นหน้าสัมผัสต่อกับขา 2 ของตัวไอซี




รป 2.8 การจำกัดกระแสแบบ Current fold back




รป 2.9 วงจรการจำกัดกระแสแบบ Current fold back

2.4.3 วงจรเครื่องกำเนิดสัญญาณ

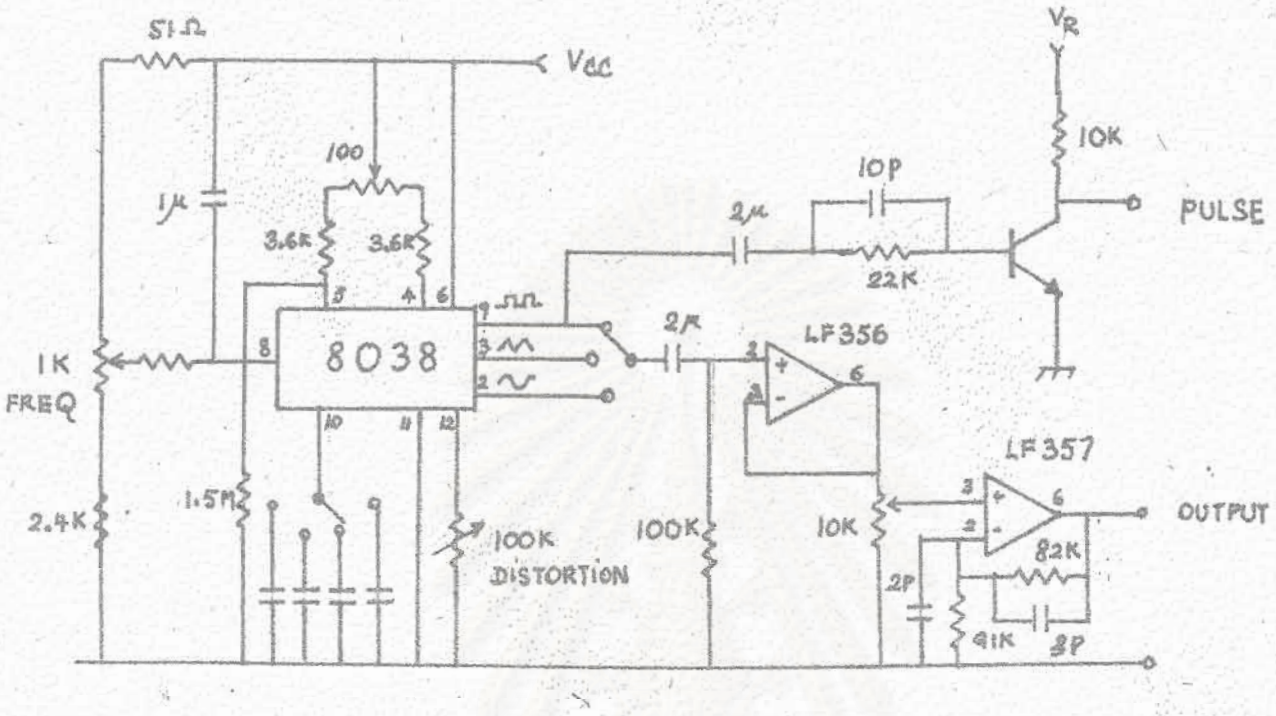
วงจรกำเนิดสัญญาณ ซายน์ สี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม และพลัส์ สามารถนำมาใช้ได้ในการปฏิบัติการวงจรอิเล็คตรอนิคส์ทั้งเป็นปฏิบัติการวงจรอนาลอค และวงจรเชิงเลข ดังนั้นจึงทำให้การใช้งานของชุดทดลองกว้างขวางขึ้น วงจรกำเนิดสัญญาณที่ออกแบบขึ้นมานี้พยายามใช้ ไอซี ให้มาก เพื่อให้การประกอบวงจรง่าย และราคาถูก รูป 2.10 เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณที่ออกแบบ ใช้ ไอซี 8038 เป็นตัวผลิตสัญญาณ ซายน์ สี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม สัญญาณที่ผลิตได้จะผ่านวงจรขยายออฟ-แอมป์ LF 356 และLF 357 ที่ใช้ในการปรับแอมพลิจูดของสัญญาณและเป็นการขับสัญญาณออกสู่วงจรภายนอก สัญญาณสี่เหลี่ยมส่วนหนึ่งจะส่งเข้าขับทรานซิสเตอร์เมื่อทำการผลิตพลัส์ขาออกอีกทีหนึ่ง และพลิจูดของพลัส์ขาออกสามารถปรับได้โดยการปรับแหล่งจ่ายไฟ ต่อที่ไซเคิลของพลัส์ขาออกจะเท่ากับ 50 % ตัวกำเนิดสัญญาณซึ่งเป็นไอซี 8038 นี้ หลักการทำงานภายในคือการประจุและคายประจุตัวเก็บประจุด้วย แหล่งจ่ายกระแสทำให้เกิดรูปคลื่นสามเหลี่ยม เมื่อผ่านรูปคลื่นนี้เข้าวงจรจัดสัณฐานรูปคลื่นทีละย่าง (peicewise linear waveshaping) ซึ่งประกอบด้วยทรานซิสเตอร์จำนวนมาก จะได้สัญญาณซายน์ออกมา เมื่อผ่านรูปคลื่นสามเหลี่ยมเข้าวงจรเปรียบเทียบ ก็จะได้สัญญาณสี่เหลี่ยมเป็นสัญญาณออก ไอซี 8038 นี้ มีความสามารถในการกำเนิดความถี่ได้แถบความถี่กว้าง สามารถผลิตความถี่ตั้งแต่ 10Hz ถึง 100kHz[4]

2.4.4 วงจรตรวจสอบลอจิก

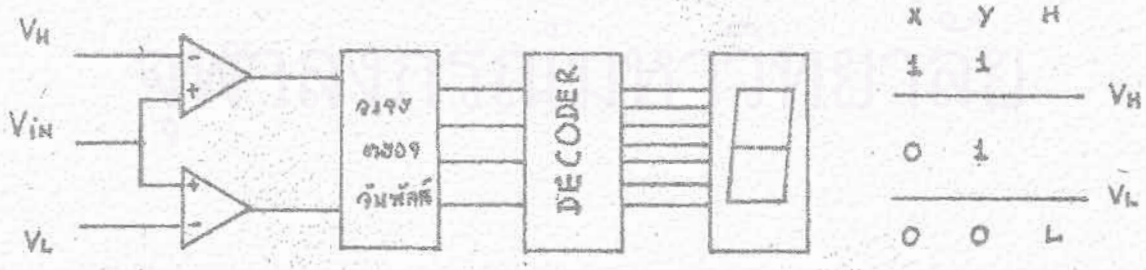
เป็นวงจรที่ใช้ในการตรวจวัดระดับลอจิกของสัญญาณเชิงเลข ที่วงจรไอซีตระกูลต่าง ๆ วงจรที่ออกแบบสามารถตรวจวัดระดับสัญญาณต่าง ๆ ได้ถึง 5 ชนิด และแสดงผลโดยใช้ LED 7 ชีต สัญญาณที่ตรวจวัดได้มีดังนี้

| | | | |
|---|---|---|---|
| สัญญาณลอจิก "1" | แสดงผลด้วยอักษร | | H |
| สัญญาณลอจิก "0" | " | " | L |
| เมื่อเปิดวงจร | " | " | O |
| สัญญาณพัลส์ | " | " | P |
| สัญญาณพัลส์ผิดระดับ | " | " | I |

บล็อกไดอะแกรมของวงจรทั้งหมดแสดงในรูป 2.11 สัญญาณเข้าจะถูกเปรียบเทียบกับระดับแรงดัน เทรชโฮลของลอจิก $V_H$ และ $V_L$ สัญญาณออกของวงจรเปรียบเทียบนี้จะเป็นรหัสของ




รป 2.10 วงจรกำเนิดสัญญาณ ฟันเลื่อย สี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม และพลัส์




รป 2.11 บล็อกไดอะแกรม ของวงจรตรวจวัดลอจิก

สัญญาณระดับลอจิกต่าง ๆ เช่น เมื่อสัญญาณเข้าเป็นระดับลอจิก "1" แรงดันจะสูงกว่า $V_H$ และ $V_L$ จะได้ X =YY = "1" เมื่อสัญญาณเข้ามีระดับลอจิก "0" แรงดันจะต่ำกว่า $V_H$ และ $V_L$ จะได้ X = Y = "0" เมื่อโพรบยาเข้าลอยมีสภาพเป็นวงจรเปิด แรงดันจะอยู่ระหว่าง $V_H$ และ $V_L$ จะได้ X = 0 และ Y = 1 รหัส $X_1Y$ เหล่านี้จะถูกถอดรหัส โดยวงจร ๔ coder เพื่อแปลงเป็นรหัสอักษรแสดงผลที่ LED 7 ชิด อีกทีหนึ่ง

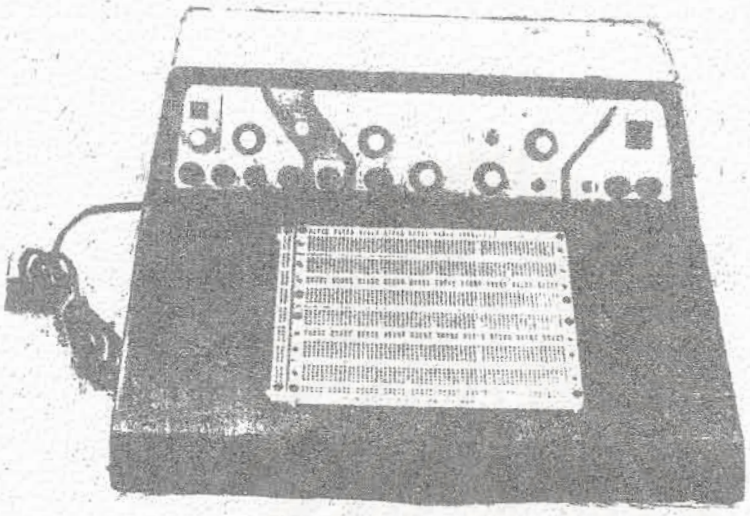
ในกรณีที่สัญญาณเข้าเป็นพัลส์ วงจรตรวจจับพัลส์จะทำการตรวจสอบความกว้างของพัลส์ ถ้าความกว้างพัลส์นานกว่าช่วงเวลาหน่วงภายในซึ่งตั้งไว้ 100mS วงจรจะให้สัญญาณออกเป็นรหัสเพื่อส่งออกไปถอดรหัสเป็นอักษร P อีกทีหนึ่ง

ข้อดีของวงจรตรวจวัดลอจิกที่ได้ออกแบบนี้ คือ ความสามารถในการตรวจวัดลอจิกได้หลายชนิด มีความเชื่อถือได้สูง แต่มีข้อเสียตรงที่วงจรยุ่งยากซับซ้อน ตามปรกติวงจรตรวจวัดลอจิกควรเป็นวงจรแบบง่าย ๆ สามารถประกอบเป็นวงจรขนาดเล็กกระทัดรัด ดังนั้นผู้วิจัยได้ศึกษาถึงวงจรตรวจวัดลอจิกชนิดต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงวงจรของชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์นี้ต่อไป รายละเอียดของการศึกษา วิจัยตรวจวัดลอจิกจะกล่าวละเอียดในบทที่ 3 ต่อไป

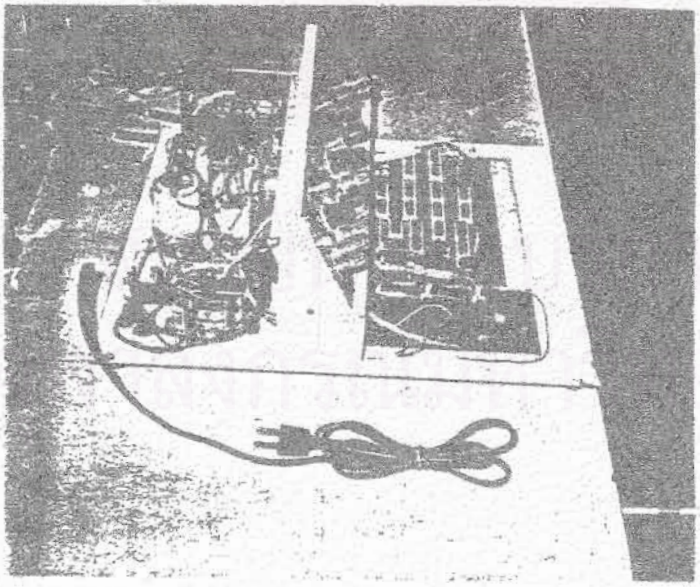
## 2.5 สรุป

รูป 2.12 เป็นรูปถ่ายของชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์ แบบสมบูรณ์ที่ได้ทดลองทำเป็นเครื่องต้นแบบ กล่องโลหะขึ้นรูปเป็นทรงสวย สามารถเปิดถอดฝาได้ง่าย ทำให้สะดวกในการตรวจวัดวงจรภายในเมื่อเกิดขัดข้อง แผงต่อวงจรติดบนแผ่นเหล็กบาง แผ่นเหล็กที่สามารถถอดออกจากตัวเครื่องได้ง่าย ทำให้สะดวกในการสับเปลี่ยน แผงต่อของจร วงจรภายในที่ประกอบขึ้นทั้งหมดทำงานถูกต้องตามข้อกำหนดที่วางไว้ การป้องกันการลัดวงจรเป็น Current fold back ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่ง ป้องกันอันตรายที่เกิดจากการลัดวงจรได้เป็นอย่างดี แหล่งกำเนิดสัญญาณ กำเนิดรูปคลื่นต่าง ๆ ในย่านความถี่ที่ต้องการ มีความเพี้ยนของรูปคลื่น ซายน์ น้อยกว่า 5 %. วงจรตรวจระดับลอจิก ทำงานได้ถูกต้อง แต่พลัสขนาดเล็กสุดที่ตรวจวัดได้มีขนาดเล็กสุด 200 NS ซึ่งสูงเกินกว่าข้อกำหนด

จากรูปถ่ายจะเห็นว่าวงจรภายในเครื่องดูซับซ้อนแม้ว่าโครงสร้างวงจรจะง่าย วงจรที่ใช้ไอซี มากที่สุดคือ วงจรตรวจระดับลอจิก ใช้ไอซีถึง 9 ตัว วงจรนี้มีความยุ่งยากซับซ้อนเกินกว่าประสิทธิภาพการทำงาน เป็นจุดที่จะต้องแก้ไขวงจรให้ง่ายลงต่อไป เพื่อทำให้วงจรทั้งหมดของเครื่องง่ายลง รายละเอียดการออกแบบ ลอจิกโพรบ และลอจิกมอนิเตอร์ซึ่งใช้ในการตรวจวัดระดับลอจิกจะกล่าวละเอียดในบทที่ 3



(ก) รปถ่ายภายนอก



(ข) รปถ่ายภายใน

รป 2.12 รปถ่ายของชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์แบบผสมบรณ์

# บทที่ 3 ลอจิกโพรบ และ ลอจิกมอนิเตอร์

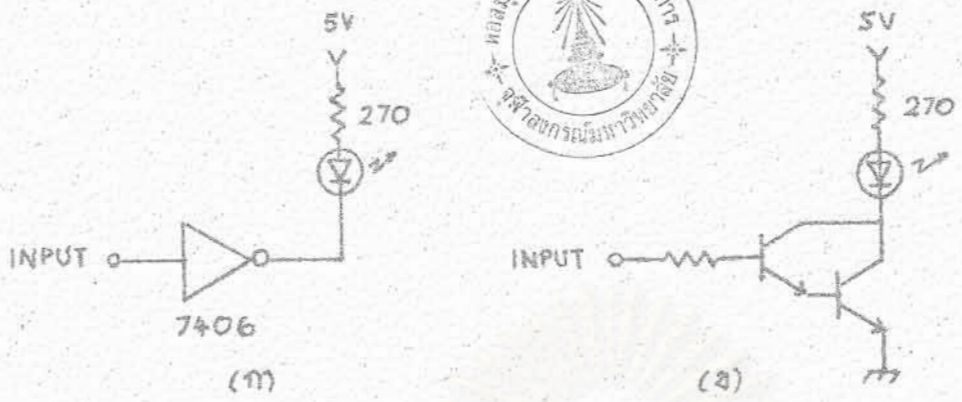
## 3.1 บทนำ

เครื่องมือที่ใช้ประกอบการปฏิบัติการวงจรอิเล็คตรอนิคส์ทั่ว ๆ ไป มักจะเป็น มัลติมิเตอร์ มิเตอร์วัดกระแส ออสซิโลสโคป แหล่งจ่ายไฟ เครื่องกำเนิดสัญญาณเป็นต้น ในบรรดาเครื่องมือเหล่านี้ มัลติมิเตอร์ จะเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบวงจรที่ใช้มากที่สุด ในวงจรดิจิตอล การตรวจวัดแรงดันที่จุดต่าง ๆ ของวงจรเป็นสิ่งที่ต้องทำอยู่เสมอ แต่สำหรับในวงจรเชิงเลขสัญญาณลอจิกจะเป็นระดับสัญญาณ สูง หรือ ต่ำ มีพลัสหรือไม่มีพลัส์ เป็น"1" หรือ"0"เท่านั้น ดังนั้นการตรวจเช็คลอจิกในวงจรอาจไม่จำเป็นต้องใช้ มัลติมิเตอร์ก็ได้ ปัจจุบันวงจรเชิงเลขถูกนำไปประยุกต์ในงานต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจเช็คลอจิก ก็เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางมากขึ้น เครื่องมือเช่นลอจิกโพรบและ ลอจิกมอนิเตอร์ ก็ได้รับการปรับปรุงให้มีขนาดเล็กกระทัดรัด สามารถใช้ได้อย่างสะดวกรวดเร็ว มีราคาถูกลงและมีความสามารถในการทำงานสูงขึ้น ลอจิกโพรบ มีรูปร่างเป็นโพรบขนาดเล็กบนตัวโพรบจะมีหลอด LED แสดงระดับลอจิกของจุดที่ตรวจวัด ลอจิกมอนิเตอร์มีกมีรูปร่างเป็นคลิป บางครั้งจึงถูกเรียกว่า ลอจิกคลิป (logic cliq)[5] ใช้หนีบบนตัวไอซี เพื่อตรวจดูสภาพลอจิกของทุกขา ของไอซีได้พร้อม ๆ กัน ตามปรกติทั้งลอจิกโพรบ และ ลอจิกมอนิเตอร์จะไม่มีแหล่งจ่ายไฟของตัวเอง จะใช้แหล่งจ่ายไฟของวงจรซึ่งกำลังวัดอยู่ เพื่อให้เครื่องมือมีขนาดเล็ก และสะดวกในการใช้งาน

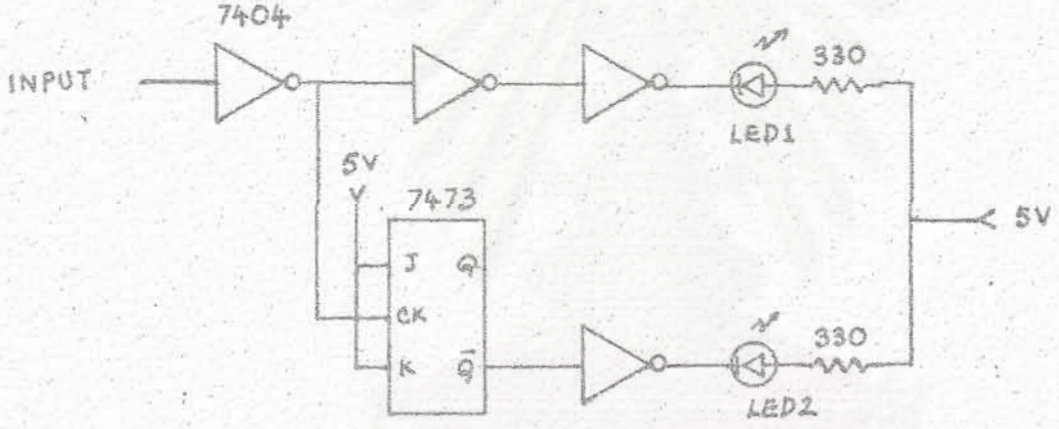
จุดมุ่งหมายของการทดลองสร้างเครื่องต้นแบบลอจิกโพรบ และ ลอจิกมอนิเตอร์ คือความพยายามในการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติอิเล็คตรอนิคส์ ไว้ใช้เอง เครื่องต้นแบบที่ทำขึ้นสามารถใช้กับชุดทดลองและออกแบบวงจรเชิงเลขได้ และสามารถใช้ในการวิจัยของอาจารย์และนิสิต

## 3.2 วงจรตรวจวัดระดับลอจิก

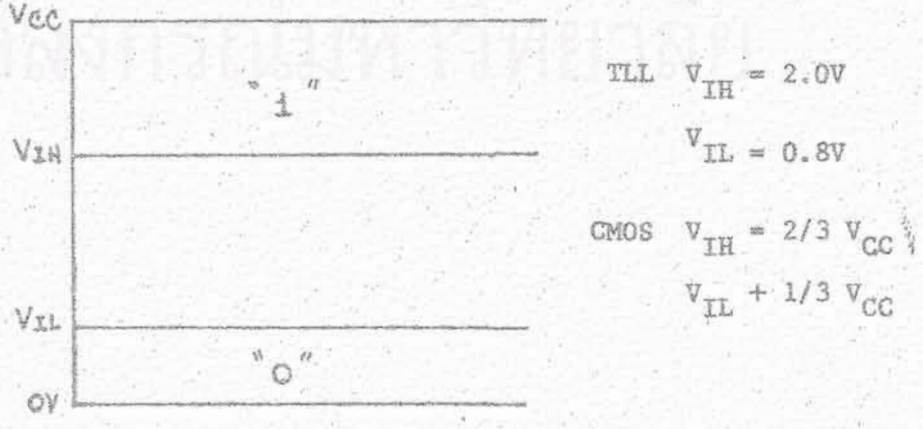
การตรวจวัดระดับลอจิก "1"หรือ "0" ในวงจรเชิงเลขที่ใช้ไอซีตระกูล TTL สามารถทำได้ง่าย ๆ โดยใช้ เกท หรือ ทรานซิสเตอร์ ประกอบเป็นวงจรง่าย ๆ ดังแสดงในรูป 3.1 (ก) และ (ข)[6] เมื่อสัญญาณเข้าเป็นลอจิก "1" หลอด LED จะติดสว่างและเมื่อสัญญาณเข้าเป็นลอจิก "0" หลอด LED จะดับมืด รูป 3.1 (ก) เป็นวงจร NOT เกท อินเวอเตอร์เกตเตอร์เปิด (open collector inverter) เมื่อสัญญาณเข้าเป็น "1" สัญญาณออกของเกทจะเป็น "0" ซึ่งเป็นแรงดันต่ำ จะมีกระแสไหลจากแหล่งจ่ายไฟ 5 V ผ่านความต้านทานและ LED ไปที่เกทได้ กระแสนี้จะทำให้ LED




รูป 3.1 วงจรตรวจวัดระดับลอจิกแบบง่าย ๆ




รูป 3.2 วงจรตรวจวัดลอจิกและพลัสแบบง่าย ๆ




รูป 3.3 ระดับแรงดันที่ถือเป็น ลอจิก "1" หรือ "0"

ติดล่วง ถ้าสัญญาณเข้าเป็น "0" สัญญาณออกของเกทจะเป็นแรงดันสูงทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่าน LED LED จึงดับการทำงานของวงจรในรูป 3.1 (ข) ก็เช่นเดียวกัน เมื่อแรงดันขาเข้าสูงในระดับลอจิก "1" จะมีกระแสไหลเข้าทรานซิสเตอร์ ON จึงทำให้เกิดกระแสไหลจากแหล่งจ่ายไฟผ่าน LED ลงมาไว้ ถ้าสัญญาณเข้าเป็นระดับต่ำ ทรานซิสเตอร์จะไม่ทำงาน LED ก็จะดับ

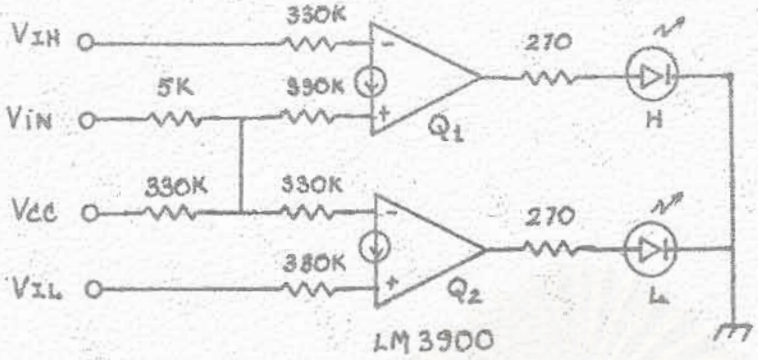
วงจรง่าย ๆ แบบนี้ เราก็สามารถต่อไว้ใช้ตรวจเช็คระดับลอจิก ในชุดทดลองและออกแบบวงจรเชิงเลขได้ ถ้าเพิ่มจำนวนวงจรให้มากขึ้นก็สามารถตรวจวัดระดับลอจิกได้มากขึ้น ในกรณีที่ต้องการตรวจจับพัลส์ด้วยก็อาจจะใช้วงจรง่าย ๆ ดังในรูป 3.2 ก็ได้ คือ ถ้าสัญญาณเข้าเป็นพัลส์เข้าเป็นพัลส์ จะทำให้ฟลิปฟล็อบเปลี่ยนสภาวะ ทำให้ LED 2 เกิดการเปลี่ยนแปลงจากติดเป็นดับ หรือจากดับเป็นติด ถ้าสัญญาณเข้าเป็นพัลส์หลายลูก LED 2 จะกระพริบตามจังหวะของพัลส์ขาเข้านั้น

วงจรง่าย ๆ ที่กล่าวมานี้ ถึงแม้จะใช้วัดระดับลอจิกได้จริง แต่ก็ยังขาดคุณสมบัติที่ดีอีกหลายประการ ได้แก่

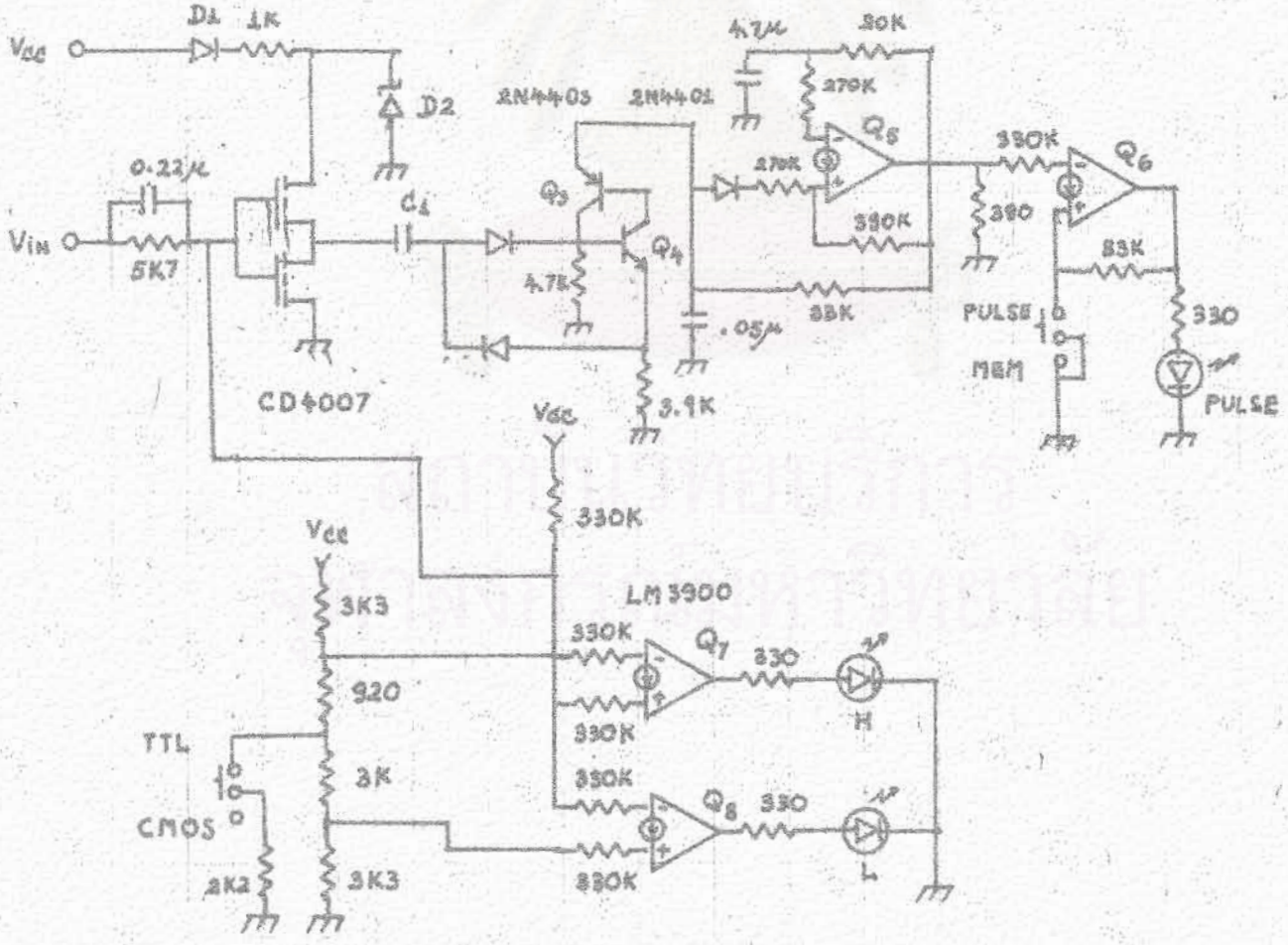
1. วัดได้เฉพาะวงจรเชิงเลขที่ใช้ไอซีตระกูล TTL ถ้าเป็นตระกูล CMOS แรงดันของแหล่งจ่ายไฟอาจจะไม่ใช่ 5V *CMOS สามารถใช้กับแหล่งจ่ายไฟตั้งแต่ 3V ถึง 15V*
2. ในกรณีที่ยังไม่เข้าเปิดวงจร เกทที่เป็น TTL จะถือว่ามีสัญญาณเข้าเป็น "1" จะทำให้ LED ติด ดังนั้น จึงไม่สามารถที่จะแยกสภาพที่เป็นการเปิดวงจรกับสภาพที่เป็นลอจิก "1" ได้อย่างถูกต้อง
3. ตามปรกติ ระดับแรงดันที่ถือว่าเป็นลอจิก "1" หรือ "0" นั้น ไอซีตระกูลต่าง ๆ จะแตกต่างกัน ดังนั้น วงจรตรวจวัดลอจิกควรสามารถปรับแรงดัน เทรชโฮล เหล่านี้ได้

