



ปริญญาโท ปีการศึกษา 2537

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดระยะทางด้วยแสง

ผู้จัดทำ

1. นาย พงษ์ศักดิ์ ชนภักดี 35103192
2. นาย ปิยวัฒน์ จิรภักตานนท์ 35103190

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( อาจารย์ สมศักดิ์ เขียวศรีกุล )

## บทคัดย่อ

(Abstract)

โครงการเครื่องวัดระยะทางด้วยแสงนี้ เป็นโครงการหนึ่งที่เป็นกรนำเอาเทคโนโลยีทางด้านแสงมาประยุกต์ใช้งานในเครื่องมือวัด ซึ่งเป็นการพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น, มีความละเอียดแม่นยำและมีความสะดวกในการใช้มากยิ่งขึ้น รวมทั้งเป็นพื้นฐานที่อันจะนำไปสู่การพัฒนาาระบบเครื่องวัด ในระดับสูงยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

โดยมีหลักการทํางานของเครื่องวัดระยะทางด้วยแสง ดังนี้ คือ การวัดความต่างเฟสของสัญญาณ 2 สัญญาณโดยมีสัญญาณตัวหนึ่งเป็นสัญญาณที่อยู่ภายในตัวเครื่องเป็นสัญญาณฐานเวลาเป็นสัญญาณไฟฟ้า และสัญญาณอีกตัวหนึ่ง ก็จะเป็นสัญญาณที่ถูกส่งออกไปจากตัวเครื่องวัด ในรูปของคลื่นแสงไปยังเป้าหมายที่ต้องการวัด โดยสัญญาณทั้งสองเป็นสัญญาณที่กำเนิดมาจากแหล่งกำเนิดตัวเดียวกัน แล้วเครื่องวัดก็จะรับสัญญาณแสงที่สะท้อนกลับมาจากเป้าหมาย สัญญาณคลื่นแสงที่สะท้อนกลับมาจะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าดังเดิมแล้วนำเอาสัญญาณที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสัญญาณตัวที่แรก ซึ่งสัญญาณตัวที่ 2 จะต้องใช้เวลาในการเดินทางจากตัวส่งไปยังเป้าหมายและเวลาที่สะท้อนจากเป้าหมายกลับมายังตัวรับ ซึ่งตัวรับและตัวส่งจะอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน ดังนั้น สัญญาณตัวที่ 2 จะต้องล่าหลังสัญญาณตัวแรกด้วยมุมเฟสค่าๆหนึ่ง หลังจากนั้นเครื่องวัดก็จะนำเอาค่ามุมเฟสที่สัญญาณทั้งสองตัวแตกต่างกันนี้ ไปคำนวณหาค่าระยะทางด้วยการประมวลผลตามโปรแกรม โดยการประมวลผลจะกระทำโดยหน่วยประมวลผลที่อยู่ภายในตัวเครื่องวัด หลังจากการประมวลผลเสร็จแล้ว เครื่องวัดก็จะแสดงผลออกมาเป็นตัวเลขระยะทางที่วัดได้

### Abstract

Measuring the distance by using light is another application of light. This project composes of the transmitter and receiver. The concept is the light was transmitted from the transmitter through the air to the target and reflect back to the receiver. Then, we compare the received signal and the transmitted signal. These two signals have the same frequency but difference in phase. We use microprocessor to compute this phase different and get the result, which is the distance between this meter and the target. This project was designed for measuring the short distance, and give the idea to develop this project in the future.

## Abstract

Measuring the distance by using light is another application of light. This project composes of the transmitter and receiver. The concept is the light was transmitted from the transmitter through the air to the target and reflect back to the receiver. Then, we compare the received signal and the transmitted signal. These two signals have the same frequency but difference in phase. We use microprocessor to compute this phase different and get the result, which is the distance between this meter and the target. This project was designed for measuring the short distance, and give the idea to developpe this project in the future.

## สารบัญ

บทที่ 1.	บทนำ	1
บทที่ 2.	หลักการและทฤษฎีการวัดระยะทางด้วยแสง	2
	- แสงและคุณสมบัติของแสง	
	- หลักการวัดระยะทางด้วยแสงโดยวิธีอ้อม	4
	- หลักการทำงานของเครื่องวัดระยะทางด้วยแสง	11
บทที่ 3.	การออกแบบวงจรและการทำงานของวงจร	
	- วงจรภาคส่งสัญญาณ	13
	- วงจรภาครับสัญญาณ	14
	- วงจรออสซิลเลเตอร์	15
	- วงจรมิกเซอร์	16
	- วงจรแบนพาสฟิลเตอร์	17
	- วงจร Zero Crossing Detector	18
	- วงจร Phase Shifter	19
	- วงจร AGC	20
	- วงจรขยายสัญญาณความถี่สูง	21
	- วงจร Phase Comparator	22
	- วงจรนับ 16 บิต	23
	- วงจรหน่วยความจำข้อมูลภายในเครื่อง	24
	- วงจร Z-80 Main Board	27
บทที่ 4.	การทดลองและผลการทดลอง	
บทที่ 5.	สรุปผลการทดลองและวิจารณ์	
กิตติกรรมประกาศ		
ภาคผนวก ก		52
ภาคผนวก ข		56
ภาคผนวก ค		60

