

PROGRAMMABLE MULTIFUNCTION
INSTRUMENT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญาานิพนธ์ PROGRAMMABLE MULTIFUNCTION INSTRUMENT

โดย

นาย สราวุฒิ วัฒนศิริ เลขประจำตัว 35102031

นาย อาลักษณ์ ยนต์นิยม เลขประจำตัว 35102044

อาจารย์ที่ปรึกษา อ. ขวลิต เบญจางคประเสริฐ

ภาควิชา เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2536

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญาานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

()

..... กรรมการ

()

..... กรรมการ

()

..... กรรมการ

()

..... กรรมการ

()

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

PROGRAMMABLE MULTIFUNCTION INSTRUMENT

โดย นาย สราวุฒิ วัฒนศิริ รหัส 35102031
นาย อาลักษณ์ ยนต์นิยม รหัส 35102044

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ขวลิต เบญจางคประเสริฐ

บทคัดย่อ

ปริญญาโทฉบับนี้เสนอการนำ ระบบไมโครโพรเซสเซอร์มาประยุกต์ใช้งานเป็น เครื่องมือวัดระบบดิจิทัลโดยใช้ไมโครโพรเซสเซอร์เป็นตัวควบคุมงานของระบบทั้งหมด แทน ระบบเดิมที่ใช้เป็นแบบอนาลอกที่มีความผิดพลาดในระบบการวัดมาก ทั้งยังมีฟังก์ชันการใช้งานน้อย แนวความคิดเครื่องนี้เป็นเครื่องมือใช้งานระบบดิจิทัลใช้เป็นระบบการกดปุ่มเลือกฟังก์ชันทำให้ สะดวกต่อการใช้งาน ง่ายต่อการใช้เพราะแสดงผลด้วย LCD ภายนอกมาให้เลือกใช้หลายฟังก์ชัน ราคาถูกและมีขีดความสามารถสูง

ABSTRACT

THIS PROJECT IS PRESENTED ABOUT APPLICATION OF MICROPROCESSOR IN THE DIGITAL INSTRUMENT BY USING THE MICROPROCESSOR CONTROL THE SYSTEM REPLACE THE ANALOG SYSTEM THAT HAVE ERROR IN MEASUREMENT AND HAVE A FUNCTION LESS THAN DIGITAL INSTRUMENT.

THIS PROJECT IS A PROGRAMMABLE MULTIFUNCTION INSTRUMENT THAT CAN BE MEASURE THE VOLTAGE, AMPERE, RESISTANCE, CAPACITANCE AND INDUCTANCE. THIS PROJECT IS DISPLAY BY LCD.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

<u>เรื่อง</u>	<u>หน้า</u>
บทคัดย่อ	
สารบัญ	
บทที่	
1. วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
2. ขอบเขตและคุณสมบัติของโครงการ	4
3. องค์ประกอบของเครื่อง (Hard ware)	7
-การวัดความถี่และเวลา	7
-การวัด LC	38
-การวัด Volts, Ohms, Amps	43
-บอร์ดควบคุม (Board CP-Z80V1)	52
-บอร์ด 8255 Port (72IOZ80)	58
-บอร์ดแสดงผล (Dot matrix LCD module)	66
-บอร์ดคีย์ และ เสียง (Keys and sound board)	80
-บอร์ดแหล่งจ่าย (Power supply)	81
4. องค์ประกอบของเครื่อง (Soft ware)	82
5. สรุปผลการดำเนินการ	135

โครงการ PROGRAMMABLE MULTIFUNCTION INSTRUMENT

(FREQUENCY COUNTER AND MULTIMETER)

วัตถุประสงค์

1. สร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือวัดทางดิจิทัลที่แสดงผลด้วยตัวเลขที่มีความแน่นอนสูง
2. เพื่อรองรับโครงการต่าง ๆ ที่จะนำไปใช้งานเพราะเครื่องนี้มีความสะดวกในการวัดได้หลายชนิดในเครื่องเดียว จึงสามารถนำไปใช้วัดหรือตรวจสอบได้สะดวกไม่ต้องมีเครื่องมือไปหลายชิ้น
3. เนื่องจากเครื่องมือวัดระบบดิจิทัลมีราคาค่อนข้างสูงและฟังก์ชันที่ใช้งานมีน้อย
4. สามารถแสดงผลเป็นตัวหนังสือได้ เมื่อเกิดความผิดพลาด

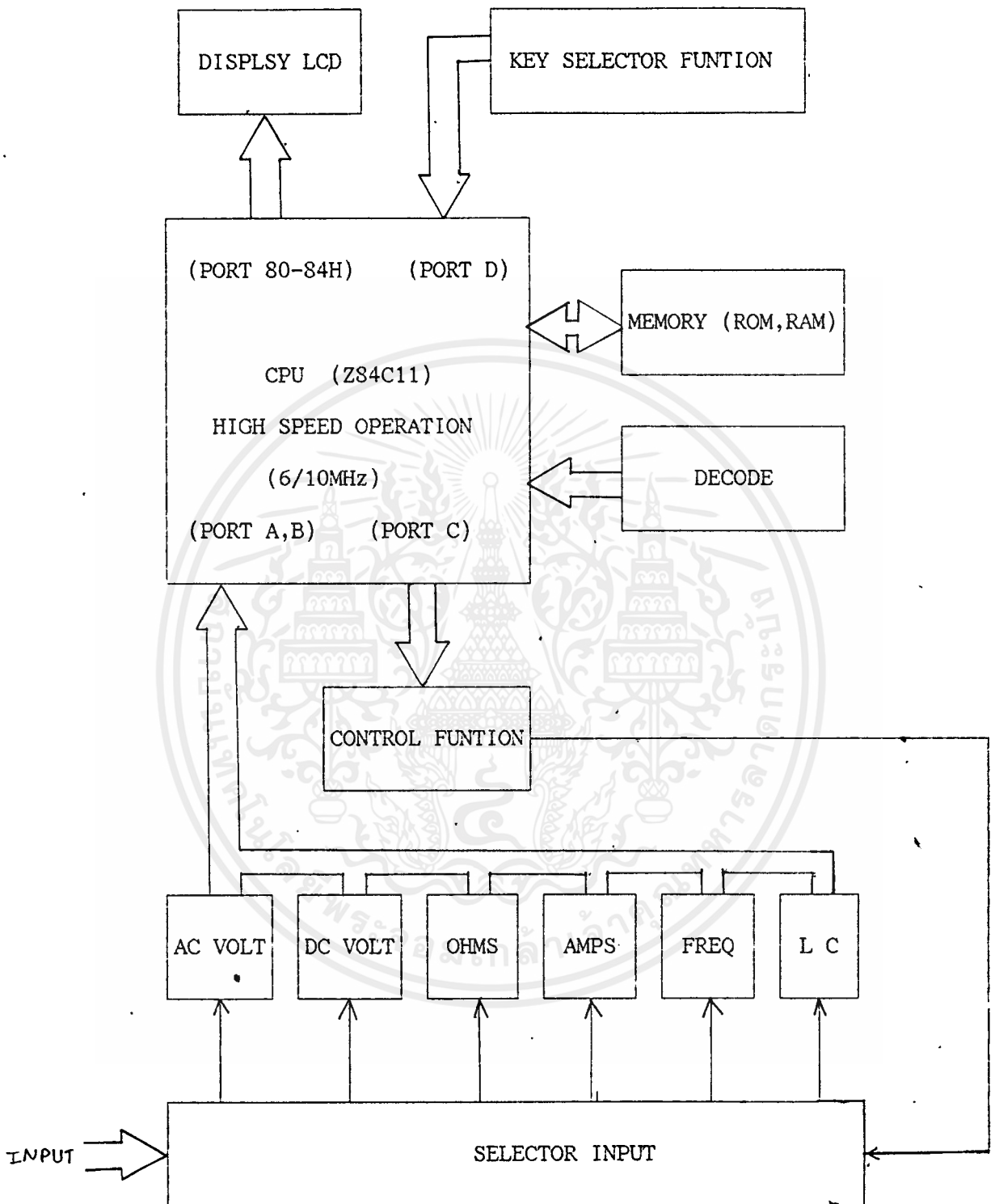
ผลที่คาดว่าจะได้รับ

จะเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์มากสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ซึ่งมีความสะดวกต่อการใช้งานอย่างยิ่ง พร้อมทั้งสามารถนำไปใช้พัฒนาสิ่งประดิษฐ์ต่าง ๆ ได้ เพื่อจะได้รองรับเทคโนโลยีใหม่

แนวความคิดที่จะสร้างโครงการ

โครงการนี้มีอยู่ด้วยกันหลายส่วนและหลายฟังก์ชัน ซึ่งจะอธิบายการทำงานดังรูปที่ 1 ดังนั้นจากรูป จะเห็นได้ว่ามีส่วนที่ความสำคัญภายในเครื่องประกอบด้วยกันหลายส่วนมีดังนี้

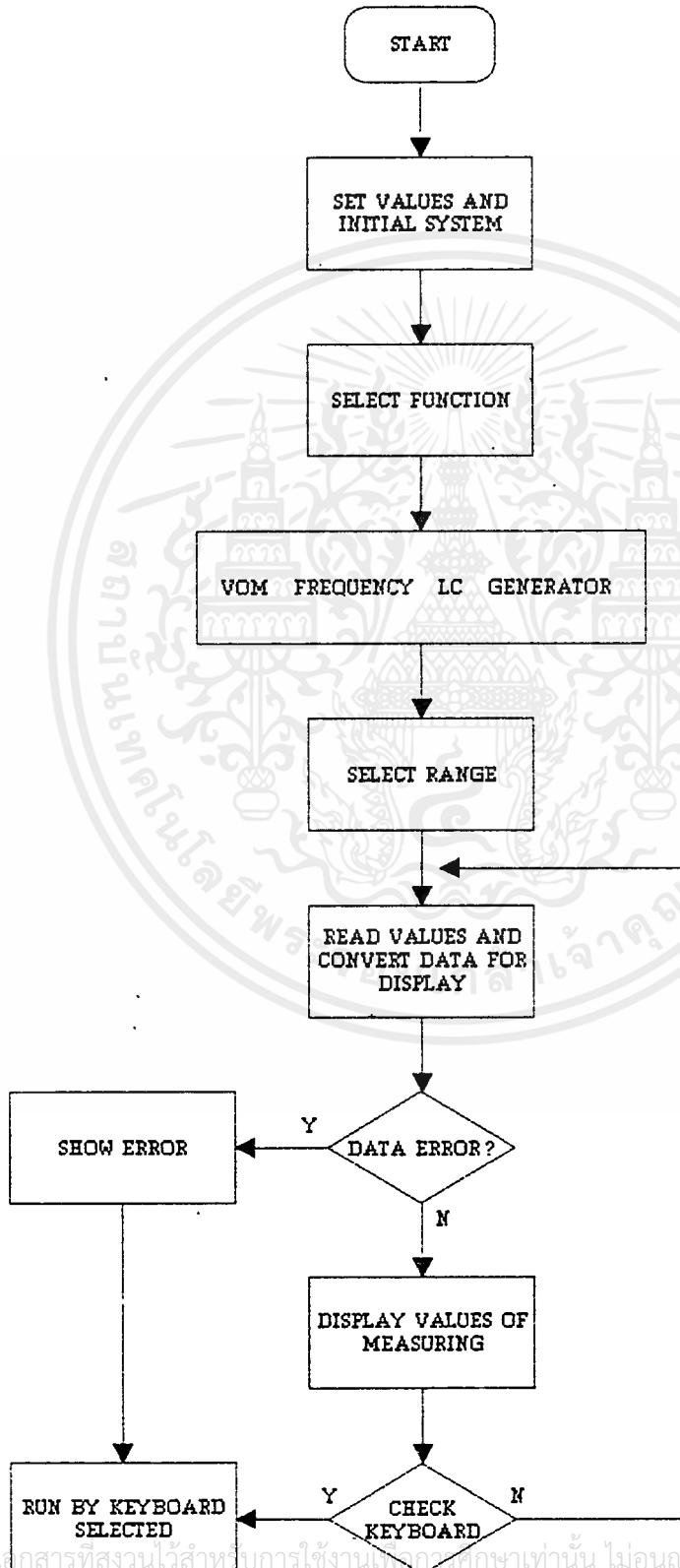
1. CPU
2. ADC
3. FREQUENCY COUNTER
4. AC VOLT METER
5. DC VOLT METER
6. AMP METER
7. OHM METER
8. L METER
9. C METER
10. LCD



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONCEPT OF
MONITOR
PROGRAM



บทที่ 2

ขอบเขตและคุณสมบัติของโครงการงาน

เป็นเครื่องมือวัดที่มีความสามารถในการวัด และการใช้งานในหลายหน้าที่ดังนี้คือ

1. วัดแรงดัน กระแส และความต้านทาน (VOM)
2. วัดความถี่ (Frequency)
3. วัดความจุ และ ความเหนี่ยวนำ (Capacitance and Inductance)
4. กำเนิดความถี่ (Generator)

โดยการทำงานในแต่ละ Function จะถูกควบคุมโดย Microprocessor ซึ่งในแต่ละ Function การวัดจะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. Volt meter (DC) มี 5 range

- 1) 200 mV
- 2) 2 V
- 3) 20 V
- 4) 200 V
- 5) 2000 V

2. Volt meter (AC) มี 5 range

- 1) 200 mV
- 2) 2 V
- 3) 20 V
- 4) 200 V
- 5) 2000 V

3. Amp meter (DC) มี 5 range

- 1) 200 μ A
- 2) 2 mA
- 3) 20 mA
- 4) 200 mA
- 5) 2000 mA

4. Amp meter (AC) มี 5 range

- 1) 200 μ A
- 2) 2 mA
- 3) 20 mA
- 4) 200 mA
- 5) 2000 mA

5. Ohm meter มี 5 range

- 1) 200 ohms
- 2) 2 Kohms
- 3) 20 Kohms
- 4) 200 Kohms
- 5) 20 Mohms

6. Frequency meter มี 4 range

- 1) 0.01 sec
- 2) 0.1 sec
- 3) 1 sec
- 4) 10 sec

7. Capacitance meter มี 4 range

- 1) 1 nF
- 2) 10 nF
- 3) 100 nF
- 4) 1 μ F

8. Inductance meter มี 4 range

- 1) 1 mH
- 2) 10 mH
- 3) 100 mH
- 4) 1 H

(Monitor Program) หรือเพิ่มเติมวงจร Interface อีกเพียงเล็กน้อย เช่น

- สามารถพัฒนาให้เครื่องวัดมีคุณสมบัติในการเก็บข้อมูล (Data logger) และพิมพ์ค่าการวัดออกจากเครื่องพิมพ์เพื่อเก็บไว้เป็นหลักฐานข้อมูลโดยการพัฒนาโปรแกรมและเพิ่มวงจร Interface กับเครื่องพิมพ์เข้าไป
- สามารถพัฒนาให้เก็บค่าสูงสุดหรือต่ำสุดได้โดยการพัฒนาที่โปรแกรม
- สามารถเพิ่มวงจร Interface และพัฒนาโปรแกรมอีกบางส่วนให้สามารถติดต่อกับ computer และควบคุมการวัดจาก computer ได้



บทที่ 3

องค์ประกอบของเครื่อง (Hard ware)

องค์ประกอบของเครื่องทางด้าน Hard ware นี้จะมีส่วนประกอบโดยรวมอยู่ 7 ส่วนด้วยกัน โดยแต่ละส่วนจะทำงานตามการควบคุมของ Soft ware ที่ควบคุมโดยบอร์ดควบคุม (CP-Z80V1) โดยแต่ละส่วนมีดังนี้

- การวัดความถี่
- การวัด LC
- การวัด Volt, Ohm, Amp
- บอร์ดควบคุม (Board CP-Z80V1)
- บอร์ดแสดงผล (Dot matrix LCD module)
- บอร์ดเสียง (Sound board)
- บอร์ด 8255 Port (72IOZ80)
- บอร์ดแหล่งจ่าย (Power supply)

ซึ่งงานส่วนประกอบในทุกส่วนของบอร์ดนั้นจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดแต่ละบอร์ดต่อไป

การวัดเวลาและความถี่

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดเวลาและความถี่ในสมัยแรกนั้น ส่วนแสดงผลจะใช้จอภาพเช่นเดียวกับออสซิลโลสโคปซึ่งจะมีปัญหาในการอ่านคือ ค่าที่อ่านเป็นค่าโดยประมาณไม่มีความละเอียดพอ ต่อมาได้มีการคิดการแสดงผลออกมาเป็นตัวเลขเลย ซึ่งในทางปฏิบัติ (ในยุคนั้น) ทำได้ยากมาก เพราะสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณอยู่ตลอดเวลา ซึ่งในการวัดคาบเวลาและความถี่นั้นค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์แต่ละชิ้นที่สร้างขึ้นทำซ้ำสร้าง เครื่องมือวัดต้องเป็นค่าที่เที่ยงตรงและชนิดที่มีคุณภาพดี เพื่อให้ได้เครื่องมือวัดที่มีความเที่ยงตรงและความไวสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เครื่องมือวัดในห้องทดลองค้นคว้าต้องเป็นชนิดที่มีคุณภาพไม่คลาดเคลื่อนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้น

ปัจจุบันเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าทำให้สามารถผลิต เครื่องมือวัดที่คุณสมบัติดังกล่าวได้ไม่ยากเย็น เราลองมาศึกษาเรียนรู้ถึง เครื่องมือชนิดนี้กันโดยละเอียดซึ่งรู้จักกันโดยทั่วไปว่า **เครื่องนับความถี่อเนกประสงค์** หรือ Universal Timer Counter บางทีก็เรียกว่า เครื่องวัดเวลาและความถี่อเนกประสงค์ **เครื่องวัดเวลาและความถี่อเนกประสงค์**

เครื่องวัดเวลาและความถี่ถือได้ว่าเป็น เครื่องมือที่มีความสามารถในการวัดและมีประโยชน์ใช้สอยสูงมากการจัดวงจรรับสัญญาณอินพุตได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษคือ ไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของแอมพลิจูด (คือ สามารถวัดขนาดของสัญญาณที่มีขนาดเพียงไม่กี่มิลลิโวลต์จนถึงหลายร้อยโวลต์ก็ได้) และไม่จำกัดรูปร่างของสัญญาณ

เครื่องมือวัดเวลาและความถี่อเนกประสงค์มีความแตกต่างจากเครื่องมือวัดธรรมดาคือ นำไปใช้วัดได้หลายอย่าง เช่น วัดความถี่, วัดค่าช่วงเวลา, วัดความกว้างของพัลส์และอื่น ๆ นอกจากนี้แล้วยังถือเป็น เครื่องมือวัดสากลที่ใช้เป็นมาตรฐานในการวัดความกว้างของช่วงเวลาและความถี่อเนกประสงค์รุ่นมาตรฐานต่ำสุดก็สามารถวัดความถี่ได้ถึง 10 MHz และสามารถวัดคาบเวลาละเอียดเป็น μs ได้รุ่นที่มีราคาแพงบางรุ่นสามารถวัดความถี่ตั้งแต่ 0-50 GHz (DC จนถึงแสงแดด) และสามารถตีเท็คตคาบเวลาที่สั้นจนเป็น ns ได้

เครื่องวัดเวลาและความถี่อเนกประสงค์ เครื่องแรกที่สร้างนั้นภายในตัวจะประกอบด้วยหลอดสูญญากาศเต็มไปหมดทั้งเครื่อง ท้าให้มีน้ำหนักเต็มไปหมดทั้งเครื่อง ท้าให้มีน้ำหนักและกินเนื้อที่มาก อีกทั้งยังต้องใช้กำลังงานไฟฟ้าสูงมากเพื่อป้องกันให้หลอดทำงาน ต่อมาในปี พ.ศ. 2495 ฮิว-

เลตต์ แพคการ์ด ได้ทำการพัฒนาโดยการนำเอาการนับแบบดิจิตอลเข้ามาใช้เป็นครั้งแรก ซึ่งงานตอนนั้นสามารถวัดความถี่ได้ 10 MHz และวัดช่วงเวลาละเอียดเป็น 100 ns ทั้งมีการแสดงผลแบบดิจิตอลด้วย

เมื่อมีการประดิษฐ์ทรานซิสเตอร์ขึ้นก็ได้นำเอามาใช้งานแทนหลอดสุญญากาศ ทำให้ขนาดของเครื่องเล็กลงและมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ต่อมาในช่วงปี พ.ศ. 2513 อุปกรณ์จำพวก MOS และ LSI ได้ถูกนำมาใช้งานแทนทรานซิสเตอร์เป็นผลทำให้เกิดการขยายขอบเขตของเครื่องมือวัดให้มีการทำงานได้มากขึ้น และสิ้นเปลืองกำลังงานไฟฟ้าที่น้อยลง

เมื่อไมโครโปรเซสเซอร์ถูกสร้างขึ้นก็มีการนำเอาไมโครโปรเซสเซอร์เข้ามาใช้งานกับเครื่องวัดเวลาและความถี่ ทำให้เครื่องมือมีการพัฒนาทางด้านการนับสูงยิ่งขึ้นไปอีก

ในปัจจุบัน VLSI ได้เข้ามามีบทบาทกับเครื่องมือวัดเป็นอันมากทำให้ขบวนการวัดมีการขยายขอบเขตมากขึ้น โดยสามารถใช้เครื่องวัดเวลาและความถี่เนกประสงค์ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ต่อรวมภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น สามารถตัดแปลงไว้ติดต่อผ่านทาง IEEE488 โดยจะติดต่อกับคอมพิวเตอร์, อุปกรณ์เรียกข้อมูลกลับ, ระบบวัดระยะทางของวัตถุและอื่น ๆ อีกมากมาย

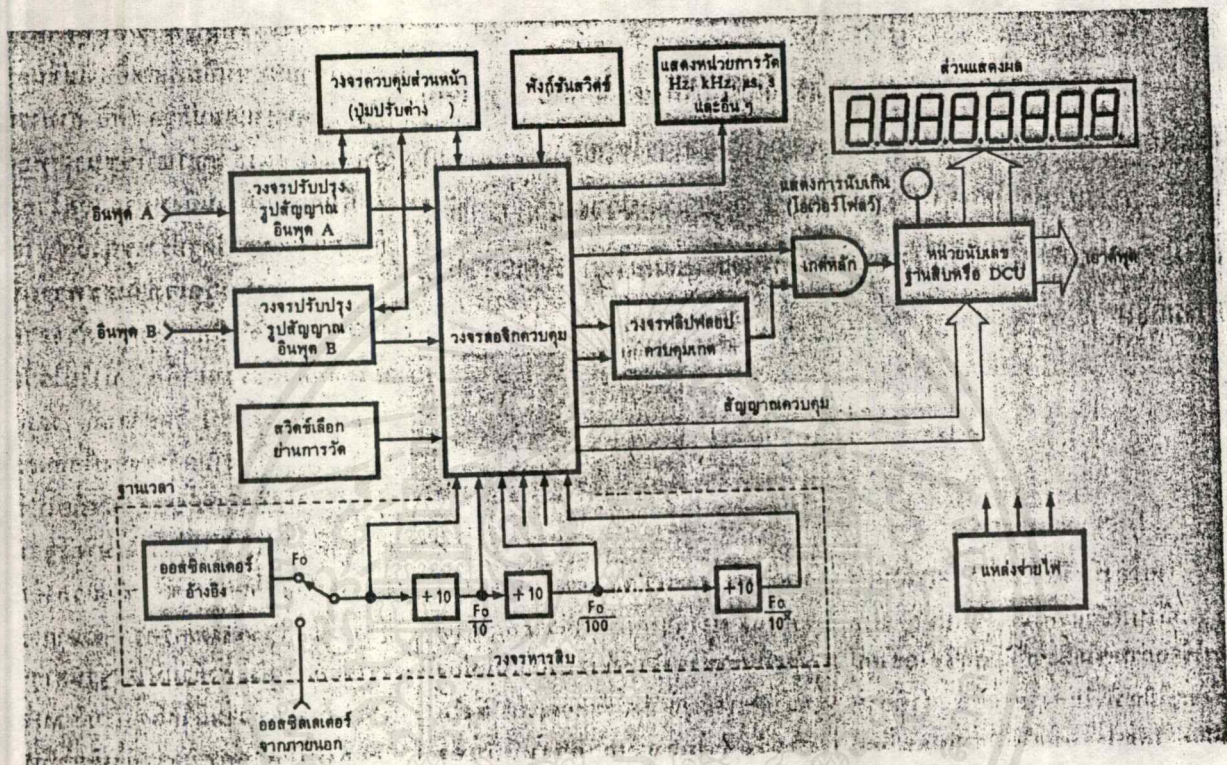
เนื่องจากเครื่องวัดเวลาและความถี่เป็นเครื่องมือซึ่งใช้งานได้หลายอย่างนอกจากการวัดความถี่และเวลาแล้วบ่อยครั้งก็นำมาใช้วัดการเพิ่มค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น เฟส, อัตราความถี่, ดิวตี้ไซเคิล และสแควร์เรต เครื่องวัดเวลา เช่น สามารถโปรแกรมการทำงานไว้, สามารถอ่านค่าแอปพลิเคชันออกมาได้, แสดงระดับการทริกไว้ เป็นต้น

โครงสร้างของเครื่องวัดเวลาและความถี่

จากรูปที่ 1 แสดงถึงองค์ประกอบพื้นฐานของเครื่องวัดเวลาและความถี่เนกประสงค์ ซึ่งงานที่นี้ยังไม่ได้แสดงส่วนของวงจรอินพุต, วงจรแหล่งจ่ายแรงดัน และวงจรออสซิลเลเตอร์อ้างอิงไว้ จะเห็นว่าแต่ละบล็อกประกอบขึ้นจากอุปกรณ์ดิจิตอล ซึ่งบางทีก็จะเป็นอุปกรณ์ตระกูลลอจิกชนิดเดียวกันล้วน ๆ หรือไม่ก็นำมาผสมกันระหว่างอุปกรณ์หลาย ๆ ชนิด เช่น CMOS, TTL และ ECL การเลือกอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้กับเครื่องมือวัดสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงคือ ความเร็วและการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้า ซึ่งเป็นตัวกำหนดความสามารถของเครื่องมือวัด

เมื่อนึกถึงเครื่องมือวัดที่มีความสามารถในการวัดงานได้หลายอย่างหลายคนคงคิดว่าต้องมีอินพุตสำหรับวัดหลายอินพุต แต่สำหรับเครื่องวัดเวลาและความถี่เนกประสงค์นั้น อินพุตจะมีเพียง 1 ถึง 3 อินพุตส่วนใหญ่จะมี 2 อินพุตคืออินพุต A และ อินพุต B สำหรับการวัดเฟส, เปรียบ

เทียบความถี่, วัดดิวิตซ์ไอเกิลและอื่น ๆ โดยยู่การทํางานของฟังก์ชันสวิตซ์เข้าช่วย ส่วนอินพุตที่มากกว่านี้มักจะเป็นอินพุตสำหรับความถี่สูงจนถึงย่าน VHF ก็มี รายละเอียดของแต่ละส่วนในรูปที่ 1 ก็มีดังนี้



รูปที่ 1 องค์ประกอบพื้นฐานของเครื่องวัดเวลาและความถี่อเนกประสงค์

ส่วนปรับปรุงรูปสัญญาณ

สัญญาณที่เข้าหารับพัลส์นั้นจำเป็นต้องเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากเท่านั้น แต่เนื่องจากสัญญาณอินพุตที่รับเข้ามาจากแหล่งจ่ายสัญญาณต่าง ๆ เป็นสัญญาณที่มีแอมพลิจูดและรูปร่างของสัญญาณที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรอินพุตที่ทำการปรับปรุงรูปร่างของสัญญาณอินพุตให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิทัลก่อนที่จะส่งเข้าวงจรนับ เพื่อให้ปราศจากสัญญาณรบกวนอันจะทำให้การวัดเกิดการผิดพลาดได้

หน่วยควบคุม

หน่วยควบคุมเป็นการรวมเอาวงจรเกต, ฟลิปฟลอป และการมัลติเพล็กซ์เข้าไว้ด้วยกัน เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำหน้าที่ในการควบคุมสัญญาณที่เหมาะสม โดยมีสวิตช์เป็นตัวกำหนดชนิดของการวัดหน่วยควบคุมจะ
ควบคุมการทำงานของหน่วยการนับ และควบคุมการแสดงผลของหน่วยแสดงผล โดยจะได้รับสัญญาณ
มาตรฐานเวลามาเป็นตัวอ้างอิงการทำงาน

เกตหลัก

เกตหลักทำหน้าที่ในการนับสัญญาณพัลส์ โดยใช้ฟลิปฟลอปมาทำการควบคุมการเปิดเกตและมี
คอนโทรลลอจิกเป็นตัวจัดการต่าง ๆ เกี่ยวกับการนับสัญญาณพัลส์ ตัวเกตหลักนี้ก็คือแอนด์เกตขนาด
2 อินพุตตัวหนึ่งนั่นเอง โดยมีมันจะยอมให้พัลส์จากอินพุตผ่านไปยังภาคนับก็ต่อเมื่อมีสัญญาณเปิดเกตมา
จากฟลิปฟลอป

ความถี่สูงสุดในการนับสัญญาณพัลส์จะถูกจำกัดโดยความเร็วของเกตที่นำมาใช้ เช่น ถ้าใช้
TTL หรือโฮสปีด CMOS ความถี่สูงสุดจะเป็น 40 MHz แต่ถ้าใช้ ECL จะสามารถทำงานได้ที่
ความถี่สูงถึง 500 MHz

ฐานเวลา

สิ่งสำคัญที่ใช้เป็นฐานเวลา (time base) ก็คือ ออสซิลเลเตอร์อ้างอิง ซึ่งเอาต์พุตจะเป็น
แบบดิจิตอลพัลส์มีความถี่ f_0 (Frequency Oscillator) เท่ากับ 10 MHz แล้วนำเข้า
วงจรรักษาความถี่ประมาณสิบเท่า สัญญาณเอาต์พุตจะถูกเลือกโดยสวิตช์เพื่อไปควบคุมอัตราส่วน
ของการนับ ความถูกต้องของการวัดจะขึ้นอยู่กับความคงที่ และเสถียรภาพของวงจรรออสซิลเล
เตอร์อ้างอิง โดยทั่วไปแล้วจะใช้ผลึกแร่คริสตอล (Quartz Crystal) มาเป็นตัวกำเนิดความถี่
ซึ่งมีความเที่ยงตรงสูง เครื่องวัดเวลาและความถี่บางเครื่องจะมีจุดรับสัญญาณฐานเวลาจาก
ภายนอกเพื่อนำมาใช้อ้างอิงในการนับได้ด้วย

หน่วยนับเลขฐานสิบ

หัวใจของเครื่องวัดเวลาและความถี่ก็คือ หน่วยการนับหรือที่เรียกว่า หน่วยนับเลขฐานสิบ
(Decimal Counting Unit หรือ DCU) ซึ่งทำหน้าที่นับพัลส์จากเอาต์พุตของเกตหลัก โดยทำ
การนับขึ้นต่อเนื่องกัน พัลส์ที่ DCU นับได้จะถูกแสดงออกมาเป็นตัวเลขที่ส่วนแสดงผล

ก่อนเริ่มทำการวัดวงจรควบคุมลอจิกจะส่งสัญญาณรีเซตไปยัง DCU ซึ่งนุทำการเซตให้
วงจรรับภายในกลายเป็นศูนย์ เมื่อสัญญาณพัลส์ผ่านเกตหลัก 1 ลูก ก็เป็นการนับหนึ่งครั้งผลรวม
ของจำนวนพัลส์จะถูกนำมาแสดงเป็นตัวเลขฐานสิบบนส่วนแสดงผล

แต่ถ้าจำนวนพัลส์ที่จะนับมีมากเกินไปจนเกินตัวเลขสูงสุดที่จะนับได้ตัวเลขจะนับวนใหม่ ค่าที่
ได้จะผิดพลาดทันทีเรียกว่า เกิด **รโเวอร์ฟลว์ (over flow)**

ส่วนแสดงผล

จำนวนหลักของส่วนแสดงผลเป็นตัวบ่งบอกถึงความละเอียดของการวัด ซึ่งจะถูกกำหนดโดยช่วงเวลาเปิดเกต (เมื่อวัดความถี่) และความถี่ฐานเวลาอ้างอิง (เมื่อวัดคาบเวลา) สิ่งสำคัญที่สุดในการวัดสัญญาณก็คือสัญญาณที่ได้รับจากออสซิลเลเตอร์อ้างอิงเป็นตัวกำหนดความเที่ยงตรงและเสถียรภาพของเครื่องมือวัด หากออสซิลเลเตอร์อ้างอิงมีการผลิตสัญญาณที่ผิดจากค่าจริงไปเล็กน้อย จะทำให้การวัดเกิดการผิดพลาดไปได้มาก

โดยปกติแล้วความเที่ยงตรงจากคริสตอลจะให้ความละเอียดของการวัดอยู่ในช่วง 7 ถึง 8 หลัก ของการแสดงผล

หลักการวัดเวลาและความถี่

หน้าที่อันหลากหลายของเครื่องวัดเวลาและความถี่เนกประสงค์นั้นล้วนใช้ส่วนประกอบที่กล่าวมาทั้งหมดเช่นเดียวกัน เพียงแต่มีการจัดลักษณะการทำงานร่วมกันให้สอดคล้องกับความต้องการในแต่ละหน้าที่ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

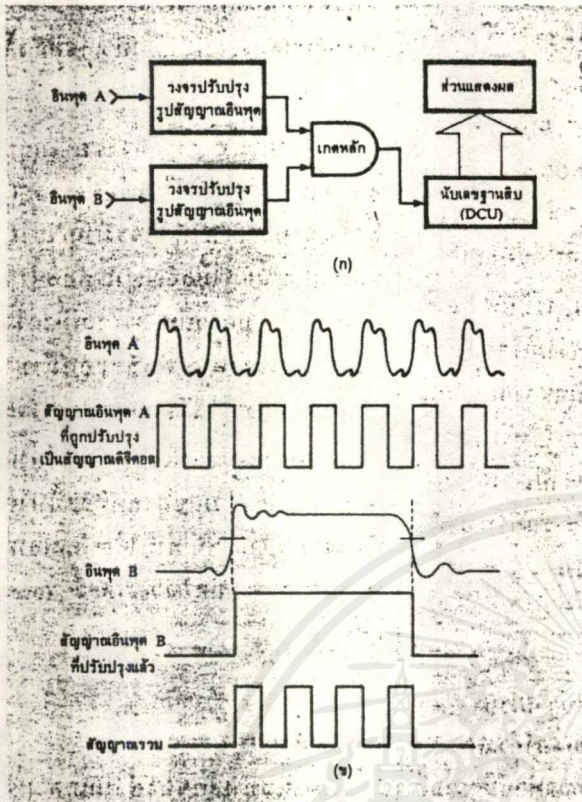
การนับจำนวน

บางครั้งเรียกหมตการนับพัลส์หรือนับเหตุการณ์ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการนับจำนวนพัลส์รดยาชีพวนการทางเวลาเข้ามาควบคุม มีการจัดโครงสร้างการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) มีสัญญาณอินพุต A และ B เป็นสัญญาณที่ใช้ควบคุมเกตหลัก จากโหม่มิงโคอะแกรม ดังรูปที่ 2 (ข) จะเห็นว่าสัญญาณพัลส์ A จะถูกควบคุมโดยสัญญาณจากอินพุต B นั่นก็คือจำนวนพัลส์จากอินพุต A ที่ถูกนับจะมีอยู่เพียงจำนวนขอบเขตที่มีสัญญาณอินพุตจาก B เท่านั้น

การวัดความถี่

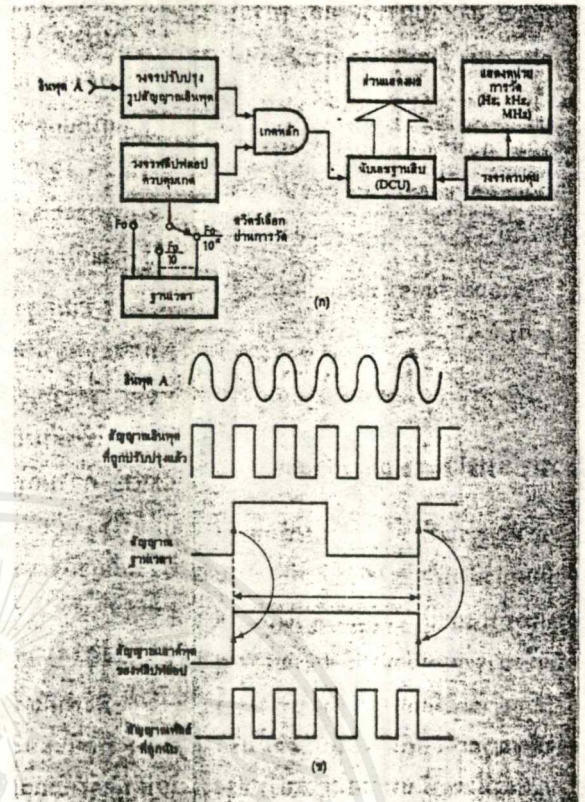
คำจำกัดความของคำว่าความถี่ก็คือ จำนวนของคลื่นที่เกิดขึ้นในหนึ่งหน่วยเวลาหรือจำนวนลูกคลื่นต่อวินาทีรูปที่ 3 (ก) แสดงการจัดวงจรที่ใช้วัดความถี่ซึ่งนำเอาฟิลิปฟลอปมาควบคุมเกตโดยมีการทำงานในโหมดที่ออกเกิดเกตหลักจะทำงานเมื่อมีช่วงเวลาเกต (T) เท่ากับคาบเวลาซึ่งเลือกจากฐานเวลา ส่วนรูปที่ 3 (ข) แสดงโหม่มิงโคอะแกรมของการวัด ซึ่งทำการนับพัลส์ได้ 5 ลูก ละมีช่วงเวลาเปิดเกตเท่ากับ 1 วินาที (ฐานเวลาอ้างอิงเท่ากับ 1 Hz) ความถี่อินพุตจึงมีค่าเป็น 5 Hz

ถึงแม้ตามคำจำกัดความของความถี่จะต้องอ้างอิงกับเวลา 1 วินาทีที่ถูกต้องจริงเราสามารถใช้เวลาเปิดเกตที่ต่างไปจาก 1 วินาทีได้ ซึ่งจะมีผลต่อลักษณะการแสดงผลของตัวเลขความถี่ที่วัดด้วยพิจารณาความถี่ 7654321 Hz มีช่วงเวลาเปิดเกตเป็น 1 วินาที และส่วนแสดงผลมี 8 หลัก ใน



รูปที่ 2 (ก) วงจรนาฬิกาการนับ

(ข) สัญญาณต่าง ๆ ที่ปรากฏ



รูปที่ 3 (ก) วงจรวัดความถี่

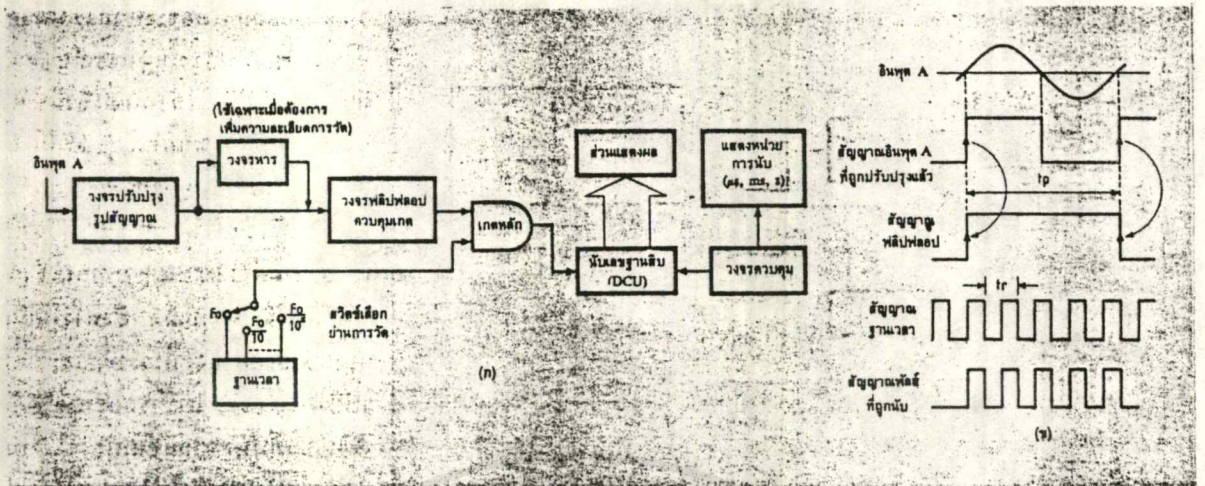
(ข) สัญญาณต่าง ๆ ที่ปรากฏ

การวัดจะแสดงค่าเป็น 07654321 Hz (หรือ 07654.321 KHz) แต่ถ้าเลือกช่วงเวลาเปิดเกต เป็น 1 ms วงจรภายในจับพัลส์ได้เพียง 7654 ลูก หน่วยของความถี่ที่วัดได้จึงต้องเปลี่ยนไป 1 พันเท่าคือเป็น KHz แทน ตัวเลขที่แสดงผลจะอ่านค่าเป็น 00007654 KHz