ให้แรงดัน เทรชโฮล ของระดับลอจิก "1" และ "0" เรียกว่า $V_{iH}$ และ $V_{IL}$ ตามลำดับ ความหมายของระดับลอจิก "1" และ "0" จะเป็นดังแสดงในรูป 3.2 คือแรงดันที่สูงกว่า $V_{IH}$ จนถึง $V_{CC}$ คือช่วงของลอจิก "1" ส่วนแรงดันที่ต่ำกว่า $V_{IL}$ จะหมายถึงลอจิก "0" ตามปรกติค่า $V_{IH}$ และ $V_{IL}$ ของ ไอซีเชิงเลขตระกูลต่าง ๆ จะแตกต่างกัน วงจรตรวจวัดระดับลอจิก ควรปรับขนาดของแรงดัน $V_{IH}$ และ $V_{IL}$ นี้ได้ด้วย

วงจรในรูป 3.4 เป็นวงจรหนึ่งที่นิยมใช้ในการตรวจวัดระดับลอจิก ภายในลอจิกโพรบทั่วไป วงจรนี้ใช้ออฟแอมป์ ทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบแรงดัน $V_{in}$ กับแรงดัน $V_{IH}$ และ $V_{IL}$ ถ้า $V_{in}$ มากกว่า $V_{IH}$ $Q_1$ จะให้แรงดันขาออกสูง ทำให้ LED (H) ติดสว่าง ถ้า $V_{in}$ มีค่า น้อยกว่า $V_{IL}$ $Q_2$ จะให้แรงดันขาออกสูงทำให้ LED (L) ติดสว่าง แต่ถ้า $V_{in}$ มีค่าระหว่าง




รูป 3.4 วงจรตรวจวัดระดับลอจิก




รูป 3.5 วงจรของลอจิกโพรบ

$V_{IH}$ และ $V_{IL}$ $Q_1$ และ $Q_2$ จะให้แรงดันขาออกต่ำ LED จะไม่ติดทั้งสองดวง เป็นการบอกว่าระดับลอจิกผิด หรือในกรณีที่ยังไม่เข้าเปิดวงจร LED ทั้งสองจะไม่ทำงานด้วย ออฟแอมป์ที่นิยมใช้คือ LM 3900 ภายใน ไอซีหนึ่งตัว จะมีออฟแอมป์ให้ถึง 4 ตัวด้วยกัน แรงดัน $V_{IH}$ และ $V_{IL}$ นี้สามารถทำได้ง่าย ๆ โดยวงจรตัวต้านทานแบ่งแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟ $V_{CC}$

3.3 ลอจิกโพรบ

ข้อกำหนดของลอจิกโพรบที่ได้ทดลองสร้างขึ้นมามีดังนี้

1. ตรวจวัดระดับลอจิกของไอซี ตระกูล DTL TLL CMOS ได้
2. สามารถตรวจจับพัลส์ได้สองชนิดคือพัลส์ลูกเดี่ยวกับขบวนพัลส์ (pulse train)
3. มี LED 3 ดวง แสดงภาวะลอจิก "1", "0" และพัลส์
4. ช่องกว้างของพัลส์ที่จับได้แคบสุด 50nS

รูป 3.5 แสดงวงจรทั้งหมดของลอจิกโพรบ อุปกรณ์หลักที่ใช้ไอซี CMOS CD 4007 และ Quad OP Amp LM 3900 วงจรแบ่งออกเป็น 3 ภาคคือ

ภาคป้องกันแหล่งจ่ายไฟ ประกอบด้วยไดโอด $D_1$,$D_2$ และตัวต้านทาน $D_1$ ป้องกันการต่อไฟกลับขั้วซีเนอร์ไดโอด $D_2$ ป้องกันการต่อแหล่งจ่ายไฟที่เกิน 15 V

ภาคตรวจวัดระดับลอจิก ประกอบด้วย OP Amp $Q_7$ และ $Q_8$ ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรเปรียบเทียบระดับที่เปรียบเทียบได้มาจากการแบ่งแรงดัน $V_{cc}$ ด้วยตัวต้านทาน แรงดันเทรชโฮลคือ 30% $V_{cc}$ และ 70% $V_{cc}$ สำหรับในกรณีของ CMOS ในกรณีที่เป็น TTL แรงดันเทรชโฮลจะเท่ากับ 0.8 V กับ 2.5 V

ภาคตรวจจับพัลส์ ประกอบด้วย MOSFET $Q_1$,$Q_2$ ทรานซิสเตอร์ $Q_3$,$Q_4$ และ OP Amp $Q_5$,$Q_6$ $Q_1$ และ $Q_2$ เป็น INVERTER $Q_3$ และ $Q_4$ ต่อกันแบบPositive feed back ให้ทำงานเป็น SCR พัลส์จะผ่าน INVERTER ผ่าน $C_1$ แล้วเข้าทริก (Trig) วงจร $Q_3$ และ $Q_4$ นี้ พัลส์จะผ่านเข้าทริกได้ไม่ว่าจะเป็น positive going หรือ Negative going edge วงจรออฟแอมป์ $Q_5$ จะเป็นวงจรโมโนสเตเบิล เมื่อมีพัลส์เข้า แรงดันขาออกของ $Q_5$ จะต่ำอยู่ชั่วขณะหนึ่ง

แล้วกลับเป็นแรงดันสูงอย่างเดิม ในช่วงเวลาที่วงจรโมโนสเตเบิลนี้ทำงาน พลัสใหม่ที่ตามหลังเข้ามาไม่สามารถมาเปลี่ยนแปลงการทำงานของวงจรได้ ดังนั้นเมื่อสัญญาณเข้าเป็นขบวนพลัส เราจะมองเห็น LED ติดดับเป็นจังหวะสม่ำเสมอ (ประมาณ 2-3 Hz) $Q_5$ เป็นออฟแอมป์ที่ใช้ขับ LED ให้สว่าง ในกรณีที่เลื่อนสวิทช์ไปอยู่ที่ตำแหน่ง "MEM" วงจรนี้จะทำหน้าที่เป็นวงจรหน่วยความจำ เพื่อจำภาวะที่มีพลัสเดียว

รูป 3.6 เป็นรูปถ่ายของลอจิกโพรบทดลองทำให้มาเป็นต้นแบบ ลำตัวโพรบใช้ แผ่นอาดิลิค วงจรภายในบรรจุอยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์เดียว มีขนาดแคบเล็ก สามารถสอดใส่เข้าไปในโพรบได้ หลอด LED และสวิทช์จะยึดติดกันแผ่นวงจรพิมพ์ โดยเจาะรูแผ่นอาดิลิคให้โผล่ออกมา ทางด้านท้ายจะมีสายไฟต่อออกมาสองเส้นสำหรับให้ต่อกับแหล่งจ่ายไฟของวงจรที่ต้องการวัด

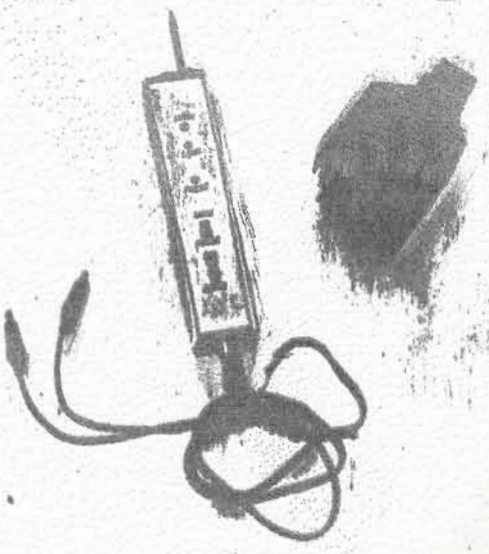
## 3.4 ลอจิกมอนิเตอร์

ลอจิกมอนิเตอร์ (Logic monitor) บางครั้งเรียกกันว่า ลอจิกคลิป (Logic Clip) เป็นเครื่องมือที่มีรูปร่างเป็น คลิป (Clip) สำหรับใช้หนีบตัวไอซีเข้าเลย เพื่อทดสอบการทำงานของวงจรหรือตัวไอซีเอง ด้านบนของคลิปจะมี LED บอกระดับลอจิกว่าเป็น "0" หรือ "1" มีจำนวน LED ทั้งหมด 16 ตัว ดังนั้นเมื่อนำคลิปจับคร่อมที่ตัวไอซี่ LED จะแสดงระดับลอจิกของแต่ละขาของไอซีนั้น ลอจิกคลิปจะไม่มีแหล่งจ่ายไฟในตัวเอง จะใช้ไฟจากตัวของไอซีที่คลิปจับอยู่ใช้จ่ายไฟให้วงจรทำงานและให้ LED เปล่งแสง

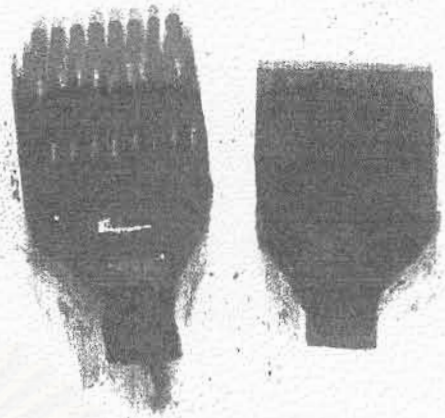
ข้อกำหนดในการออกแบบ มีดังนี้

1. มีความสามารถในการต่อกระแสจากแหล่งจ่ายไฟที่ขาของ ไอซีได้ทุกขา (ไม่กำหนดโดยตรง
2. ใช้กับแหล่งจ่ายไฟระหว่าง 4 ถึง 15 V
3. แรงดันโทรชโฮล (Threshold voltage) ประมาณ 2 V
4. ความต้านทานขาเข้า 100 kΩ

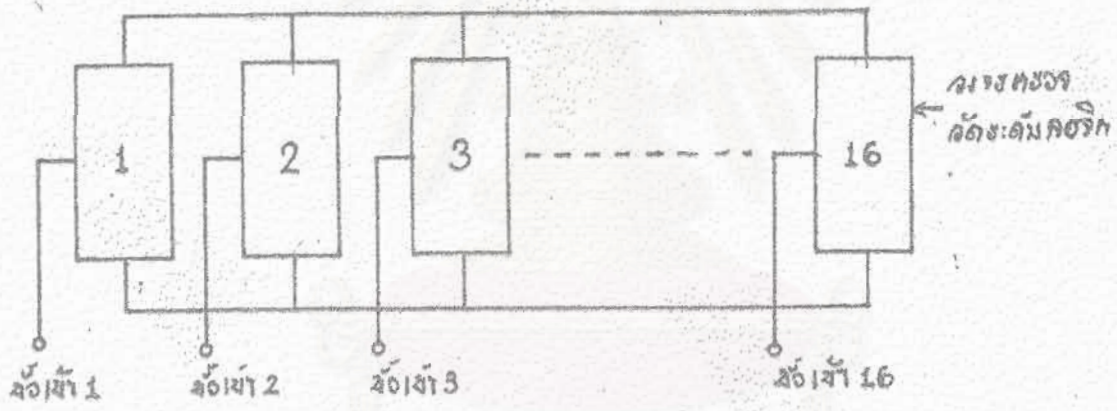
วงจรที่ใช้ในการตรวจจับระดับลอจิกที่ขาของไอซีแต่ละขา ควรเป็นวงจรที่เหมือนกันและควรเป็นวงจรที่ง่ายที่สุด รูป 3.7 แสดงโครงสร้างของวงจรทั้งหมดของลอจิกคลิปนี้ วงจรประกอบด้วยวงจรตรวจวัดระดับลอจิกของไอซีแต่ละขาทั้งหมด 16 วงจร ต่อขนานกันหมด ขั้วเข้าของวงจรตรวจวัดระดับลอจิกแต่ละขั้วจะต่อกับขาของคลิป เพื่อสัมผัสกับขาของไอซี



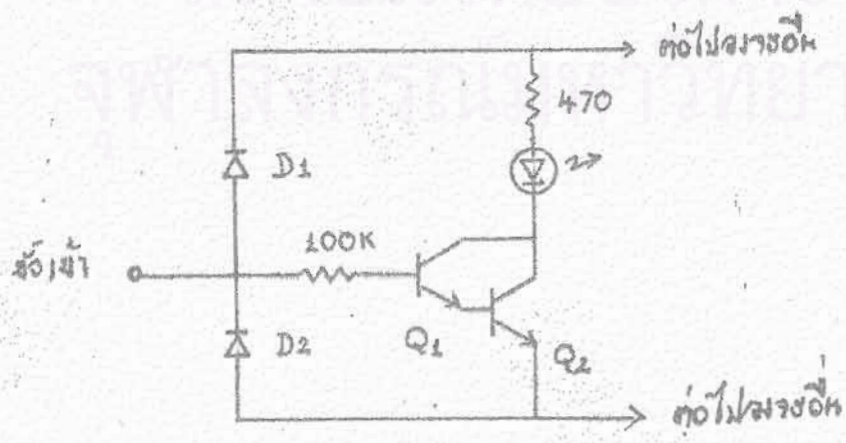
รูป 3.6 รูปถ่ายของลอจิกโพรบที่สร้างขึ้น



รูป 3.9 รูปถ่ายของลอจิกมอนิเตอร์ที่ได้สร้างขึ้น




รูป 3.7 โครงสร้างของลอจิกคลิป




รูป 3.8 วงจรตรวจวัดระดับลอจิก

รายละเอียดของวงจรตรวจวัดระดับลอจิก แต่ละวงจรแสดงในรูป 3.8 [7] ทรานซิสเตอร์ $Q_1$ และ $Q_2$ จะทำหน้าที่ตรวจวัดระดับลอจิกของสัญญาณที่เข้ามาทางขั้วเข้า แสดงผลที่ LED เมื่อสัญญาณเข้ามีแรงดันสูงกว่า 2 V ลอจิกเป็น "1" LED จะสว่าง ถ้าแรงดันต่ำกว่า 2 V ลอจิกเป็น "0" LED จะดับ $Q_1$ และ $Q_2$ ต่อกันแบบดาร์ลิงตัน เพื่อให้ได้อัตราขยายสูง (มากกว่า 1000 เท่า) สามารถขยายกระแสเพื่อขับให้ LED สว่างได้ 100 k เป็นตัวต้านทานที่จำกัดขนาดกระแสที่ไหลเข้าวงจร จึงเป็นตัวกำหนดความต้านทานขาเข้าวงจร ไดโอด $D_1$ และ $D_2$ เป็นตัวกำหนดทิศทางการไหลของกระแสของแหล่งจ่ายไฟ ถ้าขั้วเข้าต่อกันแหล่งจ่ายไฟกระแสจะไหลเข้าวงจรต่าง ๆ ผ่านไดโอด $D_1$ ของวงจรตรวจวัดระดับลอจิกวงจรนั้น กระแสจะไหลลู่กราวด์ของวงจรผ่านไดโอด $D_2$ ในวงจรตรวจวัดระดับลอจิกที่ต่อกับขั้วของไอซี

ปัญหาในการประกอบวงจร คือต้องพยายามคัดเลือกทรานซิสเตอร์ $Q_1$ และ $Q_2$ ให้มีอัตราขยายกระแสรวมของแต่ละวงจรเท่าเทียมกัน เพื่อให้ LED สว่างเท่า ๆ กัน แรงดันเทรชโฮลดของวงจรขึ้นอยู่กับอัตราขยายกระแสของทรานซิสเตอร์ด้วย ลอจิกคลิปที่ได้ประกอบเสร็จใช้งานได้ ปัจจุบันกำลังใช้งานในห้องวิจัยอยู่เพื่อทดสอบความสามารถในการทำงานและปัญหาต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้น ในกรณีที่ใช้ตรวจวัดวงจรเชิงเลขที่ใช้ตระกูล CMOS จำเป็นต้องเปลี่ยนทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ตรวจวงจรระดับลอจิกในวงจรเป็น CMOS inverter เช่น CD4049 เพื่อให้ระดับลอจิกที่วัดถูกต้องและไอซีนี้มีความสามารถในการขับ LED ได้ด้วย แต่ลอจิกมอนิเตอร์ที่ใช้ CMOS INVERTER นี้ไม่สามารถนำมาใช้กับวงจรเชิงเลขตระกูล TTL ได้ เพราะระดับแรงดันเทรชโฮลของลอจิกจะผิดไป

ตาราง 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของชุดทดลองและออกแบบวงจร

อิเล็คตรอนิคส์ แบบต่าง ๆ ที่มีจำหน่ายในประเทศ

| | จำนวนแผงต่อวงจร | | แหล่งจ่ายไฟ | แหล่งกำเนิดสัญญาณ | ลอจิกมิเตอร์ | สวิทช์ | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | แผงต่อวงจร | บัส | | | | | |
| 1. OA-2<br>(E&L instruments) | 1 | 2 | ± 15V 200mA<br>5V 500mA | ฟายน์ สี่เหลี่ยม<br>สามเหลี่ยม<br>ความถี่1Hz-100KHz | - | สวิทช์เปิดปิด 1 ตัว | มีความต้านทาน<br>แปรค่าได้ 10K<br>และ 100 K |
| 2. DD-1<br>(E&L instruments) | 1 | 2 | 5V 400mA | พลัส์<br>1Hz-100KHz<br>แปรค่าเป็นขั้น | หลอดลอจิก<br>4 หลอด | ลอจิกสวิทช์<br>4 หลอด | - |
| 3. Proto boacd<br>203A<br>CSC | 3 | 5 | ±5V 500mA<br>5V 1A | - | - | - | - |
| 4. ELITEI<br>(E&L instruments) | 4 | 8 | แปรค่าได้<br>2-10V 2A<br>พร้อมกับมิเตอร์ | พลัส์<br>1Hz-1MHz | หลอดลอจิก<br>12 หลอด | สวิทช์โยก 4 ตัว<br>สวิทช์ปุ่มกด 4 ตัว | - |
| 5. Logic Lab<br>5035A<br>(Hewlitt Packard) | 3 | 3 | 5V 1A | แหล่งกำเนิดสัญญาณ<br>พาฟิกา 2 แหล่ง | หลอด LED<br>4 ตัว | สวิทช์ลอจิก<br>6 ตัว | - |
| 6. DL-1<br>(Se-education) | 1 | 1 | 5V 1A | 1Hz-10KHz | -หลอด LED<br>8 ตัว<br>-ลอจิกมอนิเตอร์ | สวิทช์โยก 4 ตัว<br>สวิทช์กด 2 ตัว | มีหลอด 7 ซีด<br>2 ตัว |

# บทที่ 4 เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์

## 4.1 บทนำ

เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์หมายถึง เครื่องสามารถกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ความถี่ต่าง ๆ แปรขนาดความสูงของพัลส์ตามที่ต้องการได้ และสามารถปรับดิวตี้ ไซเคิล (duty cycle) ของรูปคลื่นได้ เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการทดลองวงจรเชิงเลข วงจรเชิงเลขที่เป็นวงจรซีเควินซ์ เช่น วงจรนับ ชิฟรีจิสเตอร์ วงจรที่ใช้ฟลิปฟล็อป วงจรไมโครโปรเซสเซอร์ มักจะต้องอาศัยสัญญาณนาฬิกากำหนดจังหวะการทำงานของวงจร การทดลองวงจรง่าย ๆ เช่น วงจรนับ วงจรนาฬิกา วงจรหา ความถี่ วงจรโมโนสเตเบิล ต้องมีสัญญาณพัลส์

จุดมุ่งหมายของการวิจัยนี้คือการศึกษาวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ชนิดต่าง ๆ และออกแบบเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชนิดง่าย ๆ เพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการอิเลคตรอนิคส์

## 4.2 ข้อกำหนดของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์

เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชนิดที่ใช้ประกอบการทดลองวงจรเชิงเลขในห้องปฏิบัติการ ควรมีโครงสร้างวงจรง่าย สามารถประกอบขึ้นใช้ทันทีและมีราคาย่อมเยา ข้อกำหนดในการออกแบบมีดังนี้

1. ความถี่ แปรได้กว้าง 1Hz - 10KHz
2. ความแม่นยำของความถี่ที่อ่านจากหน้าปัด 5%
3. แอมปลิจูดของพัลส์สามารถแปรค่าได้จาก 3V - 15V
4. ดิวตี้ไซเคิล สามารถแปรได้จาก 10% - 90%

## 4.3 วงจรกำเนิดพัลส์

วงจรกำเนิดพัลส์ที่มีใช้กันมากได้แก่วงจรที่ใช้ RC และวงจรออสซิเลเตอร์ใช้ผลึกควอสต์ (crystral oscillator) วงจรที่ใช้ RC เป็นวงจรที่ใช้หลักการ การประจุและการคายประจุของตัวเก็บประจุ ในการกำหนดช่วงเวลาของพัลส์ เวลาในการประจุและคายประจุกำหนดจากค่าตัวต้านทานและค่าตัวเก็บประจุ จากการแปรค่าองค์ประกอบวงจรทั้งสองทำให้เราสามารถแปรค่าช่วงเวลาของพัลส์ได้ ในหัวข้อต่อไปนี้จะกล่าวถึง วงจรกำเนิดพัลส์ที่ใช้หลักการในการประจุและคายประจุชนิดต่าง ๆ จะพิจารณาถึงข้อดีและข้อเสีย เพื่อใช้ในการเลือกเป็นวงจรกำเนิดพัลส์ชนิดง่าย ที่จะออกแบบต่อไป

4.3.1 วงจรกำเนิดพัลส์ใช้ ไอซี 555

ไอซี 555 เป็นไอซี ที่เป็นตัวตั้งเวลาอันแม่นยำ (precision timer)[4] ใช้ในวงจรที่กำเนิดสัญญาณเวลา เช่น วงจรกำเนิดพัลส์ วงจรหน่วงเวลา เป็นต้น ไอซีนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน รูป 4.1 เป็นบล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในตัวไอซี ประกอบตัวต้านทานแบ่งแรงดัน วงจรเปรียบเทียบ ฟลิปฟล็อป และ วงจรขาออก หลักการทำงานของไอซีคือ การแบ่งแรงดัน แหล่งจ่ายไฟ Vcc เป็น 2/3 Vcc และ 1/3 Vcc แรงดันเหล่านี้จะมีไว้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบกับแรงดันภายนอก ที่ขา 6 และ 2 ผลของการเปรียบเทียบจะเป็นสัญญาณส่งไปควบคุมฟลิปฟล็อป สัญญาณออกของฟลิปฟล็อปจะควบคุมทรานซิสเตอร์และต่อไปที่วงจรขาออก

เรานำไอซี 555 มาต่อเป็นวงจรกำเนิดพัลส์ได้ง่าย ๆ เพียงต่อองค์ประกอบวงจรเสริมเข้าไปเพียงเล็กน้อย รูป 4.2 เป็นวงจรไอซี 555 ที่ทำหน้าที่กำเนิดพัลส์ การทำงานของวงจรพออธิบายได้ดังนี้ ตัวเก็บประจุ C จะถูกประจุด้วยแหล่งจ่ายไฟโดยผ่านตัวต้านทาน Ra และ Rb แรงดันคล่อม C นี้ จะต่อเข้าวงจรเปรียบเทียบโดยผ่าน ขา 6 และขา 2 ของไอซี 555 การประจุ C ทำให้แรงดันคล่อม C ค่อย ๆ สูงขึ้น เมื่อแรงดันคล่อม C สูงเกิน 2/3 Vcc ฟลิปฟล็อปจะเปลี่ยนภาวะให้แรงดันขาออกสูง ทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน ประจุที่เก็บใช้ใน C จะถูกคายประจุผ่าน Rb เข้าสู่ทรานซิสเตอร์นี้ การคายประจุนี้ทำให้แรงดันคล่อม C ลดลง ถ้าแรงดันลดลงต่ำกว่า 1/3 Vcc ฟลิปฟล็อปจะเปลี่ยนภาวะกลับมาเป็นแรงดันต่ำ ทำให้ทรานซิสเตอร์หยุดทำงาน และการคายประจุก็หยุดลง เปลี่ยนมาเป็นการประจุเช่นเดิม การประจุและการคายประจุจะสลับกันไปเช่นนี้ตลอด สัญญาณออกของวงจรที่ขา 3 ของไอซี 555 จะเป็นสัญญาณสูงต่ำตามการประจุและคายประจุนี้ รูป 4.3 เป็นรูปคลื่นของแรงดันคล่อม C และแรงดันขาออกของวงจร

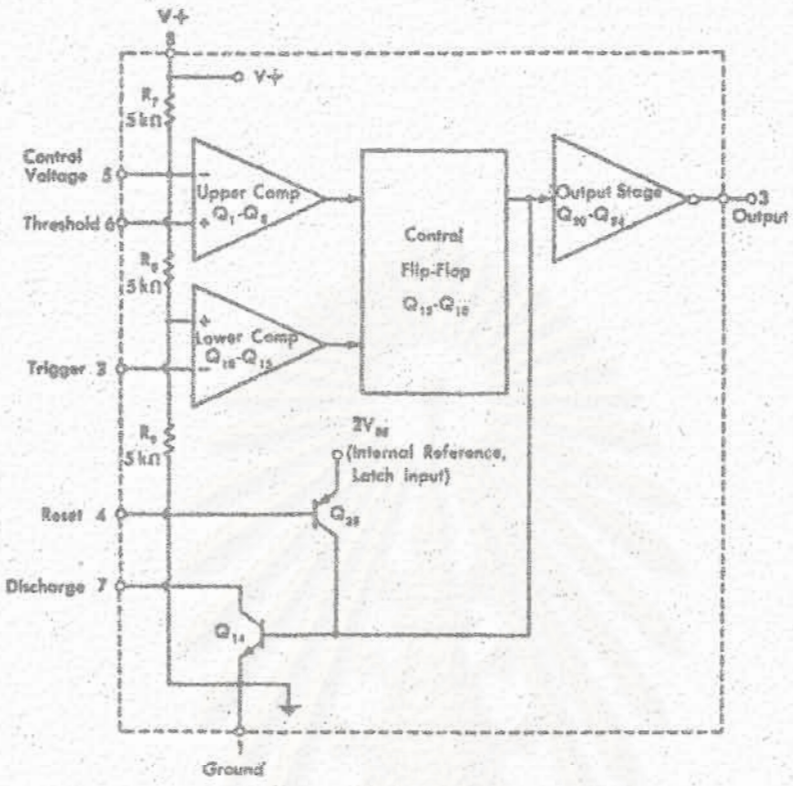
ความถี่ของพัลส์ที่กำเนิดจากวงจรนี้สามารถคำนวณได้ด้วยสูตร

$$f = \frac{1.44}{(Ra+2Rb)\ C} \qquad (4.1)$$

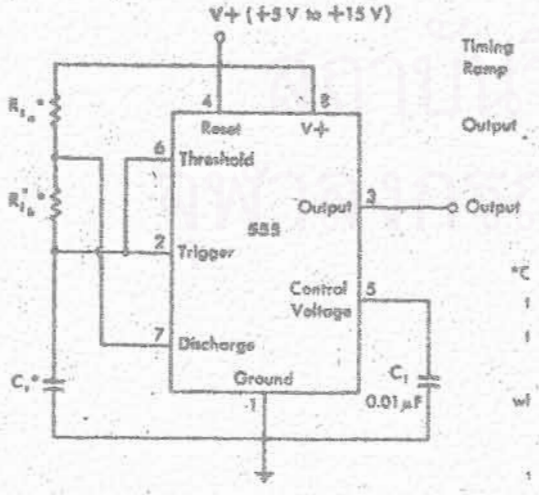
และดิวตี้ไซเคิลของรูปคลื่น

$$D = \frac{Rb}{Ra+2Rb} \times 100\% \qquad (4.2)$$

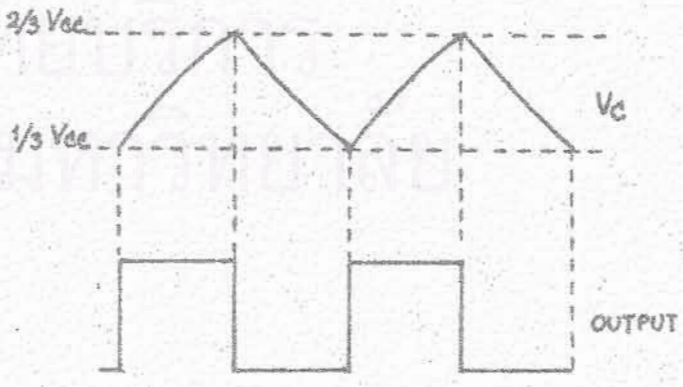
จากสูตรจะเห็นว่าความถี่ของพัลส์กำหนดโดย Ra, Rb และ C จากการเปลี่ยนค่าองค์ประกอบของวงจรเหล่านี้จะทำให้ความถี่เปลี่ยนได้ วงจรกำเนิดพัลส์โดยใช้ ไอซี 555 นี้ เป็นที่นิยมใช้กันมาก เพราะมีข้อดีของวงจร คือ




รูป 4.1 บล็อกไดอะแกรมของไอซี 555




รูป 4.2 วงจรกำเนิดพลัสโดยใช้ไอซี 555




รูป 4.3 รูปคลื่น

1. วงจรง่าย ใช้อุปกรณ์น้อย

2. ความถี่ไม่ขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายไฟ

3. สัญญาณออกที่คุณสมบัติสามารถต่อกับวงจรภายนอกได้จำนวนมาก

อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของวงจรก็มีพอสรุปได้ดังนี้

1. ไอซี 555 ไม่เหมาะที่จะใช้ในการกำเนิดพัลส์ความถี่สูง ใช้ได้ดีในย่านความถี่ต่ำ จากคุณสมบัติของไอซี 555 สามารถผลิตพัลส์ความถี่ 0.1Hz - 100kHZ

2. การแปรความถี่และการแปรดิวตี้ไซเคิล ไม่สามารถทำโดยอิสระจากกันได้[8]

3. ความถี่ไม่แปรโดยตรงกับค่าความต้านทาน

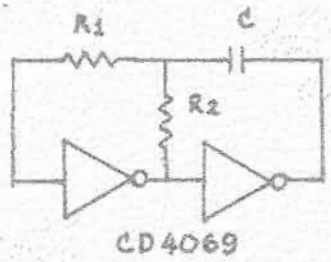
4.3.2 วงจรกำเนิดพัลส์โดยใช้ INVERTER GATE

การกำเนิดพัลส์โดยใช้อุปกรณ์ RC เป็นวิธีการกำเนิดพัลส์ที่ง่าย ความถี่ของพัลส์จะกำหนดโดยค่า R และ C มีข้อเสียตรงที่เสถียรภาพของความถี่ไม่ดีนัก วงจรกำเนิดพัลส์โดยใช้อุปกรณ์ RC นี้มีหลายแบบ ไอซี 555 ก็เป็นวงจรกำเนิดพัลส์โดยใช้ RC เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีวงจรกำเนิดพัลส์โดยใช้ออฟแอมป์[9] ซึ่งจะไม่ขอกล่าวในที่นี้เพราะไม่สามารถผลิตพัลส์ในย่านความถี่สูงได้ วงจรกำเนิดพัลส์ง่าย ๆ ที่ใช้อุปกรณ์ RC ที่นิยมใช้กันมากอีกแบบหนึ่งคือ การใช้ ไอซีเชิงเลข ไอซีเชิงเลขที่ใช้กันมีทั้งตระกูล TTL และ CMOS TTL มักใช้ในกรณีที่กำเนิดพัลส์ความถี่สูง ส่วน CMOS ใช้ในกรณีที่ความถี่ไม่เกิน 2MHz เกทที่นิยมใช้กันมากที่สุดได้แก่ เกทอินเวอเตอร์ (inverter gate) รูป 4.4 เป็นตัวอย่างวงจรกำเนิดพัลส์โดยใช้อินเวอเตอร์เกทแบบต่าง ๆ ภายในรูปจะมีสูตรการคำนวณความถี่ไว้ด้วย[10]