## บทที่ 1

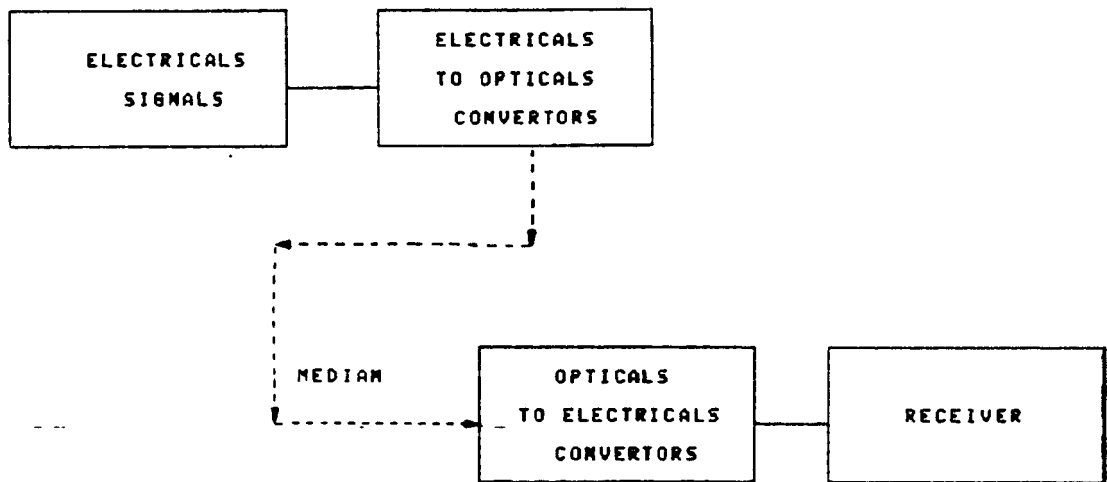
### บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านแสง (Light Of Technology ) ได้มีการพัฒนารุดหน้าไปมากถึงขั้นสูง และในปัจจุบันได้มีการนำเอาเทคโนโลยีทางด้านนี้ ไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ กันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นทางด้านการสื่อสารคมนาคม ทางด้านการแพทย์ ทางด้านการทหารและทางด้านอื่นๆ อีกมากมาย จนทำให้เทคโนโลยีทางด้านแสงเป็นเทคโนโลยีอันจำเป็นอีกอย่างหนึ่ง สำหรับการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีในโลกปัจจุบันและของโลกในอนาคต

ในที่นี้ จะเป็นการนำเอาเทคโนโลยีทางด้านแสงเข้ามาประยุกต์ใช้ ในงานทางด้านเครื่องมือวัด (Measurments) ซึ่งสิ่งที่จะนำเสนอต่อไปนี้ ก็คือ เครื่องวัดระยะทางด้วยแสง (Opticals Distance Meters )

เนื่องจากแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความถี่สูงมากกว่าความถี่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่วิทยุมากถึงระดับ  $10^{14}$  Hz จึงทำให้คลื่นแสงมีคุณสมบัติแตกต่างไปจากคลื่นวิทยุทุกๆ ไปอย่างสิ้นเชิง และแสงมีความเร็วในการเคลื่อนที่ประมาณ 299,792,458 m/sec ในการเดินทางในสุญญากาศ เนื่องจากแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมาก จนวงจรทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ไม่สามารถทำงานได้ในย่านความถี่แสง เพราะอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน จะสามารถทำงานได้ในย่านความถี่สูงสุดเพียงไม่กี่สิบล GHz เท่านั้น ดังนั้น ในการรับส่งสัญญาณแสงต่างๆ ด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์จึงไม่สามารถกระทำได้โดยตรง เนื่องจากเหตุผลดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ฉะนั้นจึงได้มีการนำเอาวิธีการบางอย่างเข้ามา เพื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของสัญญาณที่ได้จากแสง ให้เป็นสัญญาณทางด้านไฟฟ้า ซึ่งก็จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับวงจรทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ได้ต่อไป

ในหลักการการทำงานของเครื่องวัดระยะทางด้วยแสง ( Opticals Distance Meters ) จะใช้หลักการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงที่นำมาใช้งานในตัวเครื่องส่ง ให้มีความเข้มแสงมากน้อยเปลี่ยนแปลงตามขนาดของสัญญาณไฟฟ้าภายในตัวของเครื่องวัด ดังนั้น ในตัวเครื่องส่งจึงมีอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณคลื่นแสง และส่วนทางด้านเครื่องรับก็จะมีอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนสัญญาณคลื่นแสงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ดัง Block Diagrams ในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 หลักการทำงานขั้นพื้นฐานของเครื่องวัดระยะทางด้วยแสง  
(Opticals Distance Meters)

จาก Block Diagrams หลักการทำงานขั้นพื้นฐานของเครื่องวัด สามารถอธิบายการทำงานของส่วนประกอบต่างๆ ขั้นพื้นฐานของระบบได้ดังนี้

1. Electricals Signals คือ สัญญาณทางด้านไฟฟ้าภายในเครื่องวัดระยะทาง เป็นสัญญาณ sinewave ความถี่สูง
2. Electricals To Opticals CONVERTORS คือ ตัวเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าความถี่สูงภายในตัวส่งให้เป็นสัญญาณคลื่นแสง ซึ่งเป็นหลักการทำงานของตัวส่งภายในเครื่องวัด
3. Mediam คือ ตัวกลางที่คลื่นแสงใช้ในการเคลื่อนที่ ในที่นี้ คือ อากาศ
4. Opticals To Electricals Convertors คือ ตัวเปลี่ยนสัญญาณคลื่นแสงให้กลับไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งเป็นหลักการทำงานของตัวรับภายในเครื่องวัด
5. Receiver คือ วงจรทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้า จากตัวรับเพื่อนำเอาสัญญาณที่ได้รับไปทำการประมวลผล ภายในเครื่องวัด

สำหรับประโยชน์ที่ได้รับจากเครื่องวัดระยะทางด้วยแสง (Opticals Distance Meters) จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ ในการวัดระยะทางในงานต่างๆ ได้มากมาย อาทิ เช่น ใช้ในการวัดระยะทางในงานวิศวกรรมโยธา ระบบงานวัดภายในโรงงานอุตสาหกรรม ระบบการค้นหาเป้าหมายในงานทางด้านทหาร และงานทางด้านอื่นๆ อีกมากมาย ที่ยังมีได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้

หลักการและทฤษฎีการวัดระยะทางด้วยแสง

2.1 แสงและคุณสมบัติของแสง

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ที่มีความถี่อยู่ในย่านที่สูงกว่าความถี่วิทยุมาก ๆ จึงทำให้แสงมีคุณสมบัติและพฤติกรรมบางอย่างแตกต่างไปจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านอื่นๆ หลายประการ อาทิ เช่น คุณสมบัติในการสะท้อน (Reflection) การเบี่ยงเบนการหักเห (Refractions) ฯลฯ

แสงมีความเร็วในการเคลื่อนที่ประมาณ 299,792,458 m/sec ในการเดินทาง ในระบบสุญญากาศ และมีความถี่อยู่ในช่วง  $10^{14}$  -  $10^{16}$  Hz (เป็นย่านที่สายตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ด้วยตา) ซึ่งสามารถแสดงย่านความถี่ต่างๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 2.1