ช่วงเวลาเปิดเกตสั้นจะเข้ากับงานที่สัญญาณอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (ความถี่สูง) แต่จะทำให้การวัดมีความละเอียดและความเที่ยงตรงลดลง การเพิ่มความละเอียดสามารถทำได้โดยการเพิ่มช่วงเวลาเปิดเกต เช่น ถ้าความถี่อินพุตเป็น 123.45 Hz ถูกลบที่ 100 วินาที DCU จะนับพัลส์ได้ 12345 ลูก ส่วนแสดงผลจะแสดงค่าเป็น 000123.45 Hz ความละเอียดจะเพิ่มขึ้น 100 เท่า เป็นต้น

การวัดคาบเวลา

รูปที่ 4 (ก) แสดงการจับเวลาที่ใช้ในการวัดคาบเวลาของสัญญาณอินพุต A ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับการวัดความถี่ แต่สัญญาณที่เกตหลักจะสลับเป็นตรงข้ามกัน โดยใช้สัญญาณจากอินพุต A มาควบคุมการเปิดเกตเพื่อนับพัลส์ที่ได้จากวงจรกำเนิดฐานเวลาแทน เพราะที่จริงแล้วคาบเวลาก็คือ ส่วนกลับของความถี่นั่นเอง



รูปที่ 4 (ก) การวัดวงจรการวัดคาบเวลา

(ข) สัญญาณต่าง ๆ ที่ปรากฏ

วงจรฟิลิปฟลอปควบคุมเกตจะทำงานในโหมดที่ถือเกิด โดยความกว้างของสัญญาณเอาต์พุตจะเท่ากับคาบเวลาของสัญญาณอินพุต (t_p) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4 (ข) แต่ละพัลส์ของสัญญาณฐานเวลาซึ่งมีคาบเวลาเท่ากับ t_r จะถูกนับในช่วงเวลา t_p ใต้จำนวนพัลส์ที่สามารถคิดกลับมาเป็นค่าคาบเวลาของสัญญาณอินพุต A ได้ จาก

$$T_p = n \times T_r$$

เมื่อ T_p คือ คาบเวลาของสัญญาณอินพุต

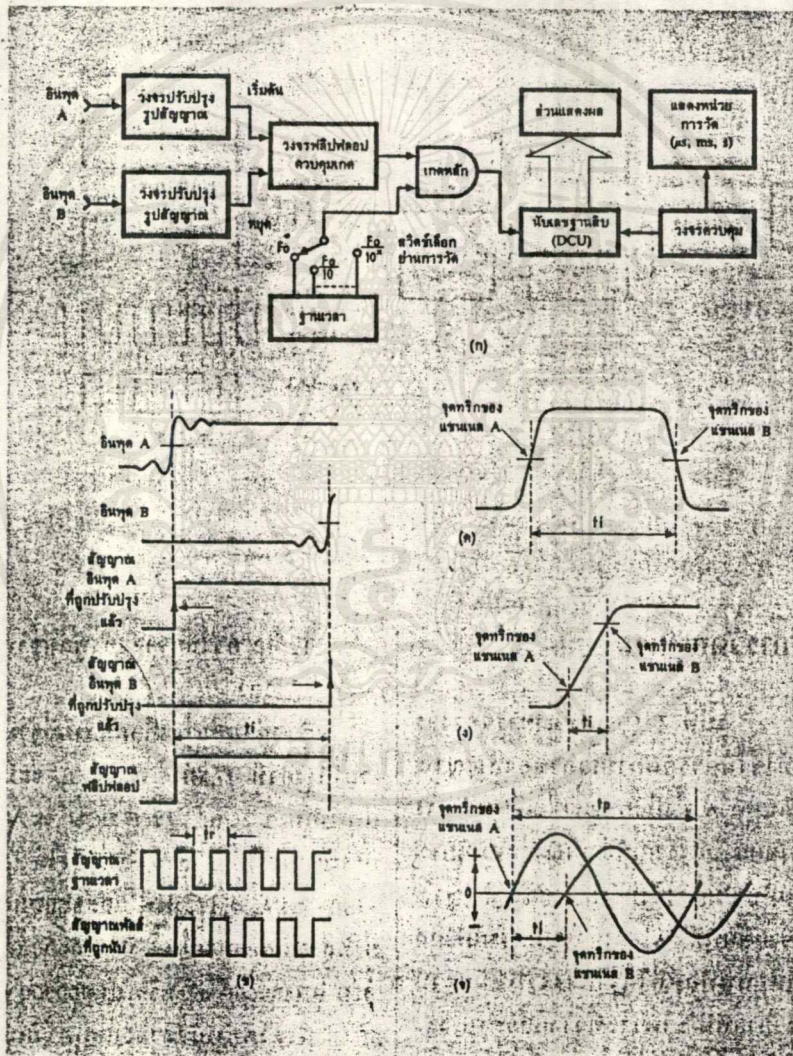
n คือ จำนวนของพัลส์ที่นับได้

T_r คือ ความกว้างของพัลส์ฐานเวลา

ตัวอย่างเช่น เลือกความถี่ฐานเวลาอ้างอิงที่ 1 MHz ดังนั้น t_r จะมีค่าเท่ากับ 1 μ S ($t_r = 1/f$) DCU จะทำการนับพัลส์ได้ 1 ล้านพัลส์ ซึ่งได้ $t_p = 10^6 \times 1 \mu\text{S} = 1$ วินาที และจะแสดงค่าที่ส่วนแสดงผลเป็น 01000000 μ S หรือ 01000.000 ms หรือ 01.000000 s

การวัดคาบเวลาจะแตกต่างกับการวัดความถี่ โดยหน่วยของตัวเลขที่แสดงผลจะไม่ขึ้นอยู่กับเวลาเปิดเกตแต่จะขึ้นอยู่กับขนาดของ t_r ซึ่งแต่ละคาบจะขึ้นอยู่กับหน่วยเวลา ถ้ายิ่งเล็กก็จะทำให้ความละเอียดสูงมาก ค่าฐานเวลาที่สูงที่สุดจะมีค่าความละเอียดที่ดีที่สุด แต่ถ้าต้องการวัดคาบเวลาที่ยาวมากก็ต้องมีการเพิ่มเวลา t_r ให้เหมาะสม(ลดความถี่ฐานเวลาให้ต่ำลง) เพื่อไม่ให้เกินค่าสูงสุดที่ DCU จะนับได้หรือเกิดโอเวอร์โฟลว์ดังที่กล่าวไว้

เมื่อพิจารณาการวัดคาบเวลาจะเห็นว่าความละเอียดจะขึ้นอยู่กับความถี่ฐานเวลา เช่น ความถี่ 10 MHz จะมีความละเอียดเท่ากับ 100 ns ในการวัดช่วงเวลาแคบ ๆ สามารถเพิ่มความละเอียดที่สูงขึ้นได้ โดยการหารความถี่อินพุตให้เปิดเกิดนานขึ้น เช่น ถ้าคาบเวลาอินพุตเท่ากับ 65.432 μ s ที่ความถี่ฐานเวลาเท่ากับ 10 MHz จะทำให้เกิดพัลส์ 654 ลูก ซึ่งเป็นพัลส์อ้างอิงที่นับระหว่างช่วงเวลาเปิดเกิด ที่หน่วยแสดงผลจะอ่านค่าได้ 65.4 μ s ถ้าเกิดหลักถูกเปิดนานขึ้นเป็น 100 เท่าโดยการหาร 100 เล่าเกิดจะเป็น 6543.2 μ s (65.432 x 100) ทำให้วงจรจับพัลส์ได้ 65432 ลูก ตัวเลขการแสดงผลก็จะละเอียดขึ้นเป็น 65.432 μ s จะเห็นว่าความละเอียดจะเพิ่มเป็น N เท่าเมื่อ N คือจำนวนพัลส์อินพุตที่ถูกหารมาเปิดเกิด



รูปที่ 5 (ก) วงจรวัดช่วงเวลา

(ง) การทริกสัญญาณแบบสลับ

(ข) สัญญาณต่าง ๆ ที่ปรากฏ

(จ) การทริกสัญญาณที่ระดับศูนย์

(ค) การทริกสัญญาณที่ความกว้างของพัลส์

การวัดช่วงเวลา

รวมผลการวัดช่วงเวลาของเครื่องวัดเวลาและความถี่จะเป็นการวัดเวลาที่ใช้ไปในระหว่างเหตุการณ์สองจุดที่เกิดขึ้น รูปที่ 5 (ก) แสดงถึงการวัดวงจรโดยสัญญาณอินพุต A จะเป็นตัวเริ่มต้นการวัดส่วนสัญญาณอินพุต B จะเป็นตัวบอกการสิ้นสุดการวัดสัญญาณแต่ละแชนแนลจะป้อนเข้ายังฟิลิปฟลอปควบคุมเกต ซึ่งทำงานเป็นแบบ R-S คือ คงสถานะเซตและรีเซตรูปที่ 5 (ข) สามารถอธิบายได้คือสัญญาณอินพุตจากแชนแนล A ถูกป้อนเข้ามา ฟิลิปฟลอปจะทำการเซตตัวเองและสัญญาณจากแชนแนล B เข้ามาฟิลิปฟลอปจะทำการรีเซตตัวมันเอง ดังนั้นความยาวของสัญญาณเปิดเกต (t_i) จะเท่ากับช่วงเวลาระหว่างสัญญาณอินพุตทั้งสอง DCU จะทำการนับพัลส์อ้างอิงในช่วงเวลาเปิดเกตนี้ซึ่งคล้ายกับการวัดคาบเวลานั่นเอง

การวัดเวลาระหว่างสองสัญญาณในหมวดนี้ ยังสามารถใช้วัดช่วงเวลาระหว่างจุดแตกต่างบนรูปคลื่นได้ โดยการควบคุมระดับการทริกและความชันของสัญญาณอินพุตที่วงจรปรับรูปคลื่นอินพุต ตัวอย่างเช่น รูปที่ 5 (ค) แสดงสัญญาณแชนแนล A ที่ทำการตั้งระดับการทริกที่ขอบขาขึ้น และแชนแนล B ทำการตั้งระดับการทริกไว้ที่ขอบขาลงของพัลส์ ดังนั้นช่วงเวลาที่วัดได้จะมีค่าเท่ากับความกว้างของสัญญาณอินพุตส่วนรูปที่ 5 (ง) แสดงสัญญาณทั้งสองที่ทำการตั้งระดับทริกที่ค่าแรงดันที่แตกต่างกัน ซึ่งก็คือ ค่าเวลาไต่ขึ้นนั่นเอง

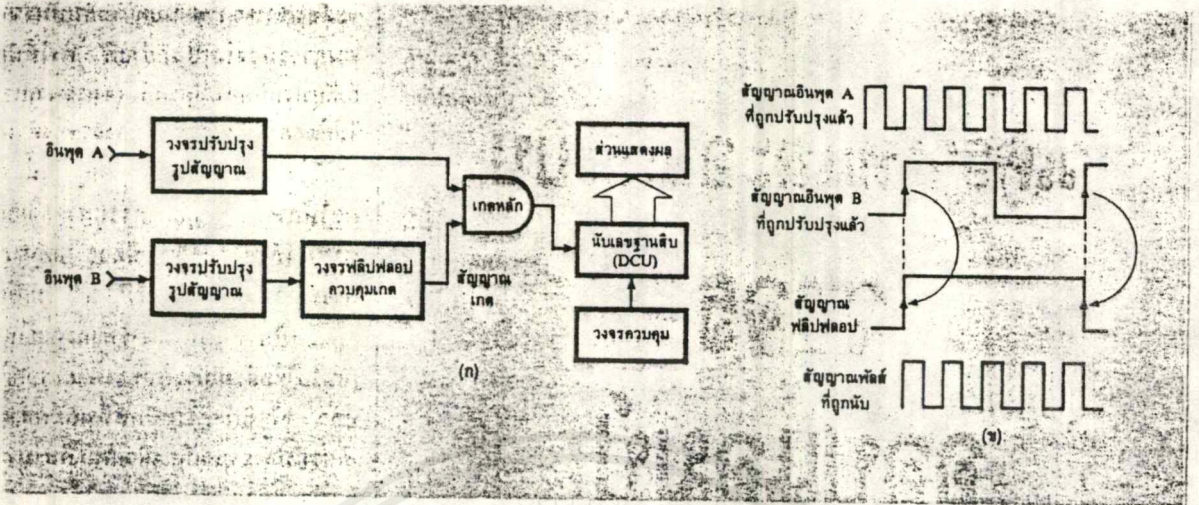
รูปที่ 5 (จ) แชนแนล A จะทำการทริกคลื่นนาที่ระดับศูนย์ ส่วนแชนแนล B จะทำการทริกคลื่นล้าหลังที่ระดับศูนย์เช่นกัน ความแตกต่างของเฟสหาได้โดย

$$\text{เฟส (องศา)} = \frac{t_i}{t_p} \times 360$$

ความแม่นยำในการวัดขึ้นอยู่กับที่ตั้งระดับจุดทริก ซึ่งจะต้องถูกตั้งแน่นอน แต่ในเครื่องรุ่นใหม่ๆ จะมีการวัดเฟสได้โดยอัตโนมัติและแสดงผลออกมาเป็นองศาโดยตรง

การวัดอัตราส่วนความถี่

การวัดอัตราส่วนความถี่สองความถี่มีประโยชน์เช่น การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรถ่ายความถี่ 2 ชุด หรือใช้ทดสอบวงจรหารความถี่ เป็นต้น รูปที่ 6 (ก) แสดงการจัดวงจรวัดอัตราส่วนความถี่ ซึ่งสัญญาณความถี่สูงจะถูกป้อนเข้าอินพุต A สัญญาณความถี่ต่ำจะถูกป้อนเข้าอินพุต B เพื่อเป็นสัญญาณอ้างอิง การทำงานจะคล้ายกับการวัดความถี่ แต่สัญญาณจากอินพุตจะทำหน้าที่เป็นฐานเวลาแทน อัตราส่วนสองความถี่สามารถหาได้โดย



รูปที่ 6 (ก) วงจรแสดงอัตราส่วนความถี่

(ข) สัญญาณต่าง ๆ ที่ปรากฏ

ความถี่ A (จำนวนพัลส์ A/วินาที)

$$\frac{\text{ความถี่ A}}{\text{ความถี่ B}} = \frac{\text{จำนวนพัลส์ A}}{\text{จำนวนพัลส์ B}}$$

ความถี่ B (จำนวนพัลส์ B/วินาที)

จำนวนพัลส์ A

$$= \frac{\text{จำนวนพัลส์ A}}{\text{จำนวนพัลส์ B}}$$

จำนวนพัลส์ B

อัตราส่วนนี้หาได้โดยการนับจำนวนพัลส์ที่แชนเนล A ที่ปรากฏใน 1 ไซเคิล ของสัญญาณ แชนเนล B ยิ่งแสดงในรูปที่ 6 (ข) เกตหลักจะทำหน้าที่เปิดให้พัลส์จาก A ผ่านรอยใช้คาบ เวลาของอินพุต B เป็นตัวควบคุม

หน่วยสนับสนุนการวัด

เครื่องวัดเวลาและความถี่จะมีปุ่มควบคุมการทำงานต่าง ๆ เพื่อเพิ่มความสามารถและ ความสะดวกสบายในการใช้งานเพิ่มเติมอีก ตัวอย่างเช่น

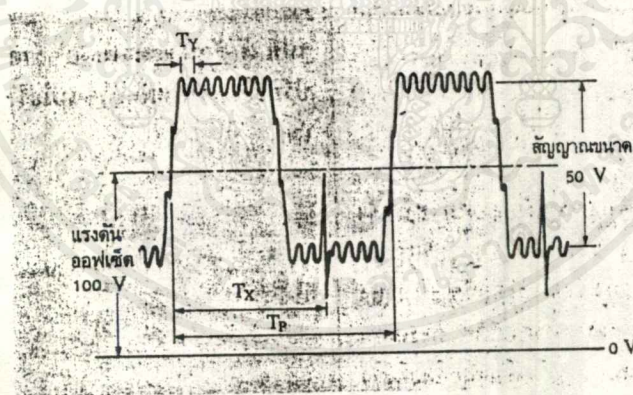
- ปุ่มโฮลด์ (hold) ขณะที่กดปุ่มนี้จะเป็นการหยุดพักการวัดชั่วคราวและคงสถานะแสดงผล เดิมอยู่
- ปุ่มรีเซ็ต (reset) เมื่อกดปุ่มนี้จะเป็นการเคลียร์ส่วนแสดงผลของวงจรภายในทั้งหมด เพื่อทำการวัดใหม่

- **ปุ่มวันชอร์ต (one-short)** เป็นการวัดโดยการเปิดเกิดคั้งเดียวไม่มีการวัดแล้ว แสดงค่าวนซ้ำดังเช่นปกติ เมื่ออยู่ในโหมดนี้วงจรนับจะหยุดทำงานเมื่อสิ้นสุดการเปิดเกิด แล้วนำค่าที่นับได้แสดงผลค้างอยู่เช่นนั้น คล้ายกับการกดปุ่มรีเซ็ตนั่นเอง แต่จะเป็นไปโดยอัตโนมัติ

จากที่ได้กล่าวทั้งหมดนั้นเป็นการทำงานในส่วนของวงจรดิจิทัลคั้งนั้นก่อนที่สัญญาณใด ๆ ที่ถูกป้อนเข้าที่อินพุตจะนำไปใช้งานได้ จำเป็นต้องปรับปรุงรูปร่างและระดับสัญญาณที่มีลักษณะเป็นสัญญาณดิจิทัลเสียก่อน ซึ่งเป็นหน้าที่ของวงจรปรับปรุงรูปสัญญาณอินพุต

สัญญาณดิจิทัลก็คือ สัญญาณที่มีรูปร่างเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมต่อเนื่องที่มีความสูงคงที่ แต่อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามแต่แหล่งที่มาของมัน และรวมถึงการถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ด้วย

สัญญาณรูปคลื่นในรูปที่ 1 คาบเวลา T_p เมื่อป้อนโดยตรงเข้าไปที่ เกิดหลักของวงจรวัด คาบเวลาอาจทำให้วงจรภายในเสียหายได้ อันเนื่องมาจากขนาดสัญญาณที่วัดถึง 50 โวลต์ และแรงดันออฟเซตขนาด 100 โวลต์ ซึ่งสูงเกินกว่าอุปกรณ์ภายในจะรองรับได้



รูปที่ 7 ลักษณะสัญญาณอินพุตที่มีสัญญาณรบกวนปะปนมาด้วย

การแก้ปัญหาทำได้โดยการคั้งสัญญาณแบบ AC จะทำให้แรงดันออฟเซตถูกกำจัดไปได้ และทำการลดขนาดสัญญาณลง 10 เท่า แล้วจึงป้อนให้เกิดหลัก

แต่เพียงเท่านี้ยังไม่เป็นการเพียงพอ เพราะสัญญาณรบกวนที่มากับสัญญาณที่ต้องการวัดอาจทำให้การวัดผิดพลาดได้ เช่นกรณีนี้คาบเวลาที่ต้องการวัดคือ T_p แต่ยังมีคาบเวลาของสัญญาณสเปค

T_x และคาบเวลาของสัญญาณรบกวนเล็ก ๆ T_y สัญญาณรบกวนเหล่านี้จำเป็นต้องถูกกำจัดออกไปก่อน โดยใช่วงจรกรองสัญญาณอินพุตและใช้การปรับระดับการทริกเข้าช่วย

จะเห็นว่าวงจรส่วนอินพุตจำเป็นต้องมีความยุ่งยากซับซ้อน เพื่อให้การวัดสัญญาณสามารถทำได้โดยเที่ยงตรงและใช้งานได้อย่างกว้างขวางสมชื่อคำว่า **อเนกประสงค์**

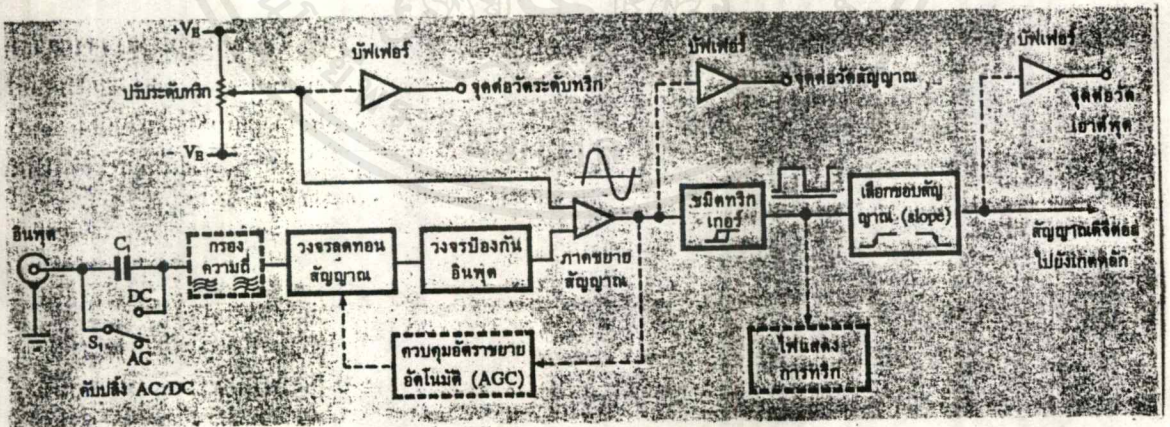
วงจรมิตทริก

วงจรมิตทริกสัญญาณอินพุตในรูปที่ 8 นี้ใช้งานได้ดีตั้งแต่ไฟตรงจนถึงความถี่ 100 MHz ทีเดียว โดยทั่วไปแล้วก็จะต้องมีวงจรถอนสัญญาณ, วงจรป้องกันหรืออุปกรณ์ป้องกัน, วงจรชMITTริกเกอร์ เป็นต้น รวมทั้งอาจมีวงจรถวนคุมสโรลหรือควบคุมระดับการทริกเพิ่มเติมความสามารถขึ้นไปอีก รายละเอียดจะได้กล่าวกันต่อไป

ฮิสเตอร์ิซิส

วงจรมิตทริกเกอร์ก็คือ วงจรเปรียบเทียบแรงดันที่มีคุณสมบัติของฮิสเตอร์ิซิส ซึ่งใช้ประโยชน์ในการเปลี่ยนรูปสัญญาณจากอะนาลอกให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมหรือสัญญาณดิจิทัล โดยที่สัญญาณรบกวนที่ติดมาด้วยไม่มีผลต่อการทำงาน

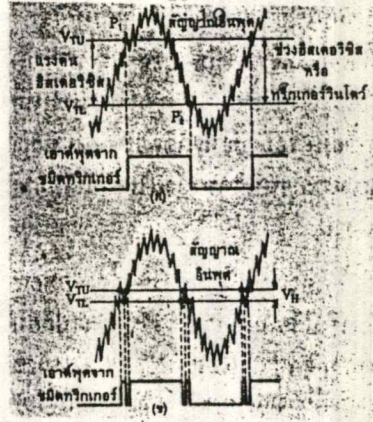
คุณสมบัติฮิสเตอร์ิซิสคือ ลักษณะที่การเปลี่ยนแปลงที่เอาต์พุตจะเปลี่ยนจากลอจิก "0" เป็น "1" ที่ระดับเพอร์ซอลด์หนึ่ง แต่เปลี่ยนจาก "1" เป็น "0" ที่อีกระดับเพอร์ซอลด์หนึ่ง ช่วงที่แตกต่างกันนี้เรียกว่า **ช่วงฮิสเตอร์ิซิส** หรือ **ทริกเกอร์วินโดว์**



รูปที่ 8 วงจรมิตทริกสัญญาณอินพุตที่เข้ากับความถี่ตั้งแต่ DC จนถึง 100 MHz

ผลของความกว้างของช่วงฮิสเตอร์ิซิสจะมีผลต่อการเปลี่ยนสัญญาณอินพุตที่มีสัญญาณรบกวนให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ดังแสดงในรูปที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

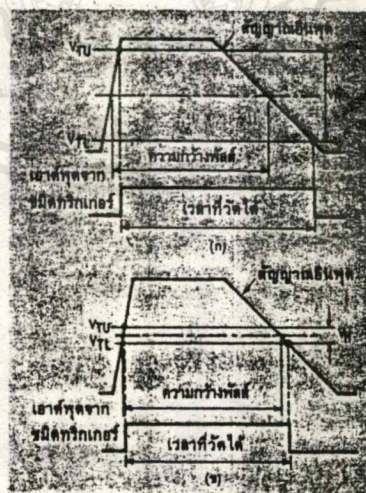


รูปที่ 9 การทำงานของขมิตริกเกอร์ที่มีช่วงฮิสเทอรีซิสกว้าง (ก) และแคบ (ข)

ระดับเพอร์ซอลต์ที่แรงดันสูงเรียกว่า V_{TU} (upper threshold voltage) และระดับเพอร์ซอลต์ที่แรงดันต่ำเรียกว่า V_{TL} (lower threshold voltage) จุดตัดของสัญญาณอินพุตที่เอาต์พุตเปลี่ยนแปลงคือ P_1 และ P_2 ตามลำดับ ซึ่งขนาดสัญญาณอินพุตต้องครอบคลุมช่วงฮิสเทอรีซิสหรือทริกเกอร์วินโดว์นี้ แต่หากทริกเกอร์วินโดว์แคบเกินไป ดังรูปที่ 9 (ข) สัญญาณรบกวนที่มีอยู่จะมีผลต่อสัญญาณเอาต์พุตด้วย

ช่วงกว้างขนาดไหนจึงจะเหมาะสมคำตอบขึ้นอยู่กับโหมดของการวัดอยู่เช่น ในโหมดการนับความถี่ควรกว้างที่สุดเพื่อให้มีภูมิคุ้มกันสัญญาณรบกวน (noise immunity) ที่ดี แต่จะมีผลให้ต้องการสัญญาณที่แรงขึ้นหรือความไวอินพุตลดลง

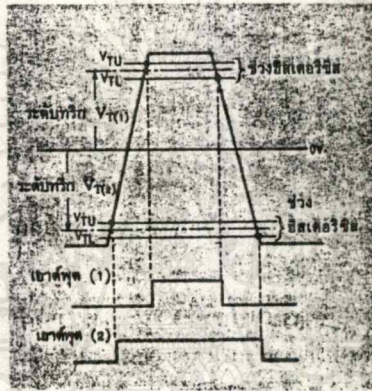
กรณีการวัดคาบเวลาจำเป็นต้องใช้ช่วงกว้างฮิสเทอรีซิสแคบที่สุด เพื่อลดการผิดพลาดหารสัญญาณมีความลาดมาก ๆ ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ลักษณะความผิดพลาดจากการปรับช่วงกว้างฮิสเทอรีซิสเมื่อใช้วัดช่วงเวลา ระดับทริก

ระดับการทรักจะหมายถึงค่ากึ่งกลางของ V_{TU} กับ V_{TL} หรือระดับตรงกลางของช่วงฮิสเตอร์ิซิสนั่นเอง การเปลี่ยนระดับการทรักก็คือ การเลื่อนทั้ง V_{TU} และ V_{TL} ไปด้วยกัน โดยที่ช่วงฮิสเตอร์ิซิสยังคงมีค่าเท่าเดิม

การปรับหรือเลื่อนการทรักไปที่ระดับแรงดันต่าง ๆ ได้ทั้งบวกและลบมีประโยชน์ในการแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนที่มีขนาดรต ๆ เช่นในรูปที่ 7 ใต้ ซึ่งผลของการเลื่อนระดับการทรักที่มีต่อสัญญาณแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 การเลื่อนระดับการทรักไปที่ระดับต่าง ๆ บนสัญญาณ และเอาต์พุตที่ได้

ในการทำงานจริงของวงจรจะไม่ใช้การเลื่อนระดับทรักโดยตรง ๆ แต่จะใช้การปรับค่าแรงดันออฟเซตของสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรขยายแทนวิธีนี้จะทำให้สามารถปรับระดับทรักได้โดยไม่มีผลต่อช่วงกว้างฮิสเตอร์ิซิสแต่อย่างใด

จริง ๆ แล้วการทรักของวงจรไม่ได้อยู่ที่ระดับทรัก แต่อยู่ที่จุดทรักซึ่งขึ้นอยู่กับช่วงกว้างฮิสเตอร์ิซิส ดังแสดงในรูปที่ 12 โดยทั่วไปแล้วระดับทรักจะปรับได้ถึง +5 ถึง -5 โวลต์ ถ้าเป็นเครื่องที่ปรับระดับการทรักไม่ได้ ระดับการทรักก็จะอยู่ที่ 0 โวลต์

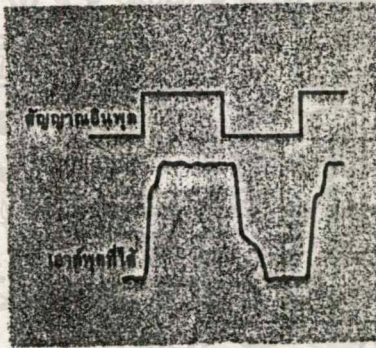
ภาคขยายสัญญาณ

ปกติเครื่องที่มีความไวอินพุตที่ 5 mV_{RMS} ภาคขยายสัญญาณอินพุตจะมีอัตราขยายประมาณ 20 dB แต่หากเป็นวงจรที่สามารถปรับระดับทรักได้อัตราขยายนี้จะต้องปรับตามไปด้วย (ส่วนนี้จะกล่าวอีกครั้งในหัวข้อวงจรลดทอนสัญญาณ)

อัตราขยายจะต้องเท่ากันตลอดช่วงความถี่ใช้งานของเครื่อง ดังนั้นภาคขยายจึงต้องเป็นชนิดไวต์แบนด์ (wide band) คือ ตอบสนองความถี่ได้กว้างต้องตอบสนองสัญญาณพัลส์ได้ดีหรือมีค่าสโลว์เรตสูงอย่างน้อย 100 V/us ขณะเดียวกันต้องมีการชดเชยมิให้เกิดการสวิตชิ่งหรือโอเวอร์ชูตที่สัญญาณเอาต์พุตด้วย

นอกจากนี้ภาคขยายสัญญาณที่ดีก็จะต้องมีสัญญาณรบกวนในตัวเองต่ำมาก และมีไคเนติกเรนจ์ที่กว้างเพียงพอ เพื่อรองรับสัญญาณอินพุตที่มีขนาดใหญ่ ๆ ได้โดยไม่มีเกิดการบิดเบี้ยวของสัญญาณเอาต์พุต อันจะทำให้การวัดค่าผิดพลาดได้ ดังตัวอย่างในรูปที่ 13

และ เช่นเดียวกับเครื่องมือวัดอื่น อินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องนับความถี่จะต้องมีค่าที่สูงเพื่อมิให้รบกวนสัญญาณที่กำลังวัด ดังนั้นที่อินพุตของภาคขยายสัญญาณจึงต้องมีค่าความต้านทานสูง และมีค่าความจุต่ำ โดยทั่วไปก็จะมีค่า 1 MOhm และ 30 pF หรือน้อยกว่า



รูปที่ 13 ความผิดเพี้ยนที่เกิดจากสัญญาณเร็กว่ไคเนติกเรนจ์ของภาคขยาย

วงจรถอดทอนสัญญาณ

การลดทอนสัญญาณมีเหตุผล 2 ประการคือ ถ้าสัญญาณอินพุตมีขนาดใหญ่ก็ลดทอนให้เล็กลงให้อยู่ในช่วงไคเนติกเรนจ์ของภาคขยายสัญญาณ ถ้าสัญญาณมีขนาดเล็กอยู่แล้วก็ปรับขนาดให้เหมาะสมสอดคล้องกับช่วงฮิสเตอรีซิสหรือทริกเกอร์วินโดว์ ปัญหาคือ ควรจะลดทอนสัญญาณสักเท่าใดจึงจะพอเหมาะ

ลองพิจารณาสัญญาณที่จะวัดมีขนาด 5 โวลต์ พีคทูพีค และภาคขยายอินพุตมีอัตราขยาย 10

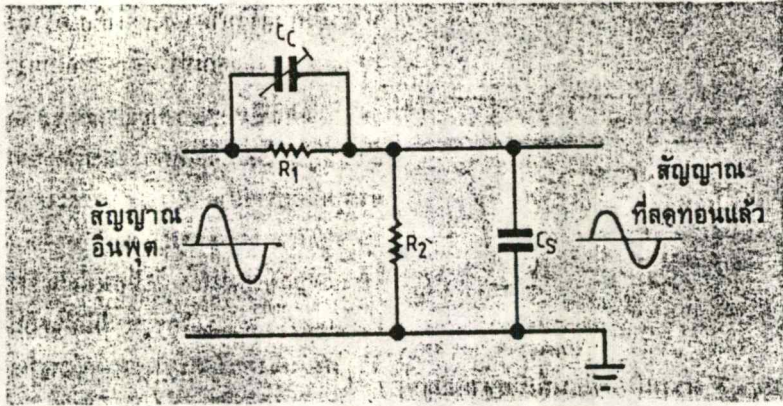
เท่า และเอาต์พุตของภาคขยายสามารถสวิงแรงดันได้ +5 ถึง -5 โวลต์ แนนอนถ้าป้อนสัญญาณเข้าโดยตรง วงจรขยายจะทำงานที่จุดอิ่มตัว ดังนั้นจึงต้องลดทอนขนาดสัญญาณอินพุตลง 10 เท่า (x10) อัตราขยายรวม (overall gain) จะเท่ากับ 1 เอาต์พุตจึงมีขนาดเท่ากับอินพุต กรณีนี้พิจารณาได้ว่าวงจรมีไดนามิกเรนจ์ที่อินพุตเท่ากับ 5 โวลต์ พีคทูพีค ระดับทริกปรับได้ในช่วง +5 ถึง -5 โวลต์

ที่นี้หากวงจรถอดทอนเพิ่มขึ้นเป็น 100 เท่า (x100) อัตราขยายรวมก็จะเป็น 0.1 ไดนามิกเรนจ์ที่อินพุตจะเพิ่มเป็น 50 โวลต์ พีคทูพีค และระดับทริกเกอร์เพิ่มเป็น +50 ถึง -50 โวลต์ โดยทั่วไปช่วงกว้างการปรับระดับทริกจะมีค่าเท่ากับไดนามิกเรนจ์ของอินพุตด้วย (แต่บางวงจรอาจมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย) ค่าไดนามิกเรนจ์ที่อินพุตคิดได้จาก

$$\text{ช่วงไดนามิกเรนจ์} = \frac{\text{ช่วงสวิงของเอาต์พุต}}{\text{อัตราขยาย}} \times \text{อัตราลดทอน}$$

แต่หากมองที่เอาต์พุตของภาคขยายสัญญาณแล้ว ช่วงการปรับระดับทริก (และไดนามิกเรนจ์ที่เอาต์พุต) จะคงที่ไม่ขึ้นกับตำแหน่งการตั้งค่าลดทอนซึ่งอัตราขยายของภาคขยายและขนาดการลดทอนจะต้องเหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าตามต้องการ

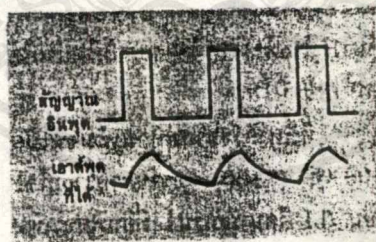
อีกปัญหาที่ต้องพิจารณาก็คือผลข้างเคียงจากวงจรถอดทอนสัญญาณพิจารณารูปที่ 8 ซึ่งเป็นวงจรถอดทอนที่ใช้ตัวต้านทานแบ่งแรงดันคือ R_1 และ R_2 ซึ่งนอกเหนือจากการเลือกค่าให้ได้อัตราลดทอนที่ต้องการแล้ว ค่าของความต้านทานทั้ง 2 นี้จะต้องให้ค่าพอดีกับค่าความต้านทานอินพุตของเครื่องวัดด้วย เช่น $R_1 = 900 \text{ KOhm}$, $R_2 = 100 \text{ KOhm}$ จะได้อัตราลดทอนเป็น 10 ความต้านทานอินพุต 1 MOhm ถ้าต้องการลดทอนเป็น 100 R_1 ก็จะต้องเป็น 990 KOhm และ R_2 เป็น 10 KOhm เป็นต้น



รูปที่ 14 ตัวอย่างวงจรลุดทอนแบบขึ้น และการชดเชยความถี่สูง

นอกจากนี้ตัวต้านทาน R_2 มักจะมีค่าความจุแฝงขนาอยู่ (คือ C_s ในรูป) มีผลให้ค่าความต้านทานรวมของ R_2 กับ C_s ต่ำลง เมื่อความถี่สูงขึ้นทำให้การลุดทอนมีค่าสูงขึ้นที่ความถี่สูง นั่นคือ R_1 กับ C_s ทำตัวเป็นเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

เมื่อสัญญาณพัลส์ความถี่สูงป้อนเข้ามาจึงผิดเพี้ยนไป ดังรูปที่ 9 จึงจำเป็นต้องมีการชดเชยผลทางความถี่นี้ โดยการเพิ่มตัวเก็บประจุทริมเมอร์ C_c ขนาค่าไปกับ R_1 เพื่อปรับให้ได้อัตราส่วนค่ารีแอคแตนซ์ของ C_c/C_s เท่ากับอัตราส่วนของ R_1/R_2 การลุดทอนจึงจะคงที่โดยไม่ขึ้นกับความถี่ สัญญาณอินพุตก็จะไม่ผิดเพี้ยน



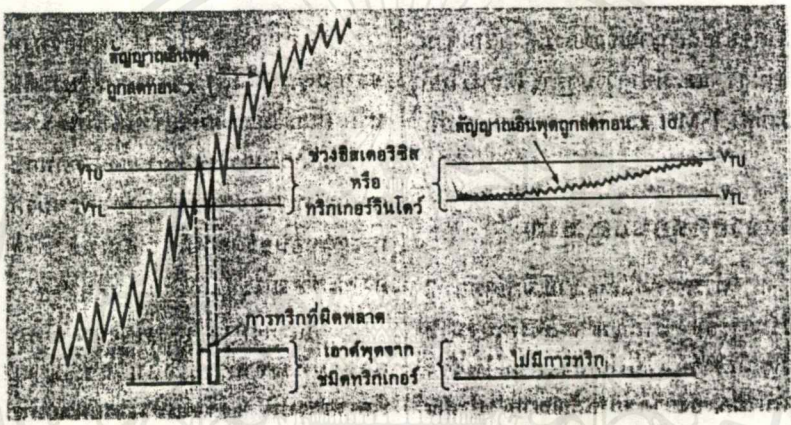
รูปที่ 15 ความผิดเพี้ยนของสัญญาณอันเนื่องมาจากค่าความจุแฝง C_s

ค่าความจรวมของ C_c อนุกรมกับ C_s นี้จะต้องควบคุมให้ไม่เกิน 30-40 pF ทุกกระดับการลุดทอน เพื่อให้อินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องับความถี่คงที่ตลอด

การลุดทอนแบบเป็นขึ้น ๆ คือ x1, x10, x100 เช่นไม่มีข้อเสียเช่นกัน สมมติว่าแต่ละชั้นมี

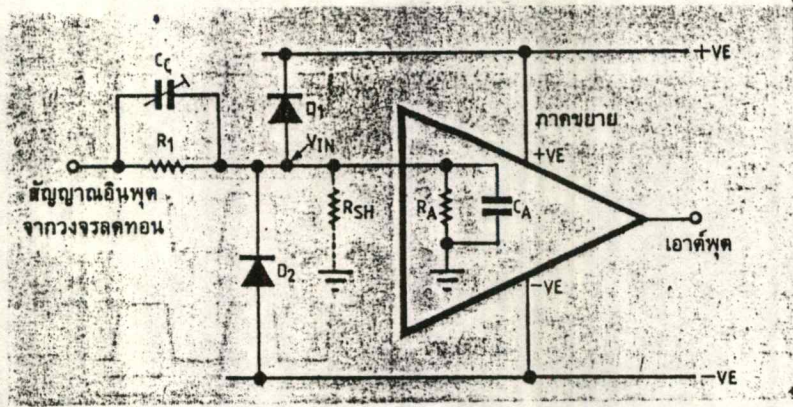
ไดนามิกเรนจ์ที่อินพุตเป็น 500 mV, 5 V และ 50 V พิกทิวพิดตามลำดับ ถ้าสัญญาณอินพุตมีความแรง 600 mV จะตั้งค่าลอทอนที่เท่าใดจึงจะเหมาะสม

รอยที่ช่วงกว้างฮิสเตอร์ิซิสหรือทริกเกอร์วินด์ของซิมิตริกเกอร์ถูกปรับไว้คงที่ค่าหนึ่ง ถ้าตั้งการลดทอนไว้ที่ x1 สัญญาณจะมีขนาดลด สัญญาณรบกวนที่มีอาจทำให้การทริกผิดพลาด แต่หากตั้งการลดทอนไปที่ x10 สัญญาณก็จะถูกลดทอนจนเล็กกว่าทริกเกอร์วินด์ร่ว จนไม่เกิดการทริกเลย ดังรูปที่ 10 (กรณีเช่นนี้เหมือนกับว่าการเพิ่มค่าการลดทอนเสมือนไปเพิ่มช่วงกว้างของฮิสเตอร์ิซิส)



รูปที่ 16 บางทีการเลือกชั้นการลดทอนที่เหมาะสมก็ไม่สามารถหาได้ รูปซ้ายเลือก x1 ก็วัดผิดพลาด ส่วนรูปขวาเลือก x10 กลับวัดไม่ได้เลย

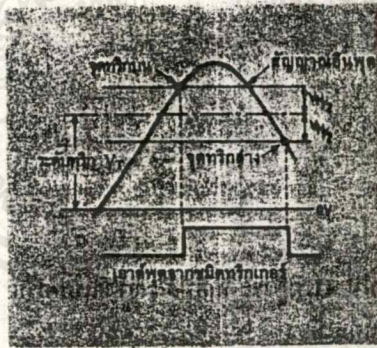
นั่นก็คือ ตั้งการลดทอนที่ตำแหน่งใดก็ใช้งานไม่ได้ ทางแก้ก็คือ ใช้ตัวลดทอนแบบต่อเนื่องลดย้าตัวต้านทานปรับค่าได้ หรือโรตารีโอมิเตอร์ ดังรูปที่ 11 แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือ ามสามารถชดเชยความถี่สูงได้ เพราะไม่รู้ค่าอัตราส่วนของความต้านทานที่แน่นอน วิธีนี้จึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมมากนัก เครื่องนับความถี่บางรุ่นอาจมีให้ทั้งแบบขั้นและแบบปรับต่อเนือง



รูปที่ 17 วงจรลดทอนสัญญาณแบบปรับได้ต่อเนื่อง

วงจรป้องกันอินพุต

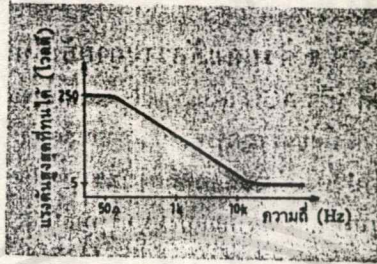
วงจรป้องกันอันดับแรกเลยก็คือวงจรป้องกันร็อดหรือป้องกันแรงดันเกิน ดังรูปที่ 12 ซึ่งมีหน้าที่ป้องกันแรงดันที่เข้ามายังอินพุตของภาคขยายมิให้มีค่าสูงเกินกว่าที่กำหนด คือ เมื่อแรงดันสูงกว่าแรงดันไบอัสตรงของไดรอตจะทำให้กระแสไหลผ่านไดรอต แรงดันส่วนเกินจะตกคร่อมตัวต้านทาน R_1 ซึ่งการเลือกค่าความต้านทานของ R_1 จะต้องสัมพันธ์กับการกระแสและอัตราทนกำลังของอุปกรณ์คือ R_1 และ D_1, D_2 ด้วย



รูปที่ 18 วงจรป้องกันอินพุตโดยใช้ตัวต้านทานและไดรอต

ผลข้างเคียงของวงจรป้องกันจะเห็นว่า R_1 จะต่อรวมอยู่กับความต้านทานอินพุตของวงจขยาย กลายเป็นวงจรแบ่งแรงดันหรือวงจรลดทอนสัญญาณตัวหนึ่งด้วย และยังมีค่าความจุอินพุตที่มีผลในด้านความถี่สูงเช่นเดียวกับวงจรลดทอนที่กล่าวไป จึงต้องมีการชดเชยความถี่สูงด้วย C_c เช่นกัน แต่ D_c จะมีความต้านทานทางความถี่ ลดลงที่ความถี่สูง ดังนั้นแรงดันสูงสุด ที่

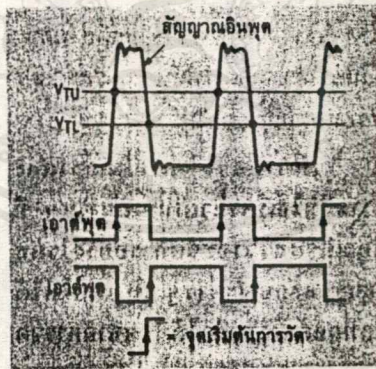
ป้องกันได้จึงขึ้นอยู่กับความถี่ด้วยดังรูปที่ 1๔ จึงต้องระวังในการใช้งานกับสัญญาณที่มีแรงดันสูงและความถี่สูง



รูปที่ 1๔ ความสามารถในการป้องกันแรงดันจะแปรไปตามความถี่

เลือกขอบสัญญาณ

ปุ่มปรับเลือกขอบสัญญาณหรือสโลป (slope) จะมีให้เลือก 2 ตำแหน่งคือ จะให้อ้างอิงสัญญาณที่ขอบขาขึ้นหรือขอบขาลง การทำงานภายในนั้นก็คือ การเลือกเอาต์พุตของขมิตทริกเกอร์แบบตรงหรือแบบอินเวอร์ต ดังรูปที่ 14 ซึ่งจะไม่มีผลต่อการวัดคาบเวลาหรือการวัดความถี่ แต่จะใช้งานกรณีวัดความกว้างของพัลส์ หรือการวัดเวลาของเหตุการณ์

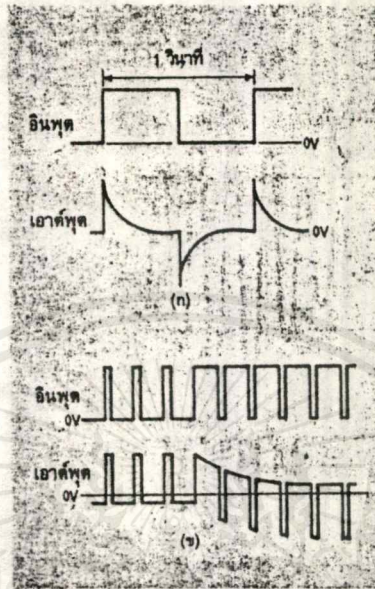


รูปที่ 20 ผลของการเลือกขอบสัญญาณหรือ SLOPE

คัมปลิงแบบ AC หรือ DC ดี ?