วงจรกำเนิดพัลส์แบบใช้อินเวอเตอร์ 2 ตัว เป็นวงจรที่นิยมใช้กันมาก ต้องใช้กับไอซีเชิงเลขชนิด CMOS การทำงานพออธิบายได้ง่าย ๆ คือ เมื่อสัญญาณออกของอินเวอเตอร์เกท 2 เปลี่ยนแปลงไปจากสูงเป็นต่ำหรือจากต่ำเป็นสูง การเปลี่ยนแปลงนี้จะผ่านวงจรดิฟเฟอเรนซิเอเตอร์ ซึ่งประกอบด้วย C และ R ซึ่งจะทำให้เกิดการประจุและคายประจุที่ C รูปคลื่นขาออกนี้จะถูกส่งเข้าอินเวอเตอร์เกท 1 ซึ่งจะเกิดการสวิทซึ่งอีกทีหนึ่ง ผลของการสวิทซึ่งนี้จะมีผลให้สัญญาณออกของอินเวอเตอร์เกท 2 เปลี่ยนแปลงไปอีกเป็นวัฏจักรเช่นนี้เรื่อยไป

วงจรกำเนิดพัลส์แบบใช้อินเวอเตอร์ 3 ตัว ใช้ในกรณีที่ต้องการกำเนิดพัลส์ความถี่สูงกว่าแบบใช้อินเวอเตอร์ 2 ตัว หลักการทำงานจะเหมือนกัน

017535

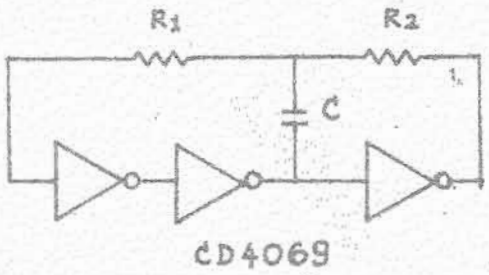



ก. แบบอินเวอเตอร์ 2 ตัว

$$f = \frac{1}{K.C.R_2}$$

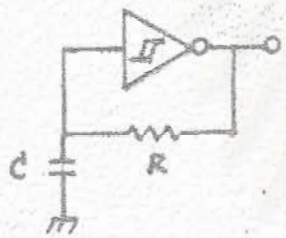
K = 1.4∿2.2

เลือก $R_1$ 2.2 $R_2$




ข. แบบอินเวอเตอร์ 3 ตัว

เหมือนกับแบบ ก



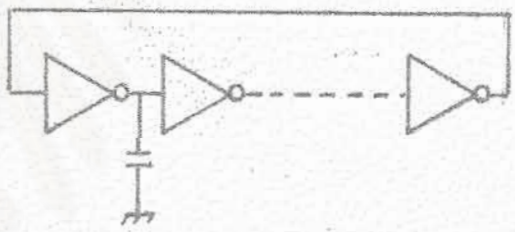

ค. แบบใช้เกทชมิทต์

$$f = \frac{K}{C.R}$$

เมื่อแหล่งจ่ายไฟ = 5V

K = 3.5 เมื่อใช้ MC14584

K = 0.53 เมื่อใช้ MM74C14



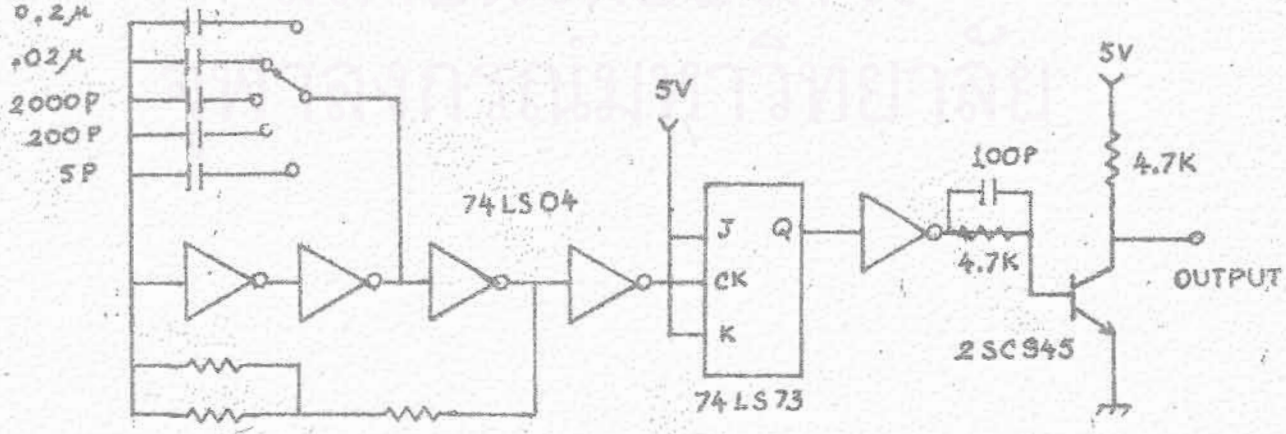
ง. แบบใช้อินเวอเตอร์จำนวนเลขคี่

$$f = \frac{1}{2.n.t_q}$$

n = จำนวนเกท

$t_q$ = เวลาแหล่งของแต่ละเกท

รูป 4.4 ตัวอย่างวงจรกำเนิดพลัสที่ใช้อินเวอเตอร์เกท




รูป 4.5 วงจรกำเนิดพลัสที่ใช้ไอซี ตระกูล TTL

วงจรกำเนิดพัลส์แบบใช้เกทชมิทต์ (schmitt gate) วงจรนี้ใช้เกทเพียงเกทเดียว ใช้คุณสมบัติของฮิสเทอริซิส (hysterrisis) ของเกทชนิดชมิทต์ ตรวจวัดระดับแรงดันที่คล่อมตัวเก็บประจุ เมื่อสัญญาณออกสูง C จะถูกประจุเมื่อแรงดันสูงเกินแรงดันเทรชโฮลเกท จะให้แรงดันต่ำเป็นสัญญาณออก ทำให้ C เกิดการคายประจุ เมื่อแรงดันต่ำเกินเทรชโฮลสัญญาณออกจะเป็นแรงดันสูง ทำให้ C เริ่มถูกประจุอีก เป็นเช่นนี้เรื่อยไป

วงจรกำเนิดพัลส์แบบใช้อินเวอเตอร์จำนวนคี่ ใช้ในกรณีที่ต้องการกำเนิดความถี่สูงมาก หลักการการกำเนิดความถี่ อาศัยคุณสมบัติที่เกิดเวลาหน่วงสัญญาณผ่านเกท เมื่อเพิ่มจำนวนเกทขึ้น เวลาหน่วงนี้จะนานขึ้นเท่ากับจำนวนเกทคูณด้วยเวลาหน่วงในหนึ่งเกท จำนวนของเกทที่ใช้จะต้องเป็นเลขคี่ เพื่อให้สัญญาณที่ป้อนกลับจากเกทสุดท้ายมาที่เกทแรกอยู่ในเฟสเดียวกัน จึงจะเกิดการออสซิเลทได้ ถ้าเติมตัวเก็บประจุในระหว่างเกทจะทำให้เวลาหน่วงนานขึ้น ความถี่ของพัลส์จะลดลงได้

วงจรกำเนิดพัลส์โดยใช้อินเวอเตอร์เกทเหล่านี้เป็นวงจรที่ง่าย แต่มีข้อเสียต่าง ๆ ดังนี้

1. เสถียรภาพของความถี่ไม่ดีนัก
2. ปรับ ดิวตี้ไซเคิลได้ยาก
3. วงจรแต่ละชนิดไม่สามารถกำเนิดพัลส์ ในทุกย่านความถี่ที่ต้องการ

ผู้วิจัยได้ทดลองเลือกเกทชนิดต่าง ๆ และทำการทดลองต่อวงจรดู พบว่าไอซีเชิงเลขตระกูล TTL ชนิดที่เป็น Low power schotky เช่นเกท 74LS04 (11) สามารถนำมาต่อวงจรกำเนิดพัลส์ได้ในย่านความถี่ต่าง ๆ ตั้งแต่ความถี่ต่ำถึงความถี่สูง รูป 4.5 เป็นวงจรที่ได้ทดลองต่อขึ้น ใช้อินเวอเตอร์เกทจำนวน 3 ตัวภายในไอซี 74LS04 ในการกำเนิดพัลส์ ความถี่ของพัลส์สามารถแบ่งได้ด้วยความต้านทานแปรค่าได้ 10K และพิสัยของความถี่สามารถเลือกได้โดยการเลือกตัวเก็บประจุที่ต่อคล่อมเกท 2 เกท ความถี่ต่ำสุดที่สามารถเกิดได้คือ 10 Hz สำหรับความถี่สูงสุดนั้น สามารถกำเนิดได้ถึง 20M Hz ตามปรกติ ไอซี 74LS04 สามารถใช้กับความถี่ 40M Hz แต่มีปัญหาเรื่อง stray capacitance ที่เกิดจากสวิทช์และการต่อสายเป็นเหตุให้เกิดการจำกัดความถี่สูง พัลส์ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดพัลส์จะมีรูปร่างไม่สวยนัก และมีดิวตี้ไซเคิลไม่แน่นอน จึงผ่านพัลส์นี้ไปที่ฟลิบฟล็อป 74LS73 เพื่อหารความถี่ของพัลส์ลงครึ่งหนึ่ง จะได้พัลส์ที่มีดิวตี้ไซเคิล 50% และเพื่อให้สัญญาณออกสามารถขับวงจรได้มากขึ้นจึงใช้ทรานซิสเตอร์ต่อเป็นวงจรขาออก วงจรนี้นับว่าเป็นวงจรกำเนิดพัลส์ที่สามารถกำเนิดพัลส์ความถี่ต่าง ๆ ได้กว้างมากและวงจรมีโครงสร้างง่ายมาก วงจรนี้มีข้อเสียตรงการปรับเทียบความถี่ทำได้ยุ่งยากต้องอาศัยการเลือกอุปกรณ์ พัลส์ขาออกไม่สามารถปรับดิวตี้ไซเคิลได้

4.3.3 วงจรกำเนิดพัลส์โดยใช้โมโนสเตเบิล (monostable multivibrotor)

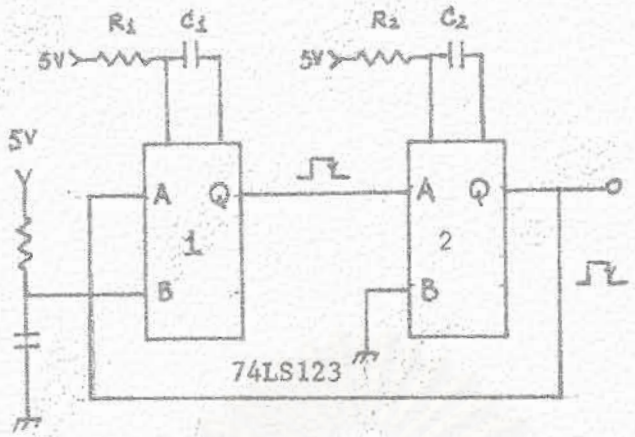
ข้อเสียของวงจรกำเนิดพัลส์ที่ได้กล่าวมาแล้ว แม้จะเป็นวงจรง่ายแต่มีข้อเสียตรงไม่สามารถปรับดิวตีไซเคิลได้โดยง่าย การปรับดิวตีไซเคิลคือการปรับอัตราส่วนของเวลา ON และเวลา OFF ของพัลส์ วิธีการปรับที่ง่ายที่สุดได้แก่การกำหนดเวลา ON และ OFF ของพัลส์นี้อย่างอิสระต่อกัน การกำเนิดพัลส์ด้วยวิธีการเช่นนี้สามารถทำได้โดยใช้วงจรโมโนสเตเบิล หรือวงจรหน่วงเวลา 2 วงจร โดยต่อสัญญาณออกเข้าควบคุมซึ่งกันและกัน รูป 4.6 เป็นตัวอย่างวงจรชนิดนี้ ใช้ไอซี 74LS123 ซึ่งเป็น dual retriggerable monostable (11) ภายในจะบรรจุวงจรโมโนสเตเบิลจำนวน 2 วงจร สามารถต่อเป็นวงจรกำเนิดพัลส์ได้โดยง่าย ช่วงเวลา OFF ของพัลส์สัญญาณออกจะถูกกำหนดโดยโมโนสเตเบิล 1 และช่วงเวลา ON จะกำหนดโดยโมโนสเตเบิล 2

การทำงานของวงจรเป็นดังนี้ เมื่อโมโนสเตเบิล 1 ทำงานจะให้สัญญาณออกเป็นแรงดันสูง เมื่อครบเวลาหน่วงแรงดันจะตกลงต่ำ การเปลี่ยนแปลงแรงดันนี้จะทำให้โมโนสเตเบิล 2 เริ่มทำงาน ในเวลานั้นสัญญาณออกของวงจรจะเป็นแรงดันสูง เมื่อครบกำหนดเวลาของโมโนสเตเบิล 2 นี้ แรงดันจะตกลงต่ำ เป็นเหตุให้ โมโนสเตเบิล 1 เริ่มทำงานใหม่เป็นเช่นนี้เรื่อยไป ช่วงเวลาหน่วงของแต่ละวงจรจะสามารถปรับได้โดยการปรับ RC การกำหนดเวลาหน่วงจะอิสระจากกัน ทำให้เราสามารถปรับช่วงเวลา ON และ OFF ของพัลส์ขาออกได้ตามที่ต้องการ

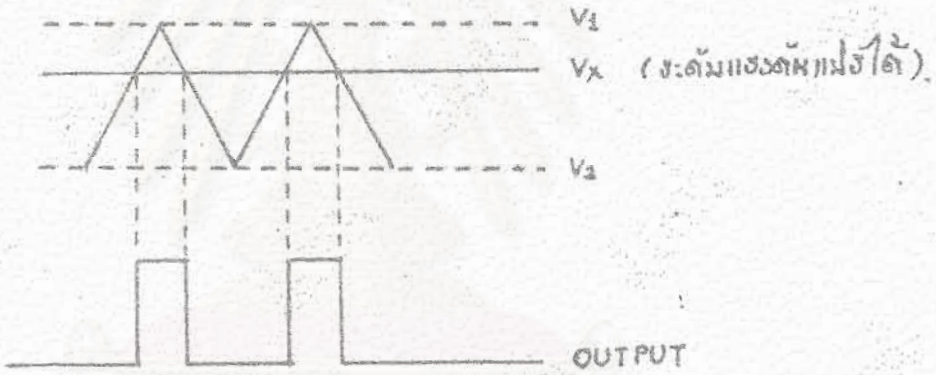
วงจรนี้สามารถกำเนิดพัลส์ในแถบความถี่ที่กว้างมาก เพราะไอซี 74LS123 สามารถผลิตช่วงเวลาได้ตั้งแต่ 10ns ถึง 10S โดยขึ้นอยู่กับค่าอุปกรณ์ที่ต่อให้วงจร นอกจากนั้นยังสามารถปรับดิวตีไซเคิลได้ตามใจชอบ แม้จะเป็นดิวตีไซเคิลขนาดเล็กเพียงไรก็สามารถปรับได้ จากการทดลองวงจรนี้ สามารถผลิตความถี่ตั้งแต่ 0.01Hzถึง 20M Hzได้ ข้อเสียของวงจรนี้คือการที่ไม่สามารถอ่านความถี่ได้โดยตรงจากหน้าปัด ต้องใช้การคำนวณความถี่จากคาบเวลาของรูปคลื่น

4.3.4 วงจรกำเนิดพัลส์ โดยใช้วงจรเปรียบเทียบ

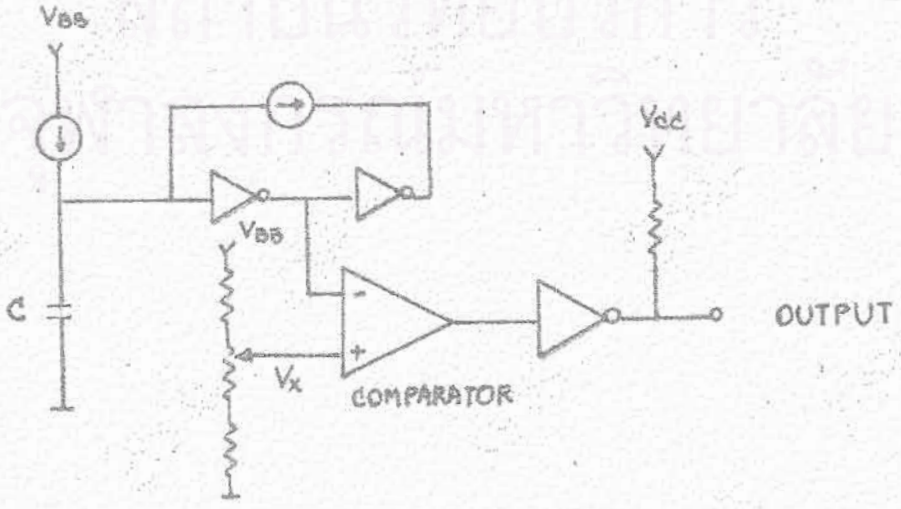
เพื่อให้วงจรกำเนิดพัลส์สามารถแปรความถี่และดิวตีไซเคิลได้โดยอิสระต่อกัน ไม่มีการรบกวนซึ่งกันและกัน ทำได้โดยการป้อนสัญญาณสามเหลี่ยมเข้าเปรียบเทียบกับระดับแรงดันมาตรฐานที่แปรค่าได้ ดังแสดงในรูป 4.7 สัญญาณออกของวงจรเปรียบเทียบจะเป็นสัญญาณพัลส์ ความถี่ของสัญญาณพัลส์แปรได้โดยการแปรความถี่ของสัญญาณสามเหลี่ยม ส่วนดิวตีไซเคิลของพัลส์สามารถแปรได้ด้วยการปรับระดับแรงดันมาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบ




รูป 4.6 วงจรกำเนิดพัลส์โดยใช้วงจรไมโนสเตเบิล




รูป 4.7 หลักการของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์




รูป 4.8 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์โดยใช้วงจรเปรียบเทียบ

รูปวงจรคร่าว ๆ ของวงจรกำเนิดพัลส์ชนิดนี้แสดงในรูป 4.8 สัญญาณสามเหลี่ยม สร้างได้โดยการประจุและคายประจุ ตัวเก็บประจุ ตามวิธีการทั่ว ๆ ไป ความถี่ของสัญญาณสามารถเปลี่ยนโดยการแปรขนาดของแหล่งจ่ายกระแสหรือตัวเก็บประจุ ระดับแรงดันที่ใช้เปรียบเทียบเกิดจากการแบ่งแรงดันด้วยตัวต้านทาน และแอมพลิจูดของพัลส์สามารถปรับได้จากการปรับแหล่งจ่ายไฟ Vcc

ผู้วิจัยได้ทดลองประกอบวงจรชนิดนี้และได้ทำการทดลอง ปรากฏว่าวงจรกำเนิดพัลส์ชนิดนี้ สามารถกำเนิดความถี่ได้ตั้งแต่ 10Hz ถึง 100kHz สามารถแปรดิวตี้ไซเคิลได้ตั้งแต่ 10% ถึง 90% แต่จุดอ่อนของวงจรคือตัววงจรเปรียบเทียบ ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟหลายแหล่ง และยังมีความเร็วในการสวิทชิ่งช้าเกินไปที่จะผลิตพัลส์ความถี่สูงกว่า 1MHz

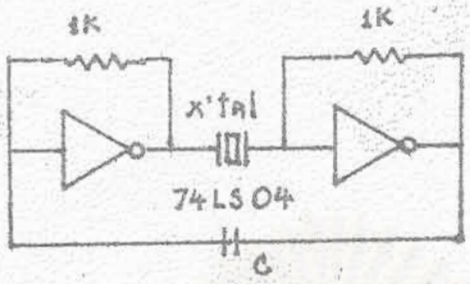
4.3.5 วงจรกำเนิดพัลส์โดยใช้ผลึก (Crystral)

ในกรณีที่ต้องการผลิตสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ที่แม่นยำ และมีเสถียรภาพสูง จำเป็นต้องใช้วงจรออสซิเลทที่ใช้ผลึก (Crystral oscillator) ตัวอย่างวงจรกำเนิดพัลส์โดยใช้ผลึกแสดงในรูป 4.9 ข้อเสียของวงจรชนิดนี้คือการไม่สามารถแปรความถี่ได้ เพราะผลึกแต่ละตัวจะผลิตความถี่ได้เพียงหนึ่งความถี่ ตามปรกติผลึกที่ผลิตขายมักเป็นผลึกที่ใช้ผลิตความถี่สูง ในกรณีที่ต้องการความถี่ที่ต่ำลงมา ต้องใช้วงจรหารความถี่ หรืออาจใช้วงจรที่ใช้หลักการของ เฟสล็อคลูป (phase lock loop) ได้ วงจรกำเนิดพัลส์ชนิดนี้จะมีวงจรยุ่งยากซับซ้อน ซึ่งไม่ใช่เป้าหมายของการวิจัยครั้งนี้ ดังนั้นจะไม่ขอกล่าวในรายละเอียด

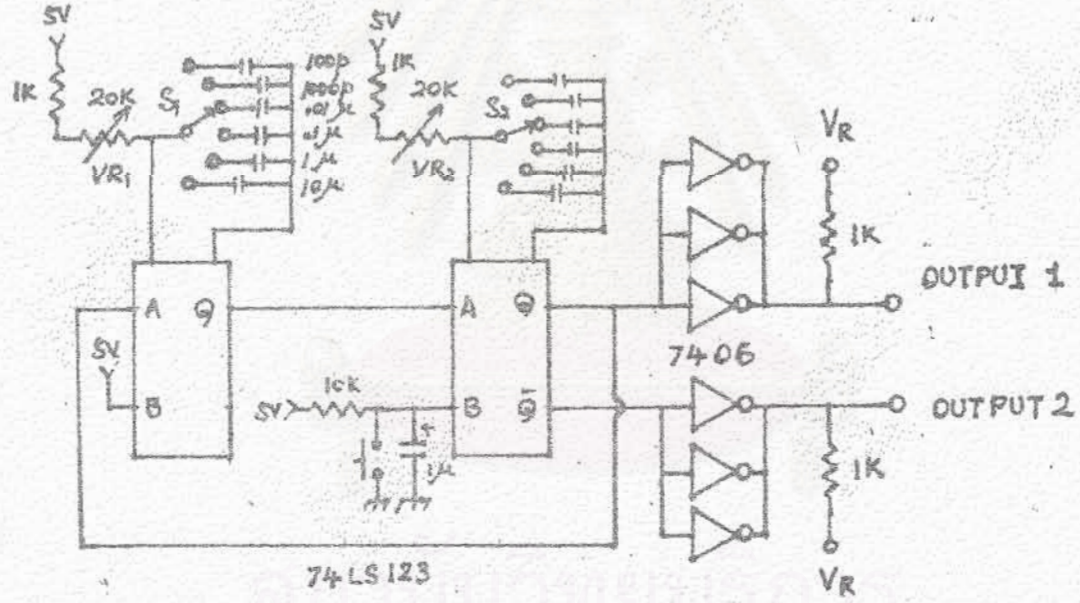
4.4 เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ทดลองสร้างให้

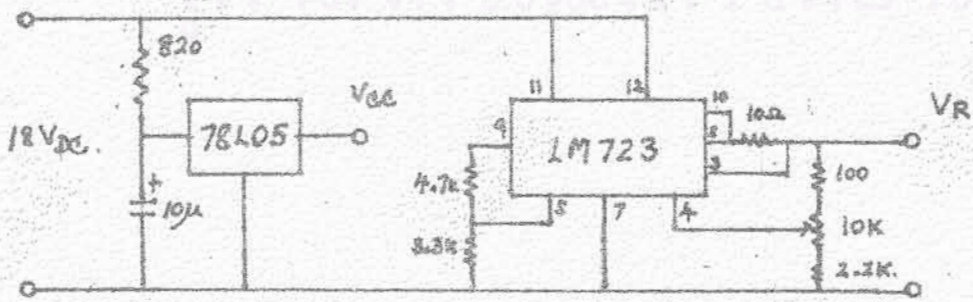
วงจรกำเนิดพัลส์ต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่แล้วต่างก็มีข้อดีและข้อเสีย ไปคนละอย่าง เมื่อพิจารณาตามข้อกำหนดของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ได้ตั้งไว้มาในหัวข้อ P.2 ก็พบว่า วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์โดยใช้โมโนสเตเบิล จะมีคุณสมบัติครอบคลุมทุกหัวข้อของข้อกำหนด โดยเฉพาะความสามารถในการผลิตความถี่ได้ช่วงกว้างมาก นอกจากนั้น ยังสามารถปรับดิวตี้ไซเคิลได้ตามที่ต้องการด้วย

ได้ทดลองออกแบบวงจรและสร้างขึ้น รูปวงจรแสดงในรูป 4.10 วงจรกำเนิดพัลส์เป็นโมโนสเตเบิล 2 ตัว ต่อกันเป็นวงรอบ โมโนสเตเบิลตัวที่ 1 จะกำหนดเวลา OFF ของพัลส์ และโมโนสเตเบิลตัวที่ 2 จะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลา ON ของพัลส์ ช่วงเวลา ON และ OFF นี้ สามารถปรับได้โดยอิสระต่อกัน สามารถรับได้ตั้งแต่ 100 mS ถึง 100 nS โดยแบ่งเป็น 6 พิสัย คือ 100mS,




รูป 4.9 วงจรกำเนิดพัลส์โดยใช้ผลึก




รูป 4.10 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ทดลองสร้าง

10mS, 1mS, 100μS, 10μSและ, 1μS ในแต่ละพิสัย จะมีตัวต้านทานแปรค่าได้ ไว้ปรับเวลาจาก ต่ำสุด จนถึงสูงสุดในพิสัยนั้น ตัวต้านทานแปรค่าได้ คือ $VR_1$ และ $VR_2$ นอกจากการกำเนิดพลัส์แบบต่อเนื่องแล้วยังสามารถเลือกให้ทำงานแบบกำเนิดพลัส์เดี่ยว หรือที่เรียกว่า Single shol pulse โดยใช้วิธีกดปุ่มที่ PB จะได้พลัส์ออกมาหนึ่งพลัส์ พลัส์นี้จะมีความกว้างของช่วงเวลา ON ตามที่ตั้งโดย $S_2$และ $VR_2$ ค่า R และ C ซึ่งต่อไว้ที่ input B ของวงจรไมโนสเตเบิล นอกจากจะมีหน้าที่ในการดีเบานส์ หน้าสัมผัสแล้วยังใช้เป็นตัวสตาร์ท การออสซิเลทของวงจรกำเนิดพลัส์ด้วย

เอ้าท์พุท ของวงจร ใช้บัฟเฟอร์ที่เป็น Open Collector ต่อขนานกัน 3 ตัว เพื่อเพิ่มความสามารถในการขับวงจรภายนอกให้มากขึ้น วงจรขับนี้สามารถขับลอจิกเกทชนิด TTL ได้ถึง 50 เกท เอ้าท์พุทมีทั้งแบบ Normal และแบบ INVERTED จะถึงเอ้าท์พุทที่ชั่วใดก็ได้ สัญญาณออกจากเอ้าท์พุททั้งสองนี้จะกลับเฟสกัน แอมพลิจูดของพลัส์สามารถปรับได้ง่ายโดยการปรับแหล่งจ่ายไฟ $V_R$ ที่ป้อนให้กับเอ้าท์พุท แหล่งจ่ายไฟ $V_R$ ใช้ไอซี 723 ในการคงค่าแรงดันไฟ แหล่งจ่ายไฟ 5V ใช้ไอซี เร็คกูเลเตอร์ขนาดเล็ก 78L05 ซึ่งมีรูปร่างเหมือนทรานซิสเตอร์ทั่วไปและมีความสามารถในการจ่ายไฟได้สูงสุด 100mA ซึ่งเพียงพอกับวงจรทั้งหมดซึ่งมีไอซีอยู่เพียง 2 ตัวเท่านั้น

เมื่อทดสอบวงจรที่ออกแบบขึ้น ปรากฏว่ามีคุณสมบัติครอบคลุมข้อกำหนดที่ได้ตั้งไว้ มีปัญหาอยู่ 2 ประการคือ การเลือกขนาดตัวเก็บประจุเพื่อให้ความถี่ออกมาตรงตามพิสัยต่าง ๆ นั้นจะผิดไปจากค่าที่คำนวณเล็กน้อย จะต้องมีการชดเชยค่าของตัวเก็บประจุโดยการต่อตัวเก็บประจุขนาดเล็ก ขนานกับตัวเก็บประจุแต่ละตัวในแต่ละพิสัย ทำให้การประกอบวงจรกินเวลามากขึ้น 74LS123 แต่ละตัวจะให้ช่วงเวลาผิดกันประมาณ 5 % นอกจากนั้นยังมีปัญหาที่รูปคลื่นขาออกในย่านความถี่สูง (มากกว่า 1Mz) จะมี Rise Time ของพลัส์ ปัญหาสามารถแก้ได้โดยการเปลี่ยนแปลงวงจรเอ้าท์-พุท ใหม่ให้มีความสามารถในการจ่ายกระแสในการชาร์ทตัวเก็บประจุภายนอกได้เร็วขึ้น

# บทที่ 5

## ชุดทดลองไมโครโปรเซสเซอร์

### 5.1 บทนำ

นับตั้งแต่ไมโครโปรเซสเซอร์ถูกผลิตขึ้นมาในปี พ.ศ.2514 ไมโครโปรเซสเซอร์ถูกนำมามาใช้งานในด้านต่าง ๆ มากมาย นับตั้งแต่การใช้งานเป็นเครื่องคำนวณ เป็นเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในการประมวลผลข้อมูล การคำนวณทางวิทยาศาสตร์การใช้งานในการควบคุม การใช้งานแทนวงจรดิจิตัลในเครื่องมือ ในระบบควบคุมและในระบบโทรสัพท์ เป็นต้น[15] ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์นับวันจะมีมากขึ้น บทบาทของไมโครโปรเซสเซอร์จะเข้ามายุ่งเกี่ยวในไฟฟ้า ระบบควบคุม ระบบสื่อสารมากจนนิสิตไฟฟ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องเรียนรู้ในมหาวิทยาลัย

ในปัจจุบันนี้ผู้ผลิตไมโครคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยวออกมาหลายแบบหลายชนิด แต่ละชนิดผันแล้วแต่ใช้ในการฝึกทดลองและการประยุกต์ใช้งานได้ดี ไมโครคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยวเหล่านี้มักจะมีราคาแพงและการใช้งานยุ่งยากซับซ้อน การสอนไมโครโปรเซสเซอร์ให้ได้ผลควรให้นิสิตมีโอกาสได้ใช้เครื่องได้มากที่สุด ไมโครคอมพิวเตอร์ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นนี้ มีจุดประสงค์ให้ใช้ฝึกทดลองในห้องปฏิบัติการ มีโครงสร้างง่ายที่สุดสามารถสร้างขึ้นเองได้โดยง่าย และราคาย่อมเยาว์