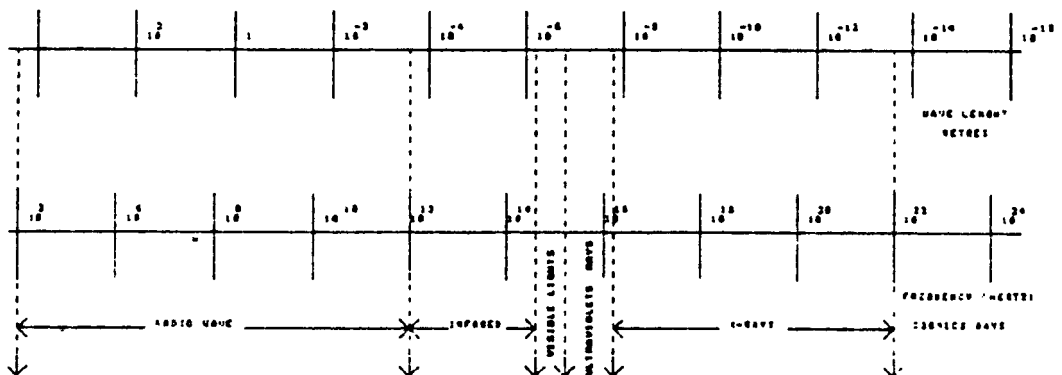


FIG 2.1 ELECTROMAG

รูปที่ 2.1 แสดงความถี่และความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านต่างๆ

## 2.2 แสงและวิธีการนำแสงมาประยุกต์ใช้ในเครื่องวัดระยะทางด้วยแสง

ในการวัดระยะทางด้วยแสงนั้น มีสมการที่จะวัดระยะทางได้โดยตรง โดยการวัดเวลาการเคลื่อนที่ของแสงระหว่างจุดวัด 2 จุด แล้วนำเอาเวลาที่ได้ออกมาคูณกับอัตราเร็วของแสงได้โดยตรง ดังสมการที่ 2.1 ข้างล่างนี้

$$\begin{aligned} \text{Distance} &= (\text{Time}) * (\text{Light Velocities}) && \text{สมการที่ 2.1} \\ \text{Distance} &= \text{ระยะทางที่ต้องการวัด (Metres)} \\ \text{Time} &= \text{เวลาที่แสงใช้ในการเคลื่อนที่ (sec)} \\ \text{Light Velocities} &= \text{อัตราเร็วของแสง (299,792,458 m/sec)} \end{aligned}$$

เนื่องด้วยขอบเขตการทำงานของวงจรรออิเล็กทรอนิกส์ และความแม่นยำของอุปกรณ์ในการสวิตซ์ในปัจจุบันไม่สามารถตอบสนองการทำงานในย่านความถี่แสงได้ (  $10^{14}$  -  $10^{16}$  Hz ) โดยตรง

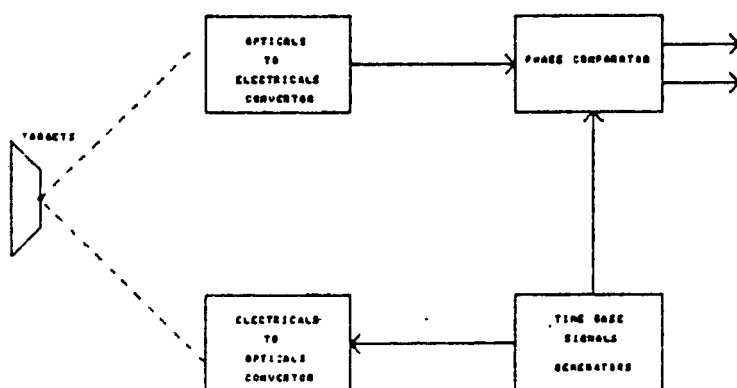
แต่เนื่องจากแสงมีจุดเด่นหลายประการ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในเครื่องวัดระยะทางได้ อาทิ เช่น คุณสมบัติในการเดินทางเป็นเส้นตรง คุณสมบัติในการสะท้อน มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่สูง ซึ่งคุณสมบัติเด่นของแสงเหล่านี้ เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในเครื่องวัดระยะทาง ก็จะทำให้เครื่องวัดมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้น และก่อกำกับจุดเด่นต่างๆเหล่านั้น ก็สามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับวงจรทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ได้

แม้ว่าจะไม่สามารถวัดระยะทางด้วยแสง ได้โดยทางตรงดังสมการ ที่ 2.1 ก็ตาม แต่ก็สามารถนำเอาคุณสมบัติของแสงมาทำการวัดระยะทางได้โดยวิธีการทางอ้อม

### 2.2.1 หลักการวัดระยะทางด้วยแสงโดยทางวิธีทางอ้อม

ในการวัดระยะทางด้วยแสงโดยวิธีการทางอ้อมนั้น จะใช้วิธีการวัดความต่างเฟสของสัญญาณ 2 สัญญาณ ที่กำเนิดมาจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน โดยสัญญาณทั้งสองเป็นสัญญาณที่มีคาบเวลาที่แน่นอน โดยจะกำหนดให้สัญญาณตัวแรก ( $s_1$ ) เป็นสัญญาณฐานเวลา ( Time Base Signals ) และเป็นสัญญาณที่อยู่ภายในตัวเครื่องวัด และสัญญาณอีกตัวหนึ่ง ( $s_2$ ) เป็นสัญญาณที่ถูกส่งออกไปนอกตัวเครื่อง โดยก่อนที่สัญญาณตัวที่สอง ( $s_2$ ) นี้ จะถูกส่งออกไป สัญญาณ  $s_2$  ก็จะถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณคลื่นแสงที่มีความเข้มแปรเปลี่ยนตามขนาดของสัญญาณ  $s_2$  เมื่อสัญญาณแสงถูกส่งไปกระทบกับเป้าหมายที่ต้องการวัด คลื่นแสงที่ถูกส่งออกไปก็จะมีส่วนหนึ่งสะท้อนกลับมายังเครื่องวัด หลังจากนั้นเครื่องวัดก็จะรับคลื่นแสงที่สะท้อนกลับมา แล้วสัญญาณคลื่นแสงก็จะถูกเปลี่ยนให้กลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าดังเดิมภายในเครื่องวัด ดังนั้น สัญญาณที่ถูกส่งออกไปนอก