การคัมปลิงแบบ AC ใช้งานกรณีที่สัญญาณอินพุตมีระดับแรงดันออฟเซตที่สูง โดยการต่อสัญญาณผ่านตัวเก็บประจุที่อินพุตคือ C_1 ในรูปที่ 2 แต่ C_1 นี้ร่วมกับความต้านทานอินพุตของเครื่องนับ

ความถี่จะกลายเป็นวงจรของความถี่สูงผ่าน จึงไม่เหมาะกับการวัดความถี่ต่ำมาก ๆ หรือมีการเปลี่ยนแปลงที่ช้า เพราะจะเกิดการผิดเพี้ยนของรูปคลื่นดังรูปที่ 15 ซึ่งจะมีผลต่อการวัดค่าบางอย่างที่อาจผิดพลาดได้เลย หากหลีกเลี่ยงได้ควรใช้การคับปลิงแบบ DC ในการวัดทุกครั้ง



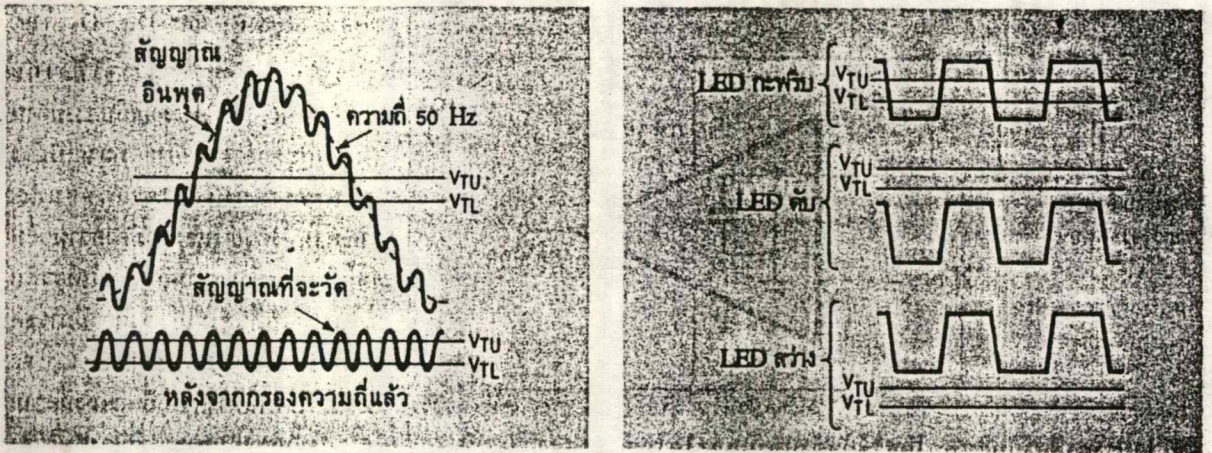
รูปที่ 21 ความเพี้ยนอันเนื่องมาจากการคับปลิงแบบ AC รูป (ก) เมื่อวัดพัลส์ความถี่ต่ำ ๆ และรูป (ข) ลักษณะที่มีค่าคิวดีเปลี่ยนแปลง

ฟังก์ชันเสริมอื่น ๆ

นอกจากการจัดการกับสัญญาณอินพุตด้วยวิธีต่าง ๆ ที่กล่าวไปแล้ว เครื่องนับความถี่บางรุ่นอาจมีฟังก์ชันเพิ่มเติมเพื่อสมรรถนะที่ดีขึ้นไปอีก เช่น

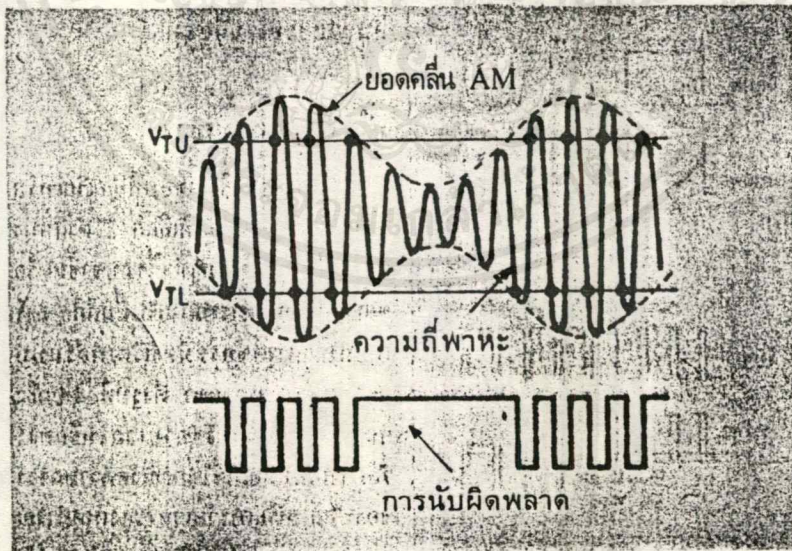
- วงจรกรองความถี่ เป็นวงจรกรองเฉพาะความถี่ เช่นอาจใช้กรองความถี่ 50 Hz ที่ปนการกับสัญญาณที่จะวัดดังรูปที่ 22 หรือกรองความถี่สูงกว่า 50 KHz ทิ้งไปกรณีวัดสัญญาณย่านความถี่เสียง เป็นต้น

- ตัวบอกสถานะการทำงาน ทั่วไปจะใช้หลอดไฟ LED เพื่อแสดงสถานะการทำงานว่าอยู่ในช่วงที่ถูกต้องหรือไม่ เช่น ช่วงปรับเทรซเซอร์สไลด์ถ้าถูกต้อง LED จะกะพริบ หากสูงเลยไปทางบวกจะดับ ถ้าสูงเลยทางลบจะสว่างค้าง เป็นต้น บางเครื่องอาจมีจุดต่อสำหรับใช้ออสซิลอสโคปวัดดูรูปคลื่นได้เลย



รูปที่ 22 การกรองความถี่ 50 Hz ที่ังไป รูปที่ 23 ไปแสดงสภาวะการปรับเทรซโฮลต์ถูกต้องหรือไม่

- ควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ หรือ AGC (Automatic Gain Control) โดยจะทำการควบคุมภาคขยายให้รับอัตราขยายสอดคล้องกับขนาดสัญญาณโดยไม่ต้องคอยปรับปุ่มลดทอนสัญญาณ แต่วงจร AGC ก็มีข้อเสียเช่นกันถ้าไปวัดความถี่ต่ำกว่า 50 Hz สัญญาณจะถูกหักล้างหายไปวัดไม่ได้ หรือกรณีต้องการวัดความถี่พาหะของสัญญาณ AM วงจร AGC จะมองแต่ส่วนยอดคลื่นเป็นสัญญาณ ทำให้รับอัตราขยายผิดพลาดการวัดก็จะผิดไปด้วย ดังรูปที่ 24



รูปที่ 24 วงจร AGC ทำให้การวัดความถี่มอดเลตแบบ AM ผิดพลาดได้

การวัดความถี่

(FREQUENCY COUNTER)

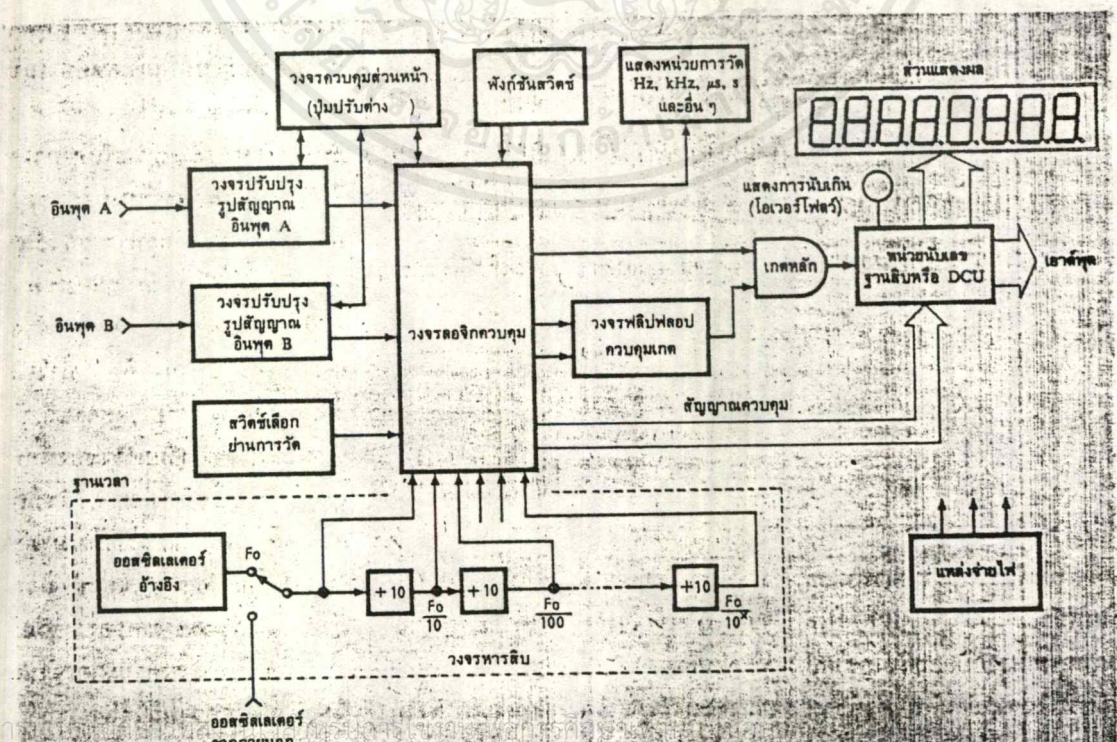
ในส่วนนี้จะแบ่งการทำงานได้เป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ

1. การศึกษาการทำงานพื้นฐานของวงจรวัดความถี่
2. การออกแบบวงจรและการเขียนโปรแกรมควบคุม

1. การศึกษาการทำงานพื้นฐานของวงจรวัดความถี่

จากรูปที่ 1 แสดงถึงองค์ประกอบขั้นพื้นฐานของเครื่องวัดเวลาและความถี่เนกประสงค์ ซึ่งงานที่นี้ยังได้แสดงส่วนของวงจรอินพุต, วงจรแหล่งจ่ายแรงดัน และวงจรออสซิลเลเตอร์อ้างอิงไว้ จะเห็นว่าแต่ละบล็อกประกอบขึ้นจากอุปกรณ์ดิจิทัลซึ่งบางทีก็จะเป็นอุปกรณ์ตระกูลลอจิกชนิดเดียวกันส่วนๆ หรือไม่ก็นำมาผสมกันระหว่างอุปกรณ์หลายๆชนิด เช่น CMOS TTL และ ECL การเลือกอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้กับเครื่องมือวัดสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ความเร็วและการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้า ซึ่งเป็นตัวกำหนดความสามารถของเครื่องมือวัด

เมื่อนึกถึงเครื่องมือวัดที่มีความสามารถในการวัดงานได้หลายอย่างหลายคนคงคิดว่าต้องมีอินพุตสำหรับวัดหลายอินพุต แต่สำหรับเครื่องวัดเวลาและความถี่เนกประสงค์นั้น อินพุตจะมีเพียง 1 ถึง 3 อินพุตส่วนใหญ่จะมี 2 อินพุต คือ อินพุต A และ อินพุต B สำหรับการวัดเฟส, เปรียบเทียบความถี่, วัดดีวีไอซีเกิดและอื่นๆ โดยีการทำงานของฟังก์ชันสวิตช์เข้าช่วย ส่วนอินพุตนี้มักจะเป็นอินพุตสำหรับความถี่สูงจนถึงย่าน VHF ก็มี



รายละเอียดของแต่ละส่วนในรูปที่ 1 มีดังต่อไปนี้

ส่วนปรับปรุงรูปสัญญาณ

สัญญาณที่เข้าชั้นบัลลิสต์นั้นจำเป็นต้องเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากเท่านั้น แต่เนื่องจากสัญญาณอินพุตที่รับเข้ามาจากแหล่งจ่ายสัญญาณต่าง ๆ เป็นสัญญาณที่มีแอมพลิจูดและรูปร่างของสัญญาณที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรอินพุตที่ทำการปรับปรุงรูปร่างของสัญญาณอินพุตที่ทำการปรับปรุงรูปร่างของสัญญาณอินพุตให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิทัลก่อนที่จะส่งเข้าวงจรนับ เพื่อให้ปราศจากสัญญาณรบกวนอันจะทำให้การวัดเกิดการผิดพลาดได้

หน่วยควบคุม

หน่วยควบคุมเป็นการรวมเอาวงจรเกต, ฟลิปฟลอป และการมัลติเพล็กซ์เข้าไว้ด้วยกัน เพื่อทำหน้าที่ในการควบคุมสัญญาณให้เหมาะสม โดยมีสวิตช์เป็นตัวกำหนดชนิดของการวัดหน่วยควบคุมจะควบคุมการทำงานของหน่วยการนับ และควบคุมการแสดงผลของหน่วยแสดงผล โดยจะได้รับการสัญญาณฐานเวลามาเป็นตัวอ้างอิงการทำงาน

เกตหลัก

เกตหลักทำหน้าที่ในการนับสัญญาณพัลส์ โดยใช้ฟลิปฟลอปมาทำการควบคุมการเปิดเกตและมีคอนโทรลลอจิกเป็นตัวจัดการต่าง ๆ เกี่ยวกับการนับสัญญาณพัลส์ ตัวเกตหลักนี้ก็คือแอนด์เกตขนาด 2 อินพุตตัวหนึ่งนั่นเอง โดยมันจะยอมให้พัลส์จากอินพุตผ่านไปยังภาคนับก็ต่อเมื่อมีสัญญาณเปิดเกตมาจากฟลิปฟลอป

ความถี่สูงสุดในการนับสัญญาณพัลส์จะถูกจำกัดโดยความเร็วของเกตหลัก ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแอนด์เกตที่นำมาใช้ เช่น ถ้าใช้ TTL หรือ 155 ปิด CMOS ความถี่สูงสุดจะเป็น 40 MHz แต่ถ้าใช้ ECL จะสามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงถึง 500 MHz

ฐานเวลา

สิ่งสำคัญที่ใช้เป็นฐานเวลา (time base) ก็คือ ออสซิลเลเตอร์อ้างอิง ซึ่งเอาต์พุตจะเป็นแบบดิจิทัลพัลส์มีความถี่ f_0 (Frequency Oscillator) เท่ากับ 10 MHz แล้วนำมาเข้าวงจรหารความถี่ประมาณสิบเท่า สัญญาณเอาต์พุตจะถูกเลือกโดยสวิตช์เพื่อไปควบคุมอัตราส่วนของการนับ ความถูกต้องของการวัดจะขึ้นอยู่กับความคงที่ และเสถียรภาพของวงจรออสซิลเลเตอร์อ้างอิง โดยทั่วไปแล้วจะใช้ผลึกแร่คริสตอล (Quartz Crystal) มาเป็นตัวกำเนิดความถี่ซึ่งมีความเที่ยงตรงสูง เครื่องวัดเวลาและความถี่บางเครื่องจะมีจุดรับสัญญาณฐานเวลาจากภายนอกเพื่อนำมาใช้อ้างอิงในการนับได้ด้วย

หน่วยนับเลขฐานสิบ

หัวใจของเครื่องวัดเวลาและความถี่ก็คือ หน่วยการนับหรือที่เรียกว่าหน่วยนับเลขฐานสิบ (Decimal Counting Unit หรือ DCU) ซึ่งทำหน้าที่นับพัลส์จากเอาต์พุตของเกตหลัก โดยทำการนับขึ้นต่อเนื่องกัน พัลส์ที่ DCU นับได้จะถูกแสดงออกมาเป็นตัวเลขที่ส่วนแสดงผล

ก่อนเริ่มทำการวัดวงจรควบคุมลอจิกจะส่งสัญญาณรีเซ็ตไปยัง DCU ซึ่งจะทำให้การเซตให้วงจรนับภายในกลายเป็นศูนย์ เมื่อสัญญาณพัลส์ผ่านเกตหลัก 1 ลูก ก็เป็นการนับหนึ่งครั้งผลรวมของจำนวนพัลส์จะถูกนำมาแสดงเป็นตัวเลขฐานสิบบนส่วนแสดงผล

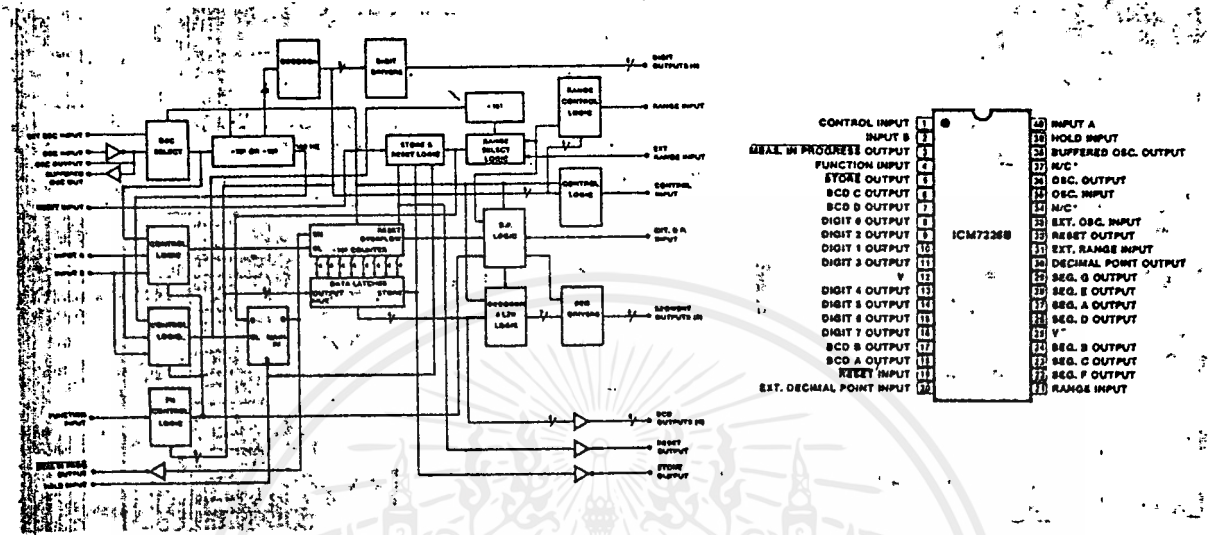
แต่ถ้าจำนวนพัลส์ที่จะนับมีมากเกินไปจนเกินตัวเลขสูงสุดที่จะนับได้ตัวเลขจะนับวนใหม่ ค่าที่ได้จะผิดพลาดทันทีเรียกว่า เกิดโอเวอร์ฟลว (over flow)

ส่วนแสดงผล

จำนวนหลักของส่วนแสดงผลเป็นตัวบ่งบอกถึงความละเอียดของการวัด ซึ่งจะถูกกำหนดโดยช่วงเวลาเปิดเกต (เมื่อวัดความถี่) และความถี่ฐานเวลาอ้างอิง (เมื่อวัดคาบเวลา) สิ่งสำคัญที่สุดในการวัดสัญญาณก็คือสัญญาณที่ได้รับจากออสซิลเลเตอร์อ้างอิงเป็นตัวกำหนดความเที่ยงตรงและเสถียรภาพของเครื่องมือวัด หากออสซิลเลเตอร์อ้างอิงมีการผลิตสัญญาณที่ผิดจากค่าจริงไปเล็กน้อย จะทำให้การวัดเกิดการผิดพลาดไปได้มาก

โดยปกติแล้วความเที่ยงตรงจากคริสตอลจะให้ความละเอียดของการวัดอยู่ในช่วง 7 ถึง 8 หลักของการแสดงผล

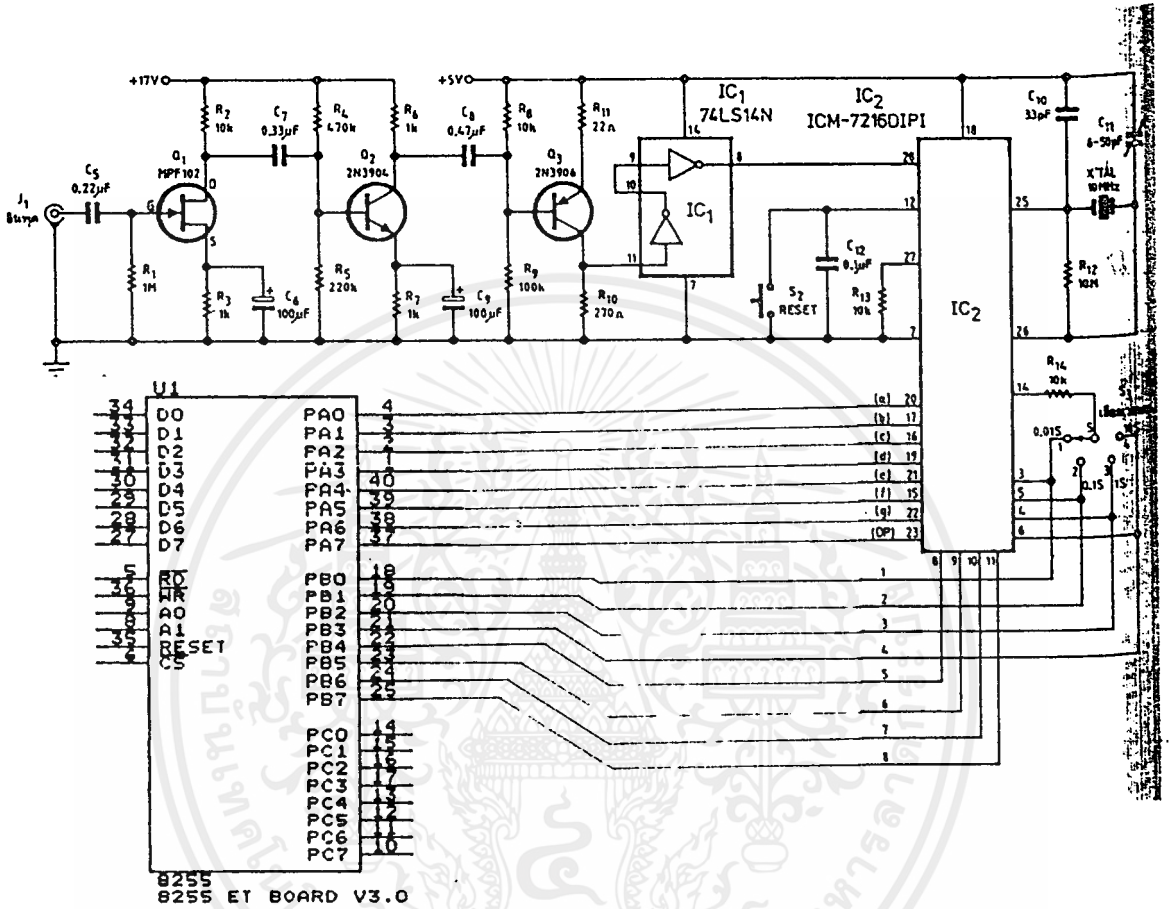
- มี LED แสดงผลการวัดเกินความถี่ 10 เมกเฮิรตซ์ (OVERFLOW X)
- สามารถต่อปริสเกลเลอร์เพื่อขีดความสามารถให้วัดความถี่ได้ถึง 1.2 GHz



รูปที่ 25 โครงสร้างการจัดการจัดขาของ ICM7226B

การทดลองนำเอา Microprocessor ไปควบคุม ICM7216DIPI

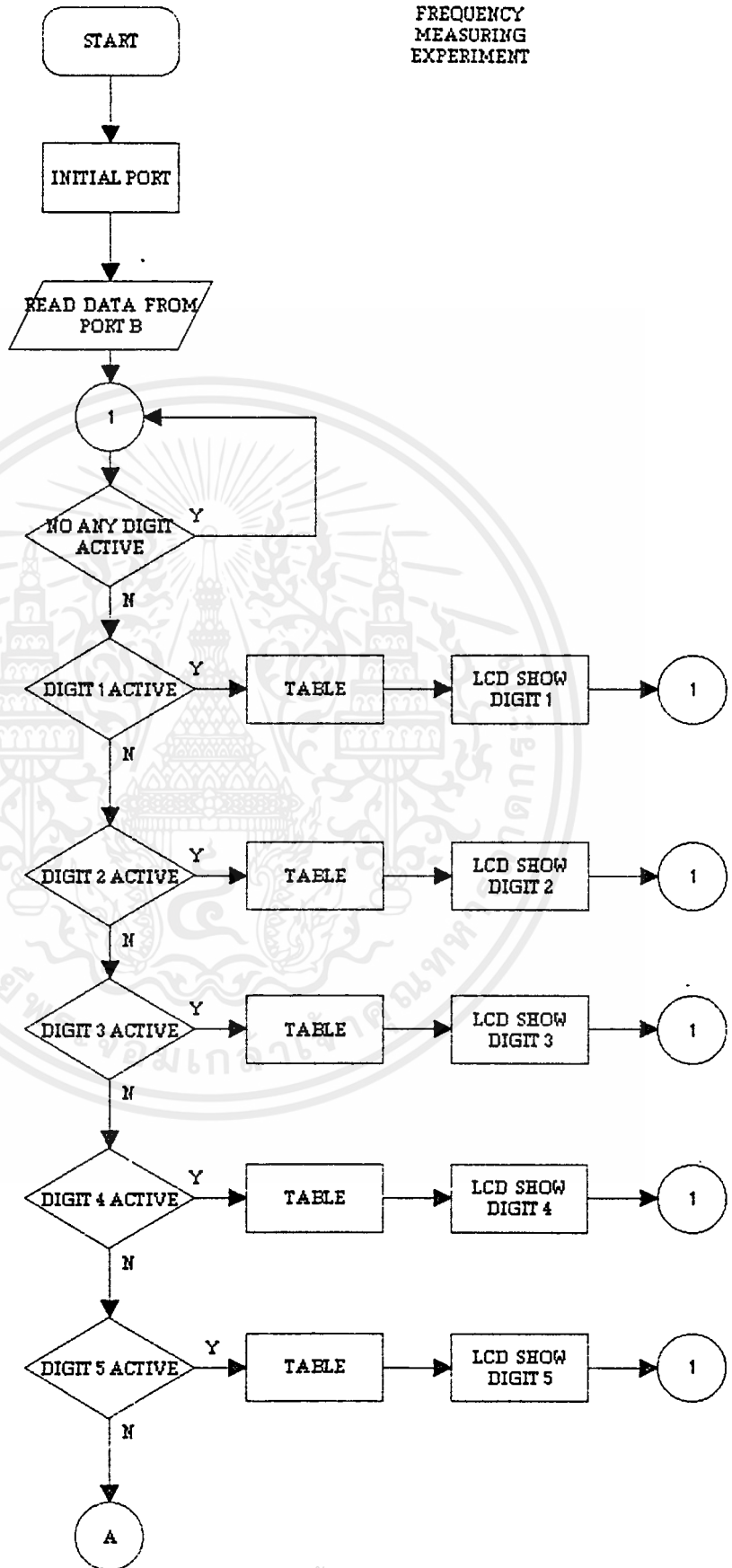
เราสามารถนำเอา Microprocessor ไปต่อเชื่อมเพื่อควบคุมการวัด การอ่านค่าของ ICM7216DIPI ได้ดังรูป 26 โดยให้ Port A ของ 8255 เป็น Input Port คอยอ่านข้อมูลจากขาของ ICM7216DIPI ส่วนที่ทําหน้าจําบขา a, b, c, d, e, f, g, และ DP ของ 7 เซกเมนต์ ซึ่งจะอ่านตามการทริกแบบมัลติเพล็กซ์ของขา Common (แบบคาโรดร่วม) โดยที่ขา Common แบบคาโรดร่วมนี้จะถูกอ่านโดย Port B เมื่ออ่านได้เป็นค่าต่างๆแล้ว ค่านี้จะถูกแปลงให้เป็นค่าที่ LCD เข้าใจได้เพื่อนำค่านี้ไปแสดงผลบน LCD ขั้นตอนในการทำงานของโปรแกรมแสดงได้ดัง Flow chart



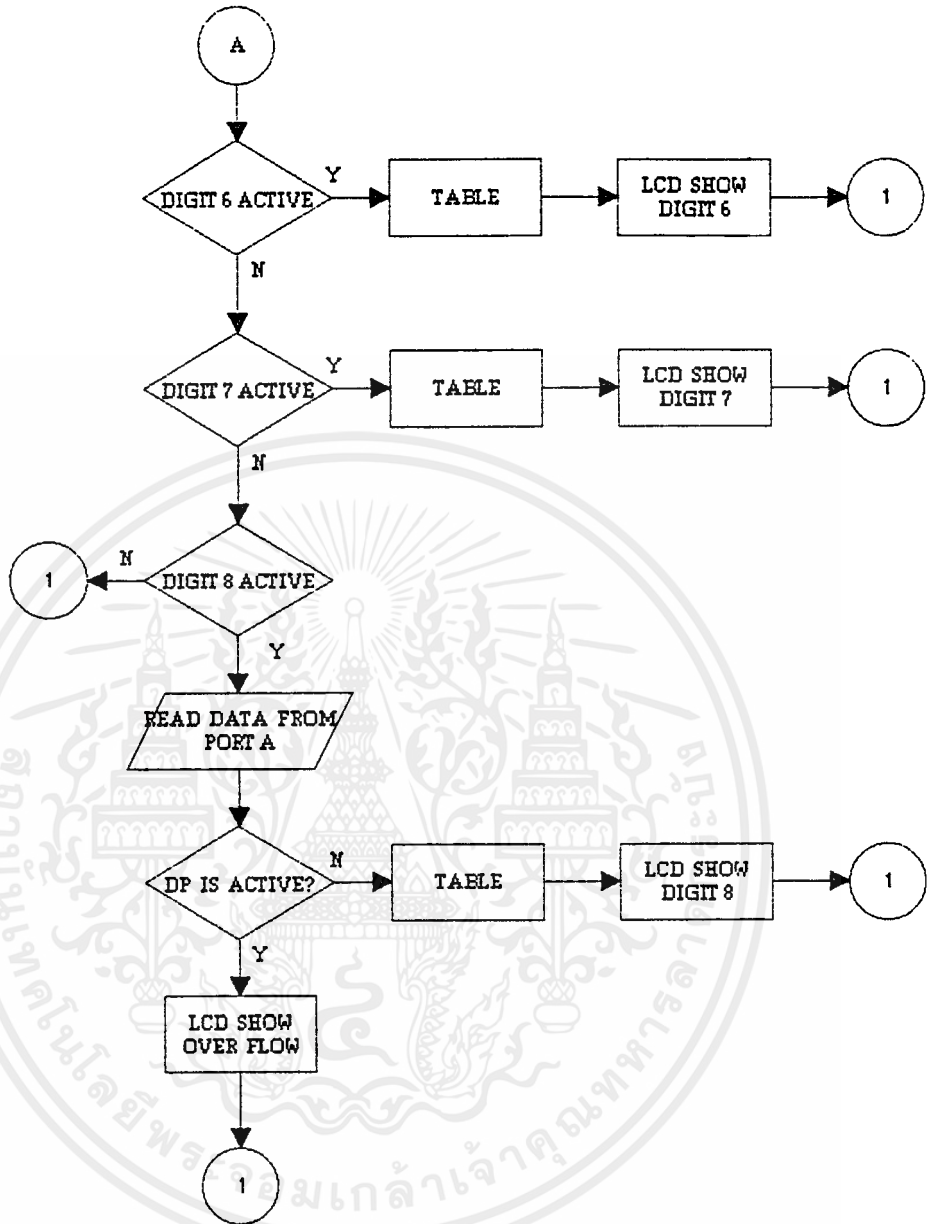
รูป 26 แสดงรูปวงจรที่ทดลองต่อเชื่อมกับ Microprocessor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLOW CHART OF
FREQUENCY
MEASURING
EXPERIMENT

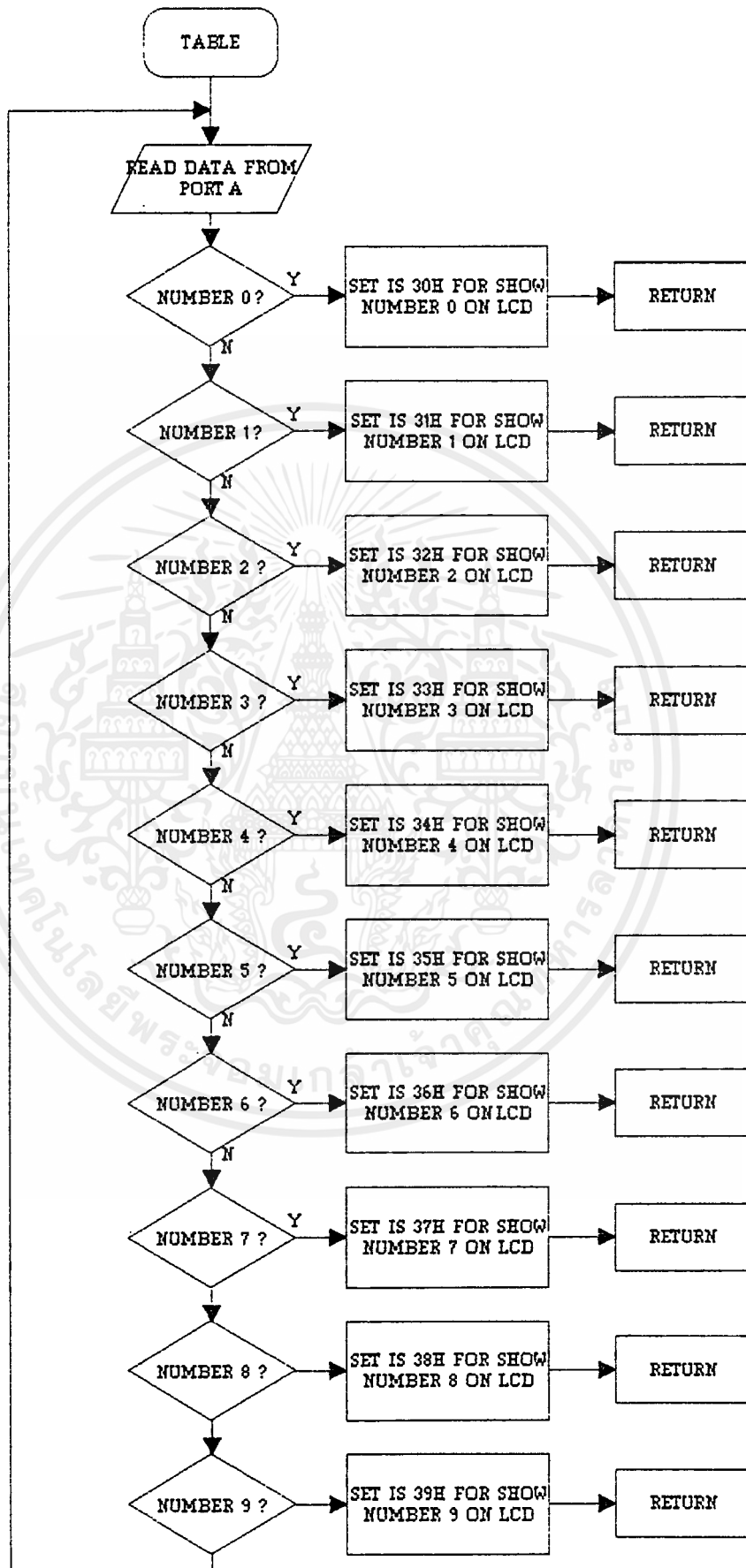


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 Flow Chart แสดงการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ควบคุมวงจรถดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LC METER

เครื่องวัดค่าความเหนียวนา L และค่าความจุ C เป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างหนึ่งในการทำงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ ในการออกแบบเครื่องวัดนี้ให้สามารถวัดค่าได้ถูกต้องแม่นยำนั้น เป็นสิ่งที่ยุ่งยากและมีหลายวิธี ซึ่งในบางวิธีไม่สามารถวัดค่าที่ถูกต้องแท้จริงได้ แต่เครื่องวัด L,C ที่จะสร้างขึ้นนี้ใช้หลักการซิงโครนัสเรกติไฟร์ (synchronous rectification) จึงทำให้ค่าที่วัดได้มีความผิดพลาดน้อยมาก