ปัจจุบันไมโครโปรเซสเซอร์ที่ผลิตออกมาขายในท้องตลาดมีด้วยกันหลายแบบ ชนิด 8 บิทได้แก่ อินเทล 8080, 8085 โมโทโรลล่า 6800 ไซล็อก Z-80[14] ชนิด 16 บิทได้แก่อินเทล 8086 ไซล็อก Z-8000 เป็นต้น ไมโครโปรเซสเซอร์เหล่านี้ แม้จะมีความสามารถในการทำงานแตกต่างกันบ้าง แต่มีโครงสร้างและหลักการทำงานเหมือนกัน อินเทล 8080 นับเป็นไมโครโปรเซสเซอร์รุ่นแรกที่ผลิตออกมาและได้รับความนิยมสูง ชุดคำสั่งง่ายสะดวกในการใช้งาน เหมาะสมที่ใช้ในการฝึกสอนเพื่อให้เข้าใจการทำงานของไมโครโปรเซสเซอร์ในระยะเริ่มต้น ไมโครคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยวที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นนี้ จึงได้เลือกใช้อินเทล 8080 เป็นหน่วยประมวลผลกลาง (central processing unit) ของระบบ

### 5.2 ข้อกำหนดในการออกแบบไมโครคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยว CU-80

ไมโครคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยวที่ได้ออกแบบและทดลองสร้างขึ้นมานี้ ใช้ชื่อเรียกว่า CU-80 มีข้อกำหนดของเครื่องดังนี้

2.1 ไมโครโปรเซสเซอร์ อินเทล 8080

2.2 ความถี่สัญญาณนาฬิกา 2 MHz

2.3 หน่วยความจำ ROM 1 กิโลไบท์ ขยายได้ถึง 2 กิโลไบท์

2.4 หน่วยความจำ RAM 1 กิโลไบท์ ขยายได้ถึง 4 กิโลไบท์

2.5 อุปกรณ์อินพุท แป้นกดข้อมูล 20 ปุ่ม (4 x 5 แถว)

2.6 อุปกรณ์เอาท์พุท ไดโอดเปล่งแสง 7 ชีด จำนวน 6 ตัวใช้แสดงเลขฐาน 16

2.7 โมด (mode) การทำงาน รันโมด (run mode) และซิงเกลสเตปโมด (single step mode)

2.8 แหล่งจ่ายไฟ DC + 5V $\pm$ 5 % 1 A
DC + 12 V $\pm$ 5 % 200 mA
DC - 5 V $\pm$ 5 % 50 mA

5.2.9 การขยายระบบ - สามารถต่อบัสข้อมูล บัสแอดเดรส และบัสควบคุมออกสู่ภายนอกได้

- สามารถต่ออินเตอร์เฟสกับเทปคาสเซสเพื่อเก็บข้อมูลได้

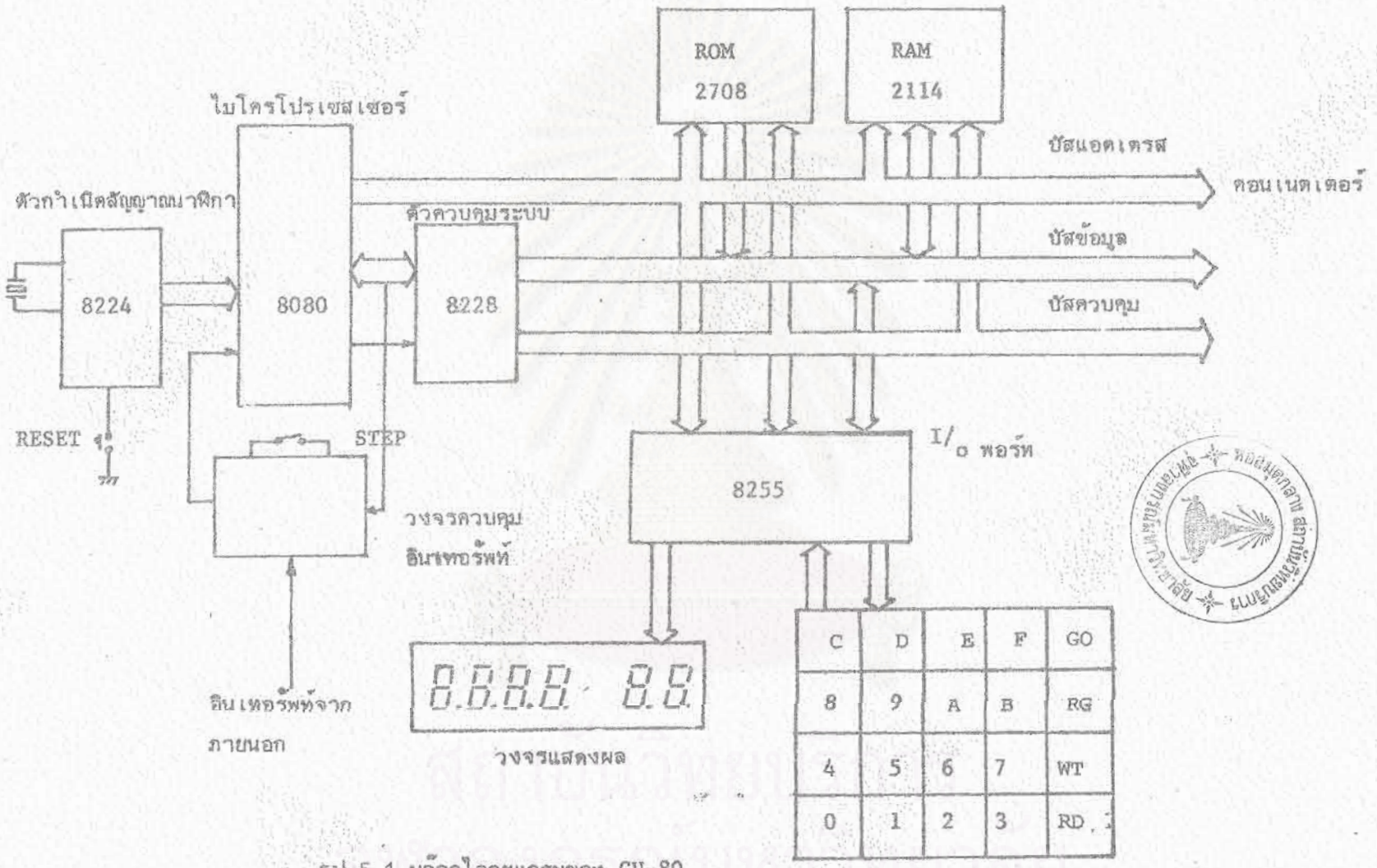
5.2.10 อุณหภูมิการใช้งาน $0^{\circ}C - 50^{\circ}C$

5.3 บล็อกไดอะแกรม ของ CU-80

เพื่อให้การทำงานของเครื่องเป็นไปตามข้อกำหนดและใช้อุปกรณ์น้อยสุด ได้ออกแบบวงจรไมโครคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยว ที่มีโครงสร้างวงจรแสดงในรูป 5.1 หน่วยประมวลผลกลางหรือ CPU ของระบบประกอบด้วย ไมโครโปรเซสเซอร์ 8080 ตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกา 8224 และตัวควบคุมระบบ (system controller) 8228[15] ที่ CPU จะมีกลุ่มของสายสัญญาณที่เรียกว่า บัส (bus) อยู่ 3 บัสด้วยกันคือ บัสแอดเดรส (16 เส้น) บัสข้อมูล ( 5 เส้น) และบัสควบคุม (5 เส้น) จะทำการติดต่อกับหน่วยความจำ (memory unit) และหน่วยอินพุทเอาท์พุท (I/O unit) ของระบบโดยผ่านบัสทั้งสามนี้ สายสัญญาณของทั้งสามบัสยังต่อกับคอนเนคเตอร์ (connector) เพื่อสามารถนำไปในการขยายระบบให้ใหญ่ขึ้นได้อีกด้วย หน่วยความจำประกอบด้วย ROM (read only memory) ขนาด 1 กิโลไบท์ ซึ่งใช้เก็บโปรแกรมมอนิเตอร์ (monitor program) ที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบ และประกอบด้วย RAM (random access memory) ขนาด 1 กิโลไบท์ ทางด้านหน่วยอินพุทเอาท์พุท ซึ่งได้ติดต่อกับแป้นกดข้อมูลและวงจรแสดงผล ได้ใช้ตัวควบคุมการรับส่งข้อมูลแบบขนานชนิดโปรแกรมได้ (programmable parallel input output) 8255[16] เพียงตัวเดียวเพื่อลดจำนวนของอุปกรณ์ แป้นกดข้อมูล ประกอบด้วยปุ่มกดจำนวน 20 ปุ่ม เรียงเป็น 4 x 5 แถว จำนวนปุ่มมีมากพอที่จะใช้อินพุทข้อมูลเลขฐาน 16 และเป็นปุ่มควบคุมการทำงาน (function key) ได้ วงจรแสดงผลเป็นไดร์ฟอดเปล่งแสง 7 ซีด (seven segment LED) จำนวน 6 ตัว 4 ตัวแรกไว้แสดงข้อมูลแอดเดรส 2 ตัวหลังไว้ใช้แสดงข้อมูลที่เก็บไว้ในแอดเดรสนั้น ที่ CPU มีปุ่มสำหรับไว้รีเซท (reset) ระบบให้เริ่มต้นการทำงานจากแอดเดรส $(0000)_{16}$ ได้ นอกจากนั้นยังมีวงจรควบคุมการอินเตอร์รัพท์ (interrupt controller) ซึ่งจะควบคุมทั้งการอินเตอร์รัพท์จากภายนอกและการอินเตอร์รัพท์ภายในระบบที่เกิดจากการทำงานแบบคำสั่งเดียว (single step operation)

5.4 วงจร CPU

รายละเอียดการต่อวงจรใน CPU บล็อกแสดงในรูป 5.2 ตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกา 8224 จะผลิตสัญญาณนาฬิกา 2 เฟส คือ $\emptyset_1$ และ $\emptyset_2$ ความถี่ 2 MHz ป้อนให้ไมโครโปรเซสเซอร์ 8080 ความถี่นี้ได้มาจากการหารความถี่ของผลึกคริสตัล 18 MHz ลงมา 9 เท่า สัญญาณ reset และ ready จะถูกซิงโครไนส์กับ $\emptyset_1$ ภายใน 8224 และป้อนเข้า 8080 อีกทีหนึ่ง บัสแอดเดรส $A_0 - A_{15}$ จะต่อออกจาก 8080 โดยตรง กำลังการขับของบัสแอดเดรสนี้มีเพียงพอที่จะใช้ในระบบได้ ในกรณีที่ต่อบัสแอดเดรสออกไปขับวงจรภายนอกระบบจำเป็นต้องเติมบัฟเฟอร์ (buffer) เพื่อเพิ่มกำลังขับให้สูงขึ้น บัสข้อมูลจะต่อผ่านตัวควบคุมระบบ 8228 ซึ่งมีวงจรขับบัส (bus driver) อยู่ภายในเพื่อเพิ่มกำลังขับให้สูงขึ้น บัสข้อมูลนี้เป็นบัสสองทิศทาง (bi-directional bus) ข้อมูลสามารถวิ่งเข้าออกได้ 8080 จะส่งข้อมูลสเตตัส (status data) แสดงอาการทำงานในแต่ละแมชีนไซเคิล (machine

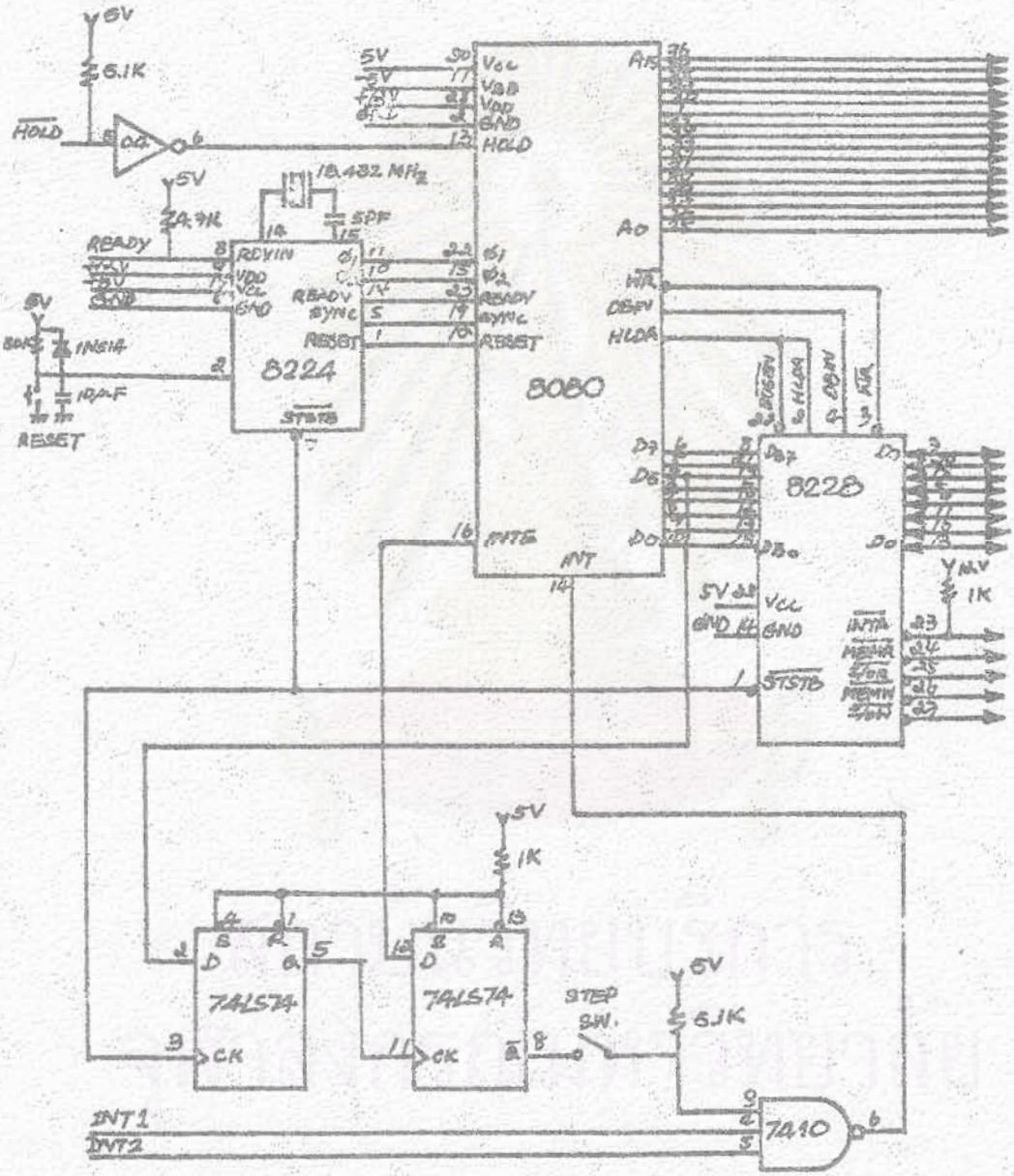



รูป 5.1 บล็อกไดอะแกรมของ CU-80

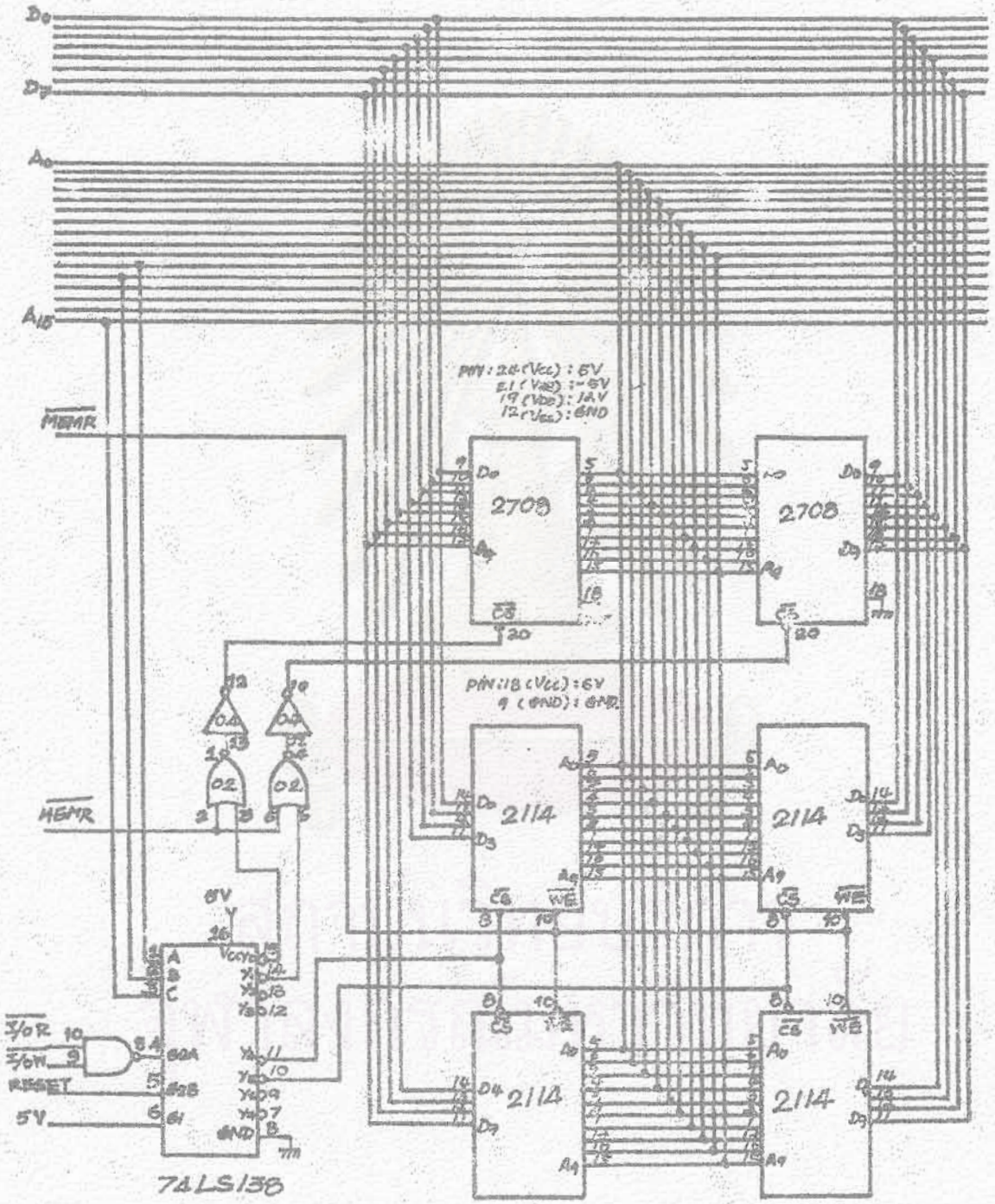
cycle) ออกมาที่บัสข้อมูลนี้ด้วย ภายใน 8228 จะมีวงจรสำหรับแลทช์ (LATCH)สเตตัสนี้แล้วถอดรหัสเพื่อสร้างสัญญาณควบคุมในบัสควบคุมอีกทีหนึ่ง สัญญาณในบัสควบคุมได้แก่ สัญญาณควบคุมการอ่านเขียนหน่วยความจำ ($\overline{MEMR}$, $\overline{MEMW}$) สัญญาณควบคุมการอ่านเขียนหน่วยอินพุทเอาท์พุท ($\overline{I/_OR}$ , $\overline{I/_OW}$) และสัญญาณตอบรับการอินเตอร์รัพท์ ($\overline{INTA}$) การแลทช์ข้อมูลจะต้องอาศัยสัญญาณ $\overline{STSTB}$ และการถอดรหัสสเตตัสต้องอาศัยสัญญาณ $\overline{WR}$ กับ DBIN จาก 8080 เข้าช่วย ที่ขาสัญญาณ $\overline{INTA}$ จะต่อตัวต้านทาน 1 k กับแหล่งจ่ายไฟ 12V ไว้ เพื่อให้ 8080 กระโดด (jump) ไปทำงานที่แอดเดรส $(0038)_{16}$ เมื่อถูกอินเตอรัพท์ได้โดยอัตโนมัติ การควบคุมให้ 8080 ทำงานแบบคำสั่งเดียวก็สามารถทำได้โดยการใช้เทคนิคการอินเตอรัพท์ในทุก ๆ แมชีนไซเคิล เส้นสัญญาณในบัสข้อมูล $D_5$ จะแสดงข้อมูลสเตตัสซึ่งแสดงไซเคิลการอ่านคำสั่ง (fetch cycle) ในทุก ๆ อินสตักชั่นไซเคิล (instruction cycle) ข้อมูลใน $D_5$ จะถูกแลทช์โดยฟลิปฟลอป และส่งเข้าอินเตอรัพท์ 8080 ทุกครั้งที่เริ่มอ่านคำสั่งใหม่เสมอ เมื่อ 8080 ถูกอินเตอรัพท์จะกระโดดไปทำงานที่แอดเดรส $(0038)_{16}$ ในโปรแกรมมอนิเตอร์ ซึ่งที่นั่นจะสั่งงานให้ 8080 หยุดพักการทำงานในโปรแกรมชั่วคราว และแสดงค่าต่าง ๆ ในรีจิสเตอร์ภายในออกมาที่วงจรแสดงผล เมื่อเรากดปุ่มควบคุมที่แป้นกดข้อมูล 8080A จะกลับมาทำงานในคำสั่งต่อไป และหยุดอีกอย่างนี้เรื่อยไป การอินเตอรัพท์จากภายนอกก็สามารถทำได้โดยการควบคุมของโปรแกรมมอนิเตอร์เช่นเดียวกัน

## 5.5 หน่วยความจำ

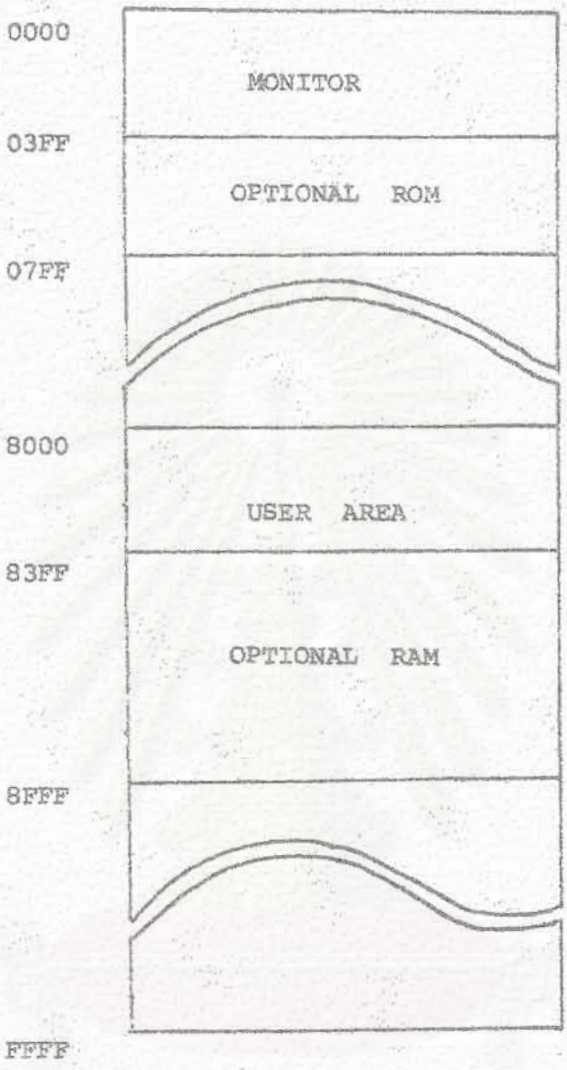
ในหน่วยความจำ ประกอบด้วย ROM (2708) 1 กิโลไบท์ สามารถขยายได้ถึง 2 กิโลไบท์ และ RAM (2114) 1 กิโลไบท์ สามารถขยายได้ถึง 4 กิโลไบท์ การต่อวงจรภายในหน่วยจำแสดงในรูป 5.3 2708 เป็น ROM ขนาด 1024 x 8 บิท และ 2114 เป็น static RAM ขนาด 1024 x 4 บิท ดังนั้นจึงใช้ 2708 1 ตัว และ 2114 จำนวน 2 ตัวก็พอเพียงสำหรับการฝึกทดลองในห้องปฏิบัติการ แผนผังการใช้หน่วยความจำ (memory map) แสดงในรูปที่ 5.4 ROM ซึ่งเก็บโปรแกรมมอนิเตอร์จะมีแอดเดรสตั้งแต่ $(0000)_{16}$ - $(03FF)_{16}$ ส่วน RAM 1 กิโลไบท์จะมีแอดเดรสระหว่าง $(8000)_{16}$ - $(83FF)_{16}$ การขยายหน่วยความจำโดยการต่อ ROM และ RAM เพิ่มเติม สามารถต่อได้ที่แอดเดรสที่กำหนดในรูป ช่วงเวลาแอดเซสสูงสุด (maximum access time) ของ 2708 และ 2114 เป็น 350 nS และ 450 nS[15] ตามลำดับ ช่วงเวลาแอดเซสนี้ต่ำกว่าช่วงเวลา 1 คล็อกไซเคิล (clock cycle) ของ CPU ซึ่งเท่ากับ 500 nS จึงทำให้ไม่เกิดปัญหาในการอ่านเขียนข้อมูลจากหน่วยความจำ




รูป 5.2 วงจร CPU




รูป 5.3 วงจรของหน่วยความจำ




รูป 5.4 แผนผังการใช้หน่วยความจำ

5.6 แป้นกดข้อมูล (Key board)

แป้นกดข้อมูล ประกอบด้วยปุ่มกดจำนวน 20 ปุ่ม เรียงเป็น 4 x 5 แถว แบ่งตามหน้าที่ออกเป็น 2 ชนิดคือ ปุ่มกดตัวเลขฐาน 16 (0,1,2,.....A,B,C,D,E,F) และปุ่มควบคุมการทำงาน (function key) ซึ่งมีชื่อและหน้าที่การทำงานดังนี้

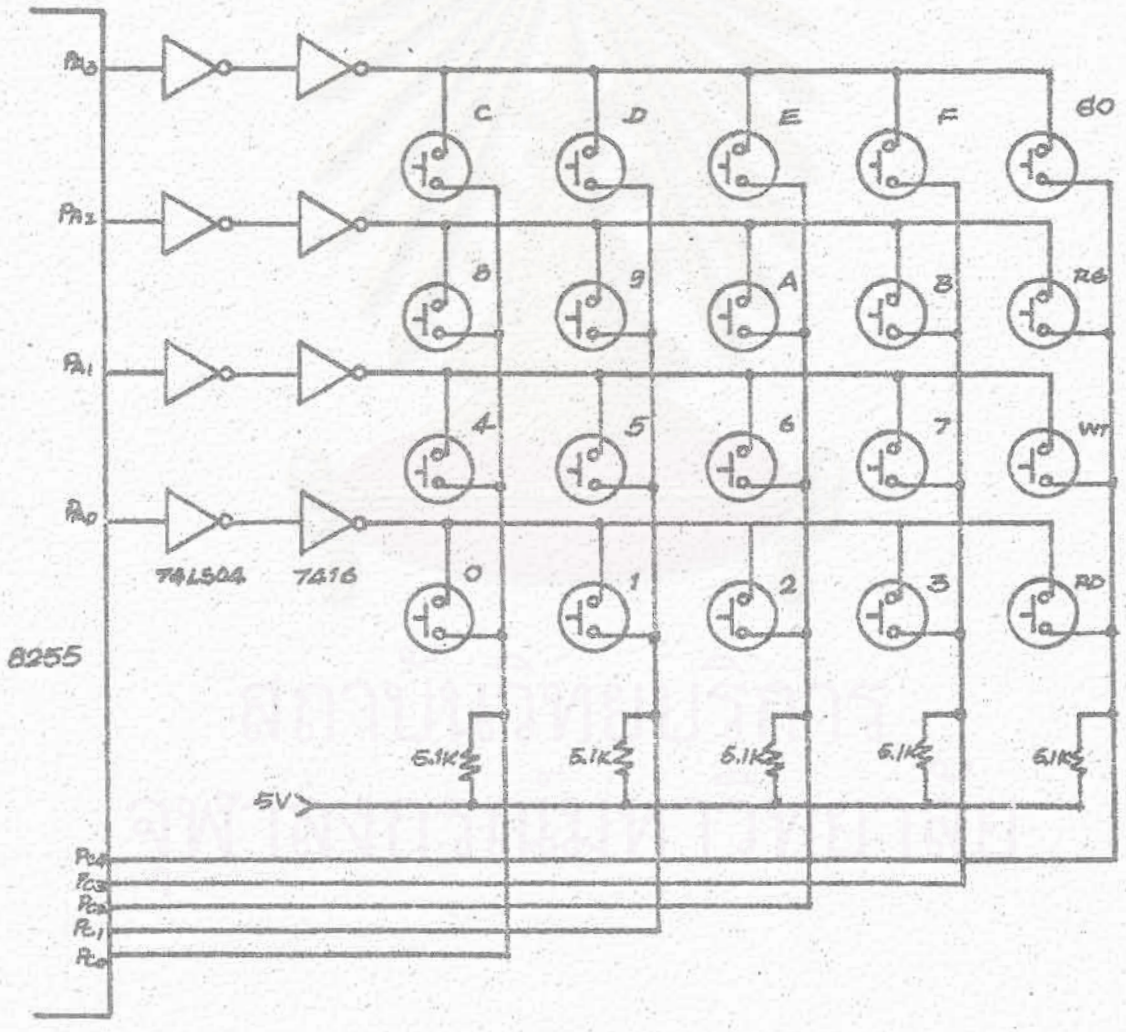
ปุ่ม GO สำหรับเริ่มทำงานตามโปรแกรมที่เขียนไว้ในหน่วยความจำ

ปุ่ม RG สำหรับตรวจข้อมูลในรีจิสเตอร์

ปุ่ม WT สำหรับเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำ

ปุ่ม RD สำหรับอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ

การอ่านข้อมูลที่อินพุทจากแป้นกดข้อมูล ใช้วิธีส่งพัลส์จากพอร์ท A (Port A) ของ 8255 ไปยังแป้นกดข้อมูลแล้วรับพัลส์สัญญาณเข้านั้นจากพอร์ท C เมื่อมีการกดปุ่มบนแป้นกดข้อมูลรหัสของสัญญาณเข้าที่พอร์ท C จะแตกต่างกันไปตามตำแหน่งของปุ่ม วงจรการต่อแป้นกดข้อมูลแสดงในรูปที่ 5.5 และ รหัสสัญญาณเข้าออกจากพอร์ทของ 8255 แสดงในตาราง 5.1 การส่งพัลส์ออกและรับพัลส์เข้าจาก 8255 นี้จะถูกควบคุมด้วยโปรแกรมมอนิเตอร์ การแก้ปัญหาเรื่องดีเบานส์ (debounce) ก็ใช้วิธีการทางซอฟต์แวร์