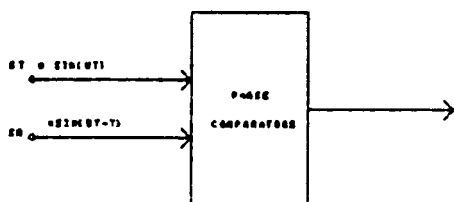
เครื่องวัด จะต้องใช้เวลาในการเดินทางไปและกลับระหว่างเครื่องวัดและเป้าหมายที่ต้องการวัด ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สัญญาณ  $s_2$  จะล่าหลังสัญญาณ  $s_1$  อยู่ในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งจะมากหรือน้อยก็จะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างเป้าหมายและเครื่องวัด และเมื่อนำสัญญาณทั้งสองมาเปรียบเทียบเฟสกันภายในตัวเครื่องวัดด้วยวงจรเปรียบเทียบเฟส สัญญาณ  $s_2$  ก็จะล่าหลังสัญญาณ  $s_1$  เป็นมุมเฟสค่าๆ หนึ่ง



F1422.001

รูปที่ 2.2 หลักการวัดระยะทางด้วยแสงโดยวิธีทางอ้อม

ในรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าสัญญาณรายคาบ ( Periodic Signals ) ที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นสัญญาณภายในเครื่องวัด คือ สัญญาณ Sine Wave เพราะสัญญาณ Sine Wave เป็นสัญญาณที่เป็นสัญญาณพื้นฐานของสัญญาณอื่นๆ ที่อยู่ในรูป Harmonics ต่างๆ และเป็นสัญญาณที่ไม่มีความซับซ้อนเหมือนกับสัญญาณรายคาบรูปอื่นๆ และเมื่อนำไปเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณแสง ก็จะสามารถส่งออกไปและรับเข้ามาได้โดยไม่เกิดความผิดเพี้ยนเหมือนสัญญาณรูปอื่นๆ ที่ไม่ใช่สัญญาณ Sine Wave



### รูปที่ 2.3 แสดงการวัดความต่างเฟสของสัญญาณ $s_1$ และ $s_2$

จากรูปที่ 2.3 สมมติว่าสัญญาณที่ใช้วัดเป็นสัญญาณฐานเวลา ( $s_1$ ) ที่มีค่าเป็น  $\sin(\omega t - \phi)$  และถูกส่งออกไปจากเครื่องวัดในรูปของสัญญาณ  $s_2$  ไปยังเป้าหมายที่ต้องการ โดยที่  $\phi = \omega t_0$  หลังจากนั้น เมื่อเวลาผ่านไป  $t_0$  วินาที สัญญาณ  $s_2$  ที่ถูกส่งออกไปก็จะเดินทางกลับมายังเครื่องวัด ในเวลาเดียวกัน สัญญาณ  $s_1$  ที่อยู่ภายในตัวเครื่อง จะมีค่าเป็น  $\sin(\omega t - \phi + \phi) = \sin(\omega t)$  ซึ่งแสดงว่าเฟสของสัญญาณที่ถูกส่งออกไปนั้น จะตามหลัง (Lagging) สัญญาณ  $s_1$  ซึ่งเป็นสัญญาณฐานเวลาอยู่เป็นมุม  $\phi$  หรือล่าหลัง

อยู่เป็นเวลา  $t_0$  ซึ่งมุม  $\phi < 2\pi$  Radian ซึ่งมุมเฟสความแตกต่างของสัญญาณทั้งสองนั้น ก็คือเวลาที่สัญญาณ  $s_2$  ใช้ในการเดินทางไปและกลับ ซึ่งเป็น 2 เท่าของเวลาที่แสงใช้ในการเดินทางจากเครื่องวัดไปยังเป้าหมายที่ต้องการวัดนั่นเอง

ดังนั้น ถ้ารู้ค่าอัตราเร็วของคลื่นแสง และรู้ค่าความถี่ของสัญญาณฐานเวลาภายในเครื่อง ก็จะสามารถนำเอามุมเฟสของสัญญาณทั้งสองที่วัดได้ต่างกัน มาคำนวณหาระยะทางได้ โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรต่างๆ ดังสมการที่ 2.2, สมการที่ 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ

$$V = \frac{S}{t_0} \quad \text{สมการที่ 2.2}$$

$$F_{\omega} = \frac{V}{L} \quad \text{สมการที่ 2.3}$$

$$\phi = w * t_0 \quad \text{สมการที่ 2.4}$$

และ  $t_0 = \phi / w$

จากสมการที่ 2.2, 2.3 และ 2.4 จะได้ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ในสมการทั้งสาม ดังนี้

$$\begin{aligned} S &= V * t_0 \\ &= V * (\phi / w) \\ &= V * (\phi / 2\pi F_{\omega}) \\ &= (V / F_{\omega}) * (\phi / 2\pi) \end{aligned}$$

ดังนั้น  $S = (L * \phi) / 2\pi$

- เมื่อกำหนดให้
- S = ระยะทางที่ต้องการวัด ( Metres )
  - L = ความยาวคลื่นของสัญญาณฐานเวลาภายในเครื่อง ( Metres )
  - $t_0$  = เวลาที่สัญญาณใช้ในการเดินทางไปกลับ ( sec )
  - w = ความถี่เชิงมุมของสัญญาณฐานเวลาภายในตัวเครื่อง ( Radian/sec )
  - $\phi$  = มุมเฟสที่ต่างกันของสัญญาณทั้งสอง ( Radian )
  - V = อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของแสง ( Metres/sec )
  - $F_{\omega}$  = ความถี่ของสัญญาณฐานเวลาภายในเครื่อง

จากความสัมพันธ์ต่างๆ จะเห็นได้ว่าค่า  $t_0$  เป็นเวลาที่สัญญาณใช้ในการเดินทางไปและกลับระหว่างเครื่องวัดกับเป้าหมายที่ต้องการวัด ดังนั้น เวลาที่สัญญาณใช้ในการเคลื่อนที่จากเครื่องวัดไปยังเป้าหมายจริงก็จะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของเวลา  $t_0$  เพราะฉะนั้น ระยะทางที่วัดได้จริง จึงควรมีค่าดังสมการที่ 2.5

$$\text{ดังนั้น } s = (L * \phi) / 4\pi \quad \text{สมการที่ 2.5}$$

จากสมการที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า ระยะทางที่วัดได้ จะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของระยะทางในสมการที่ 2.4 และจากสมการคำนวณหาค่าระยะทางทั้งสอง จะเห็นว่า ไม่ได้มีส่วนที่เกี่ยวข้องกับปริมาณแสงที่นำมาใช้ภายในเครื่องมือวัดเลย แต่จะเกี่ยวข้องกับค่าตัวแปรต่างๆที่ขึ้นอยู่กับสัญญาณฐานเวลาและค่าคงที่เท่านั้น จึงนับได้ว่าเป็นหลักการวัดระยะทางด้วยแสงโดยวิธีการทางอ้อม