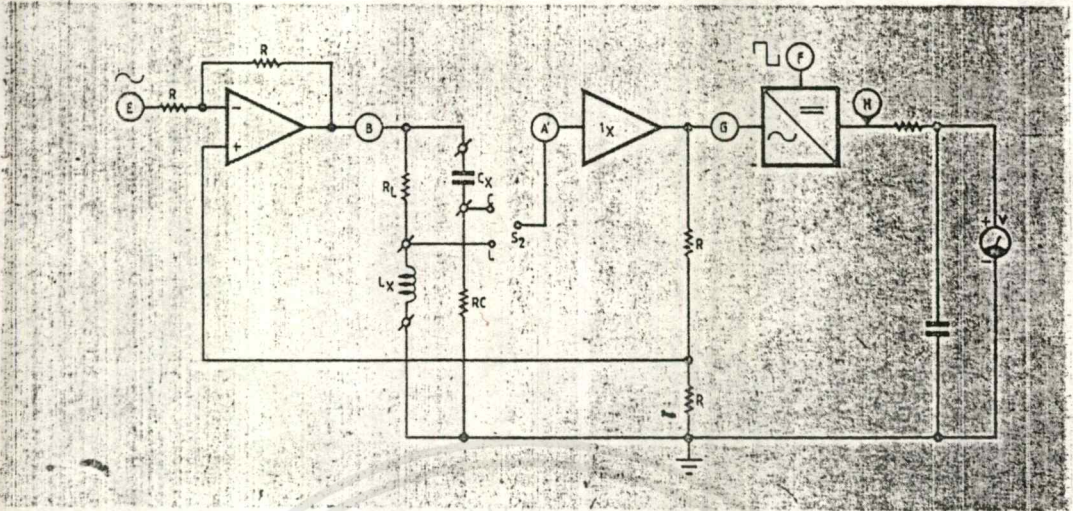
ปกติในการวัดค่า L,C นี้จะต้องพบกับปัญหาที่เกิดจาก L และ C เอง 2 อย่างคือ ผลของความต้านทานแฝงที่มีอยู่ใน L,C และผลของความถี่ที่ใช้วัด L,C ซึ่งค่าผิดพลาดที่เกิดจากความต้านทานภายใน L,C นั้น สามารถลดทอนให้หมดด้วยวิธีการที่กล่าวมาแล้ว ส่วนผลของความถี่ที่เหมาะสม ซึ่งเครื่องวัดนี้จะใช้ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ทำให้ค่าที่วัดได้มากที่สุด 2 เฮนรี่ สำหรับขดลวดและ 2 ไมโครฟารัด สำหรับตัวเก็บประจุ

หลักการ

ในรูปที่ 1 เป็นแผนผังการทำงานทั้งหมดของเครื่องวัด L,C นี้ จากรูปเมื่อขดลวด L_X ถูกนำมาวัดจะถูกต่ออนุกรมกับ R_L และจะถูกป้อนด้วยสัญญาณขยายที่มีแอมพลิจูดคงที่ สัญญาณที่ตกคร่อมตัวมันก็จะถูกวัดเพื่อหาค่าต่อไป และเมื่อจะวัดค่าตัวเก็บประจุ C_X ก็จะถูกนำมาต่ออนุกรมกับ R_C และก็จะถูกป้อนด้วยสัญญาณขยายแอมพลิจูดคงที่เช่นเดียวกัน แต่จะวัดสัญญาณที่ตกคร่อม R_C แทนซึ่งสัญญาณที่ได้ก็คือ V_A ดังรูป จะแปรผันโดยตรงกับค่า L_X, C_X ที่นำมาวัดรวมกับค่าสูญเสียที่เกิดจากความต้านทานภายใน L_X, C_X นั้นด้วย

กระแสที่ไหลผ่าน L_X หรือสัญญาณที่ตกคร่อม C_X นั้นจะมีค่าคงที่ เพราะสัญญาณขยายที่ถูกป้อนเข้าที่ขาอินเวอร์ตของวงจรถยายผลต่างที่มีอัตราขยายเท่ากับ 1 จะไปหักล้างกับสัญญาณที่จุด G ซึ่งก็คือ V_A ดังนั้นสัญญาณที่จุด B คือ $V_A - V_E$ และสัญญาณระหว่างจุด A และ B คือ $V_A - (V_A - V_E)$ สัญญาณ V_E นี้จะถูกทำให้มีขนาดคงที่จากภาคออสซิลเลเตอร์ ดังนั้นสัญญาณที่ตกคร่อมบน R_L หรือ C_X จึงมีขนาดคงที่ เป็นผลให้กระแสที่ไหลผ่าน

L_X และสัญญาณที่ตกคร่อม R_C มีขนาดคงที่ด้วย หมายความว่าค่า R_L, R_C และ



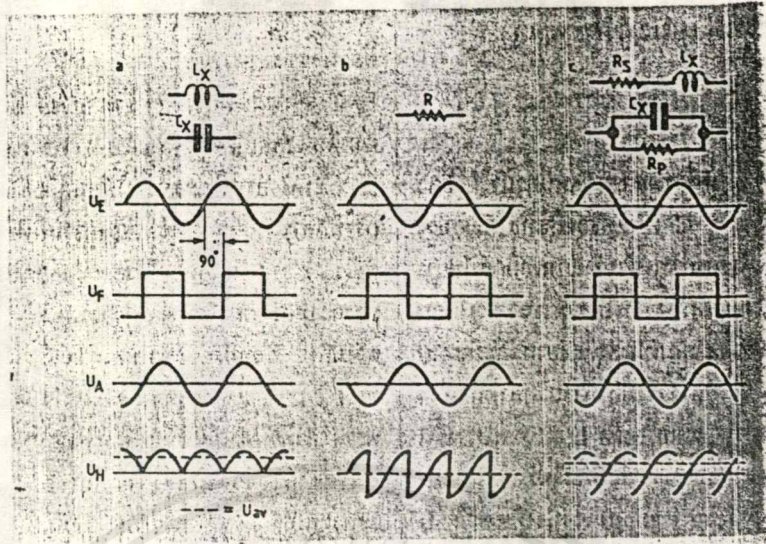
รูปที่ 1 หลักการเบื้องต้นของเครื่องวัด L,C

สัญญาณที่จุด G จะประกอบด้วยสัญญาณ 2 สัญญาณคือ สัญญาณชายันต์ที่เกิดจาก L_X, C_X ซึ่งจะต่างเฟสกับ V_G 90 องศา และอีกสัญญาณคือ สัญญาณชายันต์ที่มีเฟสตรงกันกับ V_E ซึ่งเกิดจากความต้านทานภายใน L_X และ C_X เมื่อรวมสัญญาณทั้งสองนี้เข้าด้วยกันเป็น V_G ก็จะได้สัญญาณชายันต์ที่มีเฟสเลื่อนไปต่างกันไม่เกิน 90 องศา เมื่อเทียบกับ V_E แต่ในการวัดนั้นจะใช้เฉพาะสัญญาณที่เกิดจาก L_X, C_X เท่านั้น ดังนั้นจึงต้องแยกสัญญาณทั้งสองออกจากกัน ซึ่งสามารถแยกออกได้ด้วยวงจรเชิงครอนส์เรกตีไฟเออร์ และสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่มีเฟสต่างจาก V_E 90 องศา เป็นตัวเชิงครอนส์กับสัญญาณที่เกิดจาก L_X และ C_X

สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่ใช้จะถูกป้อนเข้าที่จุด F เป็น V_F และไปเชิงครอนส์กับ V_G และถูกเรกตีไฟร์ออกมาเป็น V_H ซึ่งสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ในวงจรนี้แสดงไว้ในรูปที่ 2 และยังแสดงให้เห็นลักษณะสัญญาณเมื่ออุปกรณ์ที่ถูกวัดมีหลายแบบคือ L,C อย่างเดียว ตัวต้านทาน และสุดท้ายเป็นการรวมระหว่าง L กับ R และ C กับ R ซึ่งจะพบในอุปกรณ์จริง จากรูปจะสังเกตเห็นเส้นประของสัญญาณที่จุด H เส้นประนี้คือ ระดับแรงดันเฉลี่ยของ V_H เมื่อต่อผ่านวงจรกรองแรงดันด้วย R_C แล้วแรงดันไฟตรงที่ได้นี้จะต่อไปยังมิเตอร์หรือภาคแสดงผลต่อไป

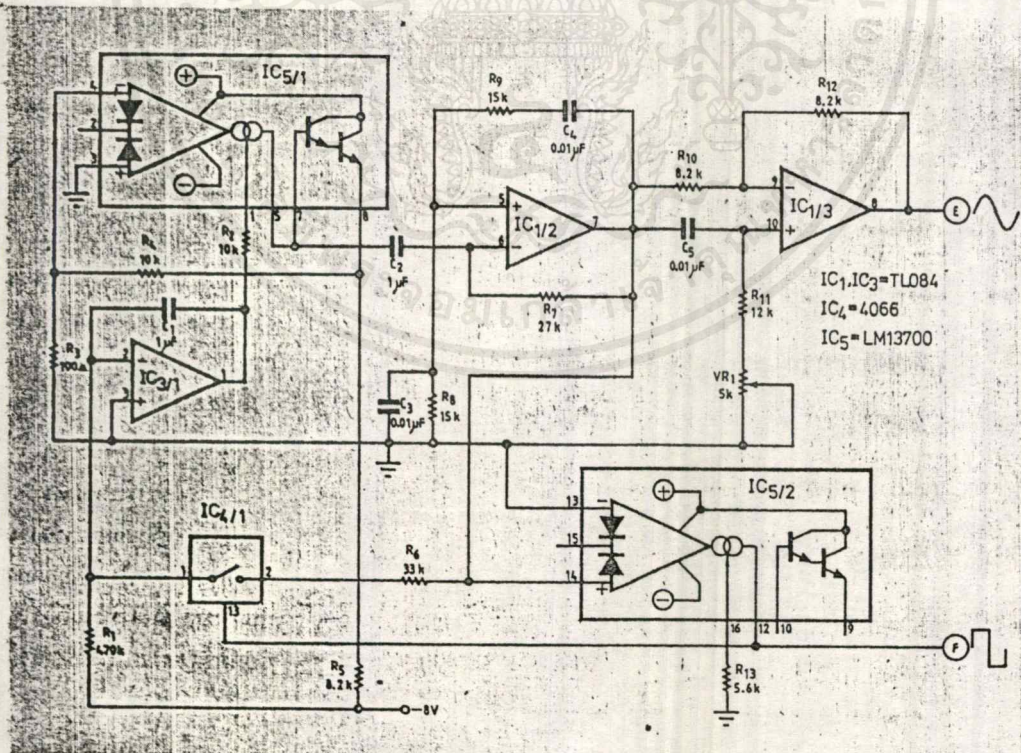
ภาคกำเนิดความถี่

สัญญาณ V_E และ V_F ที่ใช้ในการวัดนั้นจะถูกสร้างขึ้นจากวงจรออสซิลเลเตอร์ในรูปที่ 3 การทำงานเริ่มจาก $IC_{1/2}$ ถูกต่อเป็นวงจรวินบริจจ์ออสซิลเลเตอร์สร้างสัญญาณชายันต์ขึ้นมา โดยมี R_7, R_8, R_9 และ C_2, C_3, C_4 เป็นตัวกำหนดความถี่ สัญญาณเอาต์



รูปที่ 2 ลักษณะสัญญาณที่วัดตามจุดต่าง ๆ ในวงจร

พุดจากขา 7 จะถูกต่อไปยัง IC 5/2 ที่ต่อเป็นวงจรเปรียบเทียบกับกราวด์เพื่อเปลี่ยนเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม (V_F) ที่จุด F ซึ่ง V_F และสัญญาณขาอื่นที่ได้มานี้มีเฟสตรงกัน จึงใช้ IC_{1/3} ทำหน้าที่เลื่อนเฟสสัญญาณขาอื่นที่ได้ไปอีก 90 องศา ได้เป็นเอาต์พุตคือ V_E โดยมี VR₁ เป็นตัวปรับทำให้ V_E และ V_F ต่างเฟสกัน 90 องศา สำหรับ V_E ที่ได้จะมีขนาดแรงดันประมาณ 1.2 V



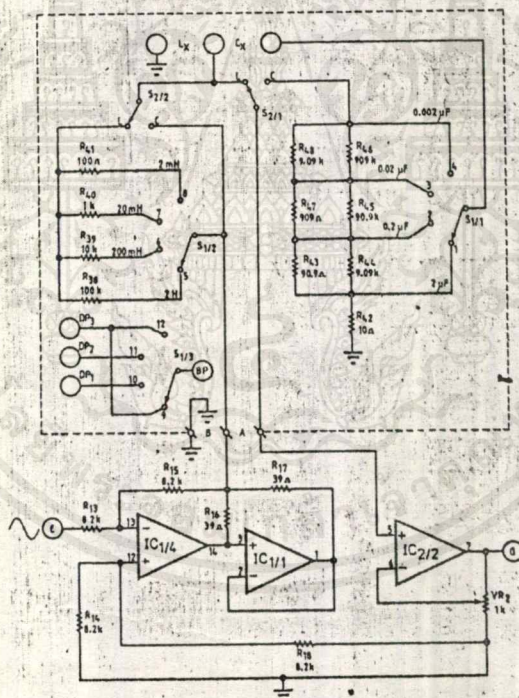
รูปที่ 3 วงจรออสซิลเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ IC_{5/1} นั้นใช้ควบคุมขนาดของสัญญาณที่สร้างขึ้นให้คงที่ปลະเสถียรซึ่งจะต่อเป็น วงจรป้อนกลับกับ IC_{1/2} ที่ขา 5 และการทำงานเป็นเสมือนตัวต้านทานควบคุมกระแสที่ป้อนให้ IC_{1/2} อีกที่ค่าความต้านทานนี้จะถูกกำหนดด้วยกระแสจากวงจรอินทิเกรเตอร์ IC_{3/1} ดังนั้น อัตราขยายของ IC_{1/2} จึงเสมือนถูกควบคุมจาก IC_{3/1} นั้นเอง และกระแสที่ใช้นี้จะ ถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณเอาต์พุตของ IC_{1/2} ซึ่งจะใช้เฉพาะช่วงบวกเท่านั้น โดยการควบคุม ของสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์ IC_{4/1} และแรงดัน V_F

วงจรวัด

จากรูปที่ 4 เป็นวงจรที่ใช้วัด L, C สัญญาณ V_E จะถูกป้อนเข้า IC_{1/4} ซึ่งต่อเป็น วงจรขยายผลต่าง ได้กระแสเอาต์พุตประมาณ 7.5 มิลลิแอมป์ ซึ่งยังไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงใช้ IC_{1/1} ขยายกระแสที่ได้จาก IC_{1/4} 2 เท่า ได้กระแสประมาณ 15 มิลลิแอมป์ กระแสที่ ได้นี้จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อม R₁₆ และ R₁₇ มีค่าเท่ากัน



รูปที่ 4 ส่วนของวงจรวัด

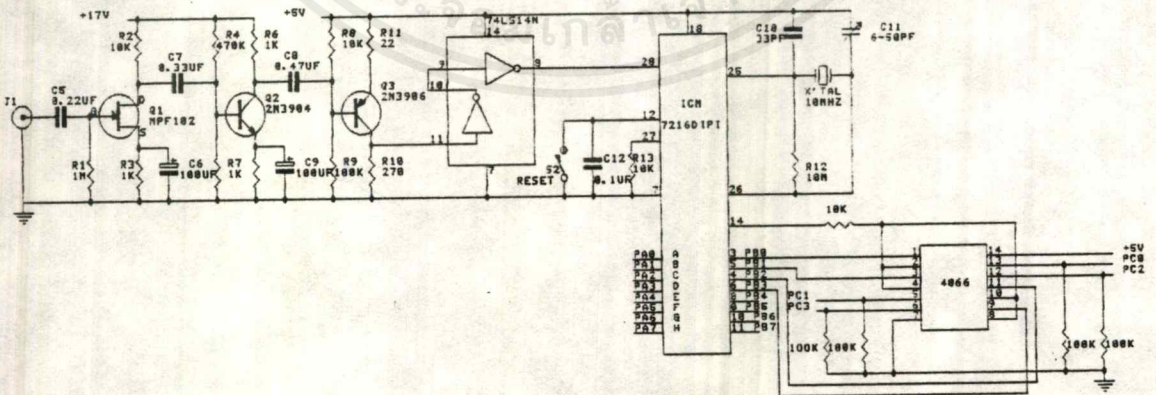
สวิทช์ S₁ ในรูปที่ 4 นี้เป็นสวิทช์เลือก 4 ทาง 3 ชั้น ใช้เลือกย่านวัดของวงจร ซึ่งในแต่ละย่านนั้นจะถูกกำหนดด้วยตัวต้านทาน 1% เพื่อให้เครื่องวัด L, C เกิดค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด ส่วนตัวต้านทาน R₄₄, R₄₅ และ R₄₆ นั้นเป็นตัวต้านทานที่ต่อขนานเพื่อชดเชยค่าความผิดพลาดให้น้อยลง สำหรับการวัดค่า C

การตรวจสอบโรเวอร์โฟลว์

เมื่อมีสัญญาณ V_G เข้ามา ก็จะถูกขยายด้วย $IC_{2/3}$ ก่อน ในขณะที่ V_F มีค่าเป็นบวกจะทำให้ $IC_{4/2}$ และ $IC_{4/3}$ ทำงานต่อวงจรให้ $IC_{2/4}$ ทำงานเป็นวงจรถยายเป็น +1 รับสัญญาณเอาต์พุตจาก $IC_{2/3}$ ผ่านขานอนอินเวอร์ตติ้ง ดังนั้นเอาต์พุตของ $IC_{2/4}$ ในเวลานี้จึงมีค่าเท่ากับเอาต์พุตของ $IC_{2/4}$ ในเวลานี้จึงมีค่าเท่ากับเอาต์พุตของ $IC_{2/3}$ และเมื่อ V_F มีค่าเป็นลบจะทำให้ขา 6 ของ $IC_{4/4}$ ได้รับไฟบวก จึงต่อวงจรให้ขานอนอินเวอร์ตติ้งของ $IC_{2/4}$ ลงกราวด์ และทำงานเป็นวงจรถยายอินเวอร์ตติ้งแอมพลิไฟเออร์ มีอัตราขยายเท่ากับ -1 ทำให้เอาต์พุตของ $IC_{2/4}$ มีค่าเท่ากับเอาต์พุตของ $IC_{2/3}$ แต่มีเฟสตรงข้ามกับสัญญาณเอาต์พุตของ $IC_{2/4}$ นี้คือ V_H ดังรูปที่ 2

สัญญาณที่ได้มานี้จะถูกกรองแรงดันให้เรียบด้วย R_{27} และ C_7 เสียก่อนส่วน $IC_{2/1}$ นั้นต่อเป็นวงจรรีฟเฟออร์ เพื่อส่งผ่านแรงดันไฟตรงที่ได้ไปยังมิเตอร์หรือภาคแสดงผลต่อไป ซึ่งแรงดันที่จุด D นี้จะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 2 โวลต์

ตัวที่ทำหน้าที่ตรวจสอบโรเวอร์โฟลว์คือ $IC_{3/2}$ จะทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณเอาต์พุตของ $IC_{2/4}$ กับแรงดันไฟตรงค่าหนึ่ง เมื่อสัญญาณที่วัดมีค่ามากกว่าแรงดันไฟตรงนี้ $IC_{3/2}$ ก็จะขาร์จกระแสไปยัง C_8 โดยผ่าน D_3 ทำให้ $IC_{3/3}$ เปลี่ยนมาจ่ายไฟบวกแทนไปขับ LED_1 ให้ติดสว่าง

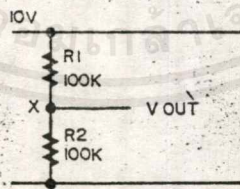


ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

เครื่องมือวัดนับว่าจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับช่างอิเล็กทรอนิกส์ นับตั้งแต่มิเตอร์ ออสซิลโลสโคป ฯลฯ มิเตอร์นับว่าเป็นเครื่องมือขั้นต้นสำหรับช่างไม่ว่าจะเป็นแบบเข็มหรือแบบที่แสดงผลเป็นตัวเลข (ดิจิตอลมัลติมิเตอร์) ก็ตามทั้งสองแบบนี้เหมาะกับงานที่แตกต่างกัน และแน่นอนคุณภาพของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ย่อมจะดีกว่าแบบเข็ม ที่ว่าดีกว่านั้นที่เห็นได้ชัดที่สุดก็คือ การอ่านง่ายกว่าแบบเข็มเพราะอ่านออกมาเป็นตัวเลขโดยตรงเลขไม่ต้องไปเทียบสเกลบนหน้าปัทม์ ข้อดอีกข้อของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ก็คือ มีความต้านทานทางอินพุตสูงมากคือสูงถึง 10 Mohm ซึ่งถ้าเป็นแบบเข็ม ความต้านทานอินพุตอย่างมากก็ประมาณ 100 Kohm หรืออาจสูงถึง 10 Mohm ได้สำหรับมิเตอร์แบบ วีทีเอ็ม (VTVM : Vacuum Tube Volte Meter) หรือเฟทมิเตอร์ แต่ทั้งสองแบบมีราคาสูงมากคราวนี้เราจะมาพิจารณาว่าทำไมมิเตอร์ที่มีความต้านทานทางอินพุตสูง จึงดีกว่ามิเตอร์ที่มีความต้านทานทางอินพุตต่ำ

ผลของมิเตอร์ต่อวงจรที่นำไปวัด

ความแม่นยำในการวัดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ อย่าง และสิ่งที่สำคัญที่สุดเห็นจะเป็นผลต่อวงจรที่นำมิเตอร์เข้าไปวัด สำหรับมิเตอร์ทั่ว ๆ ไปเมื่อต้องการวัดแรงเคลื่อนต้องพิจารณาจากวงจรที่ทำการวัด ค่าของแรงเคลื่อนจะขึ้นอยู่กับความไว (Sensitivity) ของมิเตอร์ที่เราเข้าไปวัด โดยเปลี่ยนค่าเป็นความต้านทานอินพุตของมิเตอร์สามารถอธิบายได้จากรูปที่ 1



รูปที่ 1

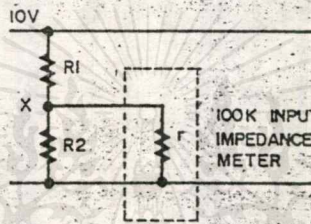
สมมติว่าในวงจรหนึ่งมีความต้านทานอยู่ 2 ตัว เราสามารถหาค่าแรงเคลื่อน V_{out} หรือที่จุด "X" ได้จากสูตร

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{\frac{R_1 + R_2}{R_2}} \times R_2$$

$$= \frac{1}{100K + 100K} \times 100K$$

$$= 5 V$$

วัดแรงเคลื่อนที่จุด "X" โดยมีเตอร์ที่นำมาวัดมีความต้านทานอินพุตเท่ากับ 100 Kohm ดัง
 ในรูปที่ 2



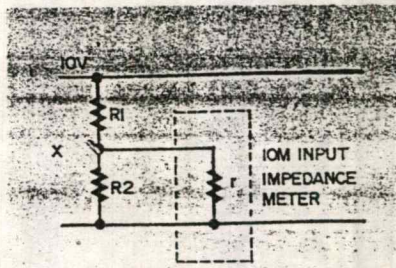
รูปที่ 2

เมื่อนำมิเตอร์เข้าไปวัดจะทำให้ค่าความต้านทานของ R_2 ลดลงเป็น 50 Kohm จากกฎของโอดัม
 แรงเคลื่อนขณะนำมิเตอร์เข้าไปวัดจะมีค่าดังนี้

$$V_{out} = \frac{10}{100K + 50K} \times 50K$$

$$= 3.3333 V$$

แต่ถ้าเราเอาดิจิตอลมัลติมิเตอร์เข้าไปวัด ซึ่งค่าความต้านทานอินพุตเท่ากับ 10 Mohm ดัง
 ในรูปที่ 3 ฉะนั้น



รูปที่ 3

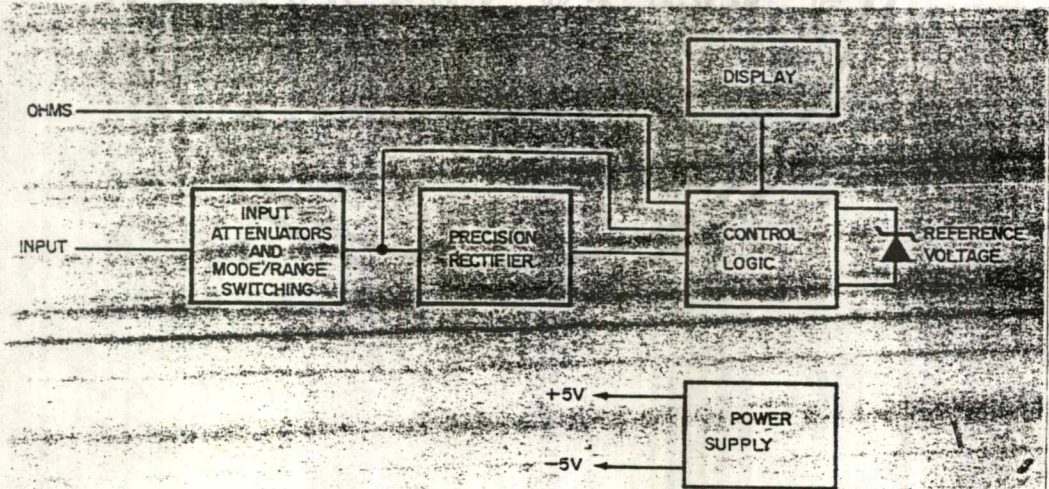
ค่าความต้านทานรวมระหว่าง R_2 กับ R ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์มีค่าเท่ากับ 99.009 K. จากกฎของโธม และแรงเคลื่อนขณะนามิเตอร์เข้าไปวัดมีค่าดังนี้

$$V_{out} = \frac{10}{100K + 990099} \times 99009$$

$$= 4.975 \text{ V}$$

ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ชุดนี้มีย่านการวัดทั้งหมด 26 ย่าน ดังแสดงไว้ตามคุณสมบัติทางเทคนิค การวัดแรงเคลื่อนมีย่านการวัดตั้งแต่ 200 mV ถึง 1,000 V และสามารถวัดกระแสได้ตั้งแต่ 200 ๕A ถึง 2 A สำหรับการวัดค่าความต้านทานตั้งแต่ 200 ohm ถึง 20 Mohm ซึ่งมีช่วงการวัดทั้งหมด 6 ช่วง และยังมีจิ้งก่ขั้วเทส สำหรับตรวจอุปกรณ์เซมิคอนดัคเตอร์ ซึ่งใช้ร่วมกับย่านการวัด 200 ๕A

ความต้านทานอินพุทของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ชุดนี้มีค่าเท่ากับ 10 Mohm/42 PF มีวงจรป้องกันการรบกวนรโวลต์โดยใช้ความต้านทานจำกัดกระแสที่อินพุทของไอซีเพื่อป้องกันการวัดแรงเคลื่อนผิดพลาด และมีฟิวส์ป้องกันการรโวลต์ในขณะวัดกระแส



รูปที่ 4 แผนผังการทำงานของดิจิตอลมัลติมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางเทคนิค

ตำแหน่ง	สเกลสูงสุด	ความละเอียด	ค่าผิดพลาด
แรงเคลื่อน DC	200 mV	100 μ V +- 1 ดิจิต	0.7 %
	2 V	1 mV +- 1 ดิจิต	0.25%
	20 V	10 mV +- 1 ดิจิต	0.72%
	200 V	100 mV +- 1 ดิจิต	0.35%
	2,000 V	1 V +- 1 ดิจิต	0.5 %
แรงเคลื่อน AC	200 mV	100 μ V +- 1 ดิจิต	1.1 %
	2 V	1 mV +- 1 ดิจิต	1.4 %
	20 V	10 mV +- 1 ดิจิต	0.7 %
	200 V	100 mV +- 1 ดิจิต	0.45%
	2,000 V	1 V +- 1 ดิจิต	0.61%
กระแส DC	200 mA	0.1 μ A +- 1 ดิจิต	0.45%
	2 A	1 μ A +- 1 ดิจิต	1.0 %
	20 A	10 μ A +- 1 ดิจิต	1.3 %
	200 A	100 μ A +- 1 ดิจิต	2.8 %
	2,000 A	1 mA +- 1 ดิจิต	3.6 %
กระแส AC	200 μ A	0.1 μ A +- 1 ดิจิต	0.8 %
	2 mA	1 μ A +- 1 ดิจิต	1.0 %
	20 mA	10 μ A +- 1 ดิจิต	1.3 %
	200 mA	100 μ A +- 1 ดิจิต	2.8 %
	2,000 mA	1 mA +- 1 ดิจิต	3.1 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางเทคนิค (ต่อ)

ตำแหน่ง	สเกลสูงสุด	ความละเอียด	ค่าผิดพลาด
ความต้านทาน	200 ohm	0.1ohm +- 1 ดิจิต	1.7 %
	2 Kohm	1 ohm +- 1 ดิจิต	0.9 %
	20 Kohm	10 ohm +- 1 ดิจิต	1.1 %
	200 Kohm	100 ohm +- 1 ดิจิต	1.1 %
	2,000 Mohm	1 Kohm +- 1 ดิจิต	1.5 %

- จักร์ขึ้นเทส วัดกระแสที่ไหลผ่านจักร์ขึ้นของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำด้วยกระแส 100 μ A
- ความต้านทานอินพุท 10 Mohm/ 42 PF
- มีการป้องกันภายนอก IC ด้วยตัวต้านทานและฟิวส์
- กรณ์วัดแรงเคลื่อนผิดพลาด ภายใน 1 นาทีเครื่องยังปลอดภัย

หลักการทํางาน

บล็อกไดอะแกรมของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ชุดนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4 การวัดแรงเคลื่อนต่อผ่านโหมตสวิทช์ และวงจรถอดทอน (Input Attenuator) หรือทำการต่อขนานสำหรับการวัดกระแส การเลือกย่านการวัดต้องเลือกให้เหมาะสมกับค่าที่จะวัดเช่น ต้องการวัดแรงเคลื่อน 6.7 V ที่ย่านการวัด 20 V เราต้องทราบว่าเป็นแรงเคลื่อน DC หรือ AC โดยเลือกผ่านโหมตสวิทช์เมื่อเป็นแรงเคลื่อน AC โหมตสวิทช์จะต่อผ่านวงจรถอดทอนเรกติไฟยอร์เออร์ แต่ถ้าเป็นแรงเคลื่อน DC โหมตสวิทช์จะต่อตรงเข้าวงจรถอดทอนเรกติไฟยอร์เออร์

จากนั้นวงจรถอดทอนเรกติไฟยอร์เออร์จะเปลี่ยนแรงเคลื่อนเป็นสัญญาณทางดิจิตอล การเปลี่ยนนี้ถูกเรียกว่า Dual Slop A/D

การทํางาน

อุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดของวงจรเห็นจะเป็นไอซี 7107 เป็นไอซี 40 ขาแบบดินตะขาบ ทําหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ภายในตัวไอซีมีวงจรแสดงเครื่องหมายอัตราเมตริ และวงจรถอดทอนอัตราเมตริ สามารถขับแอลอีดีได้โดยตรง แสดงผลออกมาเป็นตัวเลขขนาด 3 หลักครึ่ง

อินพุทของไอซีอยู่ที่ขา 31 และมีการป้องกันภัยต่อความต้านทาน R_{30} ค่า 1 M อนุกรมอยู่ในกรณีที่แรงเคลื่อนเข้ามาที่ขา 31 มากจนอาจทําให้ไอซีเสียหาย ความต้านทาน R_{30} จะจำกัดกระแสถ้าเป็นเวลานานความต้านทาน R_{30} จะไหม้ และตัดวงจรทางอินพุทที่ขา 31 ของไอซีออก ที่ขา 38, 39 และ 40 ต่ออยู่กับ R_{32} และ C_9 เป็นวงจรรอสัญญาณเพื่อให้ความถี่ออกมาประมาณ 50 KHz ที่ขา 35 และ 36 เป็นจุดต่อแรงเคลื่อนเปรียบเทียบ (Reference Voltage) ในวงจร VR_3 เป็นตัวปรับแรงเคลื่อนเปรียบเทียบที่ป้อนเข้ามาที่ขา 36 ด้วยแรงเคลื่อนที่ถูกปรับให้มีค่า 100 mV แรงเคลื่อนเปรียบเทียบนี้ถูกสร้างขึ้นด้วย D_3 ซึ่งเป็นอุปกรณ์จากพวกไอซีที่ทําให้แรงเคลื่อนตกคร่อมตัวมันเองที่ 1.2 V โดยต่อร่วมกับ R_{27} , R_{28} และ VR_3 แรงเคลื่อนที่คาโรดของ D_3 ถูกต่อผ่าน R_9 , R_8 และ VR_1 โดย VR_1 เป็นตัวปรับกระแสให้ได้ 100 μ A สำหรับทดสอบอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Junction Test) ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในตอนต่อไป

มาดูวงจรเพาเวอร์ซัพพลายกันบ้าง เพาเวอร์ซัพพลายใช้วงจรเรกติไฟยอร์แบบบริดจ์เซ็นเตอร์แทปคือ D_5-D_7 มี C_{14} ฟิลเตอร์ไปพวก และ C_{16} ฟิลเตอร์ไปพวกไปพวกแบบนี้จะป้อนเข้า IC_3 และ IC_4 เป็นไอซีเรกติไฟเลเตอร์ให้แรงดันเข้าที่พุทออกมา +5V และ -5V ตามลำดับ จากนั้นจึงผ่านการฟิเตอร์โดย C_{15} และ C_{17} อีกที

การวัดคิรีโวลท์เตจ (Direct Voltage Measurement)

การวัดคิรีโวลท์เตจต่อสายวัดเข้าทาง SK₃ และ SK₄ แรงเคลื่อนที่วัดจะผ่านมาที่ สวิตช์ S₁ (Mode) สมมุติว่าแรงเคลื่อนที่เข้ามามีค่าเท่ากับ 20 V แต่อินพุทของไอซีสามารถวัดแรงเคลื่อนสูงสุดได้แค่ 200 mV ดังนั้นจึงต้องทำการลดค่าแรงเคลื่อน 20 V จากวงจรจะเห็นว่า เป็นการนำแรงเคลื่อนตกคร่อมของ R₃, R₄, R₅, R₆ และ R₇ ผ่านสวิตช์ S_{2a} แรงเคลื่อนนี้จะมีค่าน้อยลงเนื่องจากแรงเคลื่อนส่วนใหญ่ไปตกคร่อม R₁ และ R₂ เพราะมีค่าความต้านทานสูง เมื่อแรงเคลื่อนดังกล่าวผ่าน S_{2a} มาแล้ว ที่สวิตช์ S_{1b} ในตอนนี้ S_{1b} จะต้องอยู่ที่ตำแหน่ง DV (Direct Voltage) ซึ่งไม่ต้องการผ่านวงจรคอนเวอร์เตอร์แต่จะผ่านมาเข้า S_{1c} ซึ่งอยู่ตำแหน่งเดียวกับ S_{1b} ผ่าน R₃₀ เข้าอินพุทของไอซี 7107

การวัดคิรีเคอร์เรนท์ (Direct Current Measurement)

การวัดคิรีเคอร์เรนท์ต่อสายวัดเข้าทาง SK₃ และ SK₄ เมื่อนำไปวัดกระแสจะมีกระแสไหลผ่าน S_{1a} ผ่านมาเข้า S_{1b} และ S_{2b} เมื่อเข้ามาที่ S_{2b}, S_{2b} จะเป็นตัวเลือกย่านการวัดโดยเปลี่ยนค่าความต้านทานตั้งแต่ R₁₀ ถึง R₁₄ กระแสจะไหลผ่านค่าความต้านทานเหล่านี้มาครบวงจรที่ SK₄ เมื่อกระแสไหลผ่านค่าความต้านทานที่ S_{2b} เป็นตัวเลือกจะเกิดแรงเคลื่อนตกคร่อมค่าความต้านทานเหล่านี้ จากวงจรจะเห็นว่าเมื่อ S_{1b} อยู่ที่ตำแหน่ง DC และ S_{1c} อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งเป็นการต่ออินพุทของไอซี 7107 เข้ามาวัดแรงเคลื่อนที่มาตกคร่อมค่าความต้านทานดังกล่าว

การวัดเอซีโวลท์เตจ (Alternating Voltage Measurement)

การวัดเอซีโวลท์เตจต่อสายวัดเข้าทาง SK₃ และ SK₄ ปิดสวิตช์ S_{1a} มาที่ตำแหน่ง AV ผ่าน C₁ ซึ่งเป็นตัวเก็บประจุที่ทนแรงเคลื่อนสูง C₁ จะเป็นตัวกั้นไม่ให้แรงเคลื่อนคิรีผ่านเข้าวงจร เช่น การวัดริบเบิล (ripple) ของเพาเวอร์ซัพพลาย เป็นต้น

การเลือกย่านการวัดเลือกโดยเข้า S_{2a} ผ่าน S_{2b} เข้าอินพุทของวงจรเปลี่ยนแรงเคลื่อนเอซีเป็นคิรี (AC to DC Converter) ออกที่เข้าที่พุทเป็นแรงเคลื่อนคิรีผ่าน S_{1c} มาเข้าอินพุทของไอซี 7107

วงจรเปลี่ยนแรงเคลื่อนเอซีเป็นคิรี (AC to DC Converter) ประกอบด้วย IC₁ และ D₁ กับ D₂ เป็นส่วนสำคัญ วงจรนี้เรียกอีกชื่อว่า พรีซิชั่นฮาล์ฟเวฟ เร็คติไฟร์เออร์ (Precision Half-Wave Rectifier) โดยปกติการเปลี่ยนแรงเคลื่อนเอซีเป็นคิรีเรามักใช้วงจรเร็คติไฟร์โดยใช้ไดโอดธรรมดาแต่ในที่นี้ไม่สามารถใช้การเปลี่ยนแรงเคลื่อนเอซีเป็นคิรีโดยใช้วงจรธรรมดาได้ เนื่องจากไดโอดเมื่อทำงานจะเกิดแรงเคลื่อนตกคร่อมตัวมันอย่างน้อย

600 mV ซึ่งมีค่ามากกว่าย่านการวัด 200 mV ดังนั้นเราจึงต้องอาศัยไอซี CA 3140 ซึ่งเป็นไอซี ออปแอมป์ขยายแรงเคลื่อนที่จะวัดค่าที่สูงขึ้น แล้วจึงป้อนเข้าโครตทากการเร็คติไฟยร์

จากวงจรภายในกรอบเส้นประไอซีออปแอมป์ CA 3140 ต่อวงจรแบบอินพุทอิมพีแดนซ์สูงต่อ แรงเคลื่อนไอซี สามารถปรับอัตราขยายได้โดยปรับที่ VR₂ ที่อินพุทต่อรับแรงเคลื่อนไอซี ผ่าน R₂₁ และมีการพีดแบคทางลงค่า D₁, R₂₄, C₅ หรือ D₂, R₂₅, C₅ โดยครึ่งไขเคลื่อนมาที่อินพุท D₁ จะนำกระแส และ D₂ จะไม่นำกระแสเข้าที่พุทที่ได้จะมีค่า เป็นศูนย์เมื่อครึ่งไขเคลื่อนมาเข้ามาออปแอมป์จะทำงานขยายไขเคลื่อนมาตอนนี้ d₁ จะหยุดนำกระแส D₂ จะนำกระแสเข้าที่พุทของวงจรจะเป็นบวก อินพุทของวงจรนี้มีความไวประมาณ 3 ๕A การวัดไอซีเคอร์เรนท (Alternating Current Measurement)

การวัดไอซีเคอร์เรนทต่อสายวัดเข้าทาง SK₃ และ SK₄ มีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับการวัดดีซีเคอร์เรนทแต่ต้องผ่านวงจรเปลี่ยนแรงเคลื่อนไอซีเป็นดีซีเท่านั้น การวัดค่าความต้านทาน (Resistance Measurement)