รูป 5.5 วงจรของแป้นกดข้อมูล

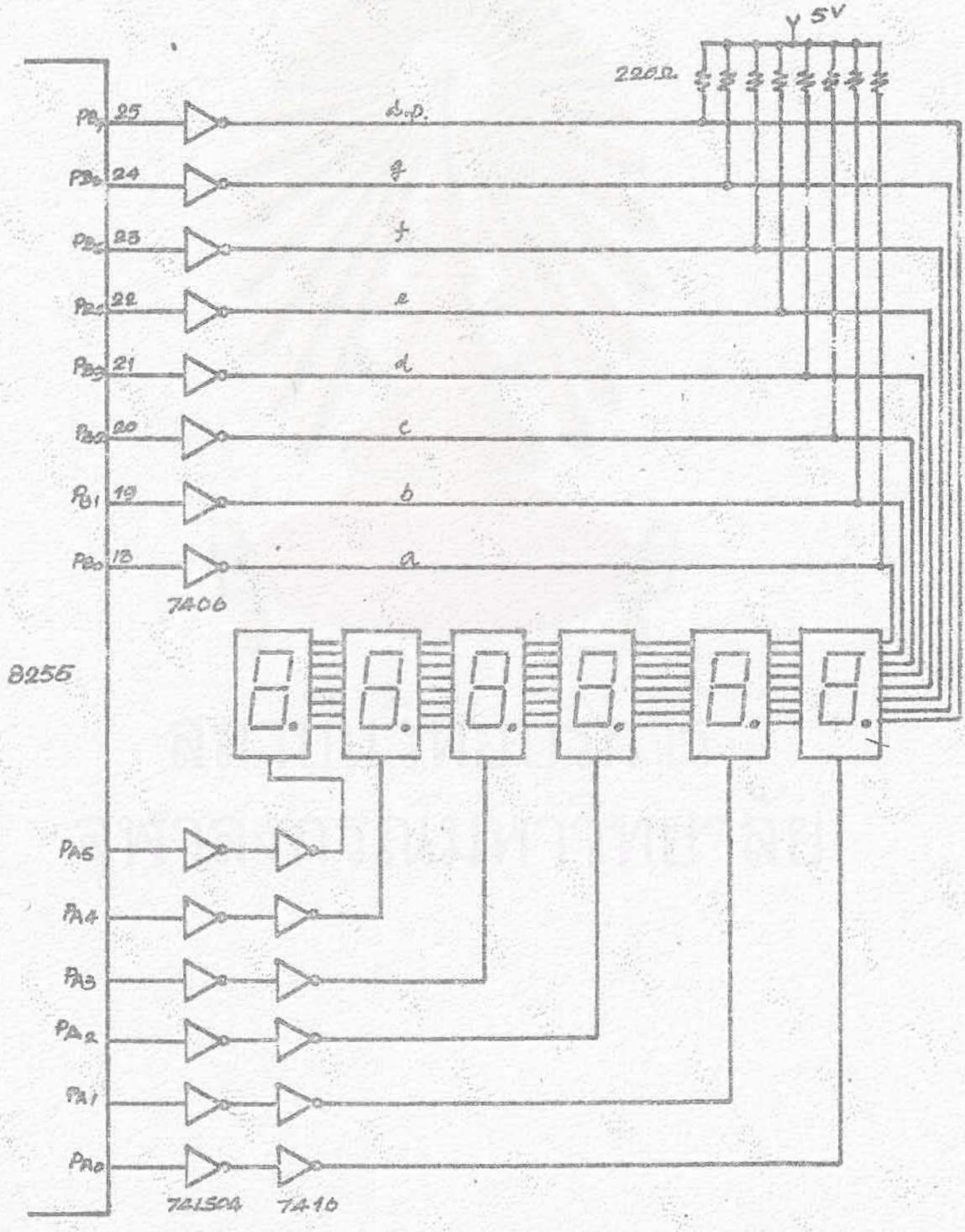
| ปุ่ม | รหัสสัญญาณออก | | | | รหัสสัญญาณเข้า | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $PA_0$ | $PA_1$ | $PA_2$ | $PA_3$ | $PC_0$ | $PC_1$ | $PC_2$ | $PC_3$ | $PC_4$ |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| RD | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| WT | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 8 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| A | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| B | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| RG | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| C | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| E | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| F | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| GO | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

ตาราง 5.1 รหัสของสัญญาณ

5.7 วงจรแสดงผล (Display unit)

วงจรแสดงผลทำหน้าที่แสดงข้อมูลและแอดเดรสภายในหน่วยความจำ และแสดงข้อมูลในรีจิสเตอร์ของ 8080 วงจรแสดงผลเป็นหน่วยเอาท์พุทของระบบ จึงสามารถใช้แสดงข้อมูลของผลลัพธ์คำนวณต่าง ๆ ในโปรแกรมได้ การแสดงผลใช้ไดโอดเปล่งแสง 7 ซีด (seven segment LED) จำนวน 6 ตัว การแสดงผลเป็นแบบมัลติเพลท (multiplex) ข้อมูลจะถูกส่งออกจาก 8255 ที่พอร์ท A และ B สัญญาณที่พอร์ท A จะเลือกตำแหน่งของ LED และสัญญาณจากพอร์ท B จะเป็นข้อมูลที่จะแสดงในตำแหน่งนั้น รูปวงจรแสดงผลแสดงอยู่ในรูปที่5.6 การแสดงผลจะถูกควบคุมโดย

โปรแกรมมอนิเตอร์ ไดโอดเปล่งแสง 7 ซีด แต่ละตัวจะถูกควบคุมให้เปล่งแสงภายในช่วงเวลา 1 มิลลิวินาที (mS) เมื่อจบสิ้นการแสดงผลของไดโอดทุกตัวในหนึ่งไซเคิล พอร์ท A จะนำไปใช้ในการอ่านข้อมูลจากแป้นกดข้อมูลซึ่งจะใช้เวลาอันสั้น แล้วจึงกลับมาควบคุมวงจรแสดงผลอีกทีหนึ่ง ด้วยที่วิธีการเช่นนี้จึงมองเห็นไดโอดเปล่งแสงแสดงข้อมูลอยู่ตลอดเวลา ไดโอดจะดับเมื่อไมโครคอมพิวเตอร์ออกจากมอนิเตอร์ไปทำงานในโปรแกรมอื่นที่เขียนในหน่วยความจำ




รูป 5.6 วงจรภาคแสดงผล

5.8 โปรแกรมมอนิเตอร์

5.8.1 หน้าที่ของมอนิเตอร์

มอนิเตอร์เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของไมโครคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดี่ยว หน้าที่สำคัญ สามารถแยกเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

1. ควบคุมการเริ่มต้นทำงานของระบบ (initialize)
2. แยกต้นเหตุการอินเตอรัพท์และให้ไมโครคอมพิวเตอร์กระโดดไปทำงานตามที่กำหนดไว้
3. ควบคุมการทำงานในภาวะคำสั่งเดี่ยว
4. ควบคุมการอ่านข้อมูลจากแป้นกดข้อมูล
5. แยกชนิดของข้อมูลจากแป้นกดข้อมูล และทำงานตามคำสั่งของปุ่มควบคุมการทำงาน
6. ควบคุมการแสดงผลที่วงจรแสดงผล

5.8.2 หน้าที่ของปุ่มควบคุมการทำงาน

เมื่อกดสวิทช์รีเซทของระบบ ที่ไดโอดเปล่งแสงจะแสดง เลข "0" เล็ก ๆ จำนวน 6 ตัว แสดงว่า ระบบพร้อมที่จะรับข้อมูลเข้าและทำงาน ปุ่มควบคุมการทำงานบนแป้นกดข้อมูลทั้ง 4 ปุ่ม มีไว้ควบคุมการทำงานของไมโครคอมพิวเตอร์ หน้าที่ของปุ่มเหล่านี้ดังนี้

1. ปุ่มตัวเลขฐาน 16 เมื่อกดปุ่มตัวเลขใด ตัวเลขตัวแรกจะปรากฏที่ไดโอดเปล่งแสงหลักขวาสุด เมื่อกดปุ่มตัวเลขครั้งต่อไป ตัวเลขใหม่จะปรากฏที่หลักขวาสุดแทนตัวเลขเก่า และตัวเลขเก่าเลื่อนไปแสดงที่ไดโอดตัวถัดไป เราสามารถกดตัวเลขติดต่อกันเพียง 4 ครั้งเท่านั้น ถ้ากดมากกว่านี้ตัวเลขตัวแรก ๆ จะถูกเลื่อนหายไป และไม่ถูกบันทึกในหน่วยความจำ

2. ปุ่ม RD เป็นปุ่มที่ใช้อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ เมื่อเรากดตัวเลขฐาน 16 จำนวน 4 ตัว ซึ่งตรงกับแอดเดรสในหน่วยความจำที่ต้องการทราบข้อมูลภายใน แล้วกดปุ่ม RB ตัวเลขแสดงแอดเดรส 4 หลักจะเลื่อนไปแสดงที่ไดโอดเปล่งแสง 4 ตัว ทางด้านซ้ายมือ และข้อมูลที่เก็บในแอดเดรสนั้นจะถูกอ่านและนำมาแสดงที่ไดโอดเปล่งแสง 2 ตัวทางด้านขวามือ ถ้ากดปุ่ม RD อีกครั้งค่าแอดเดรสจะเพิ่มหนึ่ง และข้อมูลในแอดเดรสถัดไปก็จะถูกนำมาแสดง ดังนั้น ปุ่ม RD จึงทำหน้าที่เซท (set) แอดเดรส และช่วยในการอ่านข้อมูลในหน่วยความจำ

3. ปุ่ม WT เป็นปุ่มที่ใช้ในการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำ เมื่อต้องการเขียนข้อมูลใหม่ในหน่วยความจำ ให้ทำการเซทแอดเดรสด้วยปุ่ม RD แล้วกดตัวเลขข้อมูลใหม่เข้าไปตัวเลขใหม่จะปรากฏที่ไดโอดเปล่งแสงด้านขวาสุดสองหลัก เมื่อกดปุ่ม WT ข้อมูลใหม่จะถูกเขียนเข้าไปในหน่วยความจำตรงแอดเดรสนั้น

4. ปุ่ม GO เป็นปุ่มที่ใช้ในการสตาร์ทโปรแกรม เมื่อเซทแอดเดรสเริ่มต้นของโปรแกรมที่เราเขียนไว้ด้วยปุ่ม RD แล้วกดปุ่ม GO ไมโครคอมพิวเตอร์จะทำงานตามโปรแกรมนั้น

5. ปุ่ม RG เป็นปุ่มที่ใช้ตรวจข้อมูลในรีจิสเตอร์ เมื่อกดปุ่ม RG แล้วต้องกดปุ่มตัวเลขเพื่อบอก ชนิดของรีจิสเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

RG , 0 แอคคิวมูเลเตอร์ และแฟลกรีจิสเตอร์

RG , 1 รีจิสเตอร์ B, C
RG , 2 รีจิสเตอร์ D, E
RG , 3 รีจิสเตอร์ H, L
RG , 4 สแตทพอยเตอร์ SP
RG , 5 โปรแกรมเคาว์เตอร์ PC

ข้อมูลในรีจิสเตอร์จะถูกแสดงออกมาที่ไดโอดเปล่งแสง 4 ตัวทางด้านขวา และ 2 ตัว ทางด้านซ้ายจะแสดงอักษรแสดงชื่อของรีจิสเตอร์นั้น

5.8.3 บริเวณในหน่วยความจำที่มอนิเตอร์ใช้งาน

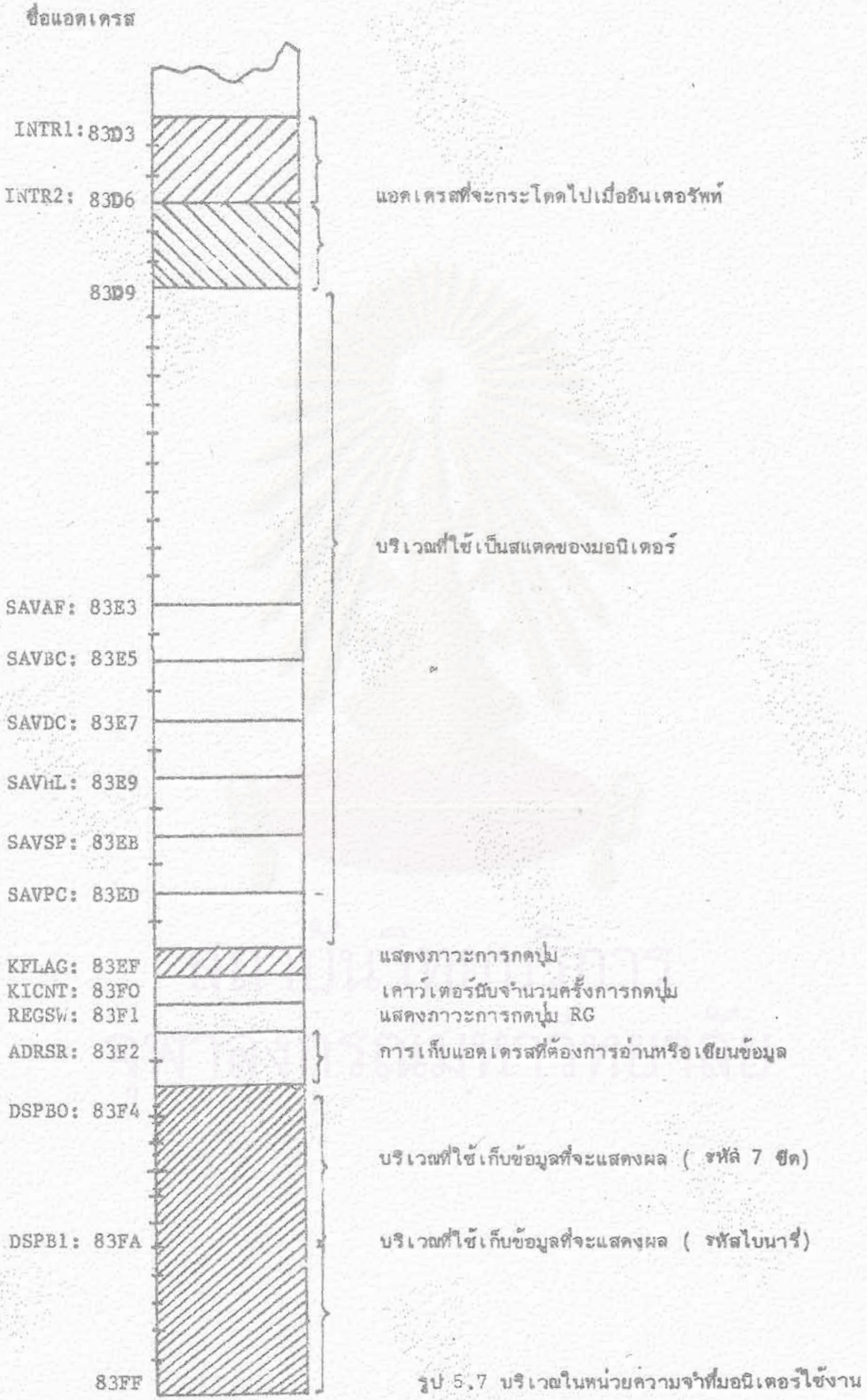
เมื่อไมโครคอมพิวเตอร์ทำงานในมอนิเตอร์โปรแกรม จำเป็นต้องมีการอ่านเขียนหน่วยความจำเพื่อเก็บรักษาและอ่านข้อมูลหลายชนิด อาณาเขตการใช้งานของมอนิเตอร์ในหน่วยความจำนี้ มีบริเวณตั้งแต่ แอดเดรส $(83D3)_{16}$ ถึง $(83FF)_{16}$ ผู้ใช้ไม่สามารถเขียนโปรแกรมลงในบริเวณนี้ได้รายละเอียดของบริเวณการใช้งานของมอนิเตอร์ แสดงในรูป 5.7 INTR1 และ INTR2 เป็นบริเวณขนาด 3 ไบท์ ภายในจะเก็บคำสั่ง JMP และแอดเดรสที่จะกระโดดไป เมื่อเกิดการอินเตอร์รัพท์จากภายนอก SAVAF, SAVBC.....SAVPC เป็นบริเวณที่ใช้เก็บข้อมูลของรีจิสเตอร์สแตทพอยเตอร์ และโปรแกรมเคาว์เตอร์ เมื่อทำงานในภาวะคำสั่งเดียว บริเวณที่เหลือข้างบนอีก 10 ไบท์เป็นบริเวณที่ใช้เป็นสแตท (stack area) ของมอนิเตอร์

แอดเดรส $(83FF)_{16}$ ซึ่งมีชื่อเรียกว่า KFLAG ใช้เป็นรีจิสเตอร์ที่แสดงภาวะการกดปุ่มของแป้นข้อมูล KICNT เป็นรีจิสเตอร์ที่ไว้ใช้นับจำนวนครั้งของการกดปุ่มตัวเลขฐาน 16 REGSW เป็นรีจิสเตอร์แสดงภาวะการกดปุ่ม RG, ADRSR เป็นรีจิสเตอร์ที่ไว้เก็บแอดเดรสที่ต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูล

DSPB0 และ DSPB1 เป็นบริเวณที่มอนิเตอร์ใช้เก็บข้อมูลที่จะแสดงผล DSPB1 เป็นที่เก็บข้อมูลที่เป็นรหัสไบนารี ส่วน DSPB0 เป็นที่เก็บข้อมูล รหัส 7 ซีก ตัวเลขหรือตัวอักษรที่จะปรากฏที่ไดโอดเปล่งแสงจะถูกนำมาเก็บไว้ใน DSPB1 และถูกถอด รหัสให้เป็นรหัส 7 ซีก แล้วจึงถูกส่งออกไปแสดงที่วงจรแสดงผล

5.8.4 โฟลชาร์ทของมอนิเตอร์

โฟลชาร์ทแบบง่าย ๆ ของมอนิเตอร์ แสดงในรูป 5.8 ทางเข้าสู่โปรแกรมมอนิเตอร์มีสองทาง ทางแรกจะเริ่มที่แอดเดรส $(0000)_{16}$ เมื่อกดปุ่มรีเซทระบบไมโครคอมพิวเตอร์จะเริ่มทำงานจากแอดเดรสนี้ ทางเข้าอีกทางคือที่แอดเดรส $(0038)_{16}$ เมื่อ $8080_A$ ได้รับสัญญาณอินเตอรัพท์จะกระโดดมาทำงานจากแอดเดรสนี้เสมอ มอนิเตอร์จะหาสาเหตุของที่มาของสัญญาณอินเตอรัพท์จะเป็น




รูป 5.7 บริเวณในหน่วยความจำที่มอนิเตอร์ใช้งาน

เพราะสวิทช์คำสั่งเดียว หรือเป็นการอินเตอรัพท์จากภายนอก ถ้าเป็นอินเตอรัพท์จากภายนอกก็ต้องแยกต่อไปว่าเป็น INTR1 หรือ INTR2 วิธีการแยกก็ใช้การอ่าน ระหัสอินเตอรัพท์จากพอร์ท C ของ 8255 ซึ่งสัญญาณการขออินเตอรัพท์จากภายนอกจะถูกบันทึกไว้ เมื่อรู้ต้นเหตุของการอินเตอรัพท์ ไมโครคอมพิวเตอร์จะกระโดดไปทำงานที่ตำแหน่งที่กำหนดไว้อย่างถูกต้อง ถ้าสาเหตุของการอินเตอรัพท์เป็นผลจากสวิทช์คำสั่งเดี่ยว การทำงานของมอนิเตอร์จะเข้าสู่ MONTR ซึ่งเป็นโปรแกรมหลักของมอนิเตอร์

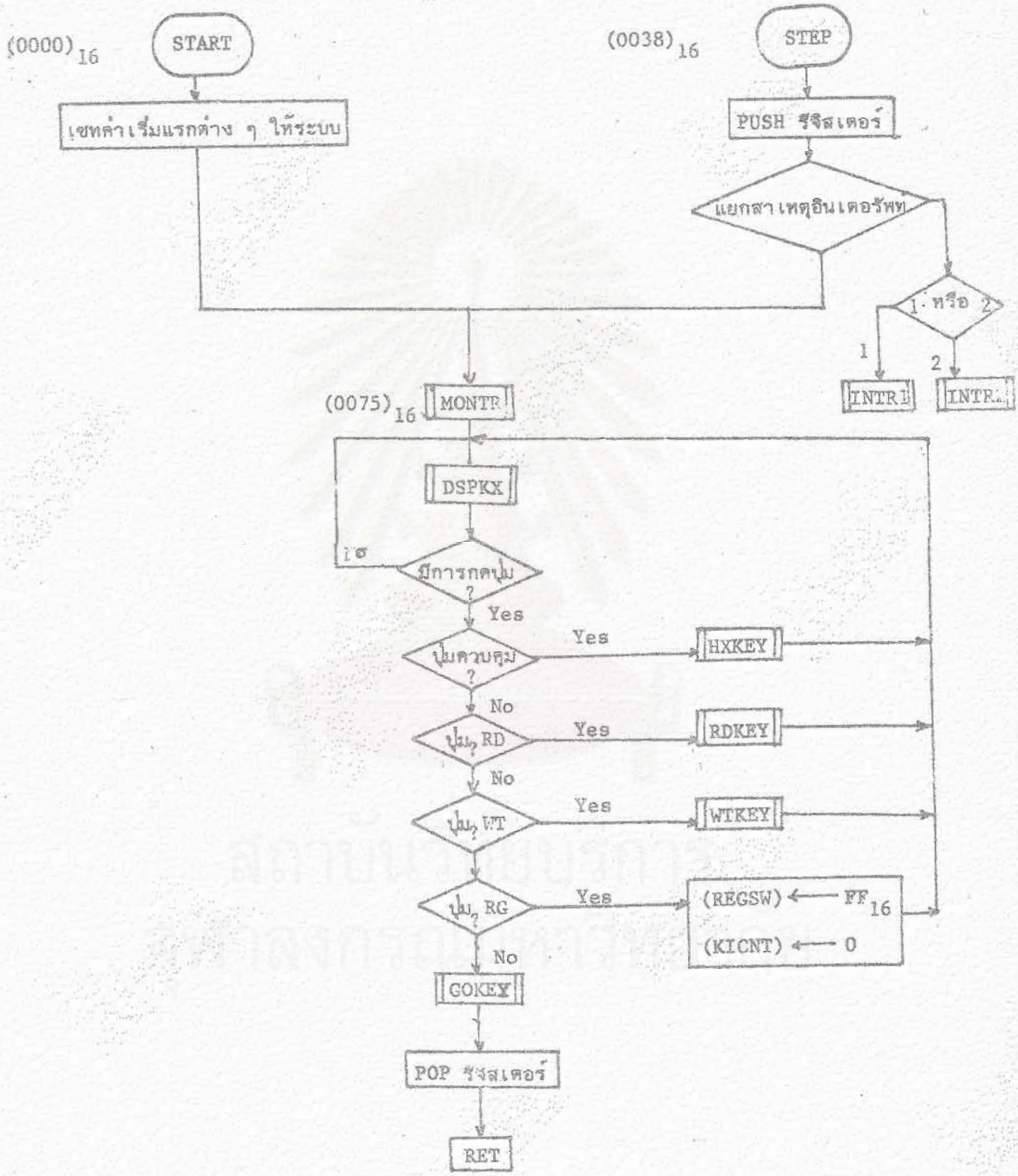
DSPKX เป็นโปรแกรมย่อย ซึ่งทำหน้าที่ แสดงผลและรับสัญญาณเข้าจากแป้นกดข้อมูล เมื่อออกจากโปรแกรมย่อย แล้ว จะมีการทดสอบว่าได้มีการกดปุ่มที่แป้นกดปุ่มข้อมูลหรือไม่ ถ้าไม่มีก็จะกลับไปทำงานใน DSPKX เพื่อแสดงผลและรับสัญญาณจากแป้นกดข้อมูลอีก วนเวียนไปเช่นนี้ เราจึงเห็นไดโอดเปล่งแสงแสดงผลอยู่ตลอดเวลา รายละเอียดของโปรแกรมย่อม DSPKX แสดงด้วยโฟลชาร์ทในรูป5.9

ในกรณีที่มีการกดปุ่ม จะมีการทดสอบเพื่อให้รู้ว่าเป็นปุ่มชนิดใด ถ้าเป็นปุ่มตัวเลขมอนิเตอร์จะกระโดดไปทำงานที่โปรแกรมย่อย HXKEY ซึ่งมีหน้าที่เลื่อนข้อมูลที่จะแสดงไปข้างหน้าหนึ่งหลัก และนำข้อมูลตัวเลขใหม่ไปแสดงที่ตำแหน่งขวาสุด นอกจากนั้นยังมีกรณีที่เป็นการกดปุ่มตัวเลขหลังจากกดปุ่ม RG ซึ่งโปรแกรมย่อยนี้จะต้องควบคุมการแสดงผลของค่าในรีจิสเตอร์ต่าง ๆ รายละเอียดของ HXKEY แสดงด้วยโฟลชาร์ทในรูป5.10

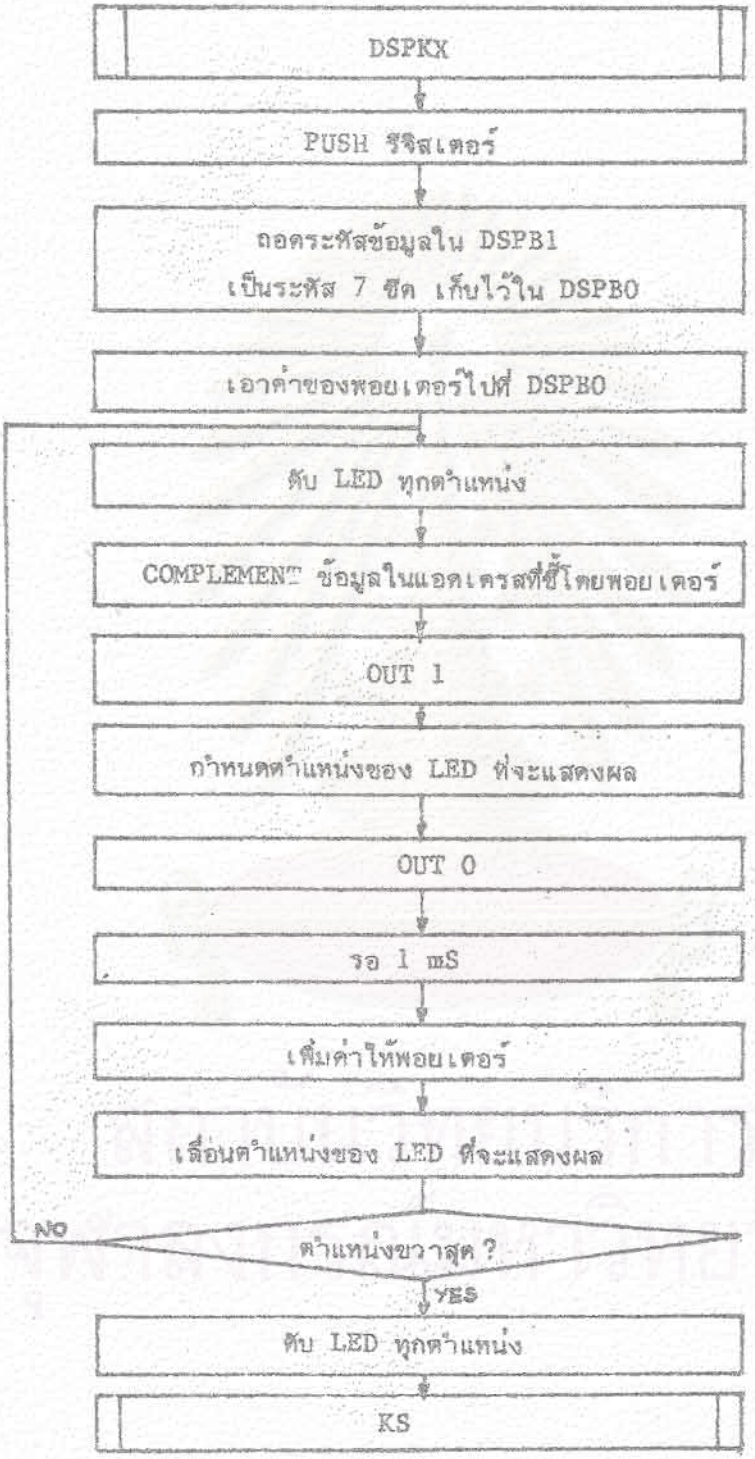
ถ้าปุ่มที่กดเป็น RD หรือ WT มอนิเตอร์จะกระโดดไปทำงานที่โปรแกรมย่อย RDKEY และ WTKEY ตามลำดับ โปรแกรมย่อยนี้จะควบคุมการอ่านเขียนข้อมูลในหน่วยความจำ และการเลื่อนข้อมูลที่จะแสดง โฟลชาร์ทของทั้งสองโปรแกรมย่อยแสดงในรูป5.11

ถ้าปุ่มที่กดเป็น RG แสดงว่าผู้กดต้องการดูข้อมูลในรีจิสเตอร์ต่าง ๆ ของ 8080 รีจิสเตอร์ใช้งานของมอนิเตอร์ REGSW และ KICNT จะถูกเซทและรีเซท ก่อนกลับไปทำงานในโปรแกรมย่อย DSPKX