เนื่องจากค่ามุม  $\phi$  จะมีค่าอยู่ระหว่าง  $0-2\pi$  ทำให้ระยะทางที่วัดได้ มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง L เมตร แต่เนื่องจากระยะทางที่วัดได้ เป็นระยะทางที่แสงใช้ในการเดินทางไปกลับ ดังนั้น ระยะทางที่วัดได้จึงมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง  $L/4$  ซึ่งเป็นย่านการวัดที่วัดได้สูงสุดและแม่นยำที่สุด เมื่อใช้สัญญาณฐานเวลาภายในตัวเครื่องมีความยาวคลื่น L ดังนั้น เมื่อความยาวคลื่นของสัญญาณฐานเวลาภายในตัวเครื่องเปลี่ยนแปลงไป ย่านในการวัดของเครื่องก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย อย่างเช่น ถ้าสัญญาณฐานเวลาที่ใช้ภายในตัวเครื่อง มีความถี่ 14.96 MHz ซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 20 เมตร จึงทำให้ย่านวัดได้สูงสุดมาค่าเป็น  $L/4$

ดังนั้น ระยะทางที่วัดได้สูงสุดเมื่อใช้ความถี่สัญญาณฐานเวลา 14.96MHz จึงมีค่าเป็น

$$\begin{aligned} L/2 &= 20 \text{ m} / 4 \\ &= 5 \text{ m} \end{aligned}$$

ถ้าหากระยะทางที่วัดได้เกิน 10 เมตร จะทำให้ความต่างเฟสของสัญญาณมีค่าเกิน  $\pi$  และถ้าหากระยะทางที่วัดเกิน 20 เมตร ก็จะทำให้ความต่างเฟสของสัญญาณเกิน  $2\pi$  ซึ่งผลของการวัด จะมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ในความเป็นจริงแล้วความแม่นยำและประสิทธิภาพของเครื่องวัดยังจะขึ้น อยู่กับปัจจัยอื่นๆ อีกหลายตัวแปร อาทิ เช่น กำลังส่งของตัวส่ง ความถี่ของสัญญาณ CLOCK ฯลฯ ซึ่งจะกล่าวถึงในช่วงต่อไป

ดังนั้น ในการนำเอาหลักการวัดระยะทางโดยแสงด้วยวิธีการทางอ้อมไปใช้ จะต้องคำนึงถึงระยะทางที่วัดและความถี่ที่จะนำไปใช้ภายในตัวเครื่อง ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่จะใช้และย่านระยะทางที่จะต้องการจะวัดสูงสุด ได้จากสมการที่ 2.6



F

=

สมการที่ 2.6

เมื่อ

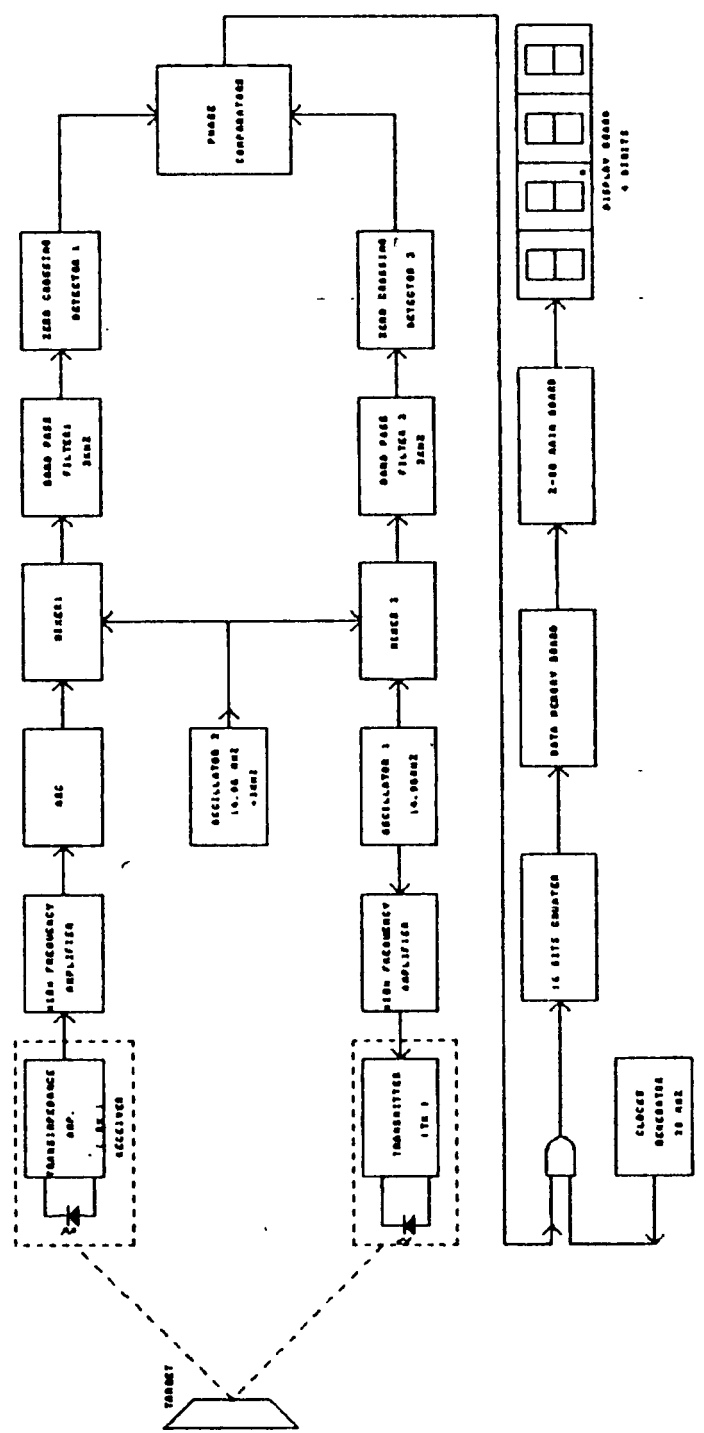
F = ความถี่ของสัญญาณฐานเวลาที่ใช้ภายในเครื่อง (Hz)

V = อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (m/sec)

S = ย่านที่ต้องการใช้วัด (Metres)