การวัดค่าความต้านทานเป็นการเปรียบเทียบอัตราส่วนของความต้านทาน จากวงจรในรูปที่ 6 เป็นการต่อวงจรขณะวัดความต้านทานเราสามารถหาค่าความต้านทานที่เราไม่ทราบค่า โดยเปรียบเทียบอัตราส่วนของแรงเคลื่อนที่ตกคร่อมความต้านทานมาตรฐาน (R₁₅-R₂₀) กับความต้านทานที่ไม่ทราบค่า (R_X) ที่ขา 36 (REF Hi) ของ IC 7107 กับขา 35 (REF Lo) จะมีแรงเคลื่อนเปรียบเทียบซึ่งได้มาจาก VR₃ มายังความต้านทานมาตรฐาน (R₁₅-R₂₀) ทำให้เกิดแรงเคลื่อนเปรียบเทียบ (V_{REF}) ที่ขา 35 และ 36 ขณะเดียวกัน เราต่อความต้านทานที่ไม่ทราบค่า (R_X) ก็จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนอินพุท (V_{INPUT}) ที่ขา 30 และ 31 ซึ่งเป็นขา IN Lo และ IN Hi จากนั้นวงจรลอจิกภายใน IC 7107 จะทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนของแรงเคลื่อนทั้งสอง (V_{REF} กับ V_{INPUT}) แล้วแสดงผลออกมาจากสุต

$$\frac{V_{INPUT}}{V_{REF}} \times 1,000$$

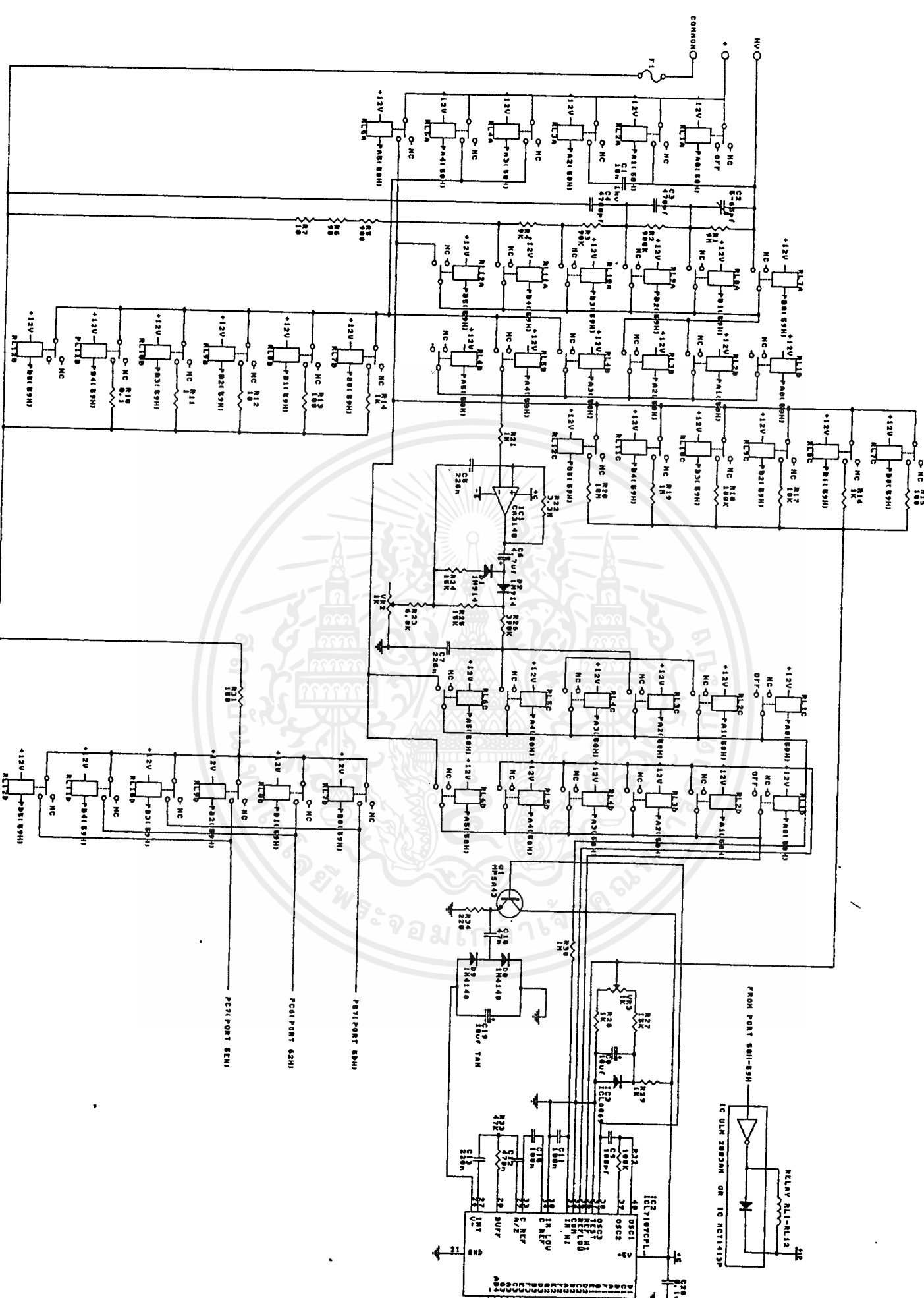
ตัวอย่างเช่น เมื่อเลือกย่านการวัดมาที่ 2 Kohm ค่าความต้านทานมาตรฐานคือ R₁₆ มีค่าเท่ากับ 1Kohm เมื่อต่อความต้านทาน R_X มีค่าเท่ากับ 2 Kohm อัตราส่วนของแรงเคลื่อนทั้งสองมีค่าเท่ากับ 2 : 1 การแสดงผลเป็นดังนี้

$$\begin{aligned} & V_{INPUT} \\ & \text{—————} \times 1,000 \\ & V_{REF} \\ & = (2/1) \times 1,000 \\ & = 2,000 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

จังก์ชันเทส (Junction Test)

การวัดความต้านทานของดีจิตอลมัลติมิเตอร์ แรงเคลื่อนที่ออกมาจากตัวเครื่องไม่สามารถนำมาตรวจอุปกรณ์จังก์ชันสารกึ่งตัวนำได้ ดังนั้นเราจึงแยกขั้วของสายวัดเพื่อสร้างแรงเคลื่อนที่ต้องการให้ออกมาที่ขั้วนี้ และสามารถนำมาตรวจอุปกรณ์จังก์ชันเคมีคอนดักเตอร์ได้จากวงจร เราได้แรงเคลื่อนนี้มาจาก D_3 , R_8 , R_9 และ VR_1

วิธีใช้จังก์ชันเทส ตัววัดสวิตช์ (S_2) มาที่ตำแหน่งวัดกระแสตรง (DC) และย่านการวัด (S_2) ตั้งมาที่ 200 μA และอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่จะนำมาตรวจต่ออยู่ระหว่างขั้วจังก์ชันเทส กับขั้ว "+" ส่วนขั้วอื่น ๆ ไม่ใช้ในกรณีนี้แรงเคลื่อน +1.2 V จะมาปรกฏที่ขั้วของจังก์ชันเทส และเพียงพอที่จะใช้ตรวจอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใด ทั้งสิ้น หากทั้งห้ามีให้ตัดแปลงเนื้อหาและตีพิมพ์เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

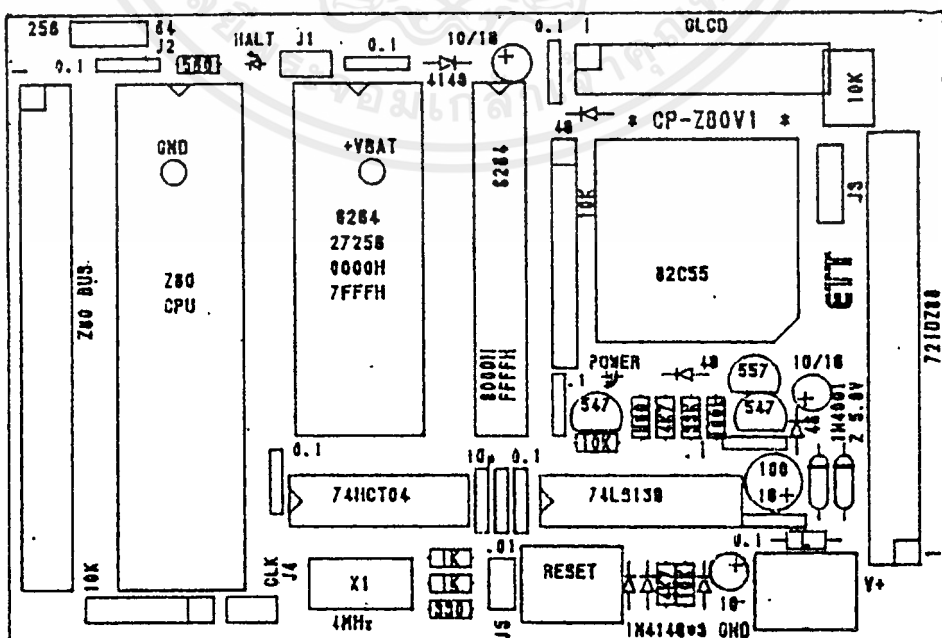
CP-Z80V1

ข้อมูลของ BOARD CP-Z80V1

CPU ใช้ CPU ยอคนิยม Z80 CPU ประจําบอร์ดโดยใช่ Z84C00-6 (Z80 B แบบ CMOS) ซึ่งเป็น CPU Z80 แบบ CMOS กินกําลังงานต่ำสามารถต่อใช้กับความถี่สูงสุด 6 MHz แต่ในบอร์ดนี้ เราจะใช้ความถี่ 4 MHz เพื่อไม่จำเป็นต้องใช้ ROM หรือ RAM ที่มี ACSSE TIME ต่ำมากนักก็ได้ แต่ถ้าผู้ใช้จะเปลี่ยนเป็น RUN 6 MHz ก็ได้โดยการเปลี่ยนเป็น X'TAL 1หม่งจาก 4 MHz เป็น 6 MHz ก็ได้

ROM หรือ EPROM บอร์ด CP-Z80V1 จะต่อใช้ EPROM เป็น MONITOR PROGRAM ได้ 2 เบอร์ คือ เบอร์ 2764 และ 27256 โดยการเลือก JUMPER J2 หน่วยความจำนี้จะ DECODE อยู่ระหว่าง 0000H ถึง 7FFFH

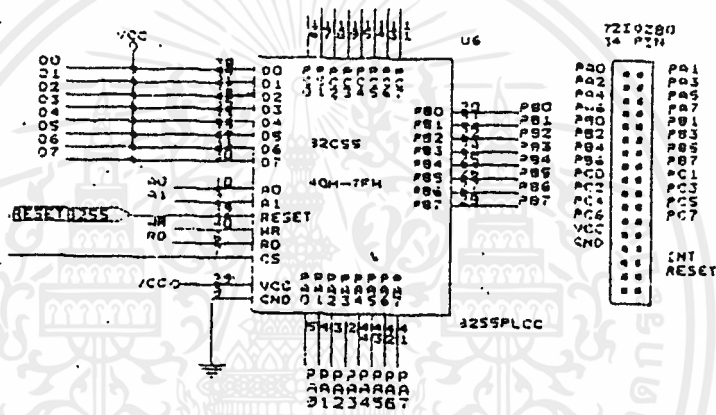
RAM บอร์ด CP-Z80V1 จะใช้ RAM ขนาด 8K BYTE ขนาดเล็กพิเศษโดยตามทํางานจะเป็นแบบ RAM 6264 ธรรมดาทุกประการ หน่วยความจำนี้จะ DECODE อยู่ระหว่าง 8000H ถึง BFFFH (โดยตามทํางาน 8000h-9FFFH และ A000H-BFFFH จะเป็นตำแหน่งเดียวกัน) ใน RAM นี้ ยังสามารถต่อ Battery ขนาดเล็ก 3V เพื่อใช้ Back up ข้อมูลได้ด้วยใช่ J1 ในการ ON/OFF Battery



PORT จะใช้ IC Port เบอร์ 82C55 ขนาดเล็กพิเศษแบบ PLCC Type 44 pin คุณภาพสูงเป็น Port I/O ประจําบอร์ด ทําให้กินกําลังงานต่ำ โดยจะต้ออก Port ทางขั้ว 34 pin มาตรฐาน ETT ทําให้เสื่อใช้อุปกรณ์บอร์ดต่าง ๆ ของ ETT ได้ เช่น ET-SSRAC, ET-SMCC ฯลฯ

Port 82C55 ตัวนี้จะ Decode Port อยู่ในตำแหน่ง 40H-7FH

- PORT A = 40H
- PORT B = 41H
- PORT C = 42H
- CONTROL PORT = 43H



LCD PORT บอร์ด CP-Z80V1 นี้ มีขั้ว CONNECTOR ขนาด 20 pin มาตรฐาน ETT สามารถต่อ Dot Matrix LED หรือ Graphic LCD ได้โดยตรง เพียงต่อสายต่อจาก LCD มายังขั้ว LCD Port เท่านั้น ไม่เสีย Port 82C55 ใช้ Jumper J3 ในการเลือกว่าเป็น LCD แบบใด ปรับค่าความคมชัดได้ด้วย VR 10K บนบอร์ด

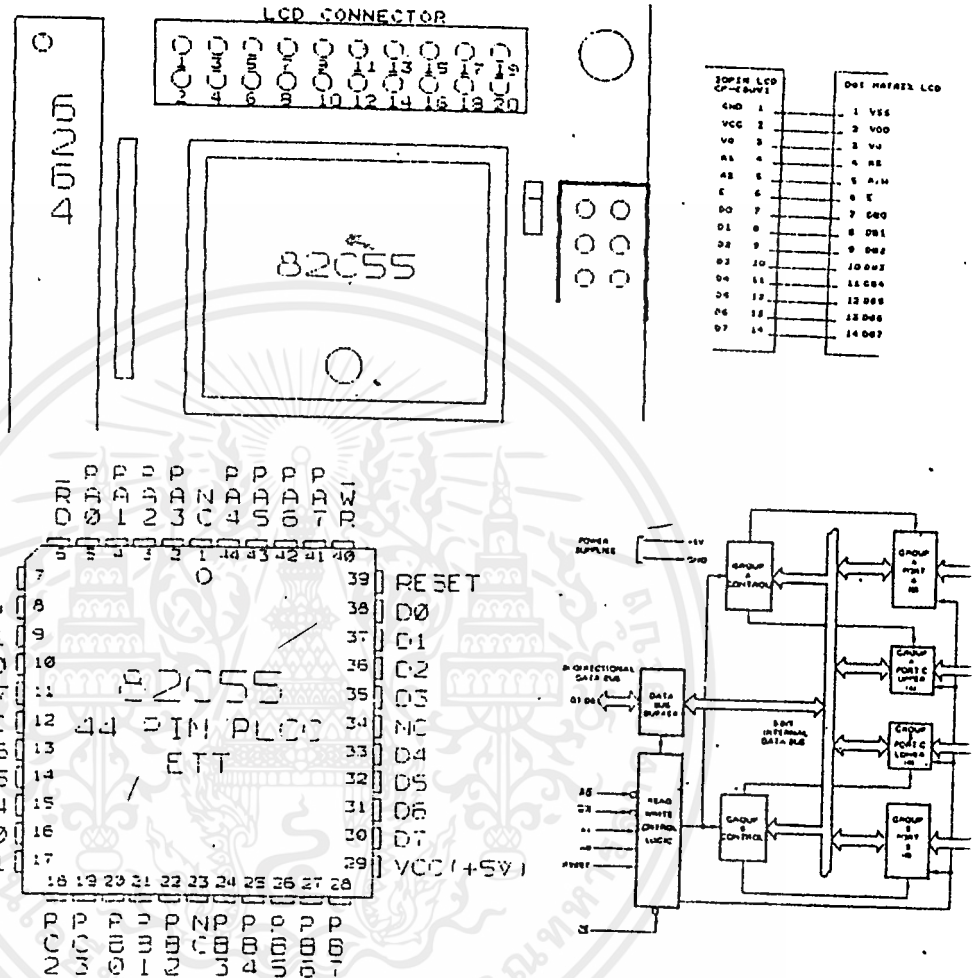
Port LCD นี้ จะ Decode อยู่ในตำแหน่ง 80H-BFH

LCD ADDRESS PORT

CHANNEL PORT	ADDRESS PORT
WRITE DATA INSTRUCTION	80 H
WRITE DATA TO GG OR DD RAM	82 H
READ BUSY FLAG AND ADDRESS	84 H

40 PIN Z80 BUS สามารถต่อขยายบอร์ดได้ทาง 40 PIN Z80 BUS โดย 40 PIN Z80 BUS นี้จะมีขาต่อออกมาเช่นเดียวกับขา IC CPU-Z80

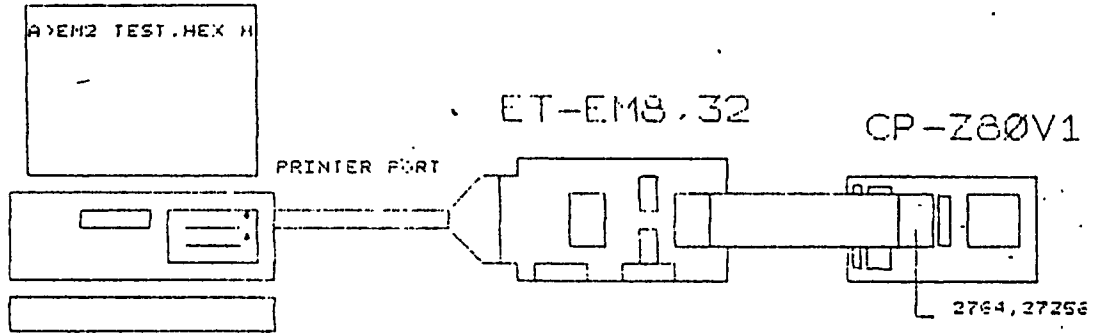
POWER SUPPLY ตัวบอร์ด CP-Z80V1 นี้จะต่อใช้ POWER SUPPLY +5V โดย
ใช้ไฟ +5V DC โดยต่อให้ถูกต้องด้วย และถ้าต่อกลับขั้ว ตัวบอร์ดจะมี Diode 1N4001 ต่อไว้
กันการต่อ กลับขั้วไว้ พร้อมทั้งยังมี Zener Diode 5.6V 1W ต่อในกรณี POWER SUPPLY
เกิน 5V อีกด้วย.



การพัฒนาเขียนโปรแกรม

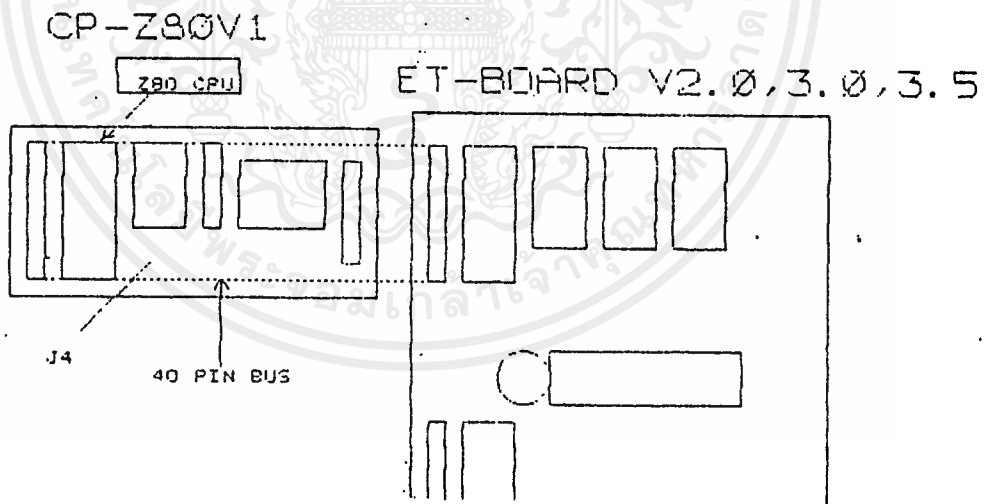
ตัวบอร์ด CP-Z80V1 นี้จะทำให้ผู้ใช้เขียนโปรแกรมสั่งงานขึ้นมาใช้เอง โดยอาจจะใช้การ
เขียนข้อมูลเข้า EPROM และนำ EPROM นั้น ๆ มาใส่ Socket ROM บนบอร์ดแล้วเปิดไฟ
เข้าตัวบอร์ดเพื่อ Test โปรแกรม ซึ่งเป็นวิธีหนึ่ง แต่เรามีวิธีที่ดีกว่านั้นมากถ้าหากมาต่อ
ร่วมกับอุปกรณ์ของทาง ETT ในการพัฒนาระบบ

1. ต่อใช้กับ EPROM EMULATOR (ET-EM) เราสามารถเลือกต่อใช้กับชุด ET-EM8 หรือ ET-EM32 ในการพัฒนาเขียนโปรแกรมมาได้ ดังรูป

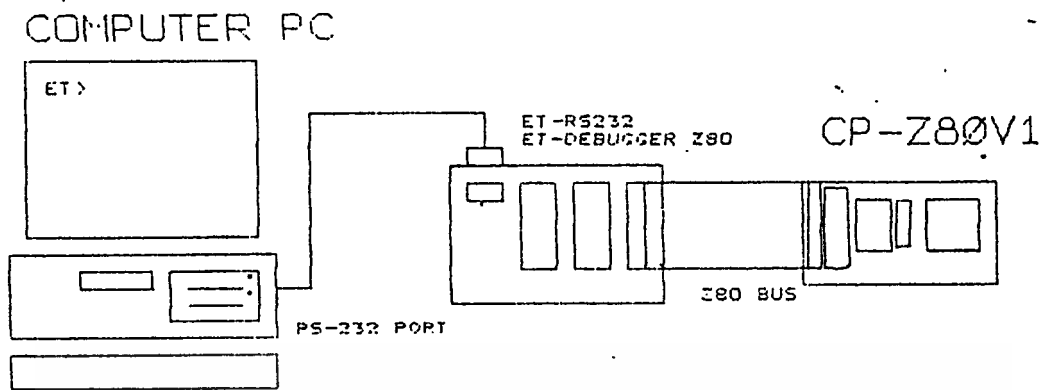


โดยเราสามารถเขียนโปรแกรมเป็นภาษา Assembler Z80 บนเครื่องคอมพิวเตอร์ PC แล้วให้เครื่องทำการแปลงเป็นภาษาเครื่อง จากนั้นใช้ ET-EM รับข้อมูลจากภาษาเครื่องจากคอมพิวเตอร์ PC ส่งต่อมายังบอร์ด CP-Z80V1 เป็น EPROM Monitor Program ใช้ TEST การทำงาน จากนั้นเมื่อ TEST จนเป็นที่พอใจแล้วก็มาทำการ copy เป็น EPROM ใช้งานจริง

2. ต่อใช้กับ ET-RS232 และ ET-DEBUGGER Z80 ต่อใช้ CP-Z80V1 กับ ET-RS232 และ ET-DEBUGGER Z80 โดยใช้เครื่อง คอมพิวเตอร์ PC ในการเขียนและพัฒนาระบบโดยเรา จะสามารถให้ PC คุยข้อมูลเข้ามายัง CP-Z80V1 ผ่านทาง RS232 ได้โดยตรงหรือจะทำการสั่ง run ได้จากเครื่อง PC ก็ได้ สามารถทำให้เราเหมือนกับมีชุด ชิปเก็ลบอร์ด CP-Z80V1 โดย ใช้ชิป และ จอของเครื่อง PC แทน



3. ต่อใช้กับ ET-BOARD เราสามารถต่อ CP-Z80V1 กับ ET-BOARD เข้าด้วยกันได้โดยต่อทาง Z80 bus 40 pin โดยให้ชุด ET-BOARD นั้นเข้าครอบครองระบบ bus ของ CP-Z80V1 ด้วยวิธีการถอดตัว CPU Z80 บนบอร์ด CP-Z80V1 ออกและถอน jumper J4(CLK) ออกและถอด IC หน่วยความจำที่อยู่ระหว่างบอร์ดทั้ง 2 ที่มีตำแหน่ง address ตรงกันออกเสีย ก่อนด้วยจากนั้น ET-BOARD ก็สามารถครองระบบ bus ของ CP-Z80V1 ได้



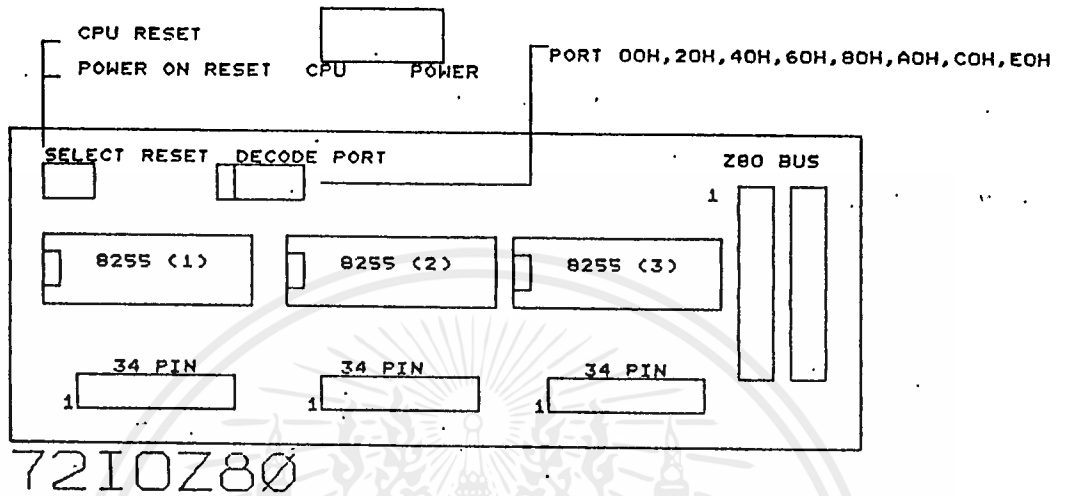
SPECIFICATION

CPU	: ZILOG Z84C00-6 (Z80B CPU CMOS)
MEMORY	: ROM 2764, 27256 (32K)
	: RAM 6264 (8K)
PORT	: 82C55 (PLCC 44 PIN)
LCD PORT	: 1 LCD MODVLE (DOT OR GRAPHE)
CLOCK RATE	: 4 MHz (MAX 6 MHz)
POWER SUPPLY	: COMSUMPTION 5V DC & TREMINAL 6V DC
CONNECTOR	: 1 40 PIN EXPANSION HEADER-STRIP (Z80 BUS)
	: 1 34 PIN EXPANSION HEADER-STRIP (72IOZ80 ETT)
	: 1 20 PIN EXPANSION HEADER-STRIP (LCD PORT ETT)
	: 1 2 PIN JUMPER (ON/OFF BAT)
	: 1 2 PIN JUMPER (RESET SW)
	: 1 3 PIN JUMPER (IOT/GRAPHIC)
	: 1 3 PIN JUMPER (EPROM 64/256)
	: 1 2 PIN JUMPER (CLOCK CPU ON/OFF)
LED	: 1 POWER RED LED
	: 1 HALT GREEN LDE
PCB SIZE	: 9 CM x 6 CM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

72IO-Z80

ลักษณะ 72IO-Z80



72IO-Z80 คืออะไร

72IO-Z80 เป็นบอร์ดที่ใช้ขยายส่วน input และ output ของระบบโปรเซสเซอร์ที่ใช้ CPU เป็น Z80 โดยใช้ 8255 PIA เป็น port input on ซึ่งเป็น IC LSI ซึ่งนำมาใช้กันอย่างมากที่สุดในการเป็น port ตัวหนึ่ง

การทำงาน 72IO-Z80

บอร์ด 72IO-Z80 จะใช้ 8255 เป็น port input และ output โดยทำให้เป็น input หรือ output อยู่ที่เรเป็นผู้กำหนด control code port ดังรูป



8255A OPERATIONAL DESCRIPTION

Mode Selection

There are three basic modes of operation that can be selected by the system software:

- Mode 0 - Basic Input/Output
- Mode 1 - Strobed Input/Output
- Mode 2 - Bi-Directional Bus

When the reset input goes "high" all ports will be set to the input mode (i.e., all 24 lines will be in the high impedance state). After the reset is removed the 8255A can remain in the input mode with no additional initialization required. During the execution of the system program any of the other modes may be selected using a single output instruction. This allows a single 8255A to service a variety of peripheral devices with a simple software maintenance routine.

The modes for Port A and Port B can be separately defined, while Port C is divided into two portions as required by the Port A and Port B definitions. All of the output registers, including the status flip-flops, will be reset whenever the mode is changed. Modes may be combined so that their functional definition can be "tailored" to almost any I/O structure. For instance: Group B can be programmed in Mode 0 to monitor simple switch closings or display computational results, Group A could be programmed in Mode 1 to monitor a keyboard or tape reader on an interrupt-driven basis.

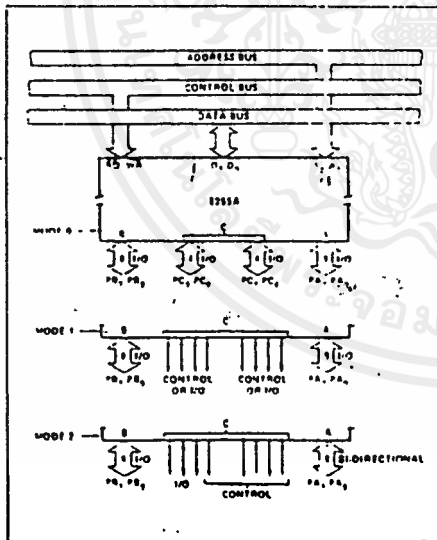


Figure 5. Basic Mode Definitions and Bus Interface

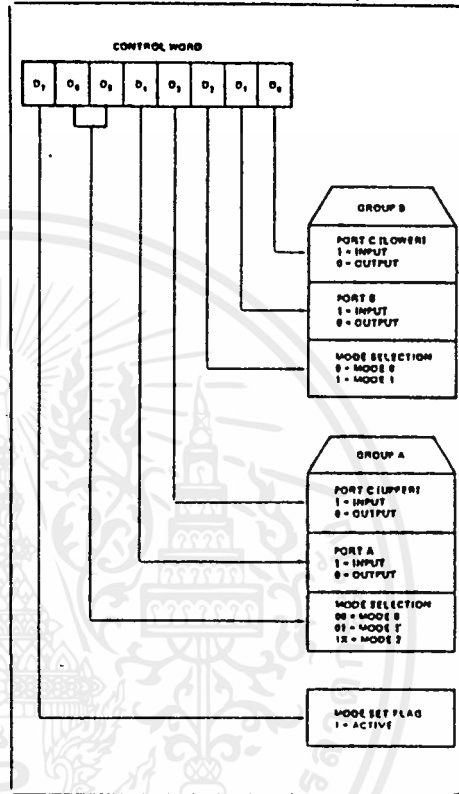


Figure 6. Mode Definition Format

The mode definitions and possible mode combinations may seem confusing at first but after a cursory review of the complete device operation a simple, logical I/O approach will surface. The design of the 8255A has taken into account things such as efficient PC board layout, control signal definition vs PC layout and complete functional flexibility to support almost any peripheral device with no external logic. Such design represents the maximum use of the available pins.

Single Bit Set/Reset Feature

Any of the eight bits of Port C can be Set or Reset using a single OUTPUT instruction. This feature reduces software requirements in Control-based applications.

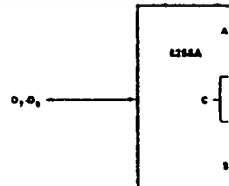
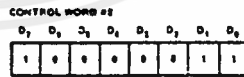
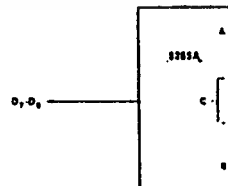
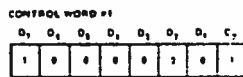
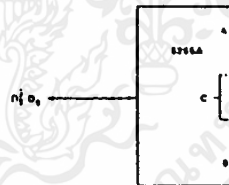
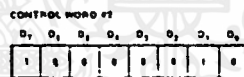
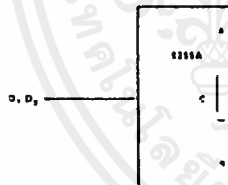
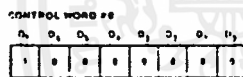


8255A/8255A-5

MODE 0 Port Definition

A		B		GROUP A			GROUP B	
D ₄	D ₃	D ₁	D ₀	PORT A	PORT C (UPPER)	#	PORT B	PORT C (LOWER)
0	0	0	0	OUTPUT	OUTPUT	0	OUTPUT	OUTPUT
0	0	0	1	OUTPUT	OUTPUT	1	OUTPUT	INPUT
0	0	1	0	OUTPUT	OUTPUT	2	INPUT	OUTPUT
0	0	1	1	OUTPUT	OUTPUT	3	INPUT	INPUT
0	1	0	0	OUTPUT	INPUT	4	OUTPUT	OUTPUT
0	1	0	1	OUTPUT	INPUT	5	OUTPUT	INPUT
0	1	1	0	OUTPUT	INPUT	6	INPUT	OUTPUT
0	1	1	1	OUTPUT	INPUT	7	INPUT	INPUT
1	0	0	0	INPUT	OUTPUT	8	OUTPUT	OUTPUT
1	0	0	1	INPUT	OUTPUT	9	OUTPUT	INPUT
1	0	1	0	INPUT	OUTPUT	10	INPUT	OUTPUT
1	0	1	1	INPUT	OUTPUT	11	INPUT	INPUT
1	1	0	0	INPUT	INPUT	12	OUTPUT	OUTPUT
1	1	0	1	INPUT	INPUT	13	OUTPUT	INPUT
1	1	1	0	INPUT	INPUT	14	INPUT	OUTPUT
1	1	1	1	INPUT	INPUT	15	INPUT	INPUT

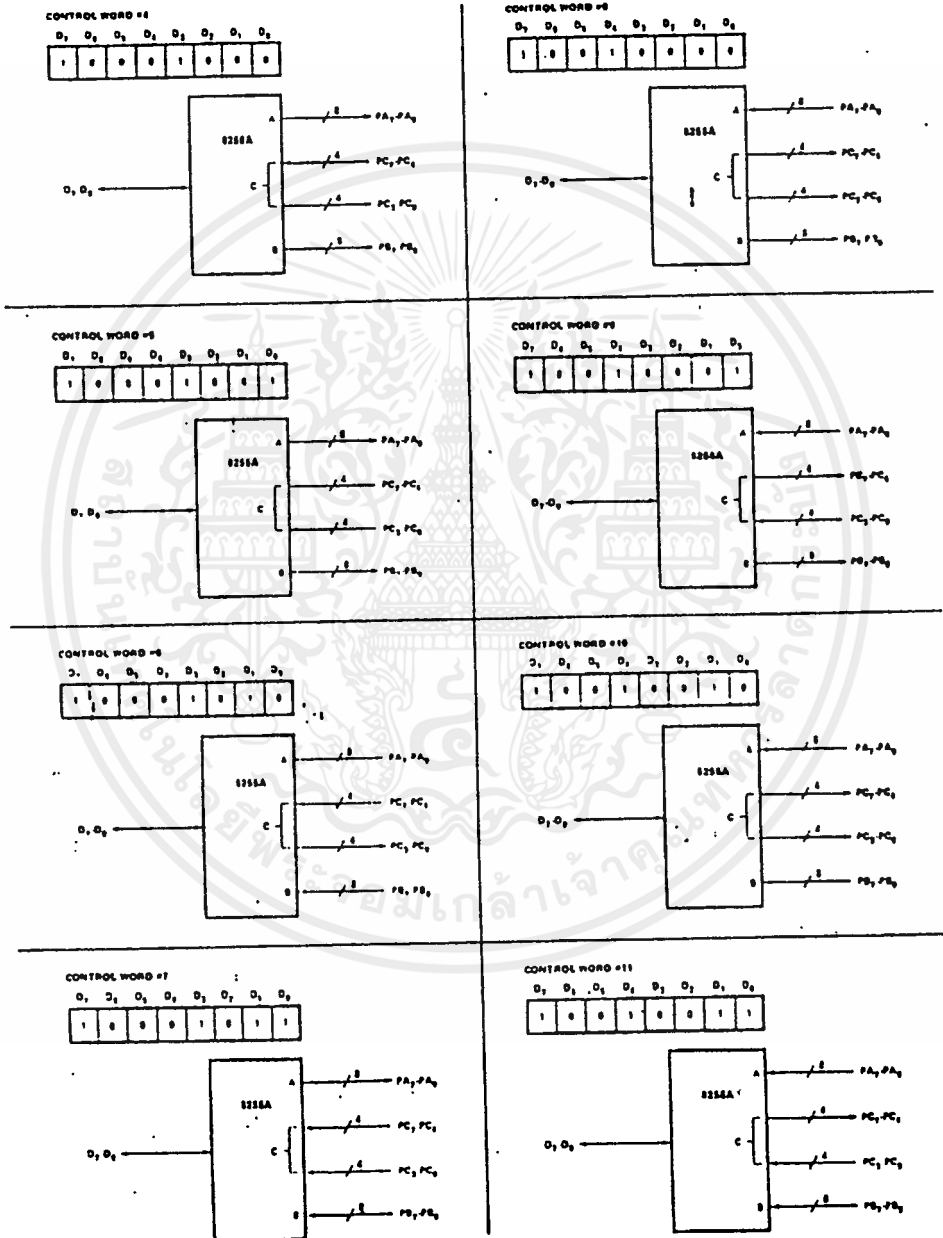
MODE 0 Configurations



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

intel

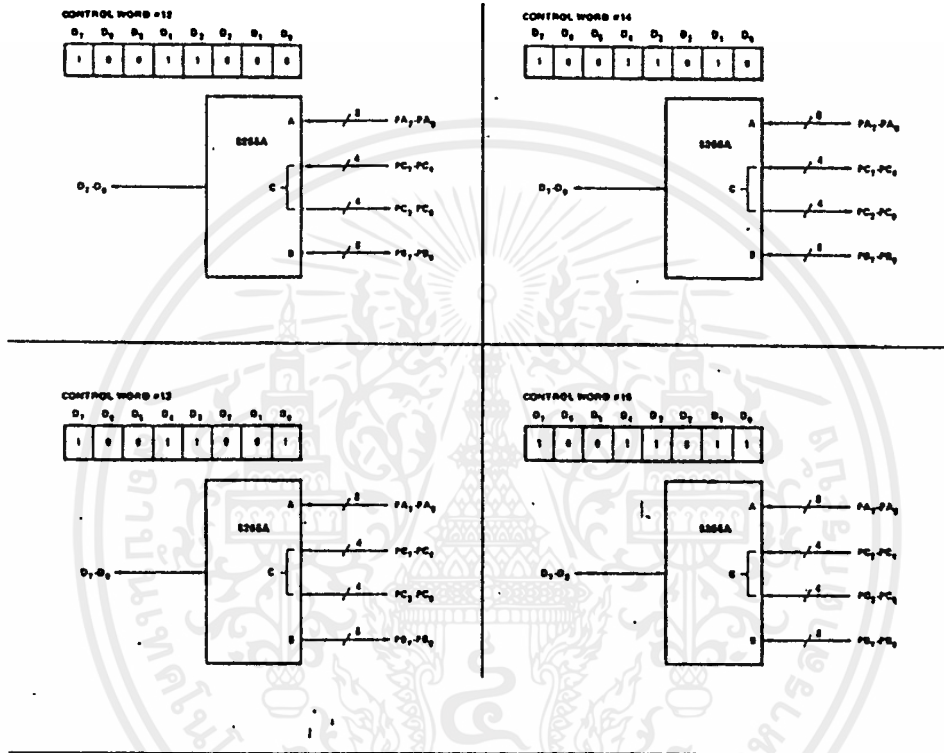
8255A/8255A-5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



8255A/8255A-5



Operating Modes

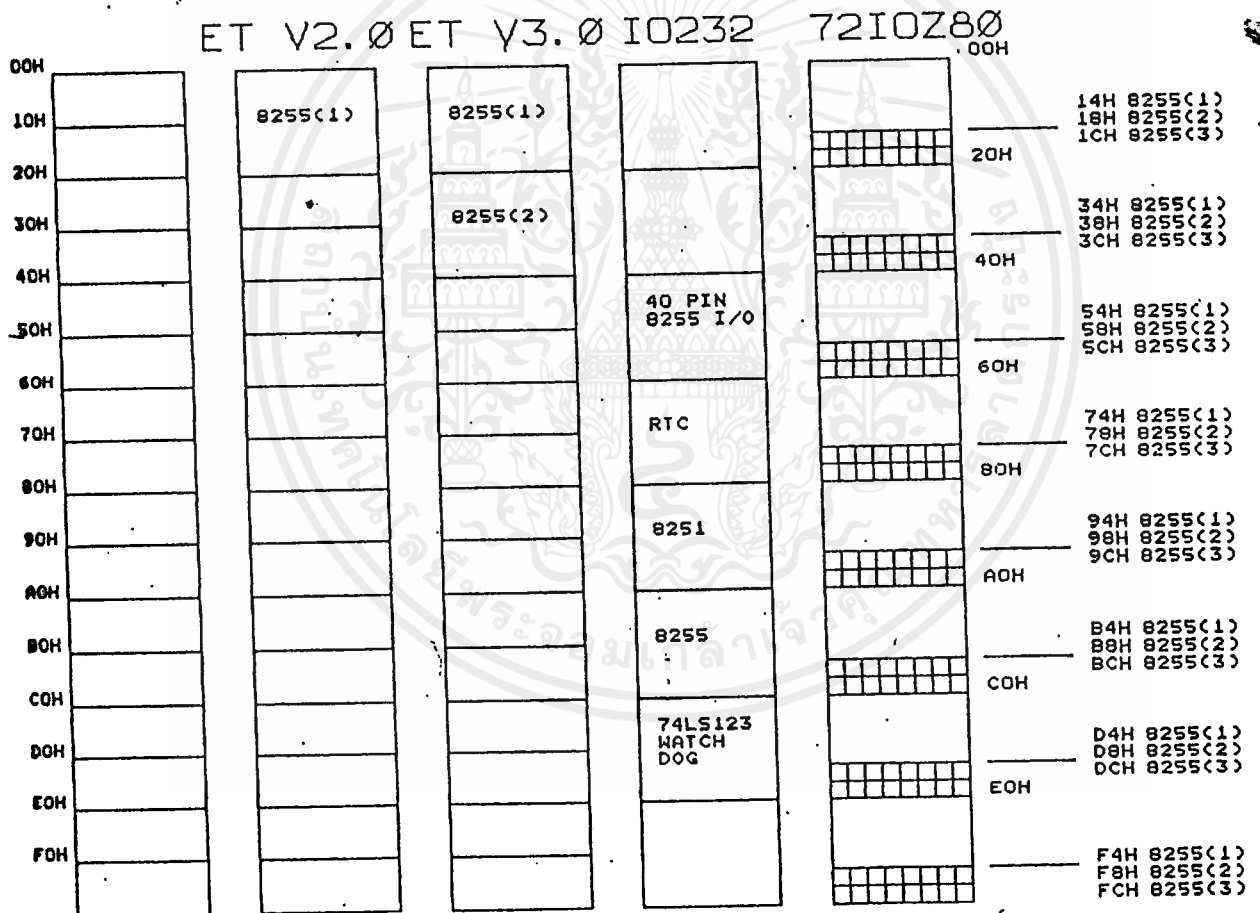
MODE 1 (Strobed Input/Output). This functional configuration provides a means for transferring I/O data to or from a specified port in conjunction with strobes or "handshaking" signals. In mode 1, port A and Port B use the lines on port C to generate or accept these "handshaking" signals.