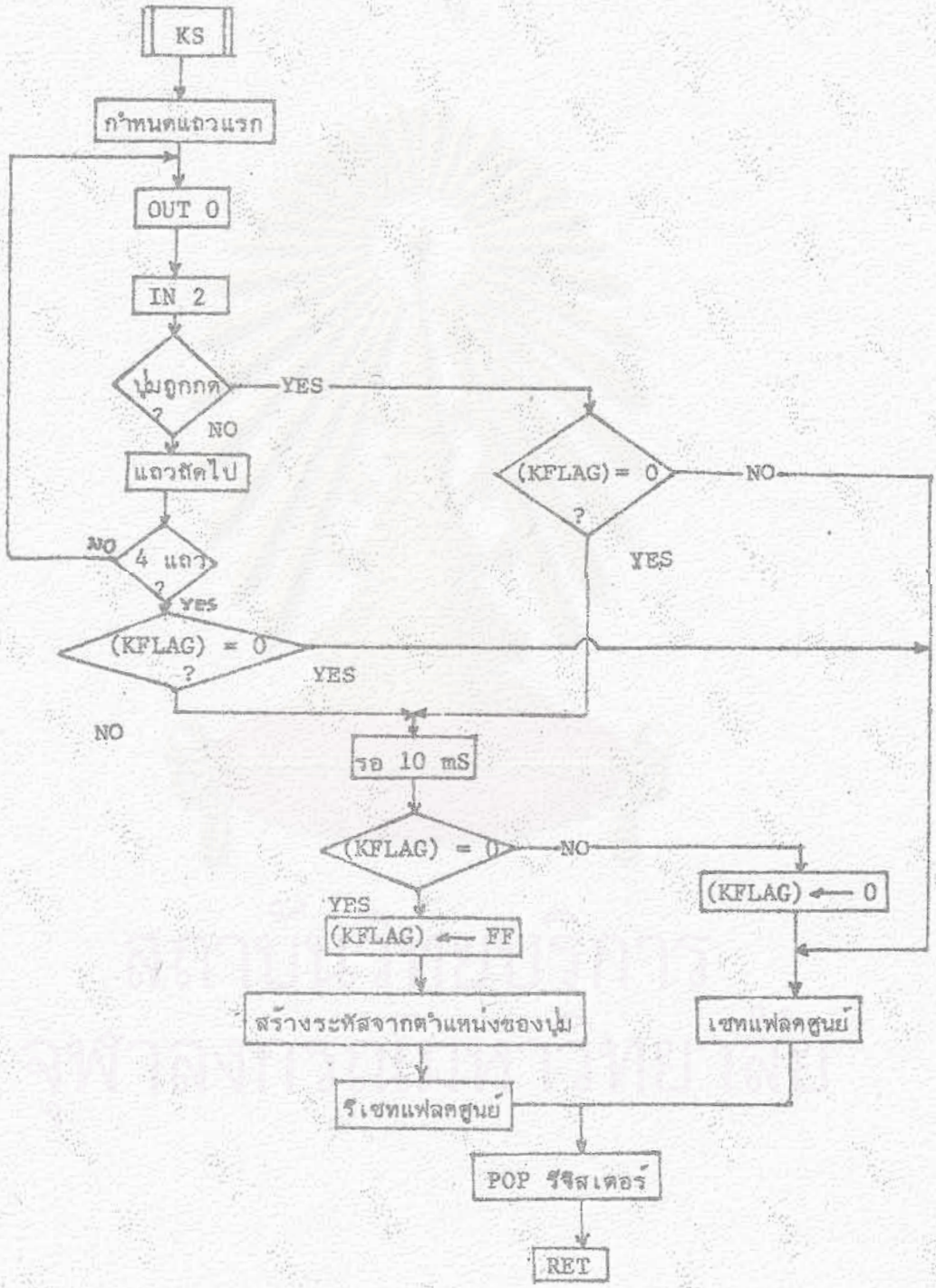
เมื่อทดสอบทุกกรณีแล้ว ก็ยังไม่ใช่ปุ่มที่กล่าวมาข้างต้น แสดงว่าเป็นปุ่ม GO มอนิเตอร์จะพอป (POP) ค่าของรีจิสเตอร์ต่าง ๆ ที่เก็บไว้ในสแตค แล้วกลับเข้าไปทำงานในโปรแกรมเดิมซึ่งเขียนไว้ในหน่วยความจำ



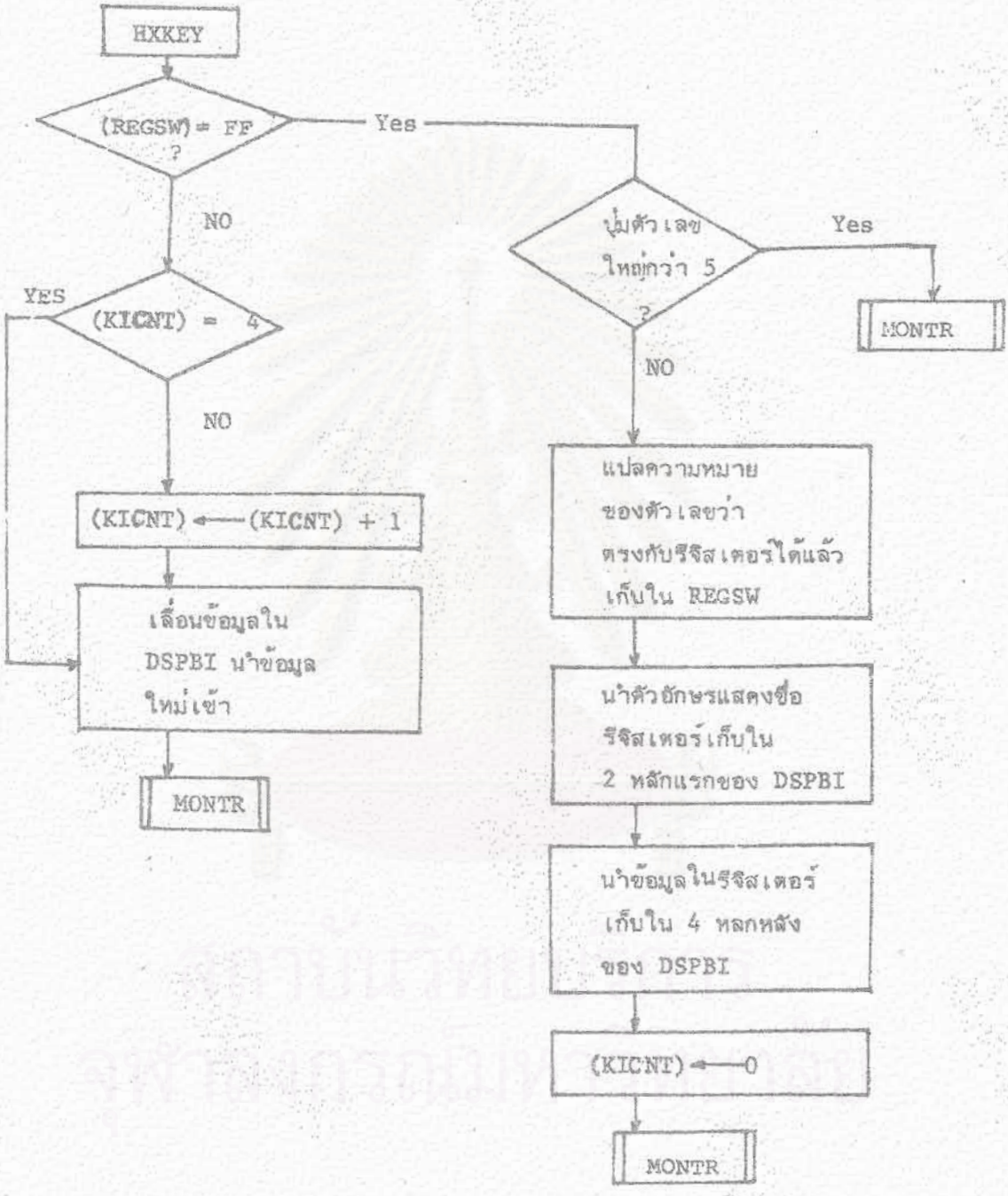

รูป 5.8 โฟลชาร์ทของโปรแกรมมอนิเตอร์



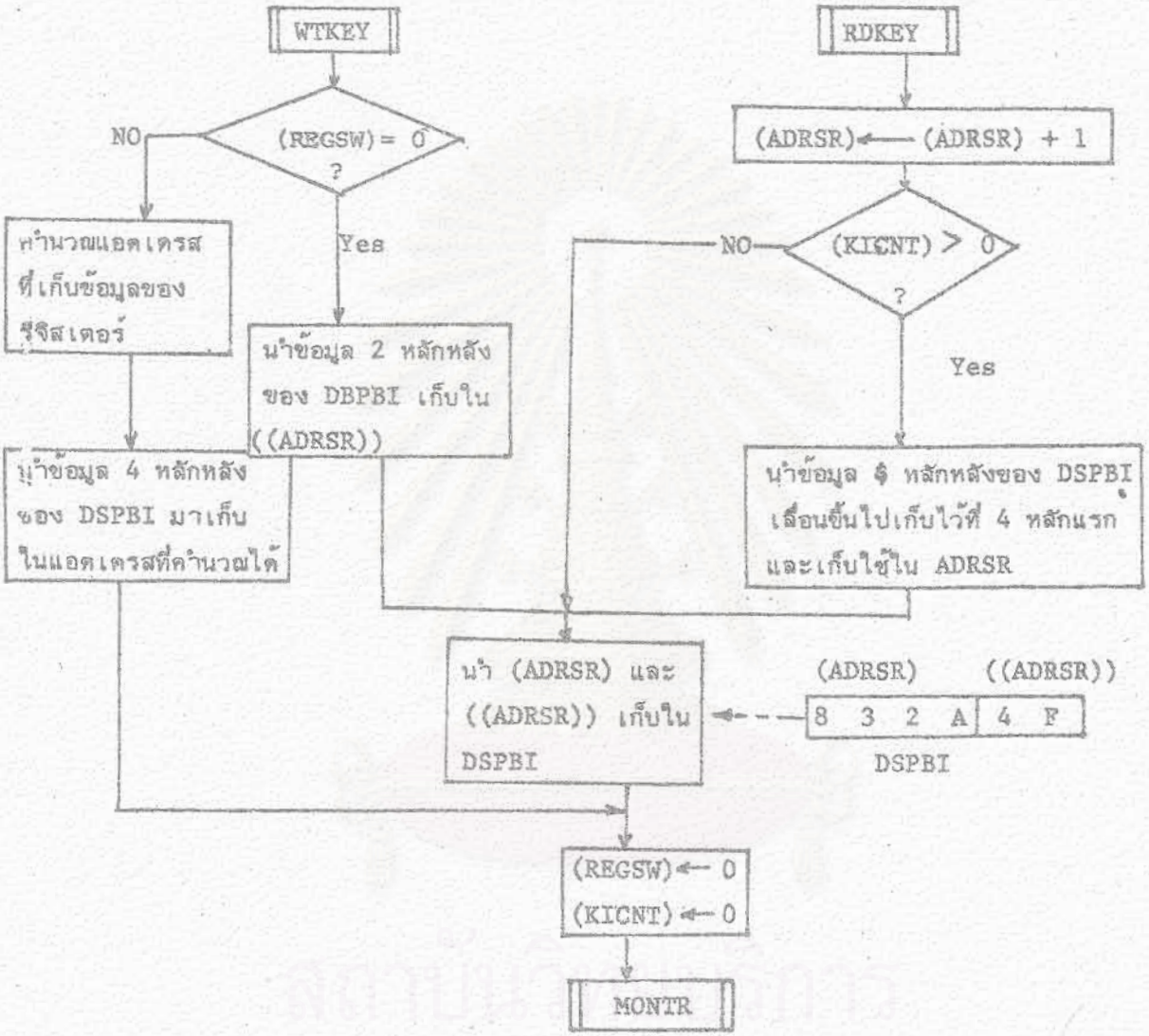

รูป 5.9 โฟลชาร์ทของ DSPKX




รูป 5.10 โฟลชาร์ทของ DSPKX (ต่อ)




รูป 5.11 โฟลชาร์ทของ HXKEY




รูป 5.12 โฟลชาร์ทของ RDKEY และ WTKEY

5.9 การประกอบวงจรและคู่มือการใช้งาน

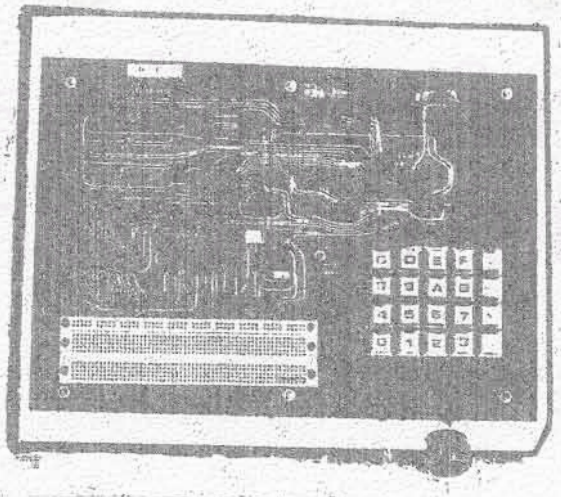
วงจรทั้งหมดของ CU.80 ตั้งแต่ วงจร CPU วงจรหน่วยความจำ แป้นกดข้อมูล วงจรแสดงผล ได้ถูกออกแบบให้บรรจุลงในแผ่นวงจรพิมพ์แผ่นเดียว ขนาด 12x10 นิ้ว แผ่นวงจรพิมพ์เป็นชนิดกลาสเอพอคซี (glass epoxy printed circuit board) มีแผ่นทองแดงทั้งสองหน้า การที่นำวงจรทั้งหมดลงในแผ่นวงจรพิมพ์นี้ เพื่อความสะดวกในการประกอบวงจรและเพื่อให้นิสิตที่ใช้งานเครื่องได้เห็นอุปกรณ์และองค์ประกอบทั้งหมดของเครื่อง จะได้เกิดความเคยชินกับองค์ประกอบวงจรเหล่านี้

รูป 5.13 เป็นรูปถ่ายของเครื่อง CU.80 จะเห็นว่าบนบอร์ดทางด้านล่างซ้ายมือจะมีแผ่นต่อวงจรติดอยู่ เส้นสัญญาณสำคัญของบัสทั้งสามจะโยงมาที่จุดต่าง ๆ ของแผ่นต่อวงจรนี้ เมื่อต้องการทดลองการต่ออาร์ดแวร์ หรือต้องการขยายระบบก็สามารถต่อเส้นสัญญาณเหล่านี้ออกมาจากแผ่นต่อวงจรได้โดยตรงทำให้มีความสะดวกและเกิดความรวดเร็วมากในการทดลอง

แผ่นวงจรพิมพ์ทั้งแผ่นจะถูกยึดติดกับกล่องเหล็ก ภายในกล่องเหล็กจะมีวงจรแหล่งจ่ายไฟ ซึ่งประกอบด้วยหม้อแปลง สวิทช์ ฟิวส์ วงจรเร็คติไฟย์และวงจรเร็คคูเลเตอร์

เพื่อความสะดวกในการใช้เครื่อง ได้จัดทำคู่มือการใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ CU.80 (17) ภายในมีอธิบายรายละเอียดของเครื่อง วิธีการและขั้นตอนการป้อนโปรแกรม การอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ การเอ็คซีคิวท์โปรแกรมทั้งแบบอัตโนมัติและแบบทีละคำสั่ง คู่มือนี้ทำให้นิสิตสามารถใช้เครื่องได้ โดยไม่ต้องปรึกษาอาจารย์

นอกจากนั้น ยังได้แต่งตำรา "การเขียนโปรแกรมสำหรับไมโครโปรเซสเซอร์ 8080" (18) ไว้ให้นิสิตอ่านเพื่อทำความเข้าใจกับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาเครื่อง ตำราเล่มนี้มีเนื้อหาง่าย ๆ การเขียนจะเน้นขั้นตอน เหมาะสำหรับให้นิสิตอ่านศึกษาเอง ควบคู่กับการใช้เครื่อง CU.80



รูป 5.13 รูปถ่ายของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดียว CU.80

## 5.10 สรุป

บทนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบและทดลองสร้างไมโครคอมพิวเตอร์แผ่นพิมพ์เดียว เพื่อใช้ฝึกทดลองในห้องปฏิบัติการ โครงสร้างวงจรง่ายใช้อุปกรณ์ไม่มากนัก สามารถสร้างขึ้นเองได้ในราคาย่อมเยาว์ ไมโครโปรเซสเซอร์ อินเทล 8080A ถูกเลือกใช้เป็น CPU ทำให้ผู้ทดลองใช้สามารถเรียนรู้วิธีโปรแกรมได้อย่างรวดเร็ว ขนาดของหน่วยความจำเป็น ROM 1 กิโลไบท์ และ RAM 1 กิโลไบท์ มีขนาดใหญ่พอที่จะใช้ในการฝึกทดลองในห้องปฏิบัติการ ในกรณีที่ต้องนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านการควบคุมก็สามารถขยายระบบออกได้โดยง่าย CU 80 เป็นเครื่องแบบของชุดทดลองไมโครโปรเซสเซอร์ ที่ใช้ในการฝึกสอนนิสิตในภาควิชาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ได้เล็งเห็นความสำคัญของวิทยาการทางด้านนี้จึงอนุมัติเงินจำนวนหนึ่งในการผลิต CU 80 จำนวน 10 เครื่อง เพื่อใช้ในการฝึกสอนให้แก่นิสิตในภาควิชา ปัจจุบันเครื่องเหล่านี้ยังถูกใช้เป็นเครื่องมือประกอบการวิจัยระบบไมโครโปรเซสเซอร์ของอาจารย์ นิสิต ด้วย

ปัญหาที่ประสพในปัจจุบันได้แก่การขาดเทคนิคการทำแผ่นวงจรพิมพ์สองด้าน ชนิดเพลททรู (plate through hole printed circuit) ที่มีความเชื่อถือได้สูง ในการประกอบวงจรประเภทวงจรดิจิตัล การเดินสายภายในแผ่นวงจรมีมากมายจนไม่สามารถใช้แผ่นวงจรพิมพ์ด้านเดียวได้ นอกจากนั้นยังมีปัญหาเรื่องโปรแกรมมอนิเตอร์ ยังขาดประสิทธิภาพและความสะดวกในการใช้งานบ้าง ในบางจุดจำเป็นต้องมีการปรับปรุงแก้ไขในระยะต่อไป

# บทที่ 6

## เครื่องโปรแกรม EPROM และเครื่องลบโปรแกรม

### 6.1 บทนำ

ตามปรกติไมโครโปรเซสเซอร์เป็นหัวใจของระบบไมโครคอมพิวเตอร์ทั่ว ๆ ไป และหน่วยความจำเปรียบเสมือนสมองของระบบ ซึ่งมีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าตัวไมโครโปรเซสเซอร์เอง หน้าที่ของหน่วยความจำในระบบไมโครคอมพิวเตอร์ คือ เป็นที่เก็บโปรแกรม หรือ กลุ่มของคำสั่งที่จะให้ CPU ทำงาน และเป็นที่เก็บข้อมูลชั่วคราว หน่วยความจำที่นิยมใช้กันในระบบไมโครคอมพิวเตอร์มักเป็นหน่วยความจำชนิดสารกึ่งตัวนำ แบ่งออกได้เป็น 2 ตระกูลคือ ROM (Read - Only MeMory) และ RAM (Rondom Access Memory) ROMเป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลได้อย่างถาวร มักจะไว้ใช้เก็บโปรแกรมหลักของระบบส่วน RAM เป็นหน่วยความจำที่เก็บข้อมูลชั่วคราว เมื่อดับไฟ ข้อมูลที่เก็บไว้จะสูญหายไปตามปรกติมักใช้เป็นที่เก็บโปรแกรมหรือข้อมูลชั่วคราวซึ่งต้องการใช้งานในขณะนั้น

ROM ก็ยังแบ่งออกได้เป็นหลายชนิดตามโครงสร้าง การโปรแกรมและการลบ ROM บางชนิดจะถูกโปรแกรมมาจากโรงงานผู้ผลิต เมื่อใช้งานจะนำมาใช้ในการอ่านข้อมูลอย่างเดียว ROM บางชนิด ผู้ใช้สามารถนำมาโปรแกรมข้อมูลเข้าไปได้ แต่จะทำการลบข้อมูลนั้นไม่ได้แล้วเรียกว่า PROM (Programmable ROM) ROM บางชนิด ผู้ใช้สามารถตั้งโปรแกรมและลบโปรแกรมนั้นได้ การลบจะใช้แสงอุลตราไวโอเลท เรียก ROM ชนิดนี้ว่า EPROM (Erasble Programmovle ROM)[19] ปัจจุบัน EPROM มีราคาถูกลง และเป็นที่นิยมใช้ทั่วไป ในระบบไมโครคอมพิวเตอร์ แต่การใช้งาน EPROM เหล่านี้ จำเป็นต้องมีเครื่องพิเศษสำหรับการป้อนโปรแกรม เครื่องโปรแกรม EPROM ทั่ว ๆ ไปมักจะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ ในการควบคุมทั้งสิ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะวงจรของเครื่องจะง่ายลง และทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับเครื่องลบโปรแกรม มักเป็นหลอดกำเนิดแสงอุลตราไวโอเลทและวงจรควบคุมการจุดหลอด

ในโครงการนี้ ได้ทดลองสร้างเครื่องโปรแกรม EPROM โดยทำเป็นวงจรเสริมต่อจากเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ แผ่นพิมพ์เดี่ยว CU 80 เครื่องโปรแกรม EPROM นี้ จะถูกควบคุมการทำงานโดย CU80 พร้อมกันได้ทำเครื่องลบโปรแกรมแบบง่าย ๆ ขึ้นด้วย เครื่องโปรแกรม EPROM นี้ ใช้ประโยชน์ในงานวิจัยและพัฒนาระบบไมโครโปรเซสเซอร์ของอาจารย์และนิสิตในภาควิชา

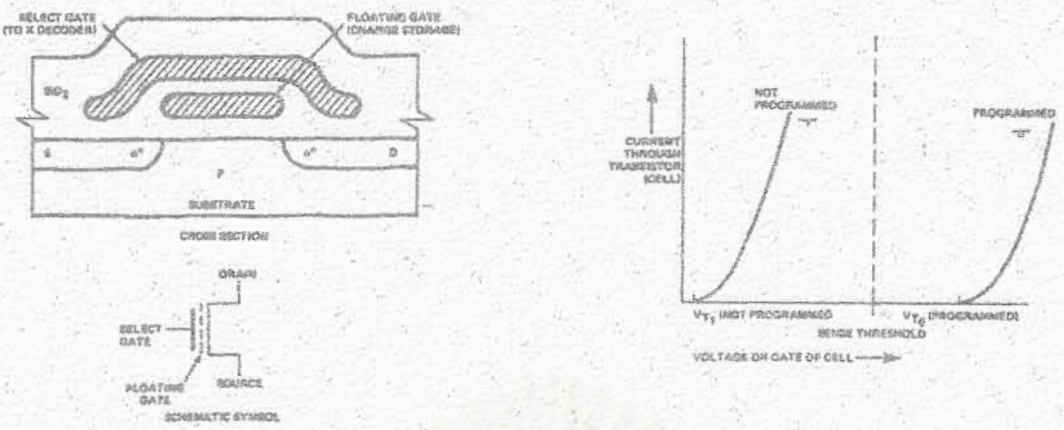
6.2 EPROM 2708 และ 2716

EPROM ที่กล่าวต่อไปคือ EPROM เบอร์ 2708 และ 2716 ทั้งคู่เป็น EPROMที่มีโครงสร้างภายในทำด้วย MOSPET 2708 เป็นหน่วยความจำขนาด 1024x8 บิท ส่วน 2716 มีขนาด 2048-x 8 บิท ทั้งสองเบอร์นี้เป็นเบอร์ที่ได้รับความนิยมกันอยู่กันในปัจจุบัน มีบริษัทผู้ผลิตหลายบริษัท ทั้งอเมริกาและญี่ปุ่น สามารถหาซื้อได้ในท้องตลาดในประเทศ EPROM ทั้งสองเบอร์นี้สามารถลบข้อมูลภายในโดยใช้แสงอุลตราไวโอเลท ส่วนบนของไอซีจะมีกระจกโปร่งใสมองเห็นส่วนประกอบภายในเพื่อให้แสงผ่านเข้าไปได้เมื่อต้องการลบข้อมูลภายใน เมื่อโปรแกรมเสร็จเรียบร้อยต้องปิดช่องกระจกนี้เพื่อไม่ให้แสงจากภายนอกเล็ดลอดเข้าไปทำลายข้อมูลได้

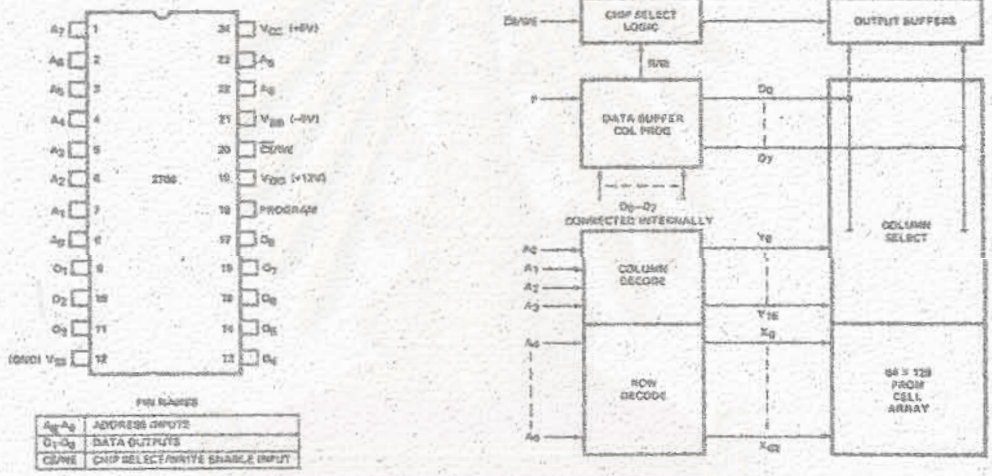
รูป 6.1 ก) แสดงเซลหน่วยความจำ 1 เซล ซึ่งอยู่ภายใน โครงสร้างจะเหมือน MOSFET ทั่วไป เพียงแต่เพิ่มส่วนที่เป็นเกทลอย (Floating gate) ฝังอยู่ในชั้นออกไซด์ ทำหน้าที่เก็บประจุโดยไม่ต่อกับวงจรส่วนอื่น ส่วนเกทเลือก (select gate) จะต่อมาจากวงจรถอดรหัส ภายในตัวไอซีอีกทีหนึ่ง เมื่อเซลยังไม่ถูกโปรแกรมเกทลอยจะไม่มีประจุเก็บไว้ ข้อมูลจะเป็น "1" กร๊าฟลักษณะสมบัติจะเป็นดังแสดงใน รูป 6.1 (ข) (กร๊าฟที่เขียนกำกับว่า NOT programmed "1") เมื่อเราป้อนแรงดันที่ระดับ Sense threshold ที่เกทเลือก จะทำให้ FET นำกระแสได้ดีมาก จึงอ่านข้อมูลออกมาเป็น "1" การโปรแกรมเซลหน่วยความจำนี้สามารถทำได้โดยการปล่อยประจุเก็บไปเกทลอย เซลจะมีภาวะเป็น "0" และกร๊าฟ ลักษณะสมบัติจะเป็นกร๊าฟทางด้านขวามือของรูป 6.1-(ข) ขณะนี้ถ้าป้อนแรงดันระดับ sense threshold เข้าไป FET จะไม่นำกระแส ข้อมูลที่อ่านได้จึงเป็น "0" ดังนั้นการโปรแกรมหน่วยความจำปิดนี้จึงเป็นการเลื่อนกร๊าฟลักษณะสมบัติไปทางขวามือหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งเป็นการเปลี่ยนค่าแรงดัน threshold ให้มีระดับสูงขึ้นนั่นเอง[13]

6.2.1 EPROM 2708

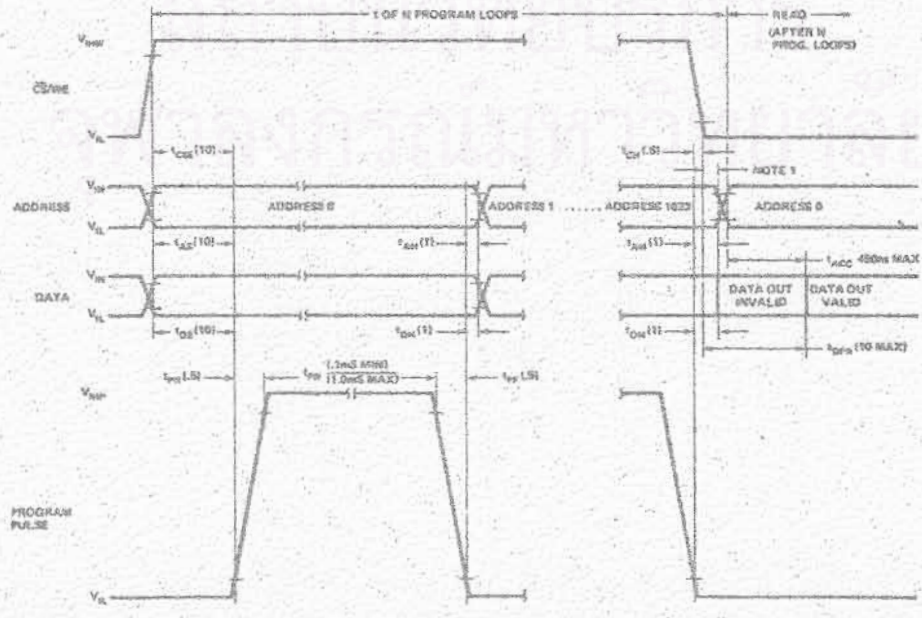
2708 เป็น EPROM ซึ่งมีขนาดหน่วยความจำ 1024x8 บิท รูป 6.2 แสดง สัญญาณของขาต่าง ๆ และบล็อกไดอะแกรมภายในของไอซีเบอร์นี้ ขา $A_0 - A_9$ เป็นแอดเดรส 10 บิท แบ่งเป็นการเลือกแถวและคอลัมภ์ เพื่อกำหนดตำแหน่งของเซลภายใน $D_1 - D_7$ เป็นขาเข้าและออกของข้อมูลที่จะป้อนเข้าไป หรือที่อ่านออกมา ขา CS/WE เป็นที่ใช้เลือกโหมดในการทำงานของไอซี 2708 สามารถทำงานใน 3 โหมด คือ โหมดอ่าน (read) โหมดไม่เลือก (deselect) และโหมดโปรแกรม (program) การใช้ในโหมดต่าง ๆ ระดับแรงดันที่ขาต่าง ๆ ของไอซี จะต่างกัน ดังมีรายละเอียดในตาราง 6.1[20]




รูป 6.1 เซลหน่วยความจำพื้นฐานและกราฟลักษณะสมบัติ




รูป 6.2 ชื่อสัญญาณที่ขาต่าง ๆ และบล็อคไดอะแกรม 2708




รูป 6.3 รูปคลื่นแรงดันที่ขาต่าง ๆ ในขณะโปรแกรม 2708

ตาราง 6.1 ตารางระดับแรงดันและหน้าที่ของขาต่าง ๆ ในโหมดทั้งสามของ 2708

| Function | Data I/o | Address | $V_{SS}$ | Program | $V_{DD}$ | CS/WE | $V_{BB}$ | $V_{CC}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pin number | 9-11,13-17 | 1-7,23,22 | 12 | 18 | 19 | 20 | 21 | 24 |
| mode | | | | | | | | |
| Read | Dout | Ain | GND | GND | +12V | $V_{IL}$ | -5V | +5V |
| Deselect | High impedance | don't care | GND | GND | +12V | $V_{IH}$ | -5V | +5V |
| Program | Din | Ain | GND | pulsed +26V | +12V | $V_{IHW}$ | -5V | +5V |

แรงดันที่ขา CS/WE จะแตกต่างกันในแต่ละโหมด $V_{IL}$ คือแรงดันต่ำมีค่าระหว่าง Vss กับ $V_{SS}$ + 0.65V $V_{IH}$ คือแรงดันสูงมีค่าระหว่าง $V_{SS}$ + 3V และ $V_{CC}$ + 1V ส่วน $V_{IHW}$ คือแรงดันเข้าสูงสำหรับการเขียน มีค่า 12V ± 0.6V

จากตารางในโหมดโปรแกรมซึ่งเป็นโหมดที่สนใจในขณะนี้ จะเห็นว่าขา Program (ขา18) ของ EPROM เบอร์นี้ ต้องการแรงดันซึ่งมีรูปคลื่นเป็นพัลส์ มีขนาดสูงถึง 26V และลำดับขั้นตอนในการโปรแกรม จะต้องป้อนข้อมูลเข้าที่ขาต่าง ๆ ตามลำดับ ดังแสดงในรูป 6.3