### 2.3 หลักการทำงานของเครื่องวัดระยะทางด้วยแสง

จาก Block Diagrams การทำงานของเครื่องวัดระยะทางด้วยแสง ดังรูปที่ 2.4 สามารถอธิบายหลักการทำงานของเครื่องวัดได้ดังนี้



BLK-210000A-AC-010100-010000-000000

รูปที่ 2.4 Block Diagrams เครื่องวัดระยะทางด้วยแสง

ภาค Oscillators 1 จะผลิตสัญญาณ Sine Wave ความถี่ 14.96 MHz เป็นสัญญาณฐานเวลาภายในตัวเครื่องและส่วนหนึ่งจะเป็นสัญญาณที่ถูกส่งออกไปนอกเครื่องวัด แต่ก่อนที่สัญญาณฐานเวลา 14.96MHz ภายในตัวเครื่องจะถูกส่งไปนี้ สัญญาณ 14.96 MHz จะถูกขยายให้มีขนาดสูงขึ้น ด้วยภาคขยายสัญญาณความถี่สูง(Hight Frequency AMP.) หลังจากนั้นสัญญาณที่ถูกขยายแล้ว จะถูกส่งไปยังภาคตัวส่ง(Transmitter) ตัวส่งก็จะทำการเปลี่ยนสัญญาณความถี่ 14.96 MHz ซึ่งเป็นสัญญาณไฟฟ้าให้กลายเป็นสัญญาณคลื่นแสงเลเซอร์ โดยการมอดูเลตกับแสงเลเซอร์ในภาคส่ง โดยอาศัยตัวเลเซอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์หลัก ในการให้กำเนิดแสงเลเซอร์ สัญญาณคลื่นแสงที่ได้หลังการมอดูเลตในภาคส่ง จะมีขนาดความเข้มของแสงมากน้อยตามขนาดของสัญญาณไฟฟ้า 14.96 MHz ที่นำมามอดูเลต แล้วหลังจากนั้น สัญญาณคลื่นแสงเลเซอร์ก็จะถูกส่งออกไปจากภาคตัวส่ง ไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการจะวัดระยะทางและเมื่อลำแสงเลเซอร์จากภาคตัวส่งไปกระทบกับเป้าหมาย สัญญาณคลื่นแสงที่ถูกส่งออกไปก็จะสะท้อนกลับมาจากเป้าหมายที่ต้องการวัด ด้วยคุณสมบัติการสะท้อนของแสง สัญญาณแสงที่สะท้อนกลับมาก็จะถูกตีเทค(Detected)โดยภาคตัวรับ(Receveir) โดยอาศัย PIN Diode เป็นอุปกรณ์หลักในการตีเทคสัญญาณแสงเลเซอร์

ภาครับก็จะทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณความเข้มของแสงเลเซอร์ที่ตีเทคเข้ามา ให้กลายเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยอาศัยวงจรทรานอิมพีแดนซ์(Transimpedance) ที่อยู่ภายในภาครับเป็นตัวเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าที่ได้จาก PIN Diode ให้เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าความถี่ 14.96 MHz ซึ่งสัญญาณที่ได้ก็จะถูกขยายด้วยภาคขยายความถี่สูง( Hight Frequency Amp.)ให้มีขนาดสูงขึ้น หลังจากนั้น สัญญาณที่ได้รับการขยายแล้วก็จะถูกส่งไปยังภาค AGC ( Automatics Gain Controls ) เพื่อควบคุมขนาดของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าคงที่

หลังจากนั้น สัญญาณที่ผ่านการควบคุมจากภาค AGC ก็จะถูกส่งไปมิกส์(Mixed) กับสัญญาณจากภาค Oscillators 2 ที่อยู่ภายในเครื่องวัด โดยภาค Oscillators 2 จะทำการผลิตสัญญาณ Sine Wave ที่มีความถี่แตกต่างจาก Oscillators 1 อยู่ 2KHz ดังใน Block Diagrams รูปที่ 2.4 เนื่องจากสัญญาณ 14.96 MHz ที่รับเข้ามาจากภาครับและสัญญาณฐานเวลาภายในตัวเครื่องวัด เป็นความถี่ที่มีค่าสูงมาก ซึ่งยากต่อการนำเอาไปใช้งาน ดังนั้น จึงต้องแปลงสัญญาณความถี่ 14.96 MHz ให้เป็นสัญญาณที่มีค่าความถี่ต่ำลง ด้วยหลักการ Heterodine สัญญาณความถี่ 14.96 MHz จากภาค AGC จะถูกนำมามิกส์กับสัญญาณ 14.96MHz+2KHz จาก Oscillators 2 ที่ Mixer1 และสัญญาณจาก Oscillators 1 ก็จะถูกนำไปมิกส์กับสัญญาณจาก Oscillators 2 ที่ Mixer2 ผลจากการมิกส์สัญญาณในภาค Mixer1 และในภาค Mixer2 ซึ่งจะทำให้เกิดสัญญาณความถี่ผลรวมความถี่ผลต่างและความถี่ขึ้นพื้นฐานที่นำมามิกส์กัน

ที่ O/P ของภาคมิกเซอร์ทั้งสอง แต่เนื่องจากสัญญาณความถี่ผลรวมและสัญญาณความถี่เดิมของ Oscillators 2 และ Oscillators 1 ยังเป็นสัญญาณที่มีความถี่สูงมากอยู่ จึงตัดสัญญาณทั้ง 3 ดังกล่าวทิ้งไป โดยการกรองเอาเฉพาะสัญญาณความถี่ผลต่าง 2KHz ซึ่งเป็นสัญญาณความถี่ต่ำและง่ายต่อการนำเอาไปใช้งาน การกรองสัญญาณความถี่ผลต่าง 2KHz จะกระทำโดยภาค Band Pass Filters 1 และ 2 หลังจากนั้นสัญญาณ 2KHz จากภาค Band Pass Filters 1 และ 2 จะถูกส่งไปยังภาค Zero Crossing Detector 1 และ 2 ดังรูปที่ 2.4 เพื่อทำการเปลี่ยนสัญญาณ Sine Wave 2KHz ให้กลายเป็นสัญญาณ Square Wave 2KHz เนื่องจากเครื่องวัดระยะทางด้วยแสงนี้ จะต้องนำสัญญาณที่รับมาได้ไปทำการประมวลผลการวัดด้วยระบบดิจิทัล ดังนั้น สัญญาณคลื่นในรูป Sine Wave จึงเป็นสัญญาณที่ไม่เหมาะสมในการประมวลผลด้วยระบบดิจิทัล จึงต้องทำการแปลงสัญญาณ Sine Wave ให้กลายเป็นสัญญาณ Square Wave เสียก่อน หลังจากนั้น สัญญาณ Square Wave ที่ได้จากภาค Zero Crossing Detectors 1 และ 2 จะถูกส่งไปยังภาค Phase Comparators เพื่อทำการเปรียบเทียบเฟสระหว่างสัญญาณทั้งสอง ผลจากการเปรียบเทียบเฟสในภาค Phase Comparators ก็จะได้สัญญาณความต่างเฟสของสัญญาณที่นำไปเปรียบเทียบกัน ทั้ง 2 สัญญาณความต่างเฟสที่ได้จะเป็นสัญญาณพัลส์ (Pulse) เรียกว่าสัญญาณพัลส์ความต่างเฟส ซึ่งความกว้างของสัญญาณพัลส์ความต่างเฟสนี้ จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่สัญญาณแสงใช้ในการเคลื่อนที่ระหว่างเครื่องวัดและเป้าหมายที่ต้องการวัด (ซึ่งก็คือระยะทางนั่นเอง)