Mode 1 Basic Functional Definitions:

- Two Groups (Group A and Group B)
- Each group contains one 8-bit data port and one 4-bit control/data port.
- The 8-bit data port can be either input or output. Both inputs and outputs are latched.
- The 4-bit port is used for control and status of the 8-bit data port.

การ Decode port

Decode port 8255 โดยการใช้การ Decode port เป็น IC TT1 74LS138 2 ตัว เป็นตัว Decode เพื่อให้ได้ port ที่อยู่นับบริเวณท้ายสุดของ port ซึ่งจะสามารรถ เข้ากับระบบต่าง ๆ ที่มีอยู่แล้วของท้าย ET-BOARD ได้โดยไม่ซ้อนทับกัน ดังรูป โดยการเลือก jumper ของ port เป็น jumper อยู่ที่ EoH port จะอยู่ที่ F4H, F0H, FCH



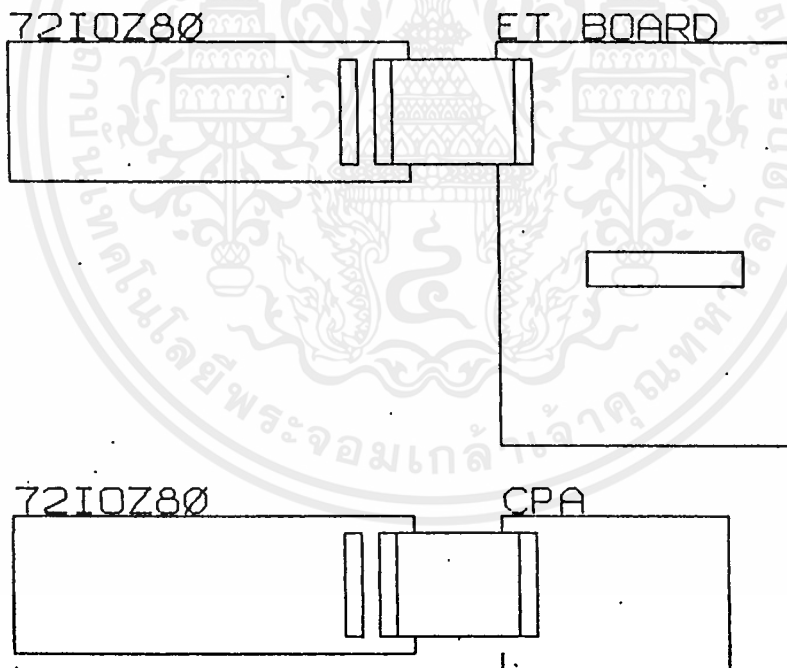
การใช้งานร่วมกับ ET-BOARD หรือ Z80 CONTROL PACK

เราสามารถต่อ connector 40 pins header strip เข้ากับ ET-BOARD หรือ Z80 control pack ได้ดังรูป โดยจะใช้ไฟ supply +5V ร่วมกับ ET-BOARD หรือ Z80 CONTROL PACK ทางสาย 40 pins

ในตัวของ 7210-Z80 นี้จะมีขั้ว Z80 อยู่ 2 ชุด เราสามารถใช้ได้ทั้ง 2 ชุด เพราะทั้ง 2 ชุดจะต่อขนานกับทุกขา

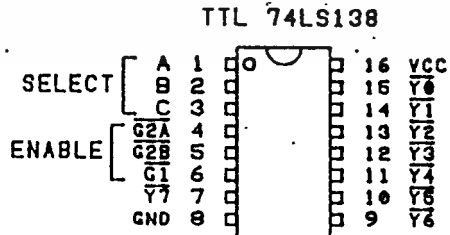
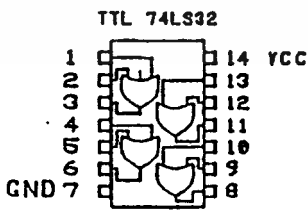
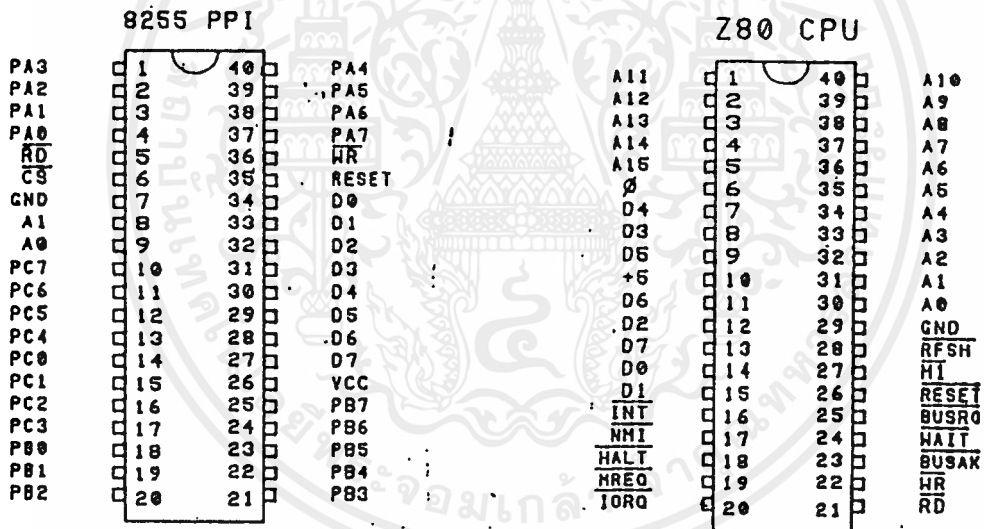
นอกจากนี้เรายังสามารถเลือก reset 8255 ได้ 2 แบบโดย

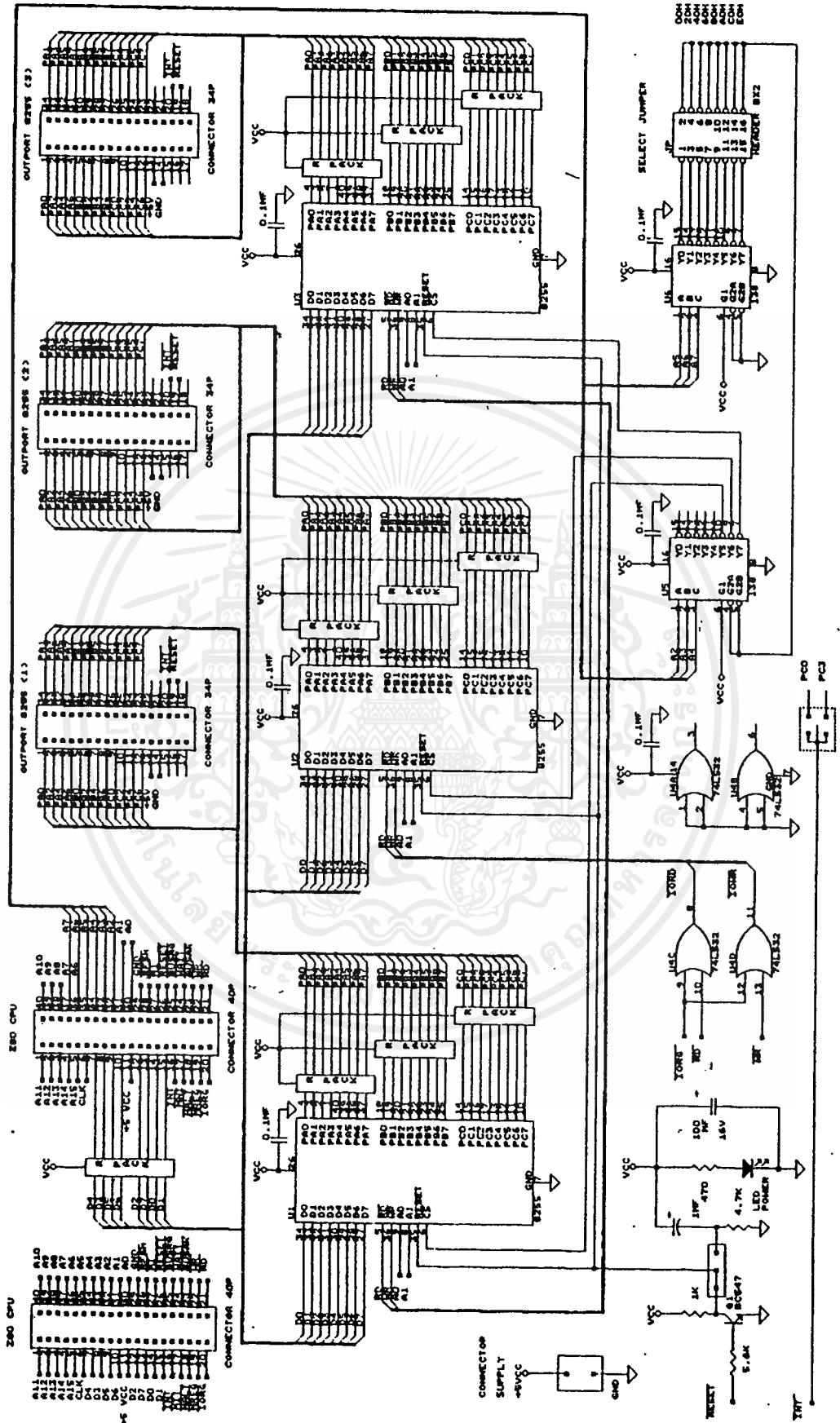
1. CPU RESET
2. POWER ON RESET



SPECIFICATRION

PROT	3 8255 I/O PORT (8*3BIT)
LED	1 POWER RED LED
TRANSISTOR	BC547
TTL IC	2 74LS32, 74LS138
CONNECTOR	2 40PINS HEADER-STRIP (Z80 PIN) 3 34PINS HEADER-STRIP (8255)
PCB SIZE	20*6.5 CM.





DOT MATRIX LCD MODULE

อุปกรณ์ในปัจจุบันนี้ในส่วนแสดงผลนั้นจะใช้ LCD เสียเป็นส่วนใหญ่ไม่ว่าจะเป็นเครื่องเล่น VEDIO, เครื่องถ่ายภาพเอกสาร, เครื่องมือวัดคุมต่าง ๆ, เครื่องคอมพิวเตอร์ เราพอจะแบ่ง DOT MATRIX LCD MODULE นี้ออกได้เป็นพวก ๆ ดังนี้

1. CHARACTER LCD MODULE
2. GRAPHIC LCD MODULE
3. SEGMENT DISPLAY TYPE LCD MODULE

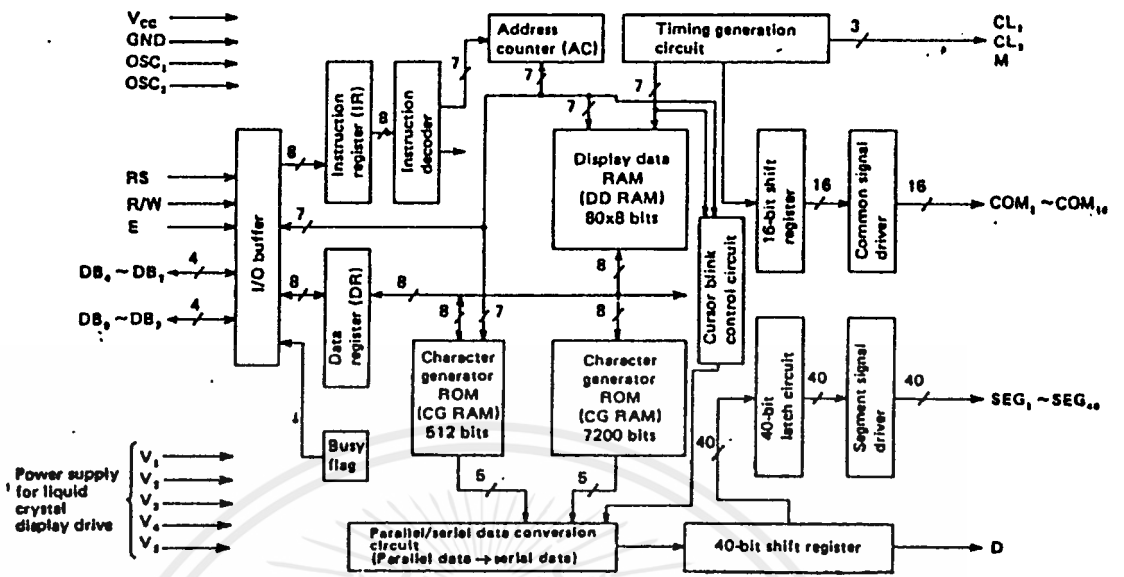
โดยในแต่ละแบบนี้ก็จะมีส่วนประกอบใหญ่ ๆ แบ่งได้เป็น

1. DOT MATRIX LCD เป็นตัวแสดงผลที่เรามองเห็นในลักษณะการปิดและเปิดตัวเองกับแสงก็คือ ส่วนของที่เป็นตัวการระจกบรจุผลึก
2. DRIVER เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมขับผลึก LCD อีกทีหนึ่งโดยมีเบอร์ที่นิยมมาใช้งาน LCD MODULE เช่น HD44100H,MSM5259
3. CONTROLLER เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมาและจัดการควบคุม LCD MODULE ให้ทำงานแสดงผลต่าง ๆ เช่น การลบจอภาพ, การเกิดตัวอักษร เป็นต้น โดยมีเบอร์ IC ที่นิยมมาใช้งานคือ HD44780 ซึ่งจะใช้ในแบบ CHARACTER LCD MODULE เป็นส่วนใหญ่ เบอร์ IC HD61830 จะใช้ในแบบ GRAPHIC LCD MODULE

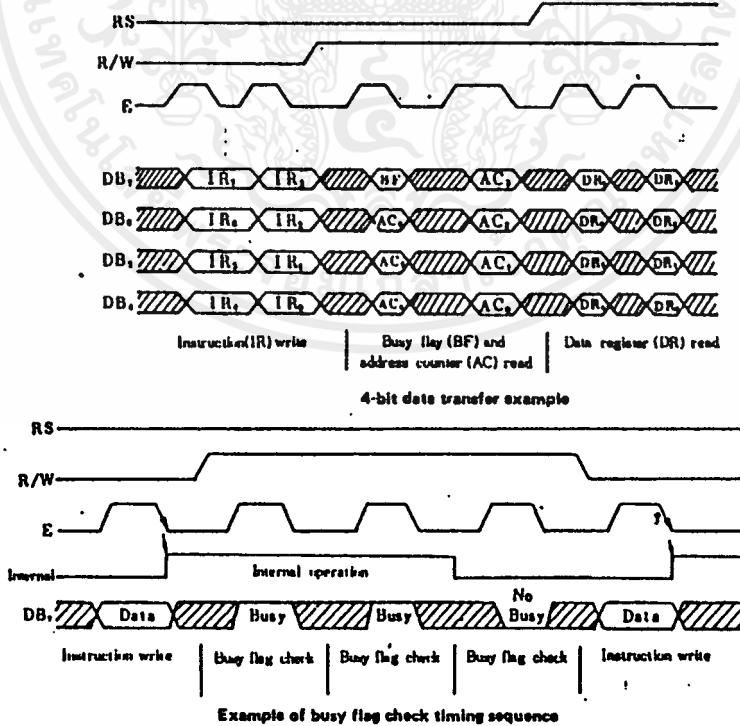
ในการศึกษาการทำงานและใช้งาน LCD MODULE นั้นไม่ใช่เรื่องยากเลยถ้าเราสามารถทำความเข้าใจในส่วนของ CONTROLLER ได้ก็เพียงพอแล้วและโดยมา LCD MODULE ในแต่ละบริษัทแล้วจะใช้ตัว CONTROLLER ที่มีหลักการทำงานเหมือน ๆ กันเป็นส่วนใหญ่และใน LCD MODULE แต่ละขนาดจำนวนตัวอักษรหรือจำนวนบรรทัดก็มีหลักการทำงานแบบเดียวกันทั้งหมด IC ที่นิยมมาที่สุดตัวหนึ่งที่เป็น CONTROLLER LCD ก็คือ เบอร์ HD44780 โดยรูปแบบการทำงานของมันได้เป็นมาตรฐานให้กับ CONTROLLER LCD ตัวอื่น ๆ ด้วย

HD44780 เป็นไอซี LSI ตัวหนึ่งใช้ควบคุม LCD โดยแสดงผลในรูปแบบตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ต่าง ๆ ตัวมันเองสามารถต่อใช้งานแบบ 4 bit หรือ 8 bit ก็ได้ โดยถ้าเราต่อแบบ 4 bit จะต่อใช้งานที่ DB7-DB4

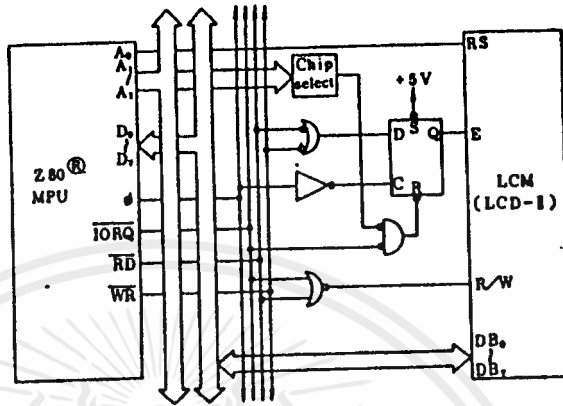
Block diagram of HD44780 interior



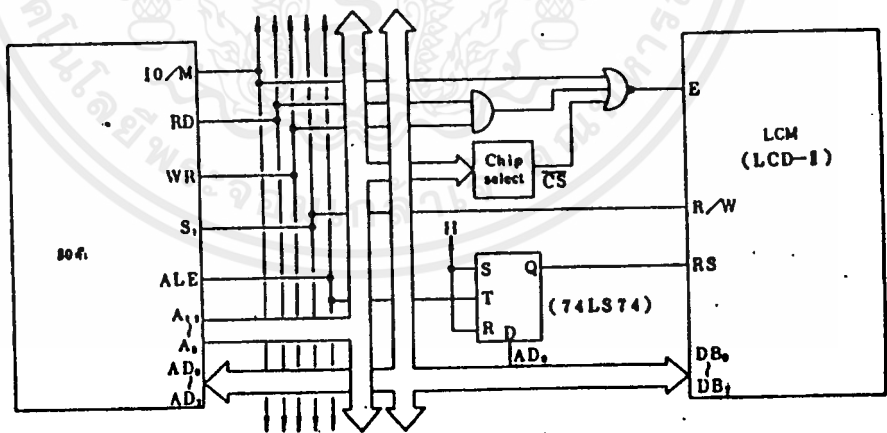
เท่านั้นโดยข้อมูลครั้งแรกที่ส่งนั้น HD44780 จะถือเป็นข้อมูล 4 BIT บน และข้อมูลที่ส่งต่อมานั้นเป็นข้อมูล 4 BIT ล่าง



Example of interfacing to Z80 MPU



เราสามารถต่อ LCD MODULE (HD44780 เป็น CONTROLER) เข้ากับระบบไมโครได้
หลายรูปแบบดังรูป



Example of connection with LCM being used as a part of memories on the determined address.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

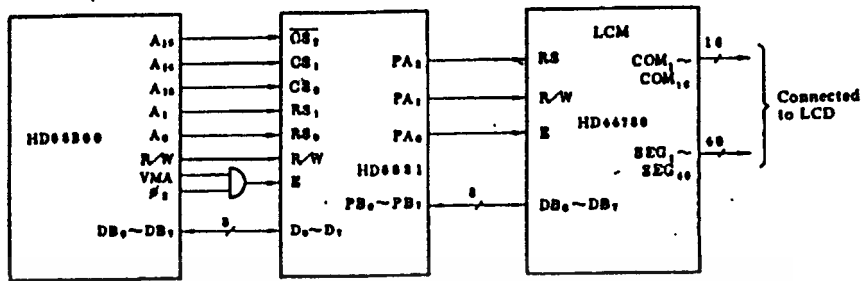
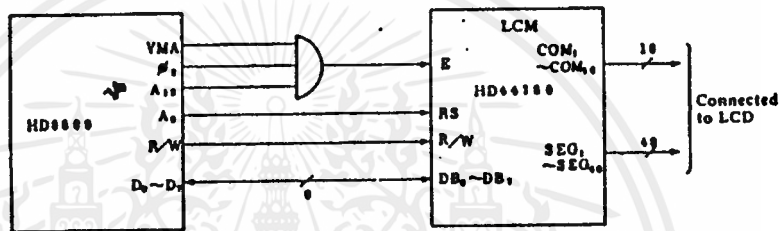
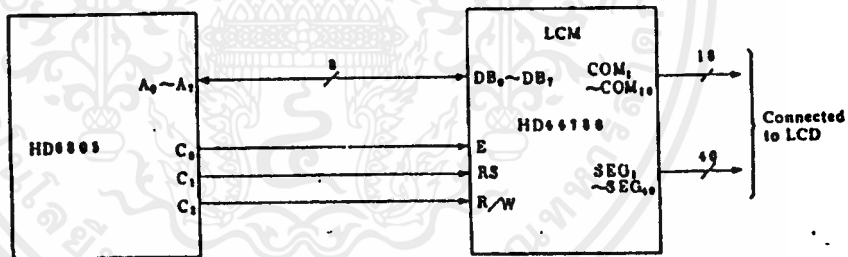


Fig. 4 Example of interface to HD68800 using PIA (HD68821)

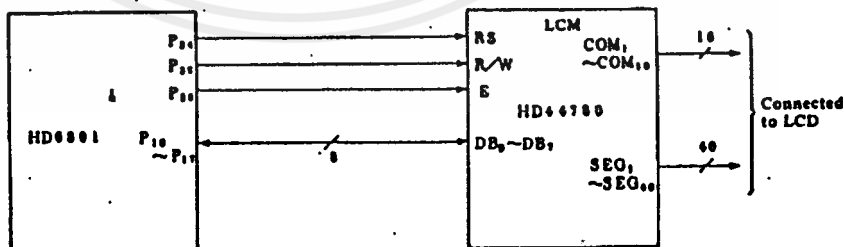
Connecting directly to the 8 bit MPU bus line



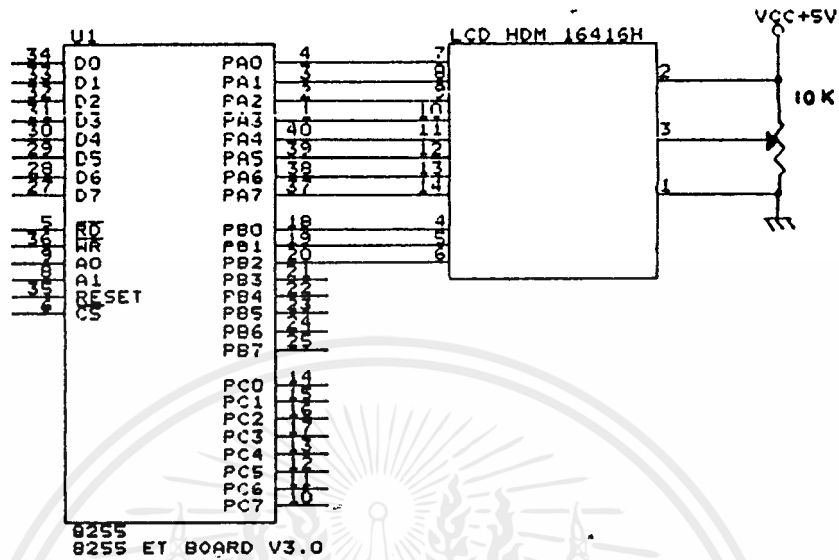
Example of interfacing to the HD6805



Example of interfacing to the HD6301



ตัวอย่างการต่อใช้งานจริงกับ ET-BOARD V3.0



จากวงจรเป็นการต่อ 8255 ให้เข้าใช้กับ LCD โดยเราจะจำลองสัญญาณต่าง ๆ ขึ้นมา โดยการใช้ PORT A และ PORT B โดย PORT A นั้นเราให้เป็น DATA PORT และ PORT B นั้นเราให้เป็นสัญญาณควบคุมไปใช้

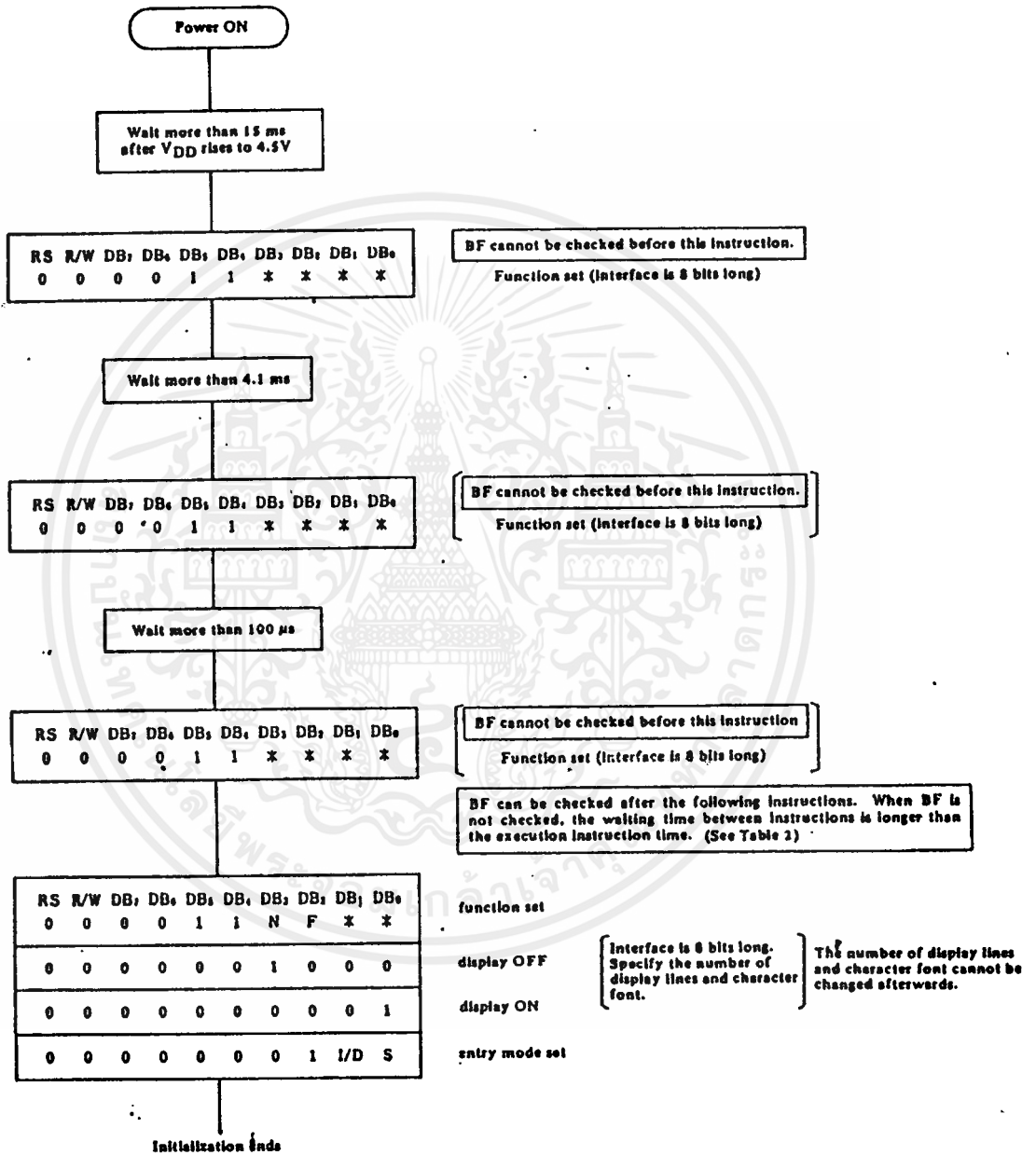
เมื่อเราเริ่มเปิดไฟป้อนให้ HD44780 นั้นก็จะทำการ RESET ตัวมันเองโดยจะใช้เวลาประมาณ 10 ms หลังจากไฟ VDD ถึง 4.5 VOLT แล้ว โดยจะ SET ตัวเองดังนี้

1. DISPLAY CLEAR จะทำการลบข้อมูลจอภาพ LCD
2. FUNCTION SET โดยจะ SET ค่าภายใน
 - DL = 1 : เป็นการ SET ให้การติดต่อแบบ 8 BIT
 - N = 0 : SET เป็น 1 บรรทัดการแสดงผล
 - F = 0 : 5x7 DOT ต่อหนึ่งตัวอักษร
3. DISPLAY ON/OFF D = 0 : DISPLAY OFF
 - C = 0 : CURSOR OFF
 - B = 0 : BLINK OFF

4. ENTRY MODE SET I/F = 1 : +1 (เพิ่มค่า COUNTER ขึ้น 1)

S = 0 : NOSHIFT

เมื่อเราเริ่มเปิดเครื่องทำงานแล้วก็ต้องส่งคำสั่งควบคุมให้มันเริ่มทำงานดังตาราง



ตารางคำสั่ง HD44780

Instruction	Code										Description	Execution time (when fosc is 250 kHz) Note 1	Execution time (when fosc is 160 kHz) Note 2	
	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0				
Clear display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Clears all display and returns the cursor to the home position (Address 0).	82 μ s - 1.64 ms	120 μ s - 4.8 ms	
Return home	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Returns the cursor to the home position (Address 0). Also returns the display being shifted to the original position. DD RAM contents remain unchanged.	40 μ s - 1.6 ms	120 μ s - 4.8 ms	
Entry mode set	0	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	Sets the cursor move direction and specifies or not to shift the display. These operations are performed during data write and read.	40 μ s	120 μ s
Display ON/OFF control	0	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	Sets ON/OFF of all display (D), cursor ON/OFF (C), and blink of cursor position character (B).	40 μ s	120 μ s
Cursor and display shift	0	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	.	.	Moves the cursor and shifts the display without changing DD RAM contents	40 μ s	120 μ s
Function set	0	0	0	0	0	1	DL	N	F	.	.	Sets interface data length (DL) number of display lines (L) and character font (F).	40 μ s	120 μ s
Set CG RAM address.	0	0	0	0	1	ACG					Sets the CG RAM address. CG RAM data is sent and received after this setting.	40 μ s	120 μ s	
Set DD RAM address	0	0	0	1	ADD					Sets the DD RAM address. DD RAM data is sent and received after this setting.	40 μ s	120 μ s		
Read busy flag & address	0	1	BF			AC					Reads Busy flag (BF) indicating internal operation is being performed and reads address counter contents.	1 μ s	1 μ s	
Write data to CG or DD RAM	1	0	Write Data									Writes data into DD RAM or CG RAM.	40 μ s	120 μ s
Read data to CG or DD RAM	1	1	Read Data									Reads data from DD RAM or CG RAM.	40 μ s	120 μ s
I/D = 1: Increment (+1) I/D = 0: Decrement (-1) S = 1: Accompanies display shift. S/C = 1: Display shift S/C = 0: Cursor move R/L = 1: Shift to the right. R/L = 0: Shift to the left. DL = 1: 8 bits DL = 0: 4 bits N = 1: 2 lines N = 0: 1 line F = 1: 5 x 10 dots F = 0: 5 x 7 dots BF = 1: Internally operating BF = 0: Can accept instruction											DD RAM: Display data RAM CG RAM: Character generator RAM ACG: CG RAM address ADD: DD RAM address Corresponds to cursor address. AC: Address counter used for both of DD and CG RAM address.	Execution time changes when frequency changes. (Example) When fosc is 270 kHz: $40 \mu s \times \frac{250}{270} = 37 \mu s$		

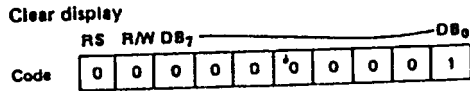
*No effect

Notes 1. Applied to models driven by 1/8 duty or 1/11 duty.

2. Applied to models driven by 1/16 duty.

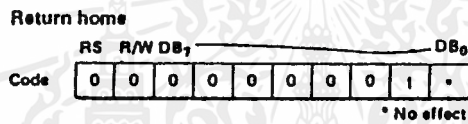
รายละเอียดของคำสั่ง HD44780

1. CLEAR DISPLAY



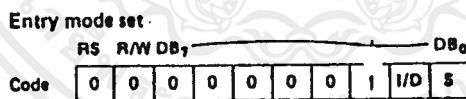
คำสั่งนี้จะเป็นการเขียนช่องว่างหรือ SPACE (ASCII 20H) เข้าไปใน DD RAM ทั้งหมดและทำการ SET DD RAM ADDRESSER เป็นศูนย์ ตัว CURSOR จะกลับไปอยู่ตำแหน่งบนสุดซ้ายมือของจอภาพ SET I/D = 1, S ไม่มีการเปลี่ยน

2. RETURN HOME



คำสั่งนี้จะทำการ SET DD RAM ADDRESSER เป็นศูนย์ ตัว CURSOR จะกลับไปอยู่ตำแหน่งบนสุดซ้ายมือของจอภาพข้อมูลในจอภาพไม่เปลี่ยน

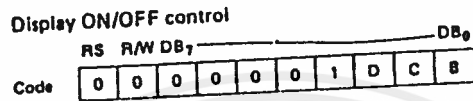
3. ENTRY MODE SET



BIT I/D : โดยจะเป็นตัวกำหนดให้ว่าเมื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลแล้วจะทำให้ DD RAM ADDRESS เพิ่มขึ้นหนึ่งหรือลดลงหนึ่ง โดย 1 = เพิ่ม 0 = ลดลงหนึ่ง

BIT S : เป็นตัวกำหนดแสดงผลโดยถ้า S = 1 จะเป็นการใส่ข้อมูลแล้วตัว CURSOR อยู่ที่ข้อมูลที่บอกขึ้นไปทางซ้าย ถ้า S = 0 ข้อมูลจะอยู่ที่ตัว CURSOR จะบอกขึ้นไปทางขวามือ

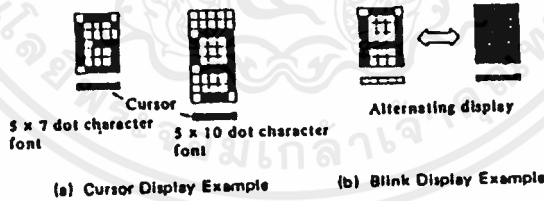
4. DISPLAY ON/OFF CONTROL.



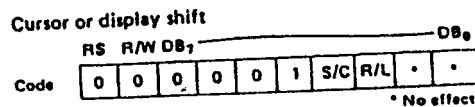
BIT D : เป็น BIT ให้เปิดหน้าจอภาพโดยถ้า D = 1 จะ ON และ D = 0 จะ OFF

BIT C : จะให้แสดง CURSOR ให้ BIT C = 1 และถ้าไม่ต้องการแสดง CURSOR BIT C = 0 โดยตัว CURSOR จะอยู่ที่ LINE ที่ 8 ในแบบ 5X7 DOT และจะอยู่ที่ LINE ที่ 11 ในแบบ 5X10 DOT

BIT B : เป็น BIT SET การกะพริบของ CURSOR โดย B = 1 มีการกะพริบ B = 0 ไม่มีการกะพริบ โดยมีระยะเวลาการกะพริบประมาณ 379.2 ms



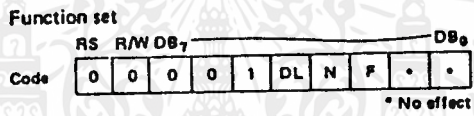
5. CURSOR OR DISPLAY SHIFT



เป็นคำสั่งกำหนดให้ตำแหน่ง CURSOR หรือข้อมูลไปเกิดทางซ้ายหรือขวาโดยไม่ต้องใช้คำสั่งเขียนหรืออ่าน โดย

S/C	R/L	
0	0	ทำการย้าย CURSOR ไปจากตำแหน่งเดิมไปซ้ายมือ 1 ตำแหน่ง
0	1	ทำการย้าย CURSOR ไปจากตำแหน่งเดิมไปขวามือ 1 ตำแหน่ง
1	0	เป็นการคั่นตัวอักษรที่เกิดไปทางซ้าย
1	1	เป็นการคั่นตัวอักษรที่เกิดไปทางขวามือ

6. FUNCTION SET



BIT DL : เป็นการ SET การติดต่อกว่าจะให้เป็นแบบ 8 BIT หรือ 4 BIT โดยถ้าต้องการติดต่อ 4 BIT DL = 0 และ 8 BIT DL = 1

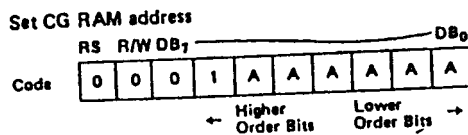
N : เป็นการ SET บรรทัดการแสดงผล N = 0 แสดง 1 บรรทัด N = 1 แสดง 2 บรรทัด ในกรณีที่มากกว่า 2 บรรทัด ก็ให้ SET N = 1

F : เป็นการ SET ขนาด DOT การแสดงผล 5X7 หรือ 5X10 โดย F = 0 เป็นแบบ 5X7 และ F = 1 เป็นแบบ 5X10

N F	No. of display lines	Character font	Duty factor	Remarks
0 0	1	5 x 7 dots	1/8	
0 1	1	5 x 10 dots	1/11	
1 .	2	5 x 7 dots	1/16	Cannot display 2 lines with 5 x 10 dot character font.

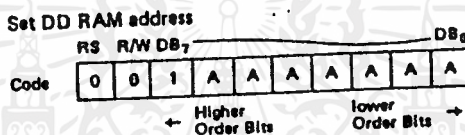
* No effect

7. SET CG RAM ADDRESS



ใน HD44780 นี้จะมีหน่วยความจำอยู่ 2 ชุด คือ DISPLAY DATA RAM (DD RAM) จำนวน 80x8 BIT และ CHARACTER GENERATOR ROM CG RAM จำนวน 512 BIT และ 7200 BIT คำสั่งนี้จะเป็นการ SET ADDRESS ใน CG RAM โดยต้องทำการ SET ADDRESS ก่อนเขียนหรืออ่านข้อมูลจาก CG RAM ด้วย

8. SET DD RAM ADDRESS



เป็นคำสั่ง SET ค่า ADDRESS ใน DD RAM ในการเขียนหรืออ่านค่าจาก DD RAM (DD RAM คือ ส่วนที่จะแสดงผลหน้าจอ LCD) โดยจำนวน ADDRESS ที่จะเกิดขึ้นบนจอ LCD จะอยู่กับ SET ค่า N ด้วย

ถ้า N = 0 (1 บรรทัด) ADDRESS จะอยู่ 00H-4FH

ถ้า N = 1 (2 บรรทัด) ADDRESS จะอยู่ 00H-27H สำหรับบรรทัดที่ 1 และ 40H-67H สำหรับบรรทัดที่ 2

ตัวอย่างการจัด ADDRESS ของ DD RAM หน้าจอ LCD แบบ 16 ตัวอักษร 4 บรรทัด และ 20 ตัวอักษร 2 บรรทัด HDM-16416H, HDM-20216H

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	← display position
1-line	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	← DD RAM address
2-line	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F	
3-line	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F	
4-line	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F	

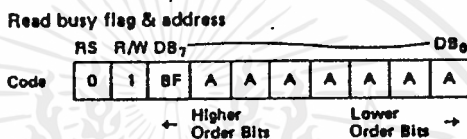
HDM-16416H

	1Hi	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	← display position
1-line	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	10	11	12	13	← DD RAM address
2-line	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F	50	51	52	53	
3-line	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F	20	21	22	23	24	25	26	27	
4-line	54	55	56	57	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F	60	61	62	63	64	65	66	67	

(Note) Shift display is as same as 2-line type.