เริ่มต้นจากการเปลี่ยนแรงดันที่ขา CS/WE จาก 0V เป็น 12 V จากนั้นจึงป้อนแอดเดรสพร้อมกับข้อมูลที่ต้องการโปรแกรมในแอดเดรสนั้นให้กับ EPROM เมื่อสัญญาณแอดเดรสและข้อมูลมีค่าอยู่ตัวแล้ว จึงป้อนโปรแกรมพัลส์ 1 ลูกเข้าที่ขาโปรแกรม (ขา18) การโปรแกรมจะต้องกระทำทุกค่าแอดเดรส ตั้งแต่แอดเดรสเริ่มต้นจนถึงสุดท้าย จะเว้นไม่ได้เลย เพราะการโปรแกรมที่แอดเดรสหนึ่งแอดเดรสใดจะมีผลต่อแอดเดรสข้างเคียว ทำให้ข้อมูลมีค่าผิดไปจากเดิมได้ เมื่อทำการโปรแกรมจนครบทุกแอดเดรสแล้ว 1 เที่ยวเราเรียกว่า 1 โปรแกรมลูป (program loop) ตามปรกติการโปรแกรม 2708 ต้องกระทำ N ลูป ค่า N นี้กำหนดโดยสูตร Nxtpw $\geq$ 100 ms ค่า tpw เป็นความกว้างของโปรแกรมพัลส์ โดยทั่วไปจะมีค่า 0.1 - 1 ms นอกจากนี้ยังห้ามที่จะไม่ให้เกิดโปรแกรมพัลส์ N ครั้งที่แอดเดรสเดียวกันนั้นก่อนที่จะไปโปรแกรมที่แอดเดรสต่อ ๆ ไปใน 1 โปรแกรมลูป

6.2.2 EPROM 2716

เป็น EPROM ที่มีขนาดความจุ 2048 x 8 บิท สามารถลบโปรแกรมได้ด้วยแสงอุลตราไวโอเลทเช่นเดียวกับ 2708 รูป 6.4 แสดงชื่อสัญญาณที่ขาต่าง ๆ ระดับแรงดันในโหมดต่าง ๆ และบล็อกไดอะแกรมของ 2716 นี้ จะเห็นว่านอกจากโหมดอ่านและโปรแกรมแล้วยังมี โหมด Program verify และ Program inhibit เพิ่มเติมด้วย แต่การใช้งานในโหมดเหล่านี้จะไม่พูดถึงในที่นี้ คุณสมบัติที่สำคัญของ 2716 คือ

- access time เท่ากับ 450 ns
- ขั้วเข้าและขั้วออกสามารถต่อเข้ากับ TTL ได้โดยตรง
- ใช้แหล่งจ่ายไฟ 5V เพียงอย่างเดียว
- ใช้กำลังไฟต่ำ เพียง 525 mW

นอกจากคุณสมบัติทั่วไปดังที่กล่าวมาแล้วนี้ คุณสมบัติของ 2716 ที่ดีกว่า 2708 คือความง่ายและความสะดวกในการโปรแกรม ในการโปรแกรม 2716 จะใช้โปรแกรมพัลส์ที่มีขนาดเพียง 5V ในขณะโปรแกรมสามารถโปรแกรมครั้งละกี่แอดเดรสก็ได้ และจะเริ่มที่แอดเดรสใหนก็ได้ การโปรแกรมไม่ต้องมีโปรแกรมลูป เพียงโปรแกรมแต่ละแอดเดรสเพียงครั้งเดียวเท่านั้น ค่า tpw ของ โปรแกรมพัลส์ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 25-55ms ซึ่งปรกติจะใช้ 50ms ดังนั้นการโปรแกรมให้หมดทุกแอดเดรสจะใช้เวลาเพียง 100 วินาที เท่านั้น รูปคลื่นในการโปรแกรม 2716 แสดงในรูป 6.5

6.3 การออกแบบเครื่องโปรแกรม EPROM

6.3.1 แนวความคิดในการออกแบบ

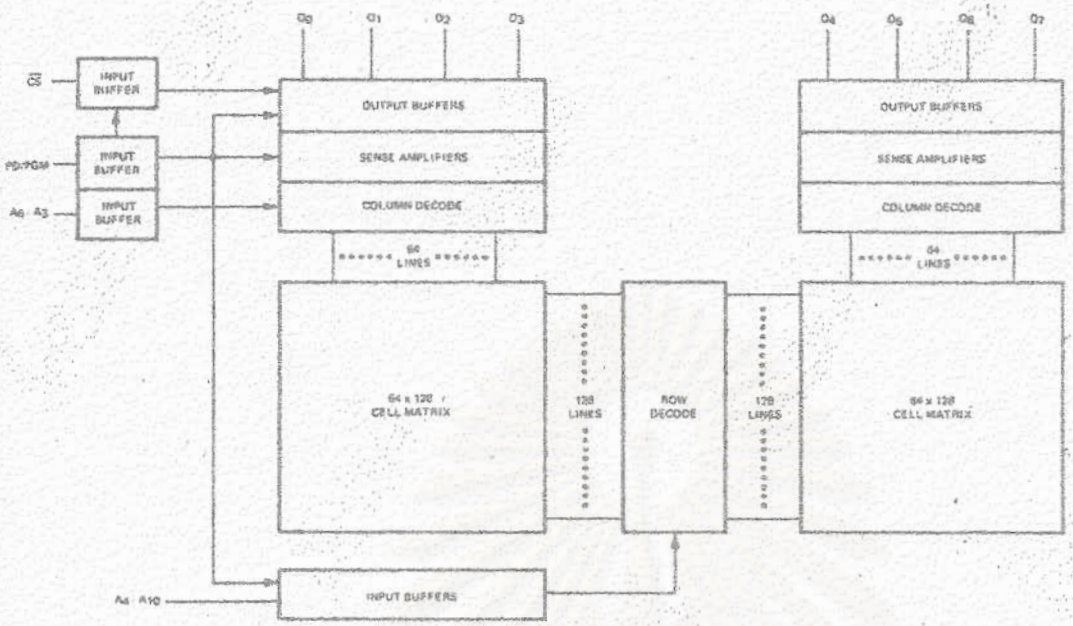



Figure 3. Detailed Block Diagram.

รูป 6.4 รายละเอียดของ EPROM 2716

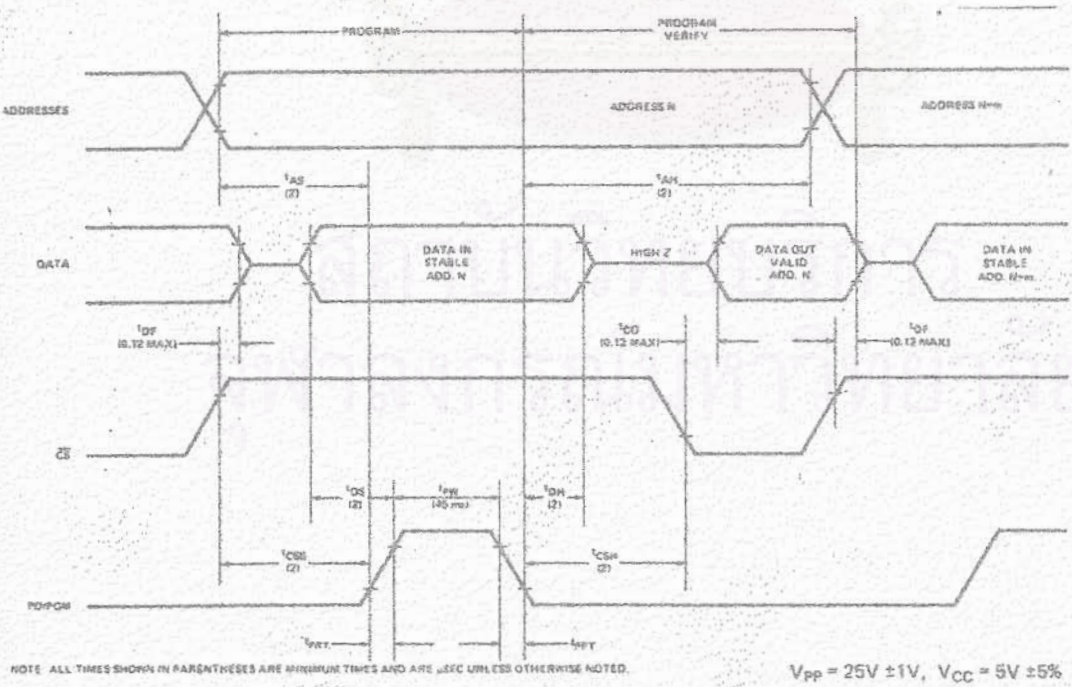



Figure 9. 2716 Programming Waveforms.

รูป 6.5 รูปคลื่นแรงดันที่ขาต่าง ๆ ในขณะโปรแกรม 2716

เมื่อพิจารณาถึงหน้าที่หลักของเครื่องโปรแกรม EPROM ซึ่งคือการนำข้อมูลป้อนให้แก่ EPROM ตามแอดเดรสที่ถูกต้องพร้อมกับควบคุมระดับแรงดันที่ป้อนให้ขาต่าง ๆ ของ EPROM อย่างถูกต้องและขั้นตอน นอกจากหน้าที่แล้วยังควรพิจารณาถึงหน้าที่อื่น ๆ ที่เครื่องโปรแกรม EPROM จะต้องมี คือ

1. สามารถเก็บข้อมูลที่ต้องการโปรแกรมไว้ได้ชั่วคราว สามารถตรวจเช็ค และแก้ไขข้อมูลนั้นก่อนการโปรแกรมลงใน EPROM
2. สามารถอ่านข้อมูลจาก EPROM เข้ามาเก็บไว้ในหน่วยความจำของเครื่อง เพื่อการตรวจเช็ค แก้ไข หรือ ใช้เป็นตัวกลางในการถ่ายข้อมูลจาก EPROM ตัวหนึ่งไปให้อีกตัวหนึ่ง
3. มีความสามารถในการตรวจสอบว่าข้อมูลที่โปรแกรมเข้าไปใน EPROM ถูกต้องจริง และมีความสามารถในการเปรียบเทียบ ข้อมูลของ EPROM 2 ตัวว่าตรงกันหรือไม่
4. มีความสามารถในการตรวจเช็คว่า EPROM ถูกลบโปรแกรมเดิมออกหมดก่อนการโปรแกรมใหม่ทุกครั้ง
5. สามารถโปรแกรมได้ทั้ง EPROM 2708 และ 2716 และมีความยืดหยุ่นพอที่จะแก้ไขให้โปรแกรม EPROM เบอร์อื่น ๆ ได้ง่าย
6. การทำงานของเครื่องควรเป็นแบบอัตโนมัติ และสามารถตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดจากผู้ใช้งาน

จากเงื่อนไขที่จะให้เครื่องโปรแกรม EPORM มีหน้าที่ครอบคลุมหัวข้อต่าง ๆ ที่กล่าวมาก็พอสรุปได้ว่า เครื่องโปรแกรม EPROM ควรมี หน่วยความจำภายใน เพื่อเก็บข้อมูลที่จะโปรแกรม มีแป้นกดข้อมูล เพื่อ ป้อนข้อมูลและคำสั่งการทำงานให้เครื่องมีหน่วยแสดงผลเพื่อใช้ในการตรวจสอบข้อมูล และแสดงภาวะการทำงานของเครื่อง นอกจากนั้นเพื่อให้เครื่องมีโครงสร้างง่ายและมีความสามารถในการทำงานสูง ควรมี ไมโครโปรเซสเซอร์ เป็นหน่วยประมวลผลกลางของระบบ จึงมีข้อสรุปว่าเครื่องโปรแกรม EPROM จะมีโครงสร้างระบบเป็นไมโครคอมพิวเตอร์ตัวหนึ่งที่ทำงานเฉพาะอย่างนั่นเอง

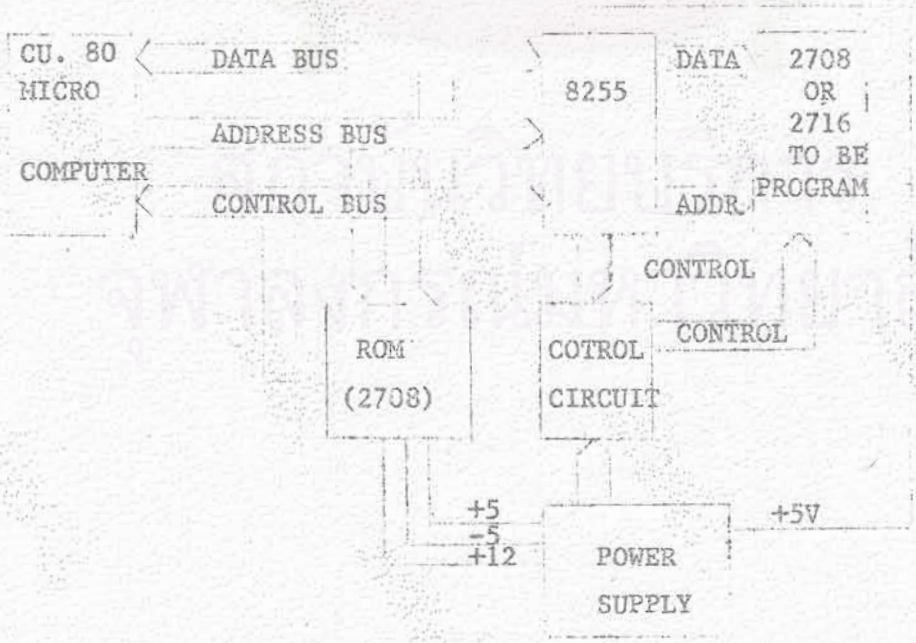
3.2 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องโปรแกรม EPROM

การออกแบบเครื่องโปรแกรม EPROM ในโครงการวิจัยนี้ได้ออกแบบเครื่องโปรแกรมเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ CU.80 โดยได้ขยายระบบของ CU.80 ให้สามารถทำหน้าที่เป็นเครื่องโปรแกรม EPROM และได้เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่อง การออกแบบวิธีนี้มีข้อดี คือ

1. เป็นการทำ CU.80 มาประยุกต์ ให้เป็นประโยชน์
2. ลดวงจรทางฮาร์ดแวร์ ให้ง่ายลง ใช้ซ่อฟท์แวร์ควบคุมการทำงานแทน
3. วงจรของเครื่องง่ายลงไปมาก

รูป 6.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องโปรแกรม EPROM ที่ได้ทดลองสร้างขึ้นมา CU.80 จะติดต่อกับส่วนที่ใช้โปรแกรม EPROM ด้วย บัสแอดเดรส บัสข้อมูล และบัสควบคุม การรับส่งข้อมูลจะติดต่อผ่านทาง I/O พอรัท ซึ่งใช้ไอซี 8255 มีโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่อง โดยเขียนเก็บไว้ใน ROM วงจรควบคุมเป็นวงจรที่ควบคุมการสับเปลี่ยนการโปรแกรม 2708 และ 2716 และควบคุมการกำเนิดโปรแกรมพัลส์ เนื่องจากการโปรแกรม EPROM ต้องใช้แรงดันไฟตรงสูง 26V จึงต้องมีแหล่งจ่ายไฟเพิ่มเติมอีกระบบได้

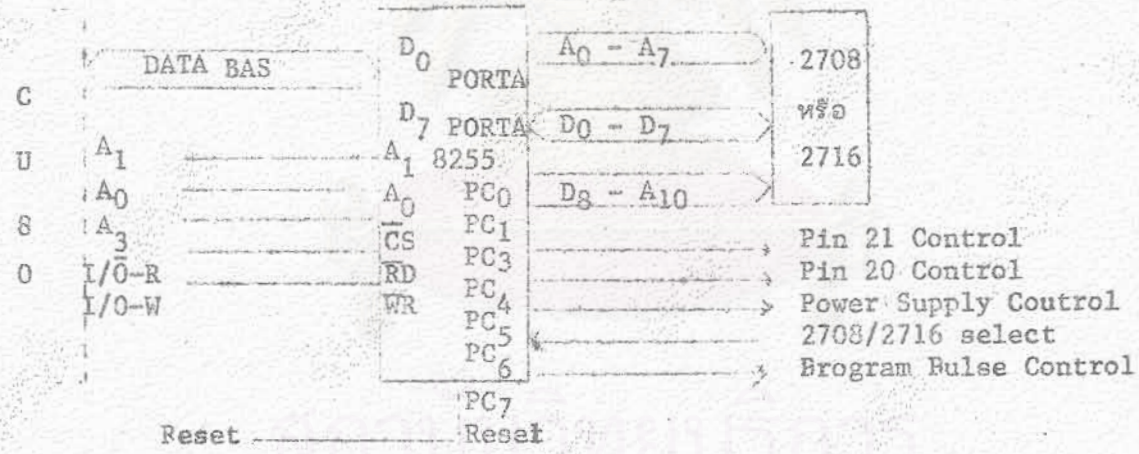
ข้อมูลที่จะใช้ป้อนเข้าไปโปรแกรมใน EPROM จะเก็บไว้ในหน่วยความจำของ CU.80 ข้อมูลนี้สามารถป้อนเข้าไปทางแป้นกดข้อมูล หรือจากการอ่านข้อมูลจาก EPROM เองก็ได้ คำสั่งให้เครื่องทำงานในโหมดต่าง ๆ สามารถป้อนเข้าทางแป้นกดข้อมูลของ CU.80 ในการโปรแกรมและการอ่านข้อมูลที่ EPROM CU.80จะส่งข้อมูลที่เป็นแอดเดรสและตัวข้อมูลเองออกมาที่พอรัท และยังส่งข้อมูลที่เป็นสัญญาณควบคุมไปที่วงจรควบคุม ความกว้างของโปรแกรมพัลส์จะถูกคำนวณโดย CU.80 และลำดับขั้นตอนในการส่งข้อมูลต่าง ๆ จะถูกควบคุมโดย CU.80 ทั้งสิ้น แต่โปรแกรมควบคุมการทำงานทั้งหมดจะถูกเขียนไว้ใน ROM ซึ่งที่บอรัดเครื่องโปรแกรม EPROM โปรแกรมนี้จะมีแอดเดรสเริ่มต้นที่ 0C00H




รูป 6.6 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องโปรแกรม EPROM

6.3.3 การออกแบบภาค I/O พอร์ท 8255

ข้อมูลจาก CU.80 ที่จะต้องส่งให้ส่วนโปรแกรม EPROM มีทั้งหมด 24 บิทข้อมูลเหล่านี้ มีแอดเดรส 11 บิท ข้อมูล 8 บิท สัญญาณควบคุม 5 บิท ดังนั้นจึงเลือกใช้ 8255 เป็น I/O พอร์ท ซึ่ง 8255 นี้ จะมีพอร์ททั้งหมด 3 พอร์ท คือพอร์ท A,B และC สามารถโปรแกรมให้เป็นได้ทั้งอินพุทและเอ้าท์-พุทพอร์ท พอร์ท ๆ หนึ่งจะมี 8 บิท พอร์ท A จะเป็นเอ้าท์พุทพอร์ทเพื่อส่งข้อมูลที่เป็นแอดเดรสออกไป แอดเดรสอีก 3 บิท ที่เหลือจะส่งออกทางพอร์ท C ซึ่งทำหน้าที่เป็นเอ้าท์พุท พอร์ทเช่นเดียวกัน สำหรับข้อมูลจะส่งผ่านพอร์ท B ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นทั้งเอ้าท์พุทและอินพุทพอร์ท เพราะข้อมูลจะส่งทั้งสองทิศทาง มีทั้งการส่งออกไปโปรแกรม และการอ่านข้อมูลเข้ามาแสดงหรือเปรียบเทียบสำหรับสัญญาณควบคุม จะมีสัญญาณควบคุมโปรแกรม พลัส์ สัญญาณควบคุมการติดต่อไฟจ่ายเข้า EPROM สัญญาณเลือก 2708 หรือ 2716 สัญญาณเลือกระดับแรงดันไฟที่ขา 21 และขา 20 นั้นจะส่งผ่านทาง พอร์ท C




รูป 6.7 การต่อเส้นสัญญาณที่ 8255

รูป 6.7 แสดงการเส้นสัญญาณต่าง ๆ ที่ 8255 การต่อสายแอดเดรสจาก CU.80 มาที่ 8255 จะใช้ $A_0$ $A_1$ และ $A_3$ ดังนั้นพอร์ทต่าง ๆ ของ 8255 จะมีแอดเดรสดังนี้

F7 H เป็นการส่งสัญญาณควบคุมได้ 8255

F6 H เป็น พอร์ท C

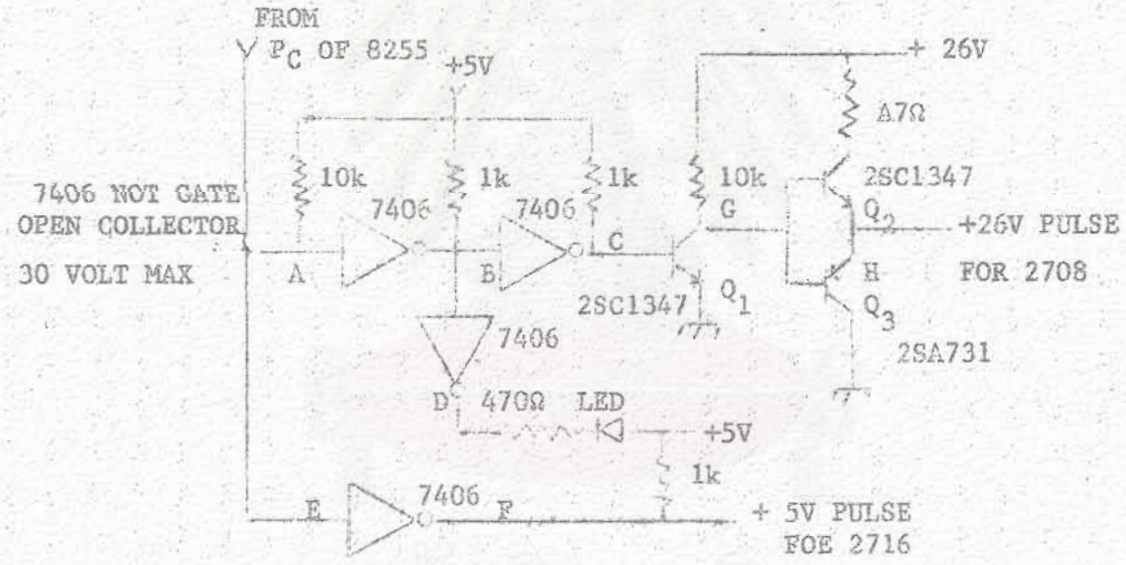
F5 H เป็น พอร์ท B

F4 H เป็น พอร์ท A

สำหรับสัญญาณเลือก 2708 หรือ 2716 นั้น จะอ่านจากสวิทช์เลือก ซึ่งอยู่บนบอร์ดเครื่อง โปรแกรม สัญญาณนี้จะถูกอ่านเข้าไปเปรียบเทียบกับ ข้อมูลที่จะต้องป้อนเข้าทางแป้นกดข้อมูลก่อนการ โปรแกรม เพื่อป้องกันการผิดพลาด

6.3.4 การออกแบบภาคการสร้างโปรแกรมพัลส์ของ 2708 และ 2716

ขา 18 ของ EPROM ทั้งสองเบอร์ เป็นขาที่จะต้องป้อนโปรแกรมพัลส์เข้าไป สำหรับ 2708 นั้นเวลาปกติขานี้จะอยู่ที่ GND ส่วนเวลาโปรแกรมจะเป็นพัลส์ 26V สำหรับ 2716 เวลาทำงานปรกติ (READ MODE) ขานี้ก็จะอยู่ที่ GND เช่นกันแต่เวลาโปรแกรมจะเป็นพัลส์ 5V เท่านั้น การควบคุมให้ เกิดการ ON-OFF ของพัลส์ โดยใช้พอร์ท C บิทที่ 7 ของ 8255 มาควบคุมทั้ง 2 เบอร์ พร้อม ๆ กัน ดังวงจรในรูป 6.8

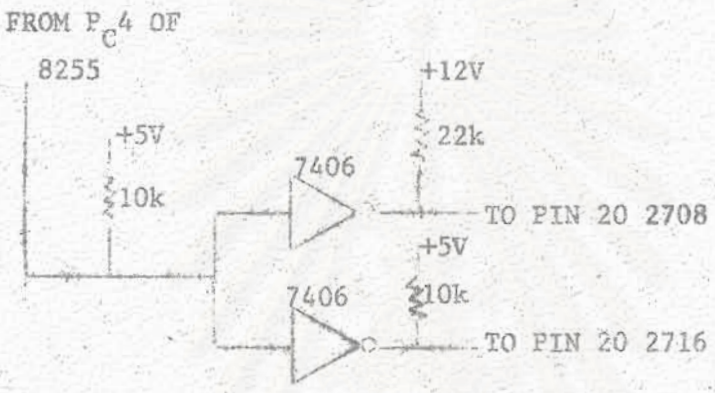



รูป 6.8 วงจรควบคุมโปรแกรมพัลส์

การทำงานของวงจร เมื่อ $P_c$ 7 ของ 8255 ให้ '1' ออกมาที่จุด A จะมีระดับแรงดันสูง จะได้ที่จุด C มีแรงดัน 5V ด้วย ทำให้ $Q_1$ ON แรงดันที่ขา G จะตกลงทำให้ $Q_2$ OFF แต่ $Q_3$ ON แรงดันที่ H จะเป็นประมาณ 0 volt ขณะเดียวกันนี้เองการควบคุมพัลส์ของ 2716 ก็อาศัย $P_c$ 7 เช่นเดียวกันโดยผ่าน NOT GATE ธรรมดาให้ out put low เช่นเดียวกัน ถ้า $P_c$ 7 ของ 8255 ให้ '0' ออกมาจุด C จะมีแรงดันต่ำ $Q_1$ จะ on ไม่ได้ก็จะ off ไปทำให้แรงดันที่ G มีค่าสูง $Q_2$ จะ on $Q_3$ จะ... แรงดัน 26 volt จะออกไปโดยผ่าน R.47Ω ซึ่งจำกัดกระแสไปในตัว แรงดันที่ จะตกลงบ้างจาก 26 volt คือจะได้ประมาณ 25 volt แต่ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้ สำหรับการควบคุมความกว้างของพัลส์ นั้น จะใช้ออสซิลโลสโคป

6.3.5 การออกแบบภาคจ่ายแรงดันขา 20 ของ 2708 และ 2716

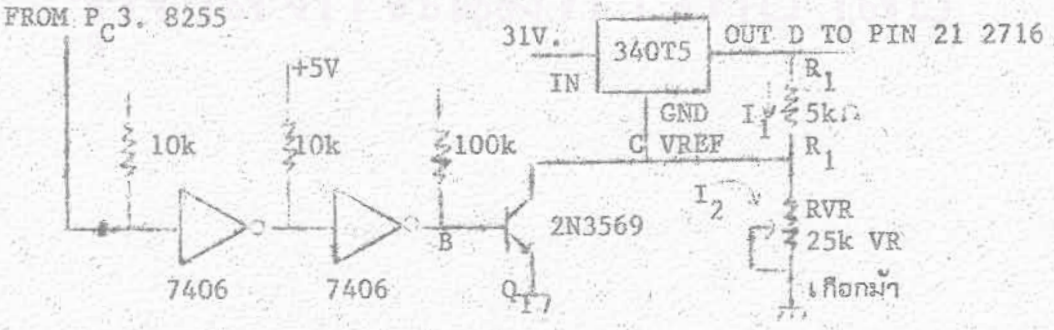
จากตารางโหมดการทำงานของ 2708 และ 2716 ที่ขา 20 ของ 2708 ในโหมดอ่าน ต้องมีแรงดัน $V_{IL}$ (ประมาณ 0 V) เวลาโปรแกรมต้องมีแรงดัน +12 V ซึ่งขานี้ไม่ต้องการกระแสมาก ส่วน 2716 ต้องการแรงดันตอนอ่านเป็น $V_{IL}$ และตอนโปรแกรมต้องการแรงดัน +5 V โดยไม่ต้องการกระแสมาก จึงใช้ NOT gate แบบ open collector เป็นอัฟเฟ่อร์ให้กับ $P_{C}1$ ของ 8255 ซึ่งต้องควบคุมมาจาก micro computer ดังวงจร ดูรูป 6.9




รูป 6.9 วงจรจ่ายแรงดันไฟให้ขา 20

6.3.6 การออกแบบภาคจ่ายแรงดันให้ขา 21 ของ 2716

ขานี้ของ 2716 พิเศษกว่าขาอื่นคือเวลาทำงานในโหมดอ่านจะถูกดึงไว้ที่แรงดัน 5 V แต่ถ้าอยู่ในโหมดโปรแกรมจะต้องอยู่ตาไว้ที่ระดับ 25 V การควบคุมก็ทำโดย $P_{C}$ 3 ของ 8255 การออกแบบในที่นี้ใช้แนวความคิดของการยกระดับแรงดันที่ GND ของไอซีเร็คกูเลเตอร์ แบบ 3 ขา ขึ้นไปอีก 20 V ดังแสดงได้ด้วยวงจรดังรูป 6.10




รูป 6.10 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้ขา 21

การทำงานของวงจร NOT GATE 2 ตัว ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้ 8255 มาควบคุมการ ON, OFFทรานซิสเตอร์ Q1 ถ้า PC3 เป็น '1' Q1จะ ON ทำให้แรงดันคร่อมคอลเลคเตอร์และอิมิตเตอร์ ตกลงเหลือประมาณ 0.2 V แรงดันขาออกของ 340T5 ประมาณ = 5 V เพราะตอนที่ระดับ GND ของมันเป็น GND จริง (สูงกว่าเล็กน้อย) ดังนั้น ในภาวะโหมดอ่านก็จะทำให้ Q1 ON ก็จะได้ทำให้เร็คกูเลเตอร์ทำงานตามปรกติ แต่ถ้าต้องการให้ได้ระดับแรงดัน 25V ที่สั่งให้ PC3 ของ 8255 เป็น 0 Q1 จะ OFFหรือเปิดวงจรไป เนื่องจากว่า 340T5 นี้ตามปรกติจะมี STAND BY CURRENTออกมาทางขา GND และกระแสผ่าน R 5Kจะคงที่ เพราะ V ครอมมันเท่ากับ 5 V เสมอเราจึงใช้ I1 และ I2 มาผ่านความต้านทานตัวหนึ่งเพื่อให้แรงดันครอมตัวมัน ประมาณ 20 V เราก็จะได้แรงดันขาออกประมาณ 25 V และโดยทั่วไป I2 จะน้อยมาก และ I1 คงที่ V ตร่อม R ที่ทำได้เกิดแรงดัน 20 V จึงคงที่ด้วย การคำนวณอาจทำได้ง่าย,โดยเริ่มจากกำหนดค่า I1 โดยไม่ให้มากเกินไป ซึ่งในที่นี้ประมาณ 1mA.