แต่เนื่องจากสัญญาณความต่างเฟสที่ได้นี้ ไม่สามารถที่จะนำเอาไปประมวลผลเป็นระยะทางได้โดยตรง จึงต้องทำการแปลงสัญญาณพัลส์ความต่างเฟสที่ได้ให้อยู่ในรูปของจำนวนสัญญาณ Clock เสียก่อน โดยการนำเอาสัญญาณพัลส์ความต่างเฟสไปเปิดเกต (Gate) ให้กับสัญญาณ Clock ขนาด 20MHz โดยภาค And Gate ดังรูปในรูปที่ 2.4 ดังนั้น จำนวน Clock ที่ได้จาก O/P ของภาค And Gate ก็จะมีจำนวนมากขึ้นอยู่กับ ความกว้างของสัญญาณพัลส์ความต่างเฟส สัญญาณ Clock ที่ได้รับเนื่องจากการเปิดเกต ก็จะถูกส่งไปยังวงจรภาคเคาเตอร์ขนาด 16 บิต (16 Bits Counter) เพื่อทำการนับจำนวน Clock ที่ได้ สัญญาณ O/P ที่นับได้จากวงจรเคาเตอร์ 16 บิต ก็จะถูกส่งเข้าไปเก็บไว้ในหน่วยความจำภายในเครื่องวัด ซึ่งเป็นหน่วยความจำชั่วคราวขนาด 16 บิต มีขนาด 2048 ตำแหน่ง

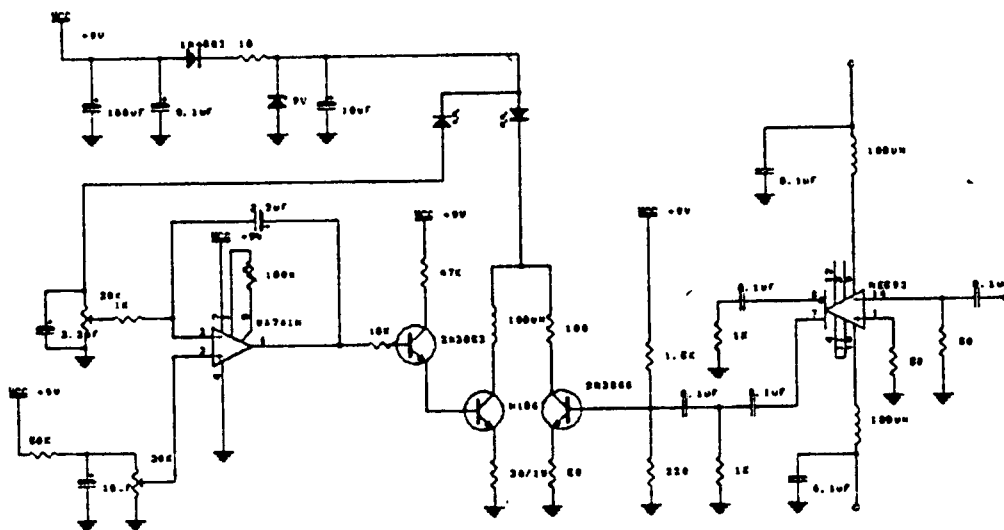
เมื่อหน่วยความจำชั่วคราวภายในเครื่องวัดทำการเก็บข้อมูลที่ได้จากเคาเตอร์ 16 บิตครบ 2048 ตำแหน่งแล้ว Z-80 Main Boards ก็ทำการดึงข้อมูลจากหน่วยความจำชั่วคราว ที่ละ 10 ตำแหน่ง แล้วนำเอาค่าข้อมูลที่ได้ออกมาทำการประมวลผลตามโปรแกรมที่อยู่ภายในเครื่อง เมื่อ Z-80 Main Boards ทำการประมวลผลเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็จะส่งผลการประมวลผลไปให้กับภาคแสดงผล เพื่อแสดงผลออกมาเป็นจำนวนระยะทางที่วัดได้ต่อไป

### บทที่ 3

#### การออกแบบวงจรและการทำงานของวงจร

จากหลักการการทำงานซึ่งได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 2 ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบวงจรในภาคต่างๆ ที่ใช้ภายในเครื่องวัดระยะทางด้วยแสง (Optical Distance Meters) นี้ โดยมีรายละเอียดแบ่งเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้

##### 3.1 วงจรส่งสัญญาณ (Transmitter)



รูปที่ 3.1 วงจรส่งสัญญาณแสงเลเซอร์

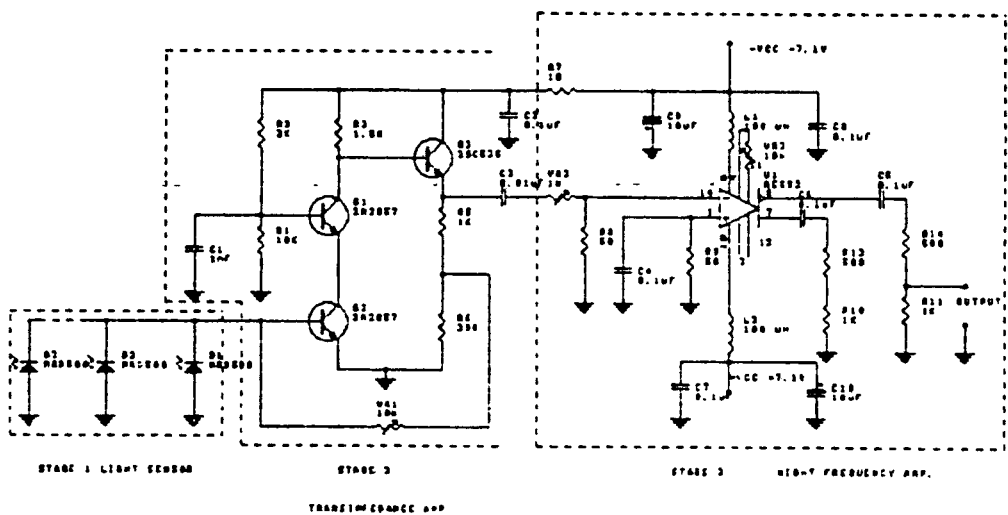
เนื่องจากเครื่องวัดระยะทางด้วยแสง มีความจำเป็นที่จะต้องอาศัยแหล่งกำเนิดแสงที่มี

ความเข้มสูง และเป็นแหล่งกำเนิดที่มีความแน่นอนสูงไม่แผ่กระจายเป็นมุมกว้าง เมื่อส่งไปในระยะทางไกลๆ แสงที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้งานมากที่สุด คือ แสงเลเซอร์ ในการออกแบบวงจรในภาคส่งนี้จึงต้องอาศัย Laser Diode มาเป็นแหล่งกำเนิดแสง จากวงจรในรูปที่ 3.1 กระแสที่ใช้ขับตัว Laser Diode จะได้มาจากวงจร Darlington ที่ต้องใช้วงจรนี้เป็นตัวขับก็เพราะว่าตัว Laser Diode ต้องการความหนาแน่นที่รอยต่อสูงถึงระดับที่ให้กำเนิดแสงเลเซอร์ออกมาได้

นอกจากนั้นในการจ่ายกระแสให้กับตัว Laser Diode ยังจะต้องถูกควบคุมด้วยวงจร Opamp เพื่อให้ได้ขนาดของกระแสตามที่ต้องการและมีค่าคงที่มากที่สุด ส่วนความเข้มของแสงเลเซอร์ที่ส่งออกมาจะถูกดีเทค ( Detected ) โดยตัวโฟโตไดโอด สัญญาณความเข้มที่ดีเทคได้จะถูกส่งไปยังวงจร Opamp เพื่อทำการควบคุมปริมาณกระแสที่จ่ายให้กับตัว Laser Diode ให้มีค่าเหมาะสมกับขนาดความเข้มของแสง และจะเป็นการป้องกันมิให้เกิดความร้อนขึ้นที่รอยต่อ ( Junction ) สูงมากเกินไป ซึ่งอาจจะทำให้ตัว Laser Diode ได้รับความเสียหายเนื่องจากความร้อนที่เพิ่มขึ้นได้ วงจรนี้สามารถใช้ได้กับสัญญาณอนาล็อกตั้งแต่ 50KHz - 50MHz .

อย่างไรก็ตามเพื่อให้วงจร Modulate สัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ วงจรนี้ต้องการไฟเลี้ยงที่มีขนาดคงที่และมีเสถียรภาพ (Stabilitie) สูงมาก ดังนั้น จึงต้องใส่ตัว Zener Diode เพื่อควบคุมขนาดของแหล่งจ่ายให้มีค่าคงที่ และ Diode เพื่อป้องกันการจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงผิดขั้ว

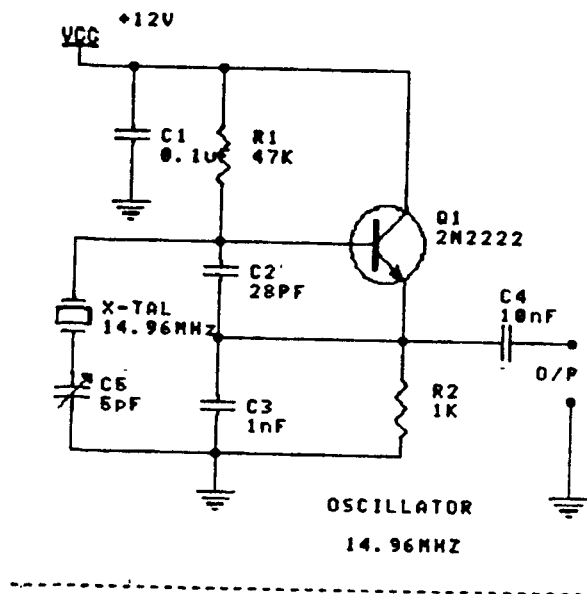
**3.2 วงจรรับสัญญาณ ( Receiver )**



รูปที่ 3.2 วงจรรับสัญญาณ ( Receiver )

จากรูปที่ 3.2 เป็นวงจรรับสัญญาณ (Receiver) จากรูป PIN Diode MRD500 จะทำหน้าที่เป็นตัวดีเทค (Detected) สัญญาณแสงเลเซอร์ที่รับเข้ามา ให้กลายเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า ที่มีขนาดแปรตามความเข้มของสัญญาณแสงเลเซอร์ หลังจากนั้นสัญญาณกระแสที่ได้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า โดยวงจรขยายสัญญาณแบบทรานส์อิมพีแดนซ์ (Transimpedance Amp.) โดยมีทรานซิสเตอร์  $Q_1$ ,  $Q_2$  และ  $Q_3$  เป็นอุปกรณ์หลักในการทำงาน จากรูปที่ 3.2 สัญญาณที่ถูกขยายจาก  $Q_3$  จะถูกป้อนกลับไปยังขาเบส (Base) ของ  $Q_1$  โดยผ่านทางตัวความต้านทานปรับค่าได้ 10K เพื่อควบคุมให้วงจรมีความไวในต่อสัญญาณมากยิ่งขึ้น จากการวัดค่าวงจรขยายแบบทรานส์อิมพีแดนซ์ (Transimpedance Amp.) มีค่าประมาณ 12K และขนาดของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นมีขนาดต่ำกว่า 16.7nA และมีแบนด์วิดท์ (Band Width) ของวงจรมากกว่า 15MHz สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากวงจรขยายแบบทรานส์อิมพีแดนซ์จะถูกขยายด้วยวงจรขยายสัญญาณความถี่สูง (High Frequency Amp.) อีก 10 เท่า โดยใช้ IC Video Amp. เบอร์ NE 592 ซึ่งทำให้ขนาดของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้สูงขึ้น

### 3.3 วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator)