HDM-20216H

9. READ BUSY FLAG AND ADDRESS



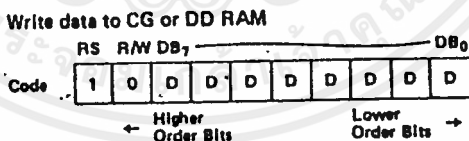
เป็นคำสั่งอ่านค่า BUSY FLAG ซึ่งจะเป็นตัวบอกว่าตัว HD44780 นี้ อยู่ในขบวนการทำงานภายในอยู่หรืออยู่ในสภาพพร้อมจะรับข้อมูล โดย

BF = 1 อยู่ในขบวนการทำงานภายใน ไม่พร้อมจะรับข้อมูลหรือคำสั่ง

BF = 0 พร้อมจะรับข้อมูลหรือคำสั่งได้

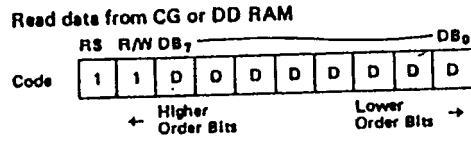
และนอกจากนี้ยังเป็นคำสั่งอ่านค่าข้อมูล ADDRESS ของ CG RAM หรือ DD RAM ด้วย

10. WRITE DATA TO CG หรือ DD RAM



เป็นคำสั่งเขียนข้อมูลเข้าไปใน CG หรือ DD RAM โดยเมื่อเขียนข้อมูลและ ADDRESS จะเต็มหรือลดยึดอัตโนมัติตามคำสั่งที่ SET ใน ENTRY MODE ซึ่งกำหนดที่จะรู้ว่าเป็นการเขียนข้อมูลของ CG RAM หรือ DD RAM ทำได้โดยการ SET ADDRESS ของ CG RAM หรือ DD RAM ที่เมื่อก่อนจะเขียนข้อมูล

11. READ DATA FROM CG OR DD RAM



เป็นคำสั่งอ่านค่าข้อมูลจาก CG RAM หรือ DD RAM โดยก่อนอ่านค่าจาก DD RAM หรือ CG RAM นี้ควรจะใช้คำสั่ง SET ADDRESS ก่อนเพื่อให้รู้ว่าข้อมูลที่อ่านได้เป็น DD หรือ CG RAM

จากตารางการทำงานจะเห็นว่าการใช้งาน LCD MODULE นี้ง่ายเนื่องจากเราส่งคำสั่งเริ่มแรกและ SET ความต้องการในขนาดตัวอักษร, CURSOR หลังจากนั้นเราก็สามารถเขียนตัวอักษรเข้าไปใน DD RAM ตามตารางตัวอักษรที่นำมาซึ่งจะเกิดอักษรในจอภาพ LCD เรายังสามารถกำหนดตำแหน่งตัวอักษรที่จะให้เกิดบนจอได้โดยการ SET DD RAM ADDRESS ตามตารางที่นำมาให้หัวข้อ SET DD RAM ADDRESS ขอให้ทดสอบทำความเข้าใจกับตัวโปรแกรมที่ใช้กับ ET-BOARD V3.0 ที่นำมาจะเห็นว่ามีส่วนเริ่มต้นก็คือ ส่วนการ INITIAL LCD เพื่อกำหนดหน้าที่การทำงานต่างๆ

For 5 x 7 dot character pattern

Character Codes (DD RAM Data)	CG RAM Address	Character Patterns (CG RAM Data)
7 6 5 4 3 2 1 0 -Higher Lower-	5 4 3 2 1 0 -Higher Lower-	7 6 5 4 3 2 1 0 -Higher Lower-
0 0 0 0 x 0 0 0	0 0 0	x x x 0 0 0 0 ↑ 0 0 0 0 1 0 0 1 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 x x x 0 0 0 0
0 0 0 0 x 0 0 1	0 0 1	x x x 0 0 0 0 ↑ 0 1 0 0 1 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 x x x 0 0 0 0
0 0 0 0 x 1 1 1	1 1 1	x x x ↑ 1 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 x x x

Character Pattern Example (1)

← Cursor Position

Character Pattern Example (2)

* No effect

ส่วนประกอบของโปรแกรม

EPLUSE จะเป็นส่วนกำเนิดสัญญาณ ENABLE SIGNAL โดยการใช้ PORT B BIT ที่ 2 กำเนิด PLUSE สัญญาณ ENABLE ขึ้น

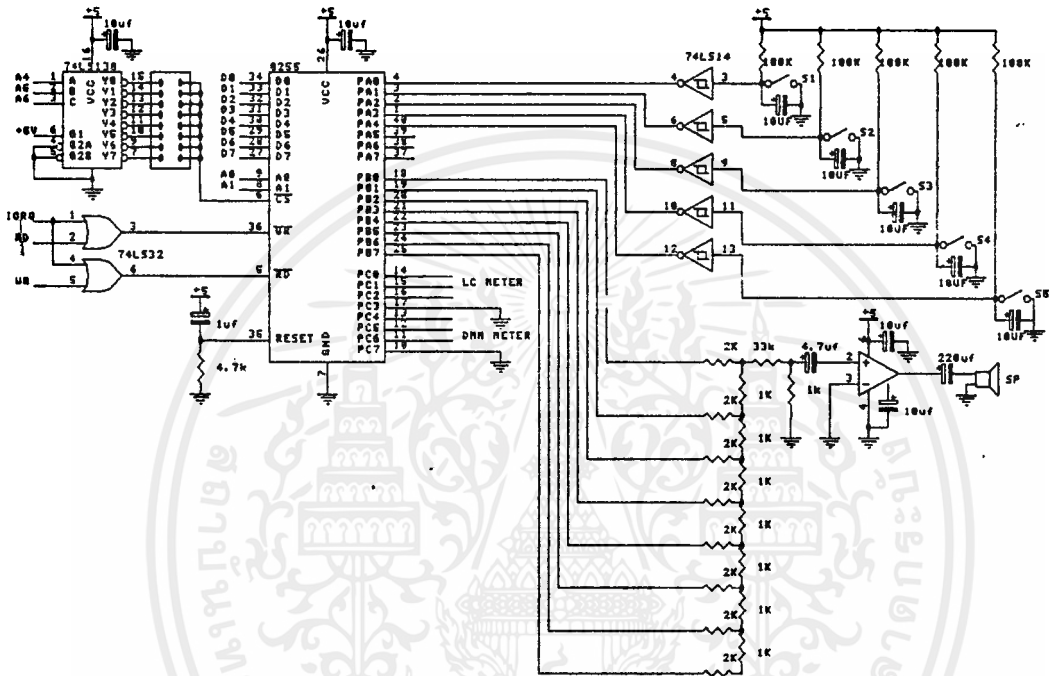
GOTO จะเป็นส่วนกำหนดตำแหน่งของส่วน DD RAM ADDRESS ที่จะเขียนข้อมูล โดยจากโปรแกรม INITIAL ที่เรา SET ไว้ เมื่อเขียนข้อมูลเข้าไปใน DD RAM แล้ว ADDRESS ของ DD RAM จะเพิ่มขึ้น 1 โดยทันที

WRBYTE เป็นส่วนเขียนข้อมูล 1 BYTE เข้าไปในตำแหน่ง ADDRESS ของ DD RAM ขณะนั้น ๆ

WRLINE เป็นส่วนในการเขียนข้อมูลที่ละ 1 LINE เพราะตำแหน่ง DD RAM ที่เกิดบนจอภาพ LCD นั้นแต่ละตำแหน่งจะไม่ต่อกันไปในแต่ละบรรทัด

จากตัวอย่างที่ให้มี LCD แบบ 20 ตัวอักษร 2 บรรทัด และ 16 ตัวอักษร 4 บรรทัด

บอร์ดคีย์ และ เสียง (Keys and sound board)

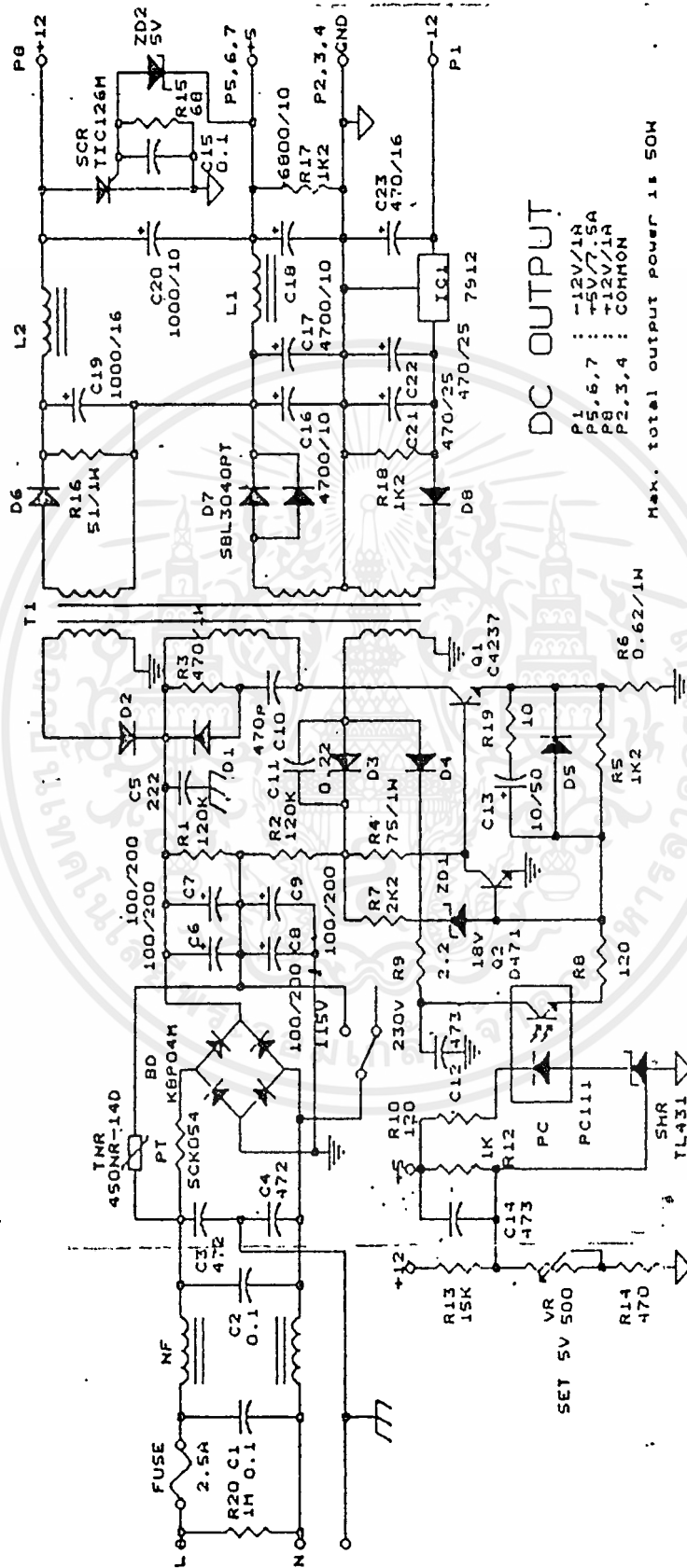


วงจร Keys and sound

บอร์ดนี้จะ เป็นบอร์ดที่ติดต่อดโดยตรงระหว่าง เครื่องกับผู้ใช้ โดยผ่านทางคีย์บอร์ด ซึ่งเป็น port ของ 8255 ซึ่งมี number port ดังนี้

- | | |
|----------|------------|
| port 60H | Keys |
| port 61H | Sound |
| port 62H | DMM and LC |

บอร์ดแหล่งจ่าย (Power supply)



Max. total output power is 50W

INPUT

110-120V 60HZ : 1.35A
220-240V 50HZ : 0.75A

PCB SIZE 16x10 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

องค์ประกอบของเครื่อง (Soft ware)

ส่วนของด้านประกอบของเครื่องทาง Soft ware นั้นจะเป็นตัวควบคุมการทำงานของแต่ละบอร์ดให้ทำงานสัมพันธ์กันเป็นอย่างดี ซึ่งเสมือนเป็นตัวเชื่อม (Interface) การทำงานของแต่ละส่วน สำหรับองค์ประกอบทาง Soft ware นั้นจะอยู่ใน EPROM ซึ่งอยู่ในบอร์ดของ CP-Z80V1 board รายละเอียดของโปรแกรมมีดังต่อไปนี้



2500 A.D. Z80 Macro Assembler - Version 4.02a

Input Filename : b:project4.asm

Output Filename : b:project4.obj

1	8000	ORG	8000H
2	0080	PDATA:	EQU 80H
3	0082	PSING:	EQU 82H
4	0084	PREAD:	EQU 84H
5	0040	DISPF1:	EQU 40H
6	0041	DISPF2:	EQU 41H
7	0042	CONTF:	EQU 42H
8	0043	CONTPF:	EQU 43H
9	0054	DISPLC1:	EQU 54H
10	0055	DISPLC2:	EQU 55H
11	0056	DISPLC3:	EQU 56H
12	0057	CPLC:	EQU 57H
13	0058	CDMM1:	EQU 58H
14	0059	CDMM2:	EQU 59H
15	005A	CLC:	EQU 5AH
16	005B	CPMB:	EQU 5BH
17	005C	DDMM1:	EQU 5CH
18	005D	DDMM2:	EQU 5DH
19	005E	DDMM3:	EQU 5EH
20	005F	CPDMM:	EQU 5FH
21	0060	KEY:	EQU 60H

22	0061		SOUND:	EQU	61H
23	0062		DLCDMM:	EQU	62H
24	0063		CPADD:	EQU	63H
25					;
26					;**** INITIAL PORT 8255 ****
27					;
28	8000	3E 92	LD	A,92H	
29	8002	D3 43	OUT	(CONTPF),A	
30	8004	3E 9B	LD	A,9BH	
31	8006	D3 57	OUT	(CPLC),A	
32	8008	D3 5F	OUT	(CPDMM),A	
33	800A	3E 80	LD	A,80H	
34	800C	D3 5B	OUT	(CPMB),A	
35	800E	3E 99	LD	A,99H	
36	8010	D3 63	OUT	(CPADD),A	
37					;
38					;**** MAIN PROGRAM ****
39					;
40	8012	21 45 88	LD	HL,SCAN1	
41	8015	11 F6 8F	LD	DE,TAB1	
42	8018	01 28 00	LD	BC,40	
43	801B	ED B0	LDIR		
44	801D	CD 87 80	CALL	INITLCD	
45	8020	CD 4C 80	CALL	SHOW	
46	8023	06 FF	LD	B,FFH	
47	8025	CD B0 80	REPEAT:	CALL	DELAY2
48	8028	10 FB		DJNZ	REPEAT
49	802A	21 6D 88	MAIN:	LD	HL,SCAN2
50	802D	11 F6 8F		LD	DE,TAB1
51	8030	01 28 00		LD	BC,40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
52 8033 ED B0 LDIR
53 8035 CD 4C 80 CALL SHOW
54 8038 DB 60 KEYIN1: IN A,(KEY)
55 803A CB 47 BIT 0,A
56 803C C2 A2 82 JP NZ,DMM
57 803F CB 57 BIT 2,A
58 8041 C2 33 86 JP NZ,LC
59 8044 CB 67 BIT 4,A
60 8046 C2 65 87 JP NZ,FREQ
61 8049 C3 38 80 JP KEYIN1
62 ;
63 ;**** END OF MAIN PROGRAM ****
64 ;
65 804C D9 SHOW: EXX
66 804D 21 F6 8F LD HL,TAB1
67 8050 CD 55 80 CALL WRP
68 8053 D9 EXX
69 8054 C9 RET
70 ;
71 8055 3E 00 WRP: LD A,00H
72 8057 CD 66 80 CALL GOTO
73 805A CD 75 80 CALL WRLINE
74 805D 3E 40 LD A,40H
75 805F CD 66 80 CALL GOTO
76 8062 CD 75 80 CALL WRLINE
77 8065 C9 RET
78 ;
79 8066 CB FF GOTO: SET 7,A
```

```
80 8068 D3 80 OUT (PDATA),A
81 806A CD 6E 80 CALL READ
82 806D C9 RET
83 ;
84 806E DB 84 READ: IN A,(PREAD)
85 8070 CB 7F BIT 7,A
86 8072 20 FA JR NZ,READ
87 8074 C9 RET
88 ;
89 8075 06 14 WRLINE: LD B,20
90 8077 7E TEST1: LD A,(HL)
91 8078 57 LD D,A
92 8079 CD 80 80 CALL WRBYTE
93 807C 23 INC HL
94 807D 10 F8 DJNZ TEST1
95 807F C9 RET
96 ;
97 8080 7A WRBYTE: LD A,D
98 8081 D3 82 OUT (PSING),A
99 8083 CD 6E 80 CALL READ
100 8086 C9 RET
101 ;
102 8087 3E 38 INITLCD: LD A,00111000B
103 8089 D3 80 OUT (PDATA),A
104 808B CD A7 80 CALL DELAY1
105 808E CD A7 80 CALL DELAY1
106 8091 3E 0C LD A,00001100B
107 8093 D3 80 OUT (PDATA),A
```

```
108 8095 CD A7 80 CALL DELAY1
109 8098 3E 06 LD A,00000110B
110 809A D3 80 OUT (PDATA),A
111 809C CD A7 80 CALL DELAY1
112 809F 3E 01 CLSLCD: LD A,00000001B
113 80A1 D3 80 OUT (PDATA),A
114 80A3 CD 6E 80 CALL READ
115 80A6 C9 RET
116 ;
117 80A7 C5 DELAY1: PUSH BC
118 80A8 F5 PUSH AF
119 80A9 06 80 LD B,80H
120 80AB 10 FE DELAY12: DJNZ DELAY12
121 80AD F1 POP AF
122 80AE C1 POP BC
123 80AF C9 RET
124 ;
125 80B0 C5 DELAY2: PUSH BC
126 80B1 F5 PUSH AF
127 80B2 06 FF LD B,FFH
128 80B4 0E 0D LOOP2: LD C,0DH
129 80B6 0D LOOP1: DEC C
130 80B7 20 FD JR NZ,LOOP1
131 80B9 10 F9 DJNZ LOOP2
132 80BB F1 POP AF
133 80BC C1 POP BC
134 80BD C9 RET
135 ;
```

136	80BE	D5	DISP:	PUSH DE
137	80BF	C5		PUSH BC
138	80C0	11 1E 90	DISP1:	LD DE,TAB2
139	80C3	01 28 00		LD BC,40
140	80C6	ED B0		LDIR
141	80C8	21 1E 90		LD HL,TAB2
142	80CB	CD 55 80		CALL WRP
143	80CE	C1		POP BC
144	80CF	D1		POP DE
145	80D0	C9		RET
146				;
147	80D1	DD 21 46 90	DELMEM:	LD IX,TABLE
148	80D5	DD E5		PUSH IX
149	80D7	C5		PUSH BC
150	80D8	06 06		LD B,6
151	80DA	3E 00		LD A,00H
152	80DC	DD 77 00	L1:	LD (IX),A
153	80DF	DD 23		INC IX
154	80E1	10 F9		DJNZ L1
155	80E3	C1		POP BC
156	80E4	DD E1		POP IX
157	80E6	C9		RET
158				;
159	80E7	DD 21 4C 90	DELMEM2:	LD IX,TABLE2
160	80EB	DD E5		PUSH IX
161	80ED	C5		PUSH BC
162	80EE	3E 00		LD A,00H
163	80F0	06 09		LD B,9

164	80F2	DD 77 00	L3:	LD (IX),A
165	80F5	DD 23		INC IX
166	80F7	10 F9		DJNZ L3
167	80F9	C1		POP BC
168	80FA	DD E1		POP IX
169				;
170				;**** READ & SHOW VALUE FROM 7107
171				;
172	80FC	DD E5	GETINO:	PUSH IX
173	80FE	DB 62		IN A,(DLCDMM)
174	8100	2F		CPL A
175	8101	CB 6F		BIT 5,A
176	8103	C4 39 81		CALL NZ,NEGT
177	8106	CB 67		BIT 4,A
178	8108	C4 43 81		CALL NZ,THOU
179	810B	CB 77		BIT 6,A
180	810D	C4 4D 81		CALL NZ,POINT
181	8110	DB 5E	GET1:	IN A,(DDMM3)
182	8112	2F		CPL A
183	8113	CD 57 81		CALL VALUE
184	8116	DB 5D	GET2:	IN A,(DDMM2)
185	8118	2F		CPL A
186	8119	CD 57 81		CALL VALUE
187	811C	DB 5C	GET3:	IN A,(DDMM1)
188	811E	2F		CPL A
189	811F	CD 57 81		CALL VALUE
190	8122	21 46 90		LD HL,TABLE
191	8125	3E 40		LD A,40H

192	8127	CD 66 80		CALL GOTO
193	812A	06 06		LD B,6
194	812C	CD 77 80		CALL TEST1
195	812F	06 3C		LD B,3CH
196	8131	CD B0 80	L2:	CALL DELAY2
197	8134	10 FB		DJNZ L2
198	8136	DD E1		POP IX
199	8138	C9		RET
200				;
201	8139	F5	NEGT:	PUSH AF
202	813A	3E 2D		LD A,2DH
203	813C	DD 77 00		LD (IX),A
204	813F	DD 23		INC IX
205	8141	F1		POP AF
206	8142	C9		RET
207				;
208	8143	F5	THOU:	PUSH AF
209	8144	3E 31		LD A,31H
210	8146	DD 77 00		LD (IX),A
211	8149	DD 23		INC IX
212	814B	F1		POP AF
213	814C	C9		RET
214				;
215	814D	F5	POINT:	PUSH AF
216	814E	3E 2E		LD A,2EH
217	8150	DD 77 00		LD (IX),A
218	8153	DD 23		INC IX
219	8155	F1		POP AF

220	8156	C9		RET
221				;
222				;**** SEEK NUMBER FOR LCD ****
223	8157	C5	VALUE:	PUSH BC
224	8158	47		LD B,A
225	8159	E6 7F		AND 01111111B
226	815B	FE 3F		CP 3FH
227	815D	CA 94 81		JP Z,G00
228	8160	FE 06		CP 06H
229	8162	CA 9E 81		JP Z,G01
230	8165	FE 5B		CP 5BH
231	8167	CA A8 81		JP Z,G02
232	816A	FE 4F		CP 4FH
233	816C	CA B2 81		JP Z,G03
234	816F	FE 56		CP 56H
235	8171	CA BC 81		JP Z,G04
236	8174	FE 6D		CP 6DH
237	8176	CA C6 81		JP Z,G05
238	8179	FE 7D		CP 7DH
239	817B	CA D0 81		JP Z,G06
240	817E	FE 07		CP 07H
241	8180	CA DA 81		JP Z,G07
242	8183	FE 7F		CP 7FH
243	8185	CA E4 81		JP Z,G08
244	8188	FE 6F		CP 6FH
245	818A	CA EE 81		JP Z,G09
246	818D	CB 78	RETURN:	BIT 7,B
247	818F	C4 F8 81		CALL NZ,G010

```
248 8192 C1 POP BC
249 8193 C9 RET
250 ;
251 ;**** COMPARE INPUT FOR LCD ****
252 ;
253 8194 3E 30 GO0: LD A,30H
254 8196 DD 77 00 LD (IX),A
255 8199 DD 23 INC IX
256 819B C3 8D 81 JP RETURN
257 ;
258 819E 3E 31 GO1: LD A,31H
259 81A0 DD 77 00 LD (IX),A
260 81A3 DD 23 INC IX
261 81A5 C3 8D 81 JP RETURN
262 ;
263 81A8 3E 32 GO2: LD A,32H
264 81AA DD 77 00 LD (IX),A
265 81AD DD 23 INC IX
266 81AF C3 8D 81 JP RETURN
267 ;
268 81B2 3E 33 GO3: LD A,33H
269 81B4 DD 77 00 LD (IX),A
270 81B7 DD 23 INC IX
271 81B9 C3 8D 81 JP RETURN
272 ;
273 81BC 3E 34 GO4: LD A,34H
274 81BE DD 77 00 LD (IX),A
275 81C1 DD 23 INC IX
```

276	81C3	C3 8D 81		JP	RETURN
277				;	
278	81C6	3E 35	G05:	LD	A,35H
279	81C8	DD 77 00		LD	(IX),A
280	81CB	DD 23		INC	IX
281	81CD	C3 8D 81		JP	RETURN
282				;	
283	81D0	3E 36	G06:	LD	A,36H
284	81D2	DD 77 00		LD	(IX),A
285	81D5	DD 23		INC	IX
286	81D7	C3 8D 81		JP	RETURN
287				;	
288	81DA	3E 37	G07:	LD	A,37H
289	81DC	DD 77 00		LD	(IX),A
290	81DF	DD 23		INC	IX
291	81E1	C3 8D 81		JP	RETURN
292				;	
293	81E4	3E 38	G08:	LD	A,38H
294	81E6	DD 77 00		LD	(IX),A
295	81E9	DD 23		INC	IX
296	81EB	C3 8D 81		JP	RETURN
297				;	
298	81EE	3E 39	G09:	LD	A,39H
299	81F0	DD 77 00		LD	(IX),A
300	81F3	DD 23		INC	IX
301	81F5	C3 8D 81		JP	RETURN
302				;	
303	81F8	3E 2E	G010:	LD	A,2EH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
304 81FA DD 77 00 LD (IX),A
305 81FD DD 23 INC IX
306 81FF C9 RET
307 ;
308 ;**** READ & SHOW VALUE FROM 7107
309 ;
310 8200 DD E5 GETIN1: PUSH IX
311 8202 DB 62 IN A,(DLCDMM)
312 8204 2F CPL A
313 8205 CB 4F BIT 1,A
314 8207 C4 39 81 CALL NZ,NEGT
315 820A CB 47 BIT 0,A
316 820C C4 43 81 CALL NZ,THOU
317 820F CB 57 BIT 2,A
318 8211 C4 4D 81 CALL NZ,POINT
319 8214 DB 56 GET_1: IN A,(DISPLC3)
320 8216 2F CPL A
321 8217 CD 57 81 CALL VALUE
322 821A DB 55 GET_2: IN A,(DISPLC2)
323 821C 2F CPL A
324 821D CD 57 81 CALL VALUE
325 8220 DB 54 GET_3: IN A,(DISPLC1)
326 8222 2F CPL A
327 8223 CD 57 81 CALL VALUE
328 8226 21 46 90 LD HL,TABLE
329 8229 3E 40 LD A,40H
330 822B CD 66 80 CALL GOTO
331 822E 06 06 LD B,6
```

332	8230	CD 77 80		CALL TEST1
333	8233	06 3C		LD B,3CH
334	8235	CD B0 80	L4:	CALL DELAY2
335	8238	10 FB		DJNZ L4
336	823A	DD E1		POP IX
337	823C	C9		RET
338				;
339				;**** ROUTINE OF COVERA ****
340				;
341	823D	21 ED 8F	COVERA:	LD HL,SCAN50
342	8240	3E 40		LD A,40H
343	8242	CD 66 80		CALL GOTO
344	8245	06 09		LD B,9
345	8247	CD 77 80		CALL TEST1
346	824A	06 3C		LD B,3CH
347	824C	CD B0 80	COVERB:	CALL DELAY2
348	824F	10 FB		DJNZ COVERB
349	8251	F1		POP AF
350	8252	C3 65 87		JP FREQ
351				;
352				;**** ROUTINE OF VALUE2 ****
353				;
354	8255	DD E5	VALUE2:	PUSH IX
355	8257	CB 7F		BIT 7,A
356	8259	CC 9A 82		CALL Z,DIGIT
357	825C	CB 77		BIT 6,A
358	825E	CC 9A 82		CALL Z,DIGIT
359	8261	CB 6F		BIT 5,A

360	8263	CC 9A 82		CALL Z,DIGIT
361	8266	CB 67		BIT 4,A
362	8268	CC 9A 82		CALL Z,DIGIT
363	826B	CB 5F		BIT 3,A
364	826D	CC 9A 82		CALL Z,DIGIT
365	8270	CB 57		BIT 2,A
366	8272	CC 9A 82		CALL Z,DIGIT
367	8275	CB 4F		BIT 1,A
368	8277	CC 9A 82		CALL Z,DIGIT
369	827A	CB 47		BIT 0,A
370	827C	CC 9A 82		CALL Z,DIGIT
371	827F	DD E1		POP IX
372	8281	DD E5		PUSH IX
373	8283	21 4C 90		LD HL, TABLE2
374	8286	3E 40		LD A, 40H
375	8288	CD 66 80		CALL GOTO
376	828B	06 09		LD B, 9
377	828D	CD 77 80		CALL TEST1
378	8290	06 3C		LD B, 3CH
379	8292	CD B0 80	L5:	CALL DELAY2
380	8295	10 FB		DJNZ L5
381	8297	DD E1		POP IX
382	8299	C9		RET
383				;
384				;**** ROUTINE OF DIGIT ****
385				;
386	829A	F5	DIGIT:	PUSH AF
387	829B	DB 40		IN A;(DISPF1)

```
388 829D CD 57 81 CALL VALUE
389 82A0 F1 POP AF
390 82A1 C9 RET
391 ;
392 ;**** MAIN PROGRAM OF DMM ****
393 ;
394 82A2 21 95 88 DMM: LD HL,SCAN3
395 82A5 CD BE 80 CALL DISP
396 82A8 DB 60 KEYIN2: IN A,(KEY)
397 82AA CB 6F BIT 5,A
398 82AC C2 2A 80 JP NZ,MAIN
399 82AF CB 47 BIT 0,A
400 82B1 C2 CB 82 JP NZ,DCV
401 82B4 CB 4F BIT 1,A
402 82B6 C2 7A 83 JP NZ,ACV
403 82B9 CB 57 BIT 2,A
404 82BB C2 26 84 JP NZ,DCA
405 82BE CB 5F BIT 3,A
406 82C0 C2 D5 84 JP NZ,ACA
407 82C3 CB 67 BIT 4,A
408 82C5 C2 84 85 JP NZ,OHMS
409 82C8 C3 A8 82 JP KEYIN2
410 ;
411 ;**** ROUTINE OF DCV ****
412 ;
413 82CB 21 BD 88 DCV: LD HL,SCAN4
414 82CE CD BE 80 CALL DISP
415 82D1 3E 02 LD A,0000010B
```

416	82D3	D3 58		OUT	(CDMM1),A
417	82D5	DB 60	KEYIN3:	IN	A,(KEY)
418	82D7	CB 6F		BIT	5,A
419	82D9	C2 2A 80		JP	NZ,MAIN
420	82DC	CB 47		BIT	0,A
421	82DE	C2 F8 82		JP	NZ,D200mV
422	82E1	CB 4F		BIT	1,A
423	82E3	C2 12 83		JP	NZ,D2V
424	82E6	CB 57		BIT	2,A
425	82E8	C2 2C 83		JP	NZ,D20V
426	82EB	CB 5F		BIT	3,A
427	82ED	C2 46 83		JP	NZ,D200V
428	82F0	CB 67		BIT	4,A
429	82F2	C2 60 83		JP	NZ,D2KV
430	82F5	C3 D5 82		JP	KEYIN3
431					;
432					;**** RANG 200mV OF DCV ****
433					;
434	82F8	21 E5 88	D200mV:	LD	HL,SCAN5
435	82FB	CD BE 80		CALL	DISP
436	82FE	3E 01		LD	A,0000001B
437	8300	D3 59		OUT	(CDMM2),A
438	8302	DB 60	GETOUT0:	IN	A,(KEY)
439	8304	CB 6F		BIT	5,A
440	8306	C2 2A 80		JP	NZ,MAIN
441	8309	CD D1 80		CALL	DELMEM
442	830C	CD FC 80		CALL	GETINO
443	830F	C3 02 83		JP	GETOUT0

```
444 ;
445 ;**** RANG D2V OF DCV ***
446 ;
447 8312 21 0D 89 D2V: LD HL,SCAN6
448 8315 CD BE 80 CALL DISP
449 8318 3E 02 LD A,00000010B
450 831A D3 59 OUT (CDMM2),A
451 831C DB 60 GETOUT1: IN A,(KEY)
452 831E CB 6F BIT 5,A
453 8320 C2 2A 80 JP NZ,MAIN
454 8323 CD D1 80 CALL DELMEM
455 8326 CD 02 83 CALL GETOUT0
456 8329 C3 1C 83 JP GETOUT1
457 ;
458 ;**** RANG D20V OF DCV ****
459 ;
460 832C 21 35 89 D20V: LD HL,SCAN7
461 832F CD BE 80 CALL DISP
462 8332 3E 04 LD A,00000100B
463 8334 D3 59 OUT (CDMM2),A
464 8336 DB 60 GETOUT2: IN A,(KEY)
465 8338 CB 6F BIT 5,A
466 833A C2 2A 80 JP NZ,MAIN
467 833D CD D1 80 CALL DELMEM
468 8340 CD FC 80 CALL GETINO
469 8343 C3 36 83 JP GETOUT2
470 ;
471 ;**** RANG D200V OF DCV ****
```

472 ;
473 8346 21 5D 89 D200V: LD HL,SCAN8
474 8349 CD BE 80 CALL DISP
475 834C 3E 08 LD A,00001000B
476 834E D3 59 OUT (CDMM2),A
477 8350 DB 60 GETOUT3: IN A,(KEY)
478 8352 CB 6F BIT 5,A
479 8354 C2 2A 80 JP NZ,MAIN
480 8357 CD D1 80 CALL DELMEM
481 835A CD FC 80 CALL GETINO
482 835D C3 50 83 JP GETOUT3
483 ;
484 ;**** RANG D2KV OF DCV ****
485 ;
486 8360 21 85 89 D2KV: LD HL,SCAN9
487 8363 CD BE 80 CALL DISP
488 8366 3E 10 LD A,00010000B
489 8368 D3 59 OUT (CDMM2),A
490 836A DB 60 GETOUT4: IN A,(KEY)
491 836C CB 6F BIT 5,A
492 836E C2 2A 80 JP NZ,MAIN
493 8371 CD D1 80 CALL DELMEM
494 8374 CD FC 80 CALL GETINO
495 8377 C3 6A 83 JP GETOUT4
496 ;
497 ;****. ROUTINE OF ACV ****
498 ;
499 837A 21 AD 89 ACV: LD HL,SCAN10

```
500 837D CD BE 80 CALL DISP
501 8380 3E 04 LD A,00000100B
502 8382 D3 58 OUT (CDMM1),A
503 8384 DB 60 KEYIN4: IN A,(KEY)
504 8386 CB 6F BIT 5,A
505 8388 C2 2A 80 JP NZ,MAIN
506 838B CB 47 BIT 0,A
507 838D C2 A4 83 JP NZ,A200mV
508 8390 CB 4F BIT 1,A
509 8392 C2 BE 83 JP NZ,A2V
510 8395 CB 57 BIT 2,A
511 8397 C2 D8 83 JP NZ,A20V
512 839A CB 5F BIT 3,A
513 839C C2 F2 83 JP NZ,A200V
514 839F CB 67 BIT 4,A
515 83A1 C3 84 83 JP KEYIN4
516 ;
517 ;**** RANG A200mV OF ACV ****
518 ;
519 83A4 21 D5 89 A200mV: LD HL,SCAN11
520 83A7 CD BE 80 CALL DISP
521 83AA 3E 01 LD A,00000001B
522 83AC D3 59 OUT (CDMM2),A
523 83AE DB 60 GETOUT5: IN A,(KEY)
524 83B0 CB 6F BIT 5,A
525 83B2 C2 2A 80 JP NZ,MAIN
526 83B5 CD D1 80 CALL DELMEM
527 83B8 CD FC 80 CALL GETINO
```

```
528 83BB C3 AE 83 JP GETOUT5
529 ;
530 ;**** RANG A2V OF ACV ****
531 ;
532 83BE 21 FD 89 A2V: LD HL,SCAN12
533 83C1 CD BE 80 CALL DISP
534 83C4 3E 02 LD A,00000010B
535 83C6 D3 59 OUT (CDMM2),A
536 83C8 DB 60 GETOUT6: IN A,(KEY)
537 83CA CB 6F BIT 5,A
538 83CC C2 2A 80 JP NZ,MAIN
539 83CF CD D1 80 CALL DELMEM
540 83D2 CD FC 80 CALL GETINO
541 83D5 C3 C8 83 JP GETOUT6
542 ;
543 ;**** RANG A20V OF ACV ****
544 ;
545 83D8 21 25 8A A20V: LD HL,SCAN13
546 83DB CD BE 80 CALL DISP
547 83DE 3E 04 LD A,00000100B
548 83E0 D3 59 OUT (CDMM2),A
549 83E2 DB 60 GETOUT7: IN A,(KEY)
550 83E4 CB 6F BIT 5,A
551 83E6 C2 2A 80 JP NZ,MAIN
552 83E9 CD D1 80 CALL DELMEM
553 83EC CD FC 80 CALL GETINO
554 83EF C3 E2 83 JP GETOUT7
555 ;
```

```
556 ;**** RANG A200V OF ACV ****
557 ;
558 83F2 21 4D 8A A200V: LD HL,SCAN14
559 83F5 CD BE 80 CALL DISP
560 83F8 3E 08 LD A,00001000B
561 83FA D3 59 OUT (CDMM2),A
562 83FC DB 60 GETOUT8: IN A,(KEY)
563 83FE CB 6F BIT 5,A
564 8400 C2 2A 80 JP NZ,MAIN
565 8403 CD D1 80 CALL DELMEM
566 8406 CD FC 80 CALL GETINO
567 8409 C3 FC 83 JP GETOUT8
568 ;
569 ;**** RANG A2KV OF ACV ****
570 ;
571 840C 21 75 8A A2KV: LD HL,SCAN15
572 840F CD BE 80 CALL DISP
573 8412 3E 10 LD A,00010000B
574 8414 D3 59 OUT (CDMM2),A
575 8416 DB 60 GETOUT9: IN A,(KEY)
576 8418 CB 6F BIT 5,A
577 841A C2 2A 80 JP NZ,MAIN
578 841D CD D1 80 CALL DELMEM
579 8420 CD FC 80 CALL GETINO
580 8423 C3 16 84 JP GETOUT9
581 ;
582 ;**** ROUTINE OF DCA ****
583 ;
```

584	8426	21 9D 8A	DCA:	LD	HL,SCAN16
585	8429	CD BE 80		CALL	DISP
586	842C	3E 08		LD	A,00001000B
587	842E	D3 58		OUT	(CDMM1),A
588	8430	DB 60	KEYIN5:	IN	A,(KEY)
589	8432	CB 6F		BIT	5,A
590	8434	C2 2A 80		JP	NZ,MAIN
591	8437	CB 47		BIT	0,A
592	8439	C2 53 84		JP	NZ,D200uA
593	843C	CB 4F		BIT	1,A
594	843E	C2 6D 84		JP	NZ,D2mA
595	8441	CB 57		BIT	2,A
596	8443	C2 87 84		JP	NZ,D20mA
597	8446	CB 5F		BIT	3,A
598	8448	C2 A1 84		JP	NZ,D200mA
599	844B	CB 67		BIT	4,A
600	844D	C2 BB 84		JP	NZ,D2A
601	8450	C3 30 84		JP	KEYIN5
602					;
603					;**** RANG D200uA OF DCA ****
604					;
605	8453	21 C5 8A	D200uA:	LD	HL,SCAN17
606	8456	CD BE 80		CALL	DISP
607	8459	3E 01		LD	A,00000001B
608	845B	D3 59		OUT	(CDMM2),A
609	845D	DB 60	GETOUT10:	IN	A,(KEY)
610	845F	CB 6F		BIT	5,A
611	8461	C2 2A 80		JP	NZ,MAIN

```
612 8464 CD D1 80 CALL DELMEM
613 8467 CD FC 80 CALL GETINO
614 846A C3 5D 84 JP GETOUT10
615 ;
616 ;*** RANG D2mA OF DCA ****
617 ;
618 846D 21 ED 8A D2mA: LD HL,SCAN18
619 8470 CD BE 80 CALL DISP
620 8473 3E 02 LD A,00000010B
621 8475 D3 59 OUT (CDMM2),A
622 8477 DB 60 GETOUT11: IN A,(KEY)
623 8479 CB 6F BIT 5,A
624 847B C2 2A 80 JP NZ,MAIN
625 847E CD D1 80 CALL DELMEM
626 8481 CD FC 80 CALL GETINO
627 8484 C3 77 84 JP GETOUT11
628 ;
629 ;**** RANG D20mA OF DCA ****
630 ;
631 8487 21 15 8B D20mA: LD HL,SCAN19
632 848A CD BE 80 CALL DISP
633 848D 3E 04 LD A,00000100B
634 848F D3 59 OUT (CDMM2),A
635 8491 DB 60 GETOUT12: IN A,(KEY)
636 8493 CB 6F BIT 5,A
637 8495 C2 2A 80 JP NZ,MAIN
638 8498 CD D1 80 CALL DELMEM
639 849B CD FC 80 CALL GETINO
```

```
640 849E C3 91 84 JP GETOUT12
641 ;
642 ;**** RANG D200mA OF DCA ****
643 ;
644 84A1 21 3D 8B D200mA: LD HL,SCAN20
645 84A4 CD BE 80 CALL DISP
646 84A7 3E 08 LD A,00001000B
647 84A9 D3 59 OUT (CDMM2),A
648 84AB DB 60 GETOUT13: IN A,(KEY)
649 84AD CB 6F BIT 5,A
650 84AF C2 2A 80 JP NZ,MAIN
651 84B2 CD D1 80 CALL DELMEM
652 84B5 CD FC 80 CALL GETINO
653 84B8 C3 AB 84 JP GETOUT13
654 ;
655 ;**** RANG D2A OF DCA ****
656 ;
657 84BB 21 65 8B D2A: LD HL,SCAN21
658 84BE CD BE 80 CALL DISP
659 84C1 3E 10 LD A,00010000B
660 84C3 D3 59 OUT (CDMM2),A
661 84C5 DB 60 GETOUT14: IN A,(KEY)
662 84C7 CB 6F BIT 5,A
663 84C9 C2 2A 80 JP NZ,MAIN
664 84CC CD D1 80 CALL DELMEM
665 84CF CD FC 80 CALL GETINO
666 84D2 C3 C5 84 JP GETOUT14
667 ;
```

```
668 ;**** ROUTINE OF ACA ****
669 ;
670 84D5 21 8D 8B ACA: LD HL,SCAN22
671 84D8 CD BE 80 CALL DISP
672 84DB 3E 10 LD A,00010000B
673 84DD D3 58 OUT (CDMM1),A
674 84DF DB 60 KEYIN6: IN A,(KEY)
675 84E1 CB 6F BIT 5,A
676 84E3 C2 2A 80 JP NZ,MAIN
677 84E6 CB 47 BIT 0,A
678 84E8 C2 02 85 JP NZ,A200uA
679 84EB CB 4F BIT 1,A
680 84ED C2 1C 85 JP NZ,A2mA
681 84F0 CB 57 BIT 2,A
682 84F2 C2 36 85 JP NZ,A20mA
683 84F5 CB 5F BIT 3,A
684 84F7 C2 50 85 JP NZ,A200mA
685 84FA CB 67 BIT 4,A
686 84FC C2 6A 85 JP NZ,A2A
687 84FF C3 DF 84 JP KEYIN6
688 ;
689 ;**** RANG A200uA OF ACA ***
690 ;
691 8502 21 B5 8B A200uA: LD HL,SCAN23
692 8505 CD BE 80 CALL DISP
693 8508 3E 01 LD A,00000001B
694 850A D3 59 OUT (CDMM2),A
695 850C DB 60 GETOUT15: IN A,(KEY)
```

696	850E	CB 6F		BIT 5,A
697	8510	C2 2A 80		JP NZ,MAIN
698	8513	CD D1 80		CALL DELMEM
699	8516	CD FC 80		CALL GETINO
700	8519	C3 0C 85		JP GETOUT15
701				;
702				;**** RANG A2mA OF ACA ****
703				;
704	851C	21 DD 8B	A2mA:	LD HL,SCAN24
705	851F	CD BE 80		CALL DISP
706	8522	3E 02		LD A,00000010B
707	8524	D3 59		OUT (CDMM2),A
708	8526	DB 60	GETOUT16:	IN A,(KEY)
709	8528	CB 6F		BIT 5,A
710	852A	C2 2A 80		JP NZ,MAIN
711	852D	CD D1 80		CALL DELMEM
712	8530	CD FC 80		CALL GETINO
713	8533	C3 26 85		JP GETOUT16
714				;
715				;**** RANG A20mA OF ACA ****
716				;
717	8536	21 05 8C	A20mA:	LD HL,SCAN25
718	8539	CD BE 80		CALL DISP
719	853C	3E 04		LD A,000000100B
720	853E	D3 59		OUT (CDMM2),A
721	8540	DB 60	GETOUT17:	IN A,(KEY)
722	8542	CB 6F		BIT 5,A
723	8544	C2 2A 80		JP NZ,MAIN

724	8547	CD D1 80		CALL DELMEM
725	854A	CD FC 80		CALL GETINO
726	854D	C3 40 85		JP GETOUT17
727				;
728				;**** RANG A200mA OF ACA ****
729				;
730	8550	21 2D 8C	A200mA:	LD HL,SCAN26
731	8553	CD BE 80		CALL DISP
732	8556	3E 08		LD A,00001000B
733	8558	D3 59		OUT (CDMM2),A
734	855A	DB 60	GETOUT18:	IN A,(KEY)
735	855C	CB 6F		BIT 5,A
736	855E	C2 2A 80		JP NZ,MAIN
737	8561	CD D1 80		CALL DELMEM
738	8564	CD FC 80		CALL GETINO
739	8567	C3 5A 85		JP GETOUT18
740				;
741				;**** RANG A2A OF ACA ****
742				;
743	856A	21 55 8C	A2A:	LD HL,SCAN27
744	856D	CD BE 80		CALL DISP
745	8570	3E 10		LD A,00010000B
746	8572	D3 59		OUT (CDMM2),A
747	8574	DB 60	GETOUT19:	IN A,(KEY)
748	8576	CB 6F		BIT 5,A
749	8578	C2 2A 80		JP NZ,MAIN
750	857B	CD D1 80		CALL DELMEM
751	857E	CD FC 80		CALL GETINO

```
752 8581 C3 74 85 JP GETOUT19
753 ;
754 ;**** ROUTINE OF OHMS ****
755 ;
756 8584 21 7D 8C OHMS: LD HL,SCAN28
757 8587 CD BE 80 CALL DISP
758 858A 3E 20 LD A,00100000B
759 858C D3 58 OUT (CDMM1),A
760 858E DB 60 KEYIN7: IN A,(KEY)
761 8590 CB 6F BIT 5,A
762 8592 C2 2A 80 JP NZ,MAIN
763 8595 CB 47 BIT 0,A
764 8597 C2 B1 85 JP NZ,O200
765 859A CB 4F BIT 1,A
766 859C C2 CB 85 JP NZ,O2K
767 859F CB 57 BIT 2,A
768 85A1 C2 E5 85 JP NZ,O20K
769 85A4 CB 5F BIT 3,A
770 85A6 C2 FF 85 JP NZ,O200K
771 85A9 CB 67 BIT 4,A
772 85AB C2 19 86 JP NZ,O20M
773 85AE C3 8E 85 JP KEYIN7
774 ;
775 ;**** RANG O200 OF OHMS ****
776 ;
777 85B1 21 A5 8C O200: LD HL,SCAN29
778 85B4 CD BE 80 CALL DISP
779 85B7 3E 01 LD A,00000001B
```

780	85B9	D3 59		OUT (CDMM2),A
781	85BB	DB 60	GETOUT20:	IN A,(KEY)
782	85BD	CB 6F		BIT 5,A
783	85BF	C2 2A 80		JP NZ,MAIN
784	85C2	CD D1 80		CALL DELMEM
785	85C5	CD FC 80		CALL GETINO
786	85C8	C3 BB 85		JP GETOUT20
787				;
788				;**** RANG O2K OF OHMS ****
789				;
790	85CB	21 CD 8C	O2K:	LD HL,SCAN30
791	85CE	CD BE 80		CALL DISP
792	85D1	3E 02		LD A,00000010B
793	85D3	D3 59		OUT (CDMM2),A
794	85D5	DB 60	GETOUT21:	IN A,(KEY)
795	85D7	CB 6F		BIT 5,A
796	85D9	C2 2A 80		JP NZ,MAIN
797	85DC	CD D1 80		CALL DELMEM
798	85DF	CD FC 80		CALL GETINO
799	85E2	C3 D5 85		JP GETOUT21
800				;
801				;**** RANG O20K OF OHMS ****
802				;
803	85E5	21 F5 8C	O20K:	LD HL,SCAN31
804	85E8	CD BE 80		CALL DISP
805	85EB	3E 04		LD A,00000100B
806	85ED	D3 59		OUT (CDMM2),A
807	85EF	DB 60	GETOUT22:	IN A,(KEY)

808	85F1	CB 6F		BIT 5,A
809	85F3	C2 2A 80		JP NZ,MAIN
810	85F6	CD D1 80		CALL DELMEM
811	85F9	CD FC 80		CALL GETINO
812	85FC	C3 EF 85		JP GETOUT22
813				;
814				;**** RANG O200K OF OHMS ****
815				;
816	85FF	21 1D 8D	O200K	LD HL,SCAN32
817	8602	CD BE 80		CALL DISP
818	8605	3E 08		LD A,00001000B
819	8607	D3 59		OUT (CDMM2),A
820	8609	DB 60	GETOUT23:	IN A,(KEY)
821	860B	CB 6F		BIT 5,A
822	860D	C2 2A 80		JP NZ,MAIN
823	8610	CD D1 80		CALL DELMEM
824	8613	CD FC 80		CALL GETINO
825	8616	C3 09 86		JP GETOUT23
826				;
827				;**** RANG O20M OF OHMS ****
828				;
829	8619	21 45 8D	O20M:	LD HL,SCAN33
830	861C	CD BE 80		CALL DISP
831	861F	3E 20		LD A,00100000B
832	8621	D3 59		OUT (CDMM2),A
833	8623	DB 60	GETOUT24	IN A,(KEY)
834	8625	CB 6F		BIT 5,A
835	8627	C2 2A 80		JP NZ,MAIN

```
836 862A CD D1 80 CALL DELMEM
837 862D CD FC 80 CALL GETINO
838 8630 C3 23 86 JP GETOUT24
839 ;
840 ;**** ROUTINE OF LC METER ****
841 ;
842 8633 21 6D 8D LC: LD HL,SCAN34
843 8636 CD BE 80 CALL DISP
844 8639 DB 60 KEYIN8: IN A,(KEY)
845 863B CB 6F BIT 5,A
846 863D C2 2A 80 JP NZ,MAIN
847 8640 CB 4F BIT 1,A
848 8642 C2 4D 86 JP NZ,INDT
849 8645 CB 5F BIT 3,A
850 8647 C2 DD 86 JP NZ,CAP
851 864A C3 39 86 JP KEYIN8
852 ;
853 ;**** ROUTINE INDT OF INDUCTOR **
854 ;
855 864D 21 95 8D INDT: LD HL,SCAN35
856 8650 CD BE 80 CALL DISP
857 8653 3E 01 LD A,0000001B
858 8655 D3 5A OUT (CLC),A
859 8657 DB 60 KEYIN9: IN A,(KEY)
860 8659 CB 6F BIT 5,A
861 865B C2 2A 80 JP NZ,MAIN
862 865E CB 47 BIT 0,A
863 8660 C2 75 86 JP NZ,L2mH
```

```
864 8663 CB 4F BIT 1,A
865 8665 C2 8F 86 JP NZ,L20mH
866 8668 CB 57 BIT 2,A
867 866A C2 A9 86 JP NZ,L200mH
868 866D CB 5F BIT 3,A
869 866F C2 C3 86 JP NZ,L2H
870 8672 C3 57 86 JP KEYIN9
871 ;
872 ;**** RANG L2mH OF INDT ****
873 ;
874 8675 21 BD 8D L2mH: LD HL,SCAN36
875 8678 CD BE 80 CALL DISP
876 867B 3E 03 LD A,00000011B
877 867D D3 5A OUT (CLC),A
878 867F DB 60 GETOUT25: IN A,(KEY)
879 8681 CB 6F BIT 5,A
880 8683 C2 2A 80 JP NZ,MAIN
881 8686 CD D1 80 CALL DELMEM
882 8689 CD 00 82 CALL GETIN1
883 868C C3 7F 86 JP GETOUT25
884 ;
885 ;**** RANG L20mH OF INDT ****
886 ;
887 868F 21 E5 8D L20mH: LD HL,SCAN37
888 8692 CD BE 80 CALL DISP
889 8695 3E 05 LD A,00000101B
890 8697 D3 5A OUT (CLC),A
891 8699 DB 60 GETOUT26: IN A,(KEY)
```

```
892 869B CB 6F BIT 5,A
893 869D C2 2A 80 JP NZ,MAIN
894 86A0 CD D1 80 CALL DELMEM
895 86A3 CD 00 82 CALL GETIN1
896 86A6 C3 99 86 JP GETOUT26
897 ;
898 ;**** RANG L200mH OF INDT ****
899 ;
900 86A9 21 0D 8E L200mH: LD HL,SCAN38
901 86AC CD BE 80 CALL DISP
902 86AF 3E 09 LD A,00001001B
904 86B3 DB 60 GETOUT27: IN A,(KEY)
905 86B5 CB 6F BIT 5,A
906 86B7 C2 2A 80 JP NZ,MAIN
907 86BA CD D1 80 CALL DELMEM
908 86BD CD 00 82 CALL GETIN1
909 86C0 C3 B3 86 JP GETOUT27
910 ;
911 ;**** RANG L2H OF INDT ****
912 ;
913 86C3 21 35 8E L2H: LD HL,SCAN39
914 86C6 CD BE 80 CALL DISP
915 86C9 3E 01 LD A,00000001B
916 86CB D3 5A OUT (CLC),A
917 86CD DB 60 GETOUT28: IN A,(KEY)
918 86CF CB 6F BIT 5,A
919 86D1 C2 2A 80 JP NZ,MAIN
920 86D4 CD D1 80 CALL DELMEM
```

```
921 86D7 CD 00 82 CALL GETIN1
922 86DA C3 CD 86 JP GETOUT28
923 ;
924 ;**** ROUTINE CAP OF CAPACITOR **
925 ;
926 86DD 21 5D 8E CAP: LD HL,SCAN40
927 86E0 CD BE 80 CALL DISP
928 86E3 DB 60 KEYIN10: IN A,(KEY)
929 86E5 CB 6F BIT 5,A
930 86E7 C2 2A 80 JP NZ,MAIN
931 86EA CB 47 BIT 0,A
932 86EC C2 01 87 JP NZ,C002u
933 86EF CB 4F BIT 1,A
934 86F1 C2 1B 87 JP NZ,C02u
935 86F4 CB 57 BIT 2,A
936 86F6 C2 35 87 JP NZ,C2u
937 86F9 CB 5F BIT 3,A
938 86FB C2 4F 87 JP NZ,C2uF
939 86FE C3 E3 86 JP KEYIN10
940 ;
941 ;****RANG C002u OF CAP ****
942 ;
943 8701 21 85 8E C002u: LD HL,SCAN41
944 8704 CD BE 80 CALL DISP
945 8707 3E 02 LD A,00000010B
946 8709 D3 5A OUT (CLC),A
947 870B DB 60 GETOUT29: IN A,(KEY)
948 870D CB 6F BIT 5,A
```

```
949 870F C2 2A 80 JP NZ,MAIN
950 8712 CD D1 80 CALL DELMEM
951 8715 CD 00 82 CALL GETIN1
952 8718 C3 0B 87 JP GETOUT29
953 ;
954 ;**** RANG C02u OF CAP ****
955 ;
956 871B 21 AD 8E C02u: LD HL,SCAN42
957 871E CD BE 80 CALL DISP
958 8721 3E 04 LD A,00000100B
959 8723 D3 5A OUT (CLC),A
960 8725 DB 60 GETOUT30: IN A,(KEY)
961 8727 CB 6F BIT 5,A
962 8729 C2 2A 80 JP NZ,MAIN
963 872C CD D1 80 CALL DELMEM
964 872F CD 00 82 CALL GETIN1
965 8732 C3 25 87 JP GETOUT30
966 ;
967 ;**** RANG C2u OF CAP ****
968 ;
969 8735 21 D5 8E C2u: LD HL,SCAN43
970 8738 CD BE 80 CALL DISP
971 873B 3E 08 LD A,00001000B
972 873D D3 5A OUT (CLC),A
973 873F DB 60 GETOUT31: IN A,(KEY)
974 8741 CB 6F BIT 5,A
975 8743 C2 2A 80 JP NZ,MAIN
976 8746 CD D1 80 CALL DELMEM
```

```
977 8749 CD 00 82 CALL GETIN1
978 874C C3 3F 87 JP GETOUT31
979 ;
980 ;**** RANG C2uF OF CAP ****
981 ;
982 874F 21 FD 8E C2uF: LD HL,SCAN44
983 8752 CD BE 80 CALL DISP
984 8755 DB 60 GETOUT32: IN A,(KEY)
985 8757 CB 6F BIT 5,A
986 8759 C2 2A 80 JP NZ,MAIN
987 875C CD D1 80 CALL DELMEM
988 875F CD 00 82 CALL GETIN1
989 8762 C3 55 87 JP GETOUT32
990 ;
991 ;**** ROUTINE FREQ ****
992 ;
993 8765 21 25 8F FREQ: LD HL,SCAN45
994 8768 CD BE 80 CALL DISP
995 876B DB 60 KEYIN1: IN A,(KEY)
996 876D CB 6F BIT 5,A
997 876F C2 2A 80 JP NZ,MAIN
998 8772 CB 47 BIT 0,A
999 8774 C2 89 87 JP NZ,F01S
1000 8777 CB 4F BIT 1,A
1001 8779 C2 B8 87 JP NZ,F1S
1002 877C CB 57 BIT 2,A
1003 877E C2 E7 87 JP NZ,F_1S
1004 8781 CB 5F BIT 3,A
```

```
1005 8783 C2 16 88 JP NZ,F10S
1006 8786 C3 6B 87 JP KEYIN11
1007 ;
1008 ;**** RANG F01S OF FREQ ****
1009 ;
1010 8789 21 4D 8F F01S: LD HL,SCAN46
1011 878C CD BE 80 CALL DISP
1012 878F 3E 01 LD A,00000001B
1013 8791 D3 42 OUT (CONTF),A
1014 8793 DB 60 GETOUT33: IN A,(KEY)
1015 8795 CB 6F BIT 5,A
1016 8797 C2 2A 80 JP NZ,MAIN
1017 879A CD E7 80 CALL DELMEM2
1018 879D DD E5 GETIN2: PUSH IX
1019 879F DB 41 IN A,(DISPF2)
1020 87A1 CB 7F BIT 7,A
1021 87A3 CA AC 87 JP Z,COVER1
1022 87A6 CD 55 82 NOVER1: CALL VALUE2
1023 87A9 C3 93 87 JP GETOUT33
1024 ;
1025 87AC F5 COVER1: PUSH AF
1026 87AD DB 40 IN A,(DISPF1)
1027 87AF CB 7F BIT 7,A
1028 87B1 C2 3D 82 JP NZ,COVERA
1029 87B4 F1 POP AF
1030 87B5 C3 A6 87 JP NOVER1
1031 ;
1032 ;**** RANG F1S OF FREQ ****
```

```

1033                                     ;
1034  87B8   21 75 8F       F1S:       LD   HL,SCAN47
1035  87BB   CD BE 80                                     CALL DISP
1036  87BE   3E 02                                     LD   A,00000010B
1037  87C0   D3 42                                     OUT  (CONTF),A
1038  87C2   DB 60       GETOUT34:     IN   A,(KEY)
1039  87C4   CB 6F                                     BIT  5,A
1040  87C6   C2 2A 80                                     JP   NZ,MAIN
1041  87C9   CD E7 80                                     CALL DELMEM2
1042  87CC   DD E5       GETIN3:       PUSH IX
1043  87CE   DB 41                                     IN   A,(DISPF2)
1044  87D0   CB 7F                                     BIT  7,A
1045  87D2   CA DB 87                                     JP   Z,COVER2
1046  87D5   CD 55 82       NOVER2:     CALL VALUE2
1047  87D8   C3 C2 87                                     JP   GETOUT34
1048                                     ;
1049  87DB   F5       COVER2:          PUSH AF
1050  87DC   DB 40                                     IN   A,(DISPF1)
1051  87DE   CB 7F                                     BIT  7,A
1052  87E0   C2 3D 82                                     JP   NZ,COVERA
1053  87E3   F1                                     POP  AF
1054  87E4   C3 D5 87                                     JP   NOVER2
1055                                     ;
1056                                     ;**** RANG F_1S OF FREQ ****
1057                                     ;
1058  87E7   21 9D 8F       F_1S:       LD   HL,SCAN48
1059  87EA   CD BE 80                                     CALL DISP
1060  87ED   3E 04                                     LD   A,00000100B

```

1061	87EF	D3 42		OUT (CONTF),A
1062	87F1	DB 60	GETOUT35:	IN A,(KEY)
1063	87F3	CB 6F		BIT 5,A
1064	87F5	C2 2A 80		JP NZ,MAIN
1065	87F8	CD E7 80		CALL DELMEM2
1066	87FB	DD E5	GETIN4:	PUSH IX
1067	87FD	DB 41		IN A,(DISPF2)
1068	87FF	CB 7F		BIT 7,A
1069	8801	CA 0A 88		JP Z,COVER3
1070	8804	CD 55 82	NOVER3:	CALL VALUE2
1071	8807	C3 F1 87		JP GETOUT35
1072				;
1073	880A	F5	COVER3:	PUSH AF
1074	880B	DB 40		IN A,(DISPF1)
1075	880D	CB 7F		BIT 7,A
1076	880F	C2 3D 82		JP NZ,COVERA
1077	8812	F1		POP AF
1078	8813	C3 04 88		JP NOVER3
1079				;
1080				;**** RANG F10S OF FREQ ****
1081				;
1082	8816	21 C5 8F	F10S:	LD HL,SCAN49
1083	8819	CD BE 80		CALL DISP
1084	881C	3E 08		LD A,00001000B
1085	881E	D3 42		OUT (CONTF),A
1086	8820	DB 60	GETOUT36:	IN A,(KEY)
1087	8822	CB 6F		BIT 5,A
1088	8824	C2 2A 80		JP NZ,MAIN

1089	8827	CD E7 80		CALL DELMEM2
1090	882A	DD E5	GETIN5:	PUSH IX
1091	882C	DB 41		IN A,(DISPF2)
1092	882E	CB 7F		BIT 7,A
1093	8830	CA 39 88		JP Z,COVER4
1094	8833	CD 55 82	NOVER4:	CALL VALUE2
1095	8836	C3 20 88		JP GETOUT36
1096				;
1097	8839	F5	COVER4:	PUSH AF
1098	883A	DB 40		IN A,(DISPF1)
1099	883C	CB 7F		BIT 7,A
1100	883E	C2 3D 82		JP NZ,COVERA
1101	8841	F1		POP AF
1102	8842	C3 33 88		JP NOVER4
1103				;
1104	8845	20 20 20 4B 49	SCAN1: DB	" KING MONGKUT'S "
	884A	4E 47 20 4D 4F		
	884F	4E 47 4B 55 54		
	8854	27 53 20 20 20		
1105	8859	20 20 20 20 20	DB	" LADKRABANG "
	885E	4C 41 44 4B 52		
	8863	41 42 41 4E 47		
	8868	20 20 20 20 20		
1106	886D	46 55 4E 43 54	SCAN2: DB	"FUNCTION MEASUREMENT"
	8872	49 4F 4E 20 4D		
	8877	45 41 53 55 52		
	887C	45 4D 45 4E 54		
1107	8881	44 4D 4D 20 20	DB	"DMM LC FREQ"

	8886	20	20	20	20	4C			
	888B	43	20	20	20	20			
	8890	20	46	52	45	51			
1108	8895	20	44	49	47	49	SCAN3:	DB	" DIGITAL MULTIMETER "
	889A	54	41	4C	20	4D			
	889F	55	4C	54	49	4D			
	88A4	45	54	45	52	20			
1109	88A9	44	43	56	20	41		DB	"DCV ACV DCA ACA OHM "
	88AE	43	56	20	44	43			
	88B3	41	20	41	43	41			
	88B8	20	4F	48	4D	20			
1110	88BD	20	20	20	20	20	SCAN4:	DB	" DC VOLTAGE "
	88C2	44	43	20	56	4F			
	88C7	4C	54	41	47	45			
	88CC	20	20	20	20	20			
1111	88D1	32	30	30	6D	20		DB	"200m 2V 20V 200V 2KV"
	88D6	32	56	20	32	30			
	88DB	56	20	32	30	30			
	88E0	56	20	32	4B	56			
1112	88E5	44	43	56	20	20	SCAN5:	DB	"DCV RANG 200mV"
	88EA	20	20	20	20	20			
	88EF	52	41	4E	47	20			
	88F4	32	30	30	6D	56			
1113	88F9	20	20	20	20	20		DB	" mV"
	88FE	20	20	20	20	20			
	8903	20	20	20	20	20			
	8908	20	20	20	6D	56			
1114	890D	44	43	56	20	20	SCAN6:	DB	"DCV RANG 2V"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	8912	20	20	20	20	20						
	8917	20	20	20	52	41						
	891C	4E	47	20	32	56						
1115	8921	20	20	20	20	20		DB	"			V"
	8926	20	20	20	20	20						
	892B	20	20	20	20	20						
	8930	20	20	20	20	56						
1116	8935	44	43	56	20	20	SCAN7:	DB	"DCV		RANG 20V"	
	893A	20	20	20	20	20						
	893F	20	20	52	41	4E						
	8944	47	20	32	30	56						
1117	8949	20	20	20	20	20		DB	"			V"
	894E	20	20	20	20	20						
	8953	20	20	20	20	20						
	8958	20	20	20	20	56						
1118	895D	44	43	56	20	20	SCAN8:	DB	"DCV		RANG 200V"	
	8962	20	20	20	20	20						
	8967	20	52	41	4E	47						
	896C	20	32	30	30	56						
1119	8971	20	20	20	20	20		DB	"			V"
	8976	20	20	20	20	20						
	897B	20	20	20	20	20						
	8980	20	20	20	20	56						
1120	8985	44	43	56	20	20	SCAN9:	DB	"DCV		RANG 2KV"	
	898A	20	20	20	20	20						
	898F	20	20	52	41	4E						
	8994	47	20	32	4B	56						
1121	8999	20	20	20	20	20		DB	"			KV"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	8A2A	20	20	20	20	20							
	8A2F	20	20	52	41	4E							
	8A34	47	20	32	30	56							
1129	8A39	20	20	20	20	20	DB	"				V"	
	8A3E	20	20	20	20	20							
	8A43	20	20	20	20	20							
	8A48	20	20	20	20	56							
1130	8A4D	41	43	56	20	20	SCAN14:	DB	"ACV			RANG 200V"	
	8A52	20	20	20	20	20							
	8A57	20	52	41	4E	47							
	8A5C	20	32	30	30	56							
1131	8A61	20	20	20	20	20	DB	"				V"	
	8A66	20	20	20	20	20							
	8A6B	20	20	20	20	20							
	8A70	20	20	20	20	56							
1132	8A75	41	43	56	20	20	SCAN15:	DB	"ACV			RANG 2KV"	
	8A7A	20	20	20	20	20							
	8A7F	20	20	52	41	4E							
	8A84	47	20	32	4B	56							
1133	8A89	20	20	20	20	20	DB	"				KV"	
	8A8E	20	20	20	20	20							
	8A93	20	20	20	20	20							
	8A98	20	20	20	4B	56							
1134	8A9D	20	20	20	20	20	SCAN16:	DB	"		DC CURRENT	"	
	8AA2	44	43	20	43	55							
	8AA7	52	52	45	4E	54							
	8AAC	20	20	20	20	20							
1135	8AB1	32	30	30	75	20	DB	"200u	2m	20m	200m	2A	"

	8AB6	32 6D 20 32 30				
	8ABB	6D 20 32 30 30				
	8AC0	6D 20 32 41 20				
1136	8AC5	44 43 41 20 20	SCAN17:	DB	"DCA	RANG 200uA"
	8ACA	20 20 20 20 20				
	8ACF	52 41 4E 47 20				
	8AD4	32 30 30 75 41				
1137	8AD9	20 20 20 20 20		DB	"	uA"
	8ADE	20 20 20 20 20				
	8AE3	20 20 20 20 20				
	8AE8	20 20 20 75 41				
1138	8AED	44 43 41 20 20	SCAN18:	DB	"DCA	RANG 2mA"
	8AF2	20 20 20 20 20				
	8AF7	20 20 52 41 4E				
	8AFC	47 20 32 6D 41				
1139	8B01	20 20 20 20 20		DB	"	mA"
	8B06	20 20 20 20 20				
	8B0B	20 20 20 20 20				
	8B10	20 20 20 6D 41				
1140	8B15	44 43 41 20 20	SCAN19:	DB	"DCA	RANG 20mA"
	8B1A	20 20 20 20 20				
	8B1F	20 52 41 4E 47				
	8B24	20 32 30 6D 41				
1141	8B29	20 20 20 20 20		DB	"	mA"
	8B2E	20 20 20 20 20				
	8B33	20 20 20 20 20				
	8B38	20 20 20 6D 41				
1142	8B3D	44 43 41 20 20	SCAN20:	DB	"DCA	RANG 200mA"

	8B42	20	20	20	20	20					
	8B47	52	41	4E	47	20					
	8B4C	32	30	30	6D	41					
1143	8B51	20	20	20	20	20	DB	"			mA"
	8B56	20	20	20	20	20					
	8B5B	20	20	20	20	20					
	8B60	20	20	20	6D	41					
1144	8B65	44	43	41	20	20	SCAN21: DB	"DCA			RANG 2A"
	8B6A	20	20	20	20	20					
	8B6F	20	20	20	52	41					
	8B74	4E	47	20	32	41					
1145	8B79	20	20	20	20	20	DB	"			A"
	8B7E	20	20	20	20	20					
	8B83	20	20	20	20	20					
	8B88	20	20	20	20	41					
1146	8B8D	20	20	20	20	20	SCAN22: DB	"			AC CURRENT
	8B92	41	43	20	43	55					
	8B97	52	52	45	4E	54					
	8B9C	20	20	20	20	20					
1147	8BA1	32	30	30	75	20	DB	"200u	2m	20m	200m 2A "
	8BA6	32	6D	20	32	30					
	8BAB	6D	20	32	30	30					
	8BB0	6D	20	32	41	20					
1148	8BB5	41	43	41	20	20	SCAN23: DB	"ACA			RANG 200uA"
	8BBA	20	20	20	20	20					
	8BBF	52	41	4E	47	20					
	8BC4	32	30	30	75	41					
1149	8BC9	20	20	20	20	20	DB	"			uA"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	8BCE	20	20	20	20	20				
	8BD3	20	20	20	20	20				
	8BD8	20	20	20	75	41				
1150	8BDD	41	43	41	20	20	SCAN24:	DB	"ACA	RANG 2mA"
	8BE2	20	20	20	20	20				
	8BE7	20	20	52	41	4E				
	8BEC	47	20	32	6D	41				
1151	8BF1	20	20	20	20	20		DB	"	mA"
	8BF6	20	20	20	20	20				
	8BFB	20	20	20	20	20				
	8C00	20	20	20	6D	41				
1152	8C05	41	43	41	20	20	SCAN25:	DB	"ACA	RANG 20mA"
	8C0A	20	20	20	20	20				
	8C0F	20	52	41	4E	47				
	8C14	20	32	30	6D	41				
1153	8C19	20	20	20	20	20		DB	"	mA"
	8C1E	20	20	20	20	20				
	8C23	20	20	20	20	20				
	8C28	20	20	20	6D	41				
1154	8C2D	41	43	41	20	20	SCAN26:	DB	"ACA	RANG 200mA"
	8C32	20	20	20	20	20				
	8C37	52	41	4E	47	20				
	8C3C	32	30	30	6D	41				
1155	8C41	20	20	20	20	20		DB	"	mA"
	8C46	20	20	20	20	20				
	8C4B	20	20	20	20	20				
	8C50	20	20	20	6D	41				
1156	8C55	41	43	41	20	20	SCAN27:	DB	"ACA	RANG 2A"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	8C5A	20	20	20	20	20							
	8C5F	20	20	20	52	41							
	8C64	4E	47	20	32	41							
1157	8C69	20	20	20	20	20	DB	"			A"		
	8C6E	20	20	20	20	20							
	8C73	20	20	20	20	20							
	8C78	20	20	20	20	41							
1158	8C7D	20	20	20	52	45	SCAN28:	DB	"	RESISTER(OHMS)	"		
	8C82	53	49	53	54	45							
	8C87	52	28	4F	48	4D							
	8C8C	53	29	20	20	20							
1159	8C91	32	30	30	20	20	DB	"	200	2K	20K	200K	20M"
	8C96	32	4B	20	32	30							
	8C9B	4B	20	32	30	30							
	8CA0	4B	20	32	30	4D							
1160	8CA5	4F	48	4D	53	20	SCAN29:	DB	"	OHMS	RANG	200	OHMS"
	8CAA	20	20	52	41	4E							
	8CAF	47	20	32	30	30							
	8CB4	20	4F	48	4D	53							
1161	8CB9	20	20	20	20	20	DB	"					OHMS"
	8CBE	20	20	20	20	20							
	8CC3	20	20	20	20	20							
	8CC8	20	4F	48	4D	53							
1162	8CCD	4F	48	4D	53	20	SCAN30:	DB	"	OHMS	RANG	2	KOHMS"
	8CD2	20	20	20	52	41							
	8CD7	4E	47	20	32	20							
	8CDC	4B	4F	48	4D	53							
1163	8CE1	20	20	20	20	20	DB	"					KOHMS"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	8CE6	20	20	20	20	20					
	8CEB	20	20	20	20	20					
	8CF0	4B	4F	48	4D	53					
1164	8CF5	4F	48	4D	53	20	SCAN31:	DB	"OHMS	RANG 20	KOHMS"
	8CFA	20	20	52	41	4E					
	8CFF	47	20	32	30	20					
	8D04	4B	4F	48	4D	53					
1165	8D09	20	20	20	20	20		DB	"		KOHMS"
	8D0E	20	20	20	20	20					
	8D13	20	20	20	20	20					
	8D18	4B	4F	48	4D	53					
1166	8D1D	4F	48	4D	53	20	SCAN32:	DB	"OHMS	RANG 200	KOHMS"
	8D22	20	20	52	41	4E					
	8D27	47	20	32	30	30					
	8D2C	4B	4F	48	4D	53					
1167	8D31	20	20	20	20	20		DB	"		KOHMS"
	8D36	20	20	20	20	20					
	8D3B	20	20	20	20	20					
	8D40	4B	4F	48	4D	53					
1168	8D45	4F	48	4D	53	20	SCAN33:	DB	"OHMS	RANG 20	MOHMS"
	8D4A	20	20	52	41	4E					
	8D4F	47	20	32	30	20					
	8D54	4D	4F	48	4D	53					
1169	8D59	20	20	20	20	20		DB	"		MOHMS"
	8D5E	20	20	20	20	20					
	8D63	20	20	20	20	20					
	8D68	4D	4F	48	4D	53					
1170	8D6D	20	20	20	20	20	SCAN34:	DB	"	LC METER	"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	8D72	20	4C	43	20	4D						
	8D77	45	54	45	52	20						
	8D7C	20	20	20	20	20						
1171	8D81	20	20	20	20	20	DB	"	L	C	"	
	8D86	20	4C	20	20	20						
	8D8B	20	20	20	43	20						
	8D90	20	20	20	20	20						
1172	8D95	20	20	20	20	20	SCAN35: DB	"	INDUCTOR(L)		"	
	8D9A	49	4E	44	55	43						
	8D9F	54	4F	52	28	4C						
	8DA4	29	20	20	20	20						
1173	8DA9	20	32	6D	20	32	DB	"	2m	20m	200m	2H
	8DAE	30	6D	20	32	30						
	8DB3	30	6D	20	32	48						
	8DB8	20	20	20	20	20						
1174	8DBD	49	4E	44	55	43	SCAN36: DB	"	INDUCTOR	RANG	2mH"	
	8DC2	54	4F	52	20	20						
	8DC7	20	20	52	41	4E						
	8DCC	47	20	32	6D	48						
1175	8DD1	20	20	20	20	20	DB	"				mH"
	8DD6	20	20	20	20	20						
	8DDB	20	20	20	20	20						
	8DE0	20	20	20	6D	48						
1176	8DE5	49	4E	44	55	43	SCAN37: DB	"	INDUCTOR	RANG	20mH"	
	8DEA	54	4F	52	20	20						
	8DEF	20	52	41	4E	47						
	8DF4	20	32	30	6D	48						
1177	8DF9	20	20	20	20	20	DB	"				mH"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	8DFE	20	20	20	20	20			
	8E03	20	20	20	20	20			
	8E08	20	20	20	6D	48			
1178	8E0D	49	4E	44	55	43	SCAN38: DB	"INDUCTOR RANG 200mH"	
	8E12	54	4F	52	20	20			
	8E17	52	41	4E	47	20			
	8E1C	32	30	30	6D	48			
1179	8E21	20	20	20	20	20	DB	"	mH"
	8E26	20	20	20	20	20			
	8E2B	20	20	20	20	20			
	8E30	20	20	20	6D	48			
1180	8E35	49	4E	44	55	43	SCAN39: DB	"INDUCTOR RANG 2H"	
	8E3A	54	4F	52	20	20			
	8E3F	20	20	20	52	41			
	8E44	4E	47	20	32	48			
1181	8E49	20	20	20	20	20	DB	"	H"
	8E4E	20	20	20	20	20			
	8E53	20	20	20	20	20			
	8E58	20	20	20	20	48			
1182	8E5D	20	20	20	20	20	SCAN40: DB	"	CAPACITOR "
	8E62	43	41	50	41	43			
	8E67	49	54	4F	52	20			
	8E6C	20	20	20	20	20			
1183	8E71	2E	30	30	32	20	DB	".002 .02 .2u 2u	"
	8E76	2E	30	32	20	2E			
	8E7B	32	75	20	32	75			
	8E80	20	20	20	20	20			
1184	8E85	43	41	50	41	43	SCAN41: DB	"CAPACITOR RANG.002uF"	

	8E8A	49 54 4F 52 20			
	8E8F	52 41 4E 47 2E			
	8E94	30 30 32 75 46			
1185	8E99	20 20 20 20 20	DB	"	uF"
	8E9E	20 20 20 20 20			
	8EA3	20 20 20 20 20			
	8EA8	20 20 20 75 46			
1186	8EAD	43 41 50 41 43	SCAN42: DB	"CAPACITOR RANG.02uF"	
	8EB2	49 54 4F 52 20			
	8EB7	20 52 41 4E 47			
	8EBC	2E 30 32 75 46			
1187	8EC1	20 20 20 20 20	DB	"	uF"
	8EC6	20 20 20 20 20			
	8ECB	20 20 20 20 20			
	8ED0	20 20 20 75 46			
1188	8ED5	43 41 50 41 43	SCAN43: DB	"CAPACITOR RANG.2uF"	
	8EDA	49 54 4F 52 20			
	8EDF	20 20 52 41 4E			
	8EE4	47 2E 32 75 46			
1189	8EE9	20 20 20 20 20	DB	"	uF"
	8EEE	20 20 20 20 20			
	8EF3	20 20 20 20 20			
	8EF8	20 20 20 75 46			
1190	8EFD	43 41 50 41 43	SCAN44: DB	"CAPACITOR RANG 2uF"	
	8F02	49 54 4F 52 20			
	8F07	20 20 52 41 4E			
	8F0C	47 20 32 75 46			
1191	8F11	20 20 20 20 20	DB	"	uF"

	8F16	20	20	20	20	20						
	8F1B	20	20	20	20	20						
	8F20	20	20	20	75	46						
1192	8F25	20	20	20	20	20	SCAN45:	DB	"	FREQUENCY	"	
	8F2A	20	46	52	45	51						
	8F2F	55	45	4E	43	59						
	8F34	20	20	20	20	20						
1193	8F39	2E	30	31	53	20		DB	"	.01S .1S 1S 10S	"	
	8F3E	2E	31	53	20	31						
	8F43	53	20	20	31	30						
	8F48	53	20	20	20	20						
1194	8F4D	46	52	45	51	55	SCAN46:	DB	"	FREQUENCY RANG 0.01S"		
	8F52	45	4E	43	59	20						
	8F57	52	41	4E	47	20						
	8F5C	30	2E	30	31	53						
1195	8F61	20	20	20	20	20		DB	"		KHz"	
	8F66	20	20	20	20	20						
	8F6B	20	20	20	20	20						
	8F70	20	20	4B	48	7A						
1196	8F75	46	52	45	51	55	SCAN47:	DB	"	FREQUENCY RANG 0.1S"		
	8F7A	45	4E	43	59	20						
	8F7F	20	52	41	4E	47						
	8F84	20	30	2E	31	53						
1197	8F89	20	20	20	20	20		DB	"		KHz"	
	8F8E	20	20	20	20	20						
	8F93	20	20	20	20	20						
	8F98	20	20	4B	48	7A						
1198	8F9D	46	52	45	51	55	SCAN48:	DB	"	FREQUENCY RANG 1S"		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
8FA2 45 4E 43 59 20
8FA7 20 20 20 52 41
8FAC 4E 47 20 31 53
1199 8FB1 20 20 20 20 20 DB " KHz"
8FB6 20 20 20 20 20
8FBB 20 20 20 20 20
8FC0 20 20 4B 48 7A
1200 8FC5 46 52 45 51 55 SCAN49: DB "FREQUENCY RANG 10S"
8FCA 45 4E 43 59 20
8FCF 20 20 52 41 4E
8FD4 47 20 31 30 53
1201 8FD9 20 20 20 20 20 DB " KHz"
8FDE 20 20 20 20 20
8FE3 20 20 20 20 20
8FE8 20 20 4B 48 7A
1202 8FED 4F 56 45 52 46 SCAN50: DB "OVERFLOW "
8FF2 4C 4F 57 20
1203 8FF6 TAB1: DS 40
1204 901E TAB2: DS 40
1205 9046 TABLE: DS 6
1206 904C TABLE2: DS 9
1207 9055 END
```

Lines Assembled : 1207

Assembly Errors : 0

สรุปผลการดำเนินงาน

โครงการนี้ทางกลุ่มได้แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ

ส่วนแรก เป็นการศึกษาโครงการและทดลอง ซึ่งอยู่ในส่วนของภาคการศึกษาแรก (Project I)

ส่วนที่สอง เป็นส่วนที่นำผลจากการศึกษาการทำงานและทดลองจาก Project I ไปทำการพัฒนาให้เป็นผลสำเร็จ ซึ่งอยู่ในส่วนของภาคเรียนที่สอง (Project II)

โดยในปฏิทินขั้นตอนนี้เป็นการทำงานในส่วนที่สอง (Project II) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. นาวางจรที่ได้ทดลองและพัฒนาใน Project I นั้นมาทำการประกอบวงจรจริงเพื่อที่จะนำมาประกอบเป็นเครื่องมือใช้งาน
2. นำแต่ละส่วนที่ทดลองและพัฒนาแล้วมาเชื่อมต่อวงจร (Interface) ของแต่ละวงจร เพื่อที่จะนำมาใช้ร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพโดยการเชื่อมต่อนั้นเราจะใช้ในส่วน of Soft ware ซึ่งได้กล่าวในรายละเอียดไปแล้ว
3. ทดลองการทำงานของวงจรรวมทั้งหมดก่อนที่จะนำไปทดลองเพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องในแต่ละส่วนนั้นยังทำงานได้ดีเมื่อนำวงจรทั้งหมดมารวมกัน
4. นำส่วนประกอบทั้งหมดทดลองเพื่อให้ได้ เครื่องมือวัดที่พร้อมจะนำไปใช้งานจริง จะเห็นว่าในการทำงานแต่ละส่วนนั้นอาจจะเกิดปัญหาได้ทุกจุด เพราะฉะนั้นในการทำงานส่วนใดส่วนหนึ่งเสร็จจึงต้องมีการตรวจเช็คในแต่ละส่วนอยู่เสมอ เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่วงจรไม่สามารถทำงานได้ ซึ่งในแต่ละส่วนก็มีความสำคัญเหมือน ๆ กัน