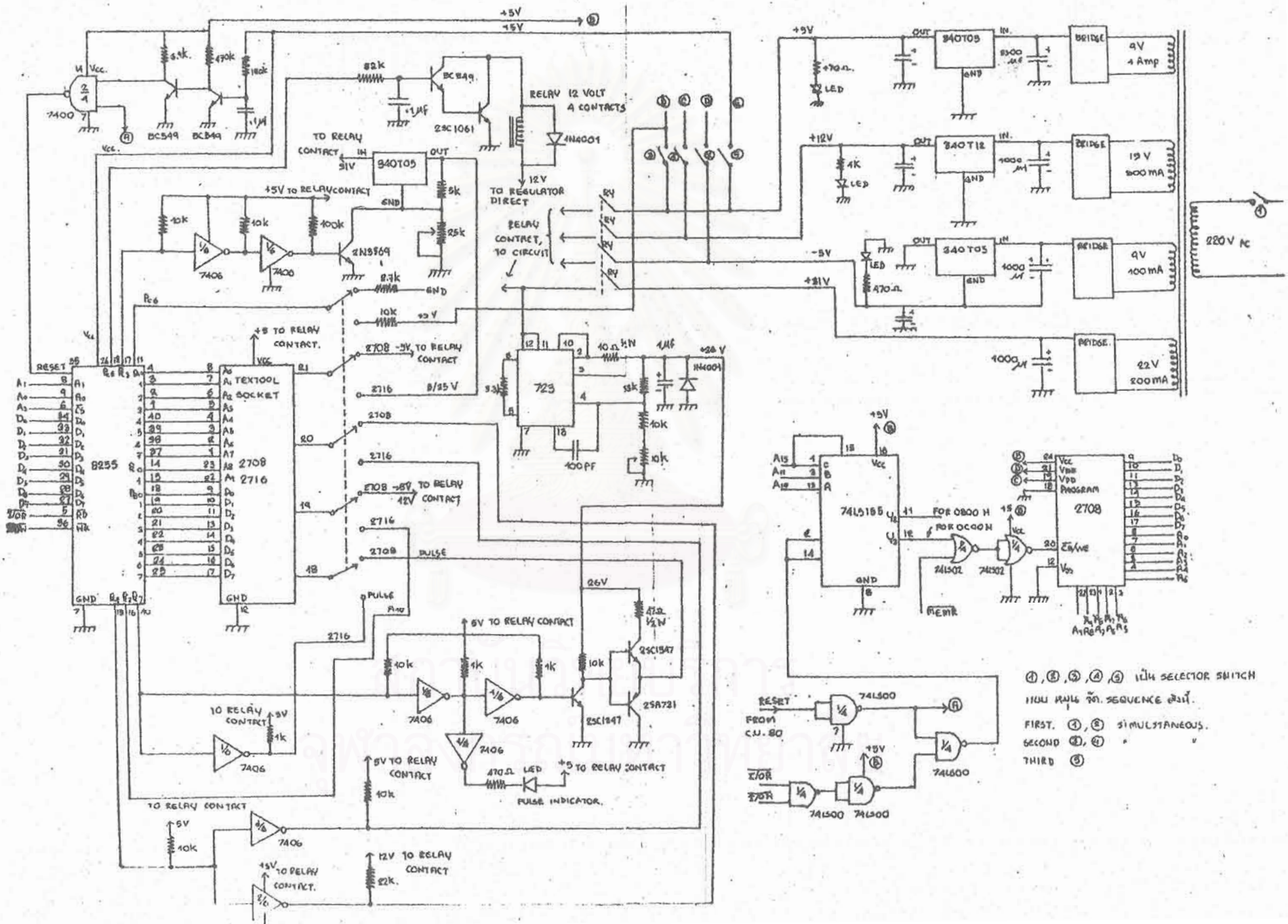
ก็จะหาค่า R1 ได้ จากนั้นก็คำนวณค่า RVR โดยทราบค่ากระแส I1 และแรงดันประมาณ 20 V ที่ต้องการก็คำนวณได้ประมาณ 22 K แต่โดยเหตุที่เวลา 340 ทำงาน จะมี I2 ไหลทางขา GND ของมัน ดังนั้นเมื่อไม่ทราบค่า I1 ที่แน่นอน เราจึงใช้ความต้านทานแบบปรับค่าได้ขนาด 25 K หรือ 20 K มาแทน แล้วทำการ ปรับ ภายหลังให้ได้แรงดันตามต้องการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.3.7 วงจรทั้งหมด

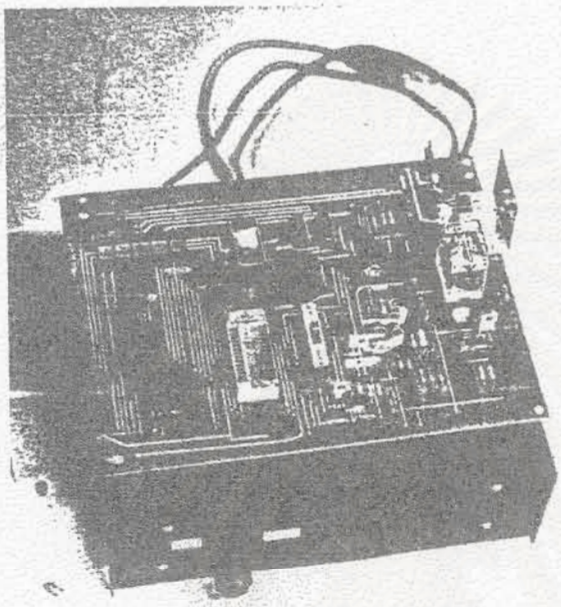
รูป 6.11 เป็นวงจรทั้งหมดของส่วนโปรแกรม EPROM การเลือก 2708 หรือ 2716 ใช้สวิทช์เลือกแบบ 2 ยั้ว 5 ขุด เลือกแรงดันไฟที่จะป้อนให้ขา 18, 19, 20, และ 21 ของ EPROM การสร้างไฟ 26V ใช้ ไอซีเรกูเลเตอร์ LM 723 จึงได้แรงดันไฟที่คงที่เสมอ จะมีรีเลย์ตัดต่อไฟที่จะป้อนให้กับ EPROM เพื่อความปลอดภัยในการใส่และถอด EPROM สำหรับวงจรของ ROM ซึ่งเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องนั้น จะมี ตัวถอดรหัสแอดเดรส เพื่อกำหนดให้แอดเดรสใน ROM เช่นจาก 0C00H

วงจรทั้งหมดจะถูกประกอบลงบนแผ่นวงจรพิมพ์แผ่นเดียว มีขนาดเล็กกระทัดรัด มีสายจัมเปอร์ (jumper) ที่จะต่อกับ CU.80 เครื่องหนึ่งเครื่องใดได้ทันที รูป 6.12 เป็นรูปถ่ายของเครื่องโปรแกรม EPROM ที่ได้ทดลองสร้างขึ้น และใช้งานในห้องปฏิบัติการอิเลคตรอนิคส์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า




①, ②, ③, ④, ⑤ ची SELECTOR SWITCH ची ही ACTIVATION SEQUENCE आहे.

FIRST. ①, ② SIMULTANEOUS.
SECOND ③, ④ " "
THIRD ⑤



รูป 6.12 รูปถ่ายของเครื่องโปรแกรม EPROM

6.4 ซอฟท์แวร์

แนวความคิด

ในการออกแบบเครื่องโปรแกรม EPROM นี้ สิ่งที่ต้องการมากที่สุดคือความสะดวกสบาย ในการใช้เครื่องมือ มันเป็นการยากที่จะออกแบบวงจรเพื่อจะให้ทำหน้าที่นี้ ดังเป็นหน้าที่ของ ซอฟท์แวร์ เพื่อการบริการอันนี้ การบริการที่จะมอบให้ผู้ใช้ พอจะแบ่งออกได้เป็น

1. ความสามารถในการโปรแกรมโดยใช้เวลาและรูปตามข้อกำหนดของ EPROM และลดความยุ่งยากในการใช้ เพียงแต่กำหนดหน้าที่บางอย่างให้ แล้วเครื่องก็จะดำเนินการเองทุกอย่าง
2. มีการตรวจเช็คผลการโปรแกรมว่า การโปรแกรมให้ผลสมบูรณ์ 100% หรือไม่ เรียกว่า VERIFY PROGRAM
3. การป้องกันความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น อันเนื่องมาจากการใช้ EPROM ผิดชนิด ในกรณีนี้ เครื่องมือจะไม่ยอมทำงานใด ๆ ทั้งสิ้นจนกว่าจะได้รับการแก้ไขแล้ว
4. ป้องกันความผิดพลาดที่จะเกิดจากการโปรแกรม EPROM ที่มีข้อมูลอยู่ก่อนแล้ว ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ได้ใหม่ผิดพลาดไป ดังนั้นจะมีการแจ้งให้ผู้ใช้ทราบก่อน เมื่อนำ EPROM ไปลบด้วยแสงอุลตราไวโอเลทเสียก่อน เรียกว่า BLANK CHECK
5. ความสามารถในการอ่านข้อมูลจาก EPROM โดยทำข้อมูลจากส่วนใดของ EPROM ไปไว้บนส่วนใดของ RAM ได้ เพื่อความสะดวกในการที่จะแก้ไขโปรแกรมหรือศึกษาโปรแกรม หรือศึกษาการทำงานของโปรแกรม เป็นต้น

จากความคิดหลักใหญ่ 5 แบบนี้ยังมีการบริการย่อยอีก เพื่อทำให้ผู้ใช้เข้าใจ คือการแสดงผลเป็นสัญญลักษณ์หรือตัวอักษร ซึ่งจะทำให้ง่ายแก่การเข้าใจในการทำงาน โดยจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

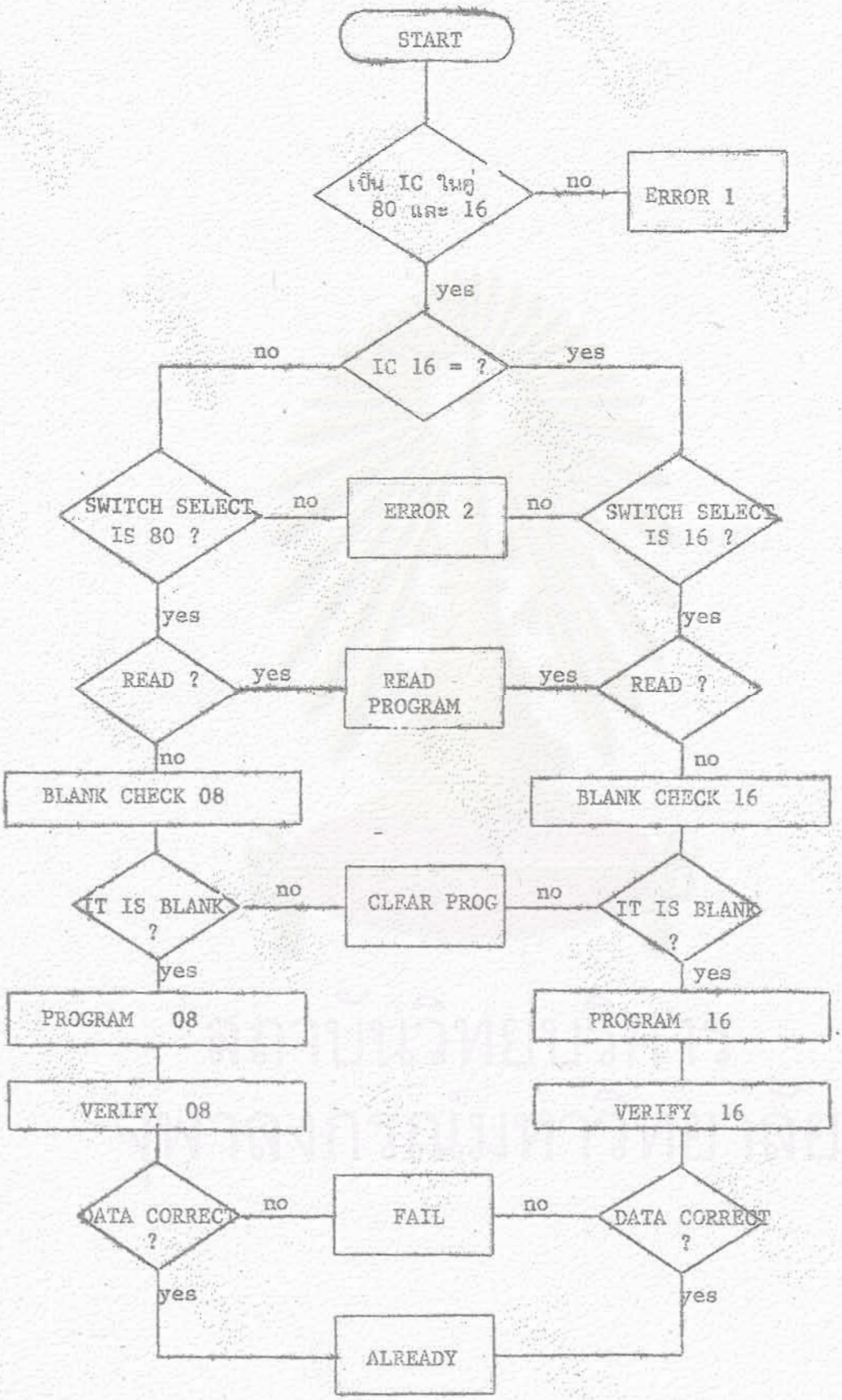
การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องโปรแกรม EPROM นี้ ได้แบ่งโปรแกรมออกเป็นโปรแกรมย่อยเพื่อสะดวกในการเขียน การแก้ไขและการใช้งาน โปรแกรมย่อยที่สำคัญได้แก่

READ PROGRAM เป็นโปรแกรมที่อ่านข้อมูลจาก EPROM มาเก็บไว้ในหน่วยความจำของ CU.80 โดยอัตโนมัติ โดยต้องมีการกำหนดแอดเดรสเริ่มต้นของหน่วยความจำที่นำข้อมูลไปเก็บ

| | |
|---|---|
| BLANK CHECK | เป็นโปรแกรมที่จะตรวจสอบว่า EPROM ที่ต้องการโปรแกรมนั้น ข้อมูลภายในได้ถูกลบจนหมดทุกแอดเดรสแล้ว ในกรณีที่ไม่ผ่านการเช็คนี้ จะมีการแสดงอักษร CLPR เพื่อเตือนให้ผู้ใช้เครื่องจัดการลบโปรแกรมภายใน EPROM เสียก่อน |
| PROGRAM 08 | เป็นโปรแกรมที่ดำเนินการโปรแกรม EPROM เบอร์ 2708 โดยอัตโนมัติ โปรแกรมนี้จะคำนวณความกว้างของโปรแกรม-พัลส์ และ โปรแกรมลูปให้ส่งข้อมูลแอดเดรสและข้อมูลออกไปที่เครื่องโปรแกรม EPROM และสัญญาณควบคุมต่าง ๆ |
| PROGRAM 16 | เป็นโปรแกรมที่ดำเนิน การโปรแกรม EPROM เบอร์ 2716 โดยอัตโนมัติ ให้ความกว้างของโปรแกรมพัลส์ เป็น 50ms |
| VERIFY PROGRAM | เป็นโปรกรมที่ตรวจเช็คข้อมูลใน EPROM หลังจากเสร็จสิ้นการโปรแกรมแล้วว่าตรงกัน ข้อมูลที่ต้องการโปรแกรมหรือไม่ |
| ERROR MESSAGE | เป็นโปรแกรมที่จะแสดงอักษรบนหน่วยแสดงผล เพื่อ บอกว่ามีการผิดพลาด เช่น Err 1 Err 2เป็นต้น |

ซ่าร์ท าของโปรแกรมทั้งหมดแสดงในรูป 6.13 เริ่มต้นจะมีการตรวจเช็คให้แน่ใจว่าเป็น EPROM เบอร์อะไร และตรงกับสวิทช์เลือกบนบอร์ดของเครื่องหรือไม่ จากนั้นจะเช็คว่าเป็นการอ่านข้อมูลจาก EPROM หรือไม่ ถ้าเป็นการอ่านก็จะกระโดดไปทำงานที่ READ PROGRAM ถ้าไม่ใช่การอ่าน แสดงว่าเป็นการโปรแกรม จะทำ BLANK CHECK ก่อน แล้วจึงทำการโปรแกรม EPROM เมื่อเสร็จสิ้นการโปรแกรมจะ VERIFY PROGRAM เพื่อตรวจดูข้อมูลว่าถูกต้องหรือไม่ ถ้าถูกต้องเป็นอันจบสิ้นขบวนการทั้งหมด

โปรแกรมทั้งหมดเขียนเป็นภาษาเครื่องกินเนื้อที่ 661 ไบท์ ใช้เวลาในการทำงาน 2.5 นาที เมื่อโปรแกรม 2708 และ 2 นาที สำหรับ 2716



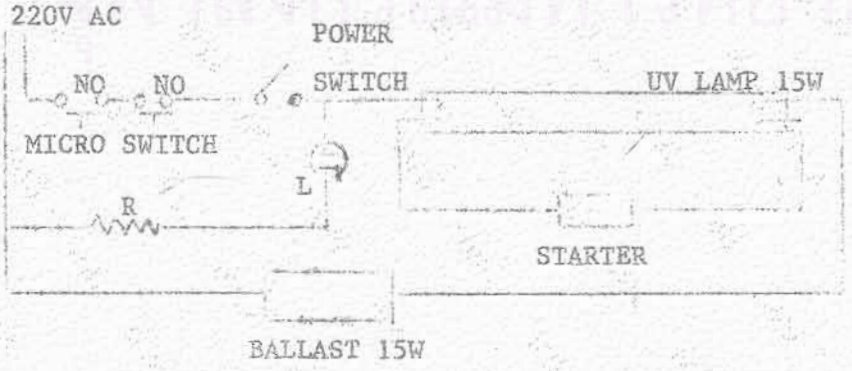

รูป 6.13 โฟลชาร์ทของโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องโปรแกรม

6.5 เครื่องลบโปรแกรม EPROM

2708 และ 2716 เป็น EPROM ที่ลบด้วยแสงอุลตราไวโอเลท ซึ่งมีความยาวคลื่น 2537 Angstroms พลังงานที่ต้องการในการลบนั้นควรมีค่าไม่น้อยกว่า 15 W sec/$cm^2$ (UV intensity x time) ซึ่งถ้าให้ได้พลังงานขนาดนี้แล้วจะใช้เวลาลบประมาณ 15-20 นาที ซึ่งใช้กับหลอด UV ขนาด 12000 $\mu W/cm^2$ และต้องวางตัว IC ห่างจากหลอดประมาณ 1 นิ้วจากหลอด

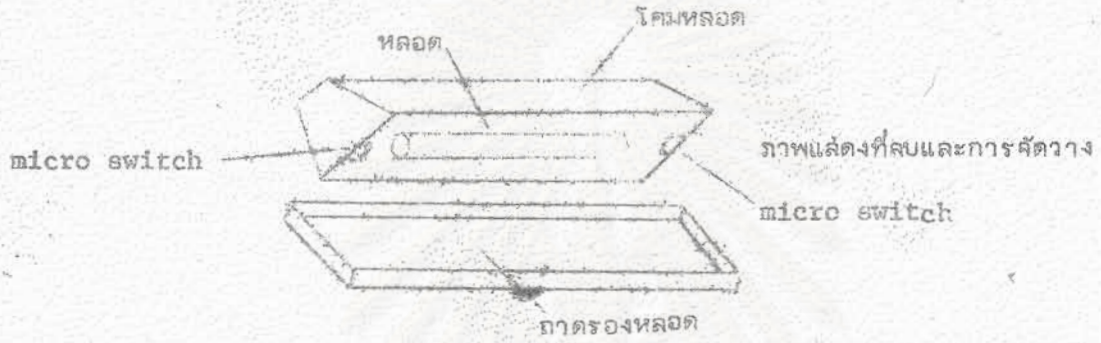
เนื่องจาก 2708 และ 2716 สามารถลบได้ด้วยแสง ความยาวคลื่นที่เริ่มมีผลในการลบได้นั้นเริ่มจาก 4000 Angstroms และน้อยกว่า ดังนั้นเวลาใช้งานอย่าให้โดนแสงอาทิตย์ หรือแสงนีออน ซึ่งอาจจะมีผลที่ทำให้ข้อมูลลบเลือนได้ โดยที่ถ้าโดนแสงอาทิตย์ติดต่อกันนานประมาณ 1 อาทิตย์ข้อมูลจะถูกลบหมดแต่ภายใต้แสงนีออน (ในที่นี้คือ fluorescent ที่ใช้ตามบ้าน) ข้อมูลอาจลบได้ภายในเวลา 3 ปี ดังนั้นการใช้งาน 2708 และ 2716 เมื่อทำการ PROGRAM เรียบร้อยแล้วควรหาเทปกระดาษทึบแสงมาปิดไว้ที่ช่องหน้ากากของมันไว้ และข้อควรระมัดระวังอีกอย่างหนึ่งในการลบคือ กระจกหน้ากากของมันต้องถูกเช็ดให้สะอาดเสียก่อน อย่าให้มีรอยนิ้วมือหรือคราบกาวของเทปกระดาษที่ปิดไว้อยู่ก่อน (อาจใช้ทินเนอร์เช็ดคราบกาวออกเสียก่อน)

ในโครงงานนี้ได้จัดทำเครื่องลบไว้ให้เช่นกัน โดยใช้หลอด UV ของ PHILIPS ขนาด 15 W ซึ่งมีราคาประมาณหลอดละ 240 บาท โดยที่หลอดนี้ ให้ความเข้ม (INTENSITY) 37 $\mu W/cm^2$ และความยาวคลื่นของแสง UV 2537 Angstroms จากการทดลองในการลบควรวางห่างตัวหลอด ประมาณ 1-2 cm และใช้เวลาในการลบประมาณ 15-20 นาที หรืออาจนานกว่านี้ถ้าเป็น ROM เก่า แต่ที่ตัวเครื่องลบนั้นเวลาใช้งานควรหาของมารองตัวไอซี ให้สูงขึ้นจนห่างจากหลอดในระยะดังกล่าวเพราะไม่ได้จัดเตรียมไว้ในกล่องควรหามารองทุกครั้งในการลบ วงจรที่ใช้จุดหลอดก็ใช้เหมือนกับการจุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดาทุกประการดังรูป 6.14




รูป 6.14 วงจรของเครื่องลบโปรแกรม EPROM

วงจรจุดหลอด UV ประกอบด้วยสตาร์ทเตอร์ บัลลาสท์ ขนาด 15 W นอกจากนี้ยังมีสวิทช์เปิดไฟและไมโครสวิทช์ ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันเวลาใช้งานกันคนยกตัวหลอดขึ้นแล่ง UV อาจจะโดนริวหนังหรือเข้าตาซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์ ดังนั้นที่ฐานของโคมหลอดจะต่อไมโครสวิทช์ไว้ที่ปลาย 2 ด้านเวลาคนยกโคมขึ้น หน้าสัมผัสของไมโครสวิทช์จะเปิดทันที ดับหลอดก่อนจะโดนคนเป็นอันตราย ส่วน R และ L เป็นหลอดนีออนเล็กใช้เป็นหลอดแสดง หลอดภายในติดอยู่หรือไม่




รูป 6.15 ตำแหน่งที่ติดตั้ง ไมโครสวิทช์

6.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึง การทดลองสร้างเครื่องโปรแกรม EPROM และเครื่องลบโปรแกรม EPROM ที่สามารถโปรแกรมได้คือ 2708 และ 2716 การออกแบบเครื่องโปรแกรม EPROM ได้ใช้วิธีการออกแบบให้เครื่องเป็นส่วนหนึ่งของระบบไมโครคอมพิวเตอร์ CU.80 โดยให้ CU.80 ควบคุมการทำงานของเครื่องทั้งหมด ทำให้วงจรของเครื่องง่าย และมีขนาดเล็ก ความสามารถของเครื่องโปรแกรม นอกจากจะใช้โปรแกรม ข้อมูลลงใน EPROM ยังสามารถอ่านข้อมูล แก้ไขข้อมูล และตรวจเช็คว่า EPROM ถูกลบโปรแกรมจนหมดสิ้นแล้วหรือไม่อีกด้วย ทำให้สะดวกในการใช้งาน การที่ใช้ CU 80 ควบคุมเครื่อง และใช้ซอฟท์แวร์ควบคุมการทำงานนี้ทำให้ง่ายต่อการแก้ไขปรับปรุงการทำงานของเครื่อง และยังง่ายต่อการขยายความสามารถของเครื่องในการโปรแกรม EPROM เบอร์อื่นๆอีกได้ ส่วนเครื่องลงโปรแกรม ก็พยายามใช้วัสดุที่พอหาได้ในประเทศมาใช้ การออกแบบตัวเครื่องได้คำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้งานไม่ให้แสงอุลตราไวโอเลท ออกมาเข้าตาผู้ใช้ได้ เครื่องทั้งสองนี้ปัจจุบัน อยู่ที่ห้องปฏิบัติการอิเล็คตรอนิคส์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ใช้งานในหมู่อาจารย์และนิสิต ในการพัฒนาระบบไมโครโปรเซสเซอร์ และวงจรเชิงเลข

# บทที่ 7 บทสรุป

รายงานวิจัยนี้ ได้กล่าวถึงรายละเอียดของผลการวิจัยและพัฒนาการเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติเชิงเลข เครื่องมือที่ได้ทดลองสร้างคือ ชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์ ลอจิกโพรบ ลอจิกมอนิเตอร์ เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ชุดทดลองไมโครโปรเซสเซอร์ เครื่องโปรแกรม EPROM และ เครื่องลบโปรแกรม รวมทั้งหมด 7 รายการ การวิจัยถือหลักที่จะพัฒนาอุปกรณ์การสอนที่สามารถทำขึ้นใช้ได้ มีโครงสร้างง่าย หาวัสดุในประเทศได้ และมีราคาถูก ชุดทดลองและเครื่องมือทุกชิ้นที่สร้างขึ้นปัจจุบันกำลังใช้งานอยู่ที่ห้องปฏิบัติการอิเล็คตรอนิคส์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า นอกจากจะใช้ประกอบการปฏิบัติการแล้ว ยังใช้ในการเรียนการสอน เช่น ชุดทดลองไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งได้รับทุนอุดหนุนจากภาควิชาให้สร้างใช้งานขึ้นมาอีกเป็นจำนวน 10 ชุด เพื่อใช้ในการสอนวิชาปฏิบัติการไมโครโปรเซสเซอร์ (162-561) ซึ่งกำลังเปิดสอนให้แก่นิสิตระดับปริญญาโท และ ปริญญาตรี ในปัจจุบัน เครื่องมือเช่น ชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์ ลอจิกโพรบ เครื่องโปรแกรม EPROM และเครื่องลบโปรแกรม ปัจจุบันกำลังใช้งานในห้องวิจัยวงจรอิเล็คตรอนิคส์ เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงงานและงานวิจัยของทั้งนิสิตและอาจารย์

จากผลการลองนำเครื่องมือที่ได้ออกแบบและสร้างต้นแบบขึ้นให้นิสิตและอาจารย์ในภาควิชาใช้งาน ปรากฏว่า ชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์ ที่เป็นที่นิยมกันใช้มากที่สุดก็คือ ชุดทดลองแบบที่หนึ่งและแบบที่สอง ที่มีแต่แหล่งจ่ายไฟตรงและแผงต่อวงจร เพราะมีรูปร่างกระทัดรัด การใช้งานง่าย และไม่จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษา ส่วนชุดทดลองและออกแบบวงจรอิเล็คตรอนิคส์แบบสมบูรณ์นั้น ผู้ใช้ต้องมีการฝึกหัดเรียนรู้การใช้งาน จึงสามารถใช้ได้ดี

ลอจิกโพรบที่ออกแบบให้และทดลองใช้งานดูเป็นเวลา 1 ปี พบว่าเป็นเครื่องมือที่มีความเชื่อถือได้สูง ไม่ด้อยกว่าผลิตภัณฑ์จากต่างประเทศ สำหรับลอจิกมอนิเตอร์ การใช้งานจะถูกจำกัดให้ใช้กับวงจร TTL ดังนั้นจึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้กันมากเท่าที่ควร เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ ชนิดง่าย ๆ ที่ออกแบบก็เป็นอุปกรณ์ที่ถูกใช้งานมากอีกชิ้นหนึ่ง ข้อเสียของวงจรที่ออกแบบคือรูปคลื่นไม่ค่อยงาม ในย่านความถี่สูง จึงใช้งานในย่านความถี่ต่ำและกลาง

แม้โครงการวิจัยนี้จะจบสิ้น แต่การวิจัยและพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์เหล่านี้จะต้องทำอยู่ตลอดเวลา เพราะวิทยาการทางด้านอิเล็คตรอนิคส์เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิชาอิเล็คตรอนิคส์เชิงเลขและไมโครโปรเซสเซอร์ การประดิษฐ์เครื่องมือไว้ใช้ในการเรียนการสอน นอกจากจะเป็นการลดงบประมาณแผ่นดินในการจัดซื้อครุภัณฑ์แล้วยังทำให้อาจารย์และนิสิตทำความเข้าใจ กับวิชาการทางด้านนี้อย่างจริงจัง มีทักษะและความชำนาญในการออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบ ผลิต ประกอบ เครื่องมืออิเล็คตรอนิคส์ เหล่านี้ ผู้วิจัยหวังว่าโครงการวิจัยนี้จะมีส่วนในการกระตุ้นให้อาจารย์ นิสิต และ ผู้มีฝีมือ ในประเทศเริ่มทำการวิจัยและพัฒนาการสร้างอุปกรณ์อิเล็คตรอนิคส์เหล่านี้ และอุปกรณ์อิเล็คตรอนิคส์ที่ใช้งานต่าง ๆ ด้วยตนเอง ต่อไป

# เอกสารอ้างอิง


1. Continental Specialities Corp., "Professional Product Catalog", 1978
2. E & L Instruments, INC., "The Circuit design line", 1978
3. E & L Instruments, INC., "The DIGI designer instruction manual", 1977
4. Intersil, INC., "Intersil Data Book", p5-267 1979
5. Hewlett Packard, "The IC Trouble sHooters", SEP, 1976
6. CQ Publisher., "Practecal electronic circuits hand book Voll" 1972
7. Continental Specialities Corps., "Logic monitor LM 1, instruction manual" 1979
8. "IC TIMER"
9. D.F. STOUT, M. KAUFMAN, "Hand book of operational amplifier circuit design", "McGrow-Hill, 1976
10. M. SATO, "How to build digitol clock", NIHON HOSO SHUPPAN ASS. 1979
11. Texos Instrument INC., "TTT databook" 1979
12. D. Lou caster, "TTL cookbook" Howard W. Sams & Co Ltd. 1979
13. กฤษดา วิศวธีรานนท์ ยืน ภู่วรวรรณ "ไมโครโปรเซสเซอร์" สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทยญี่ปุ่น) 2523
14. J.D. Lenk "Handbook of microprocessor, microcomputer and minicomputer Prentice-Hall, INC., 1979
15. Intel Corp., "Component data catalog 1979", 1979
16. Intel Corp., "Pheripheral design handbook", 1979
17. กฤษดา วิศวธีรานนท์ "คู่มือการใช้งานไมโครคอมพิวเตอร์ CU.80" ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523

18. กฤษดา วิศวธีรานนท์, "การเขียนโปรแกรมสำหรับไมโครโปรเซสเซอร์ 8080" ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2524

19. H.TAUB,D. SCHILLING, "Digital Integrated Electronics" , McGraw-Hill 1977

20. Intel Corp., "Memory design handbook" , 1977

21. R. ZAKS, A. LESEA, "Microprocessor interfacing techniques" SYBEX , 1979

22. J.J. Donovan "Systems programming" McGraw-Hill , 1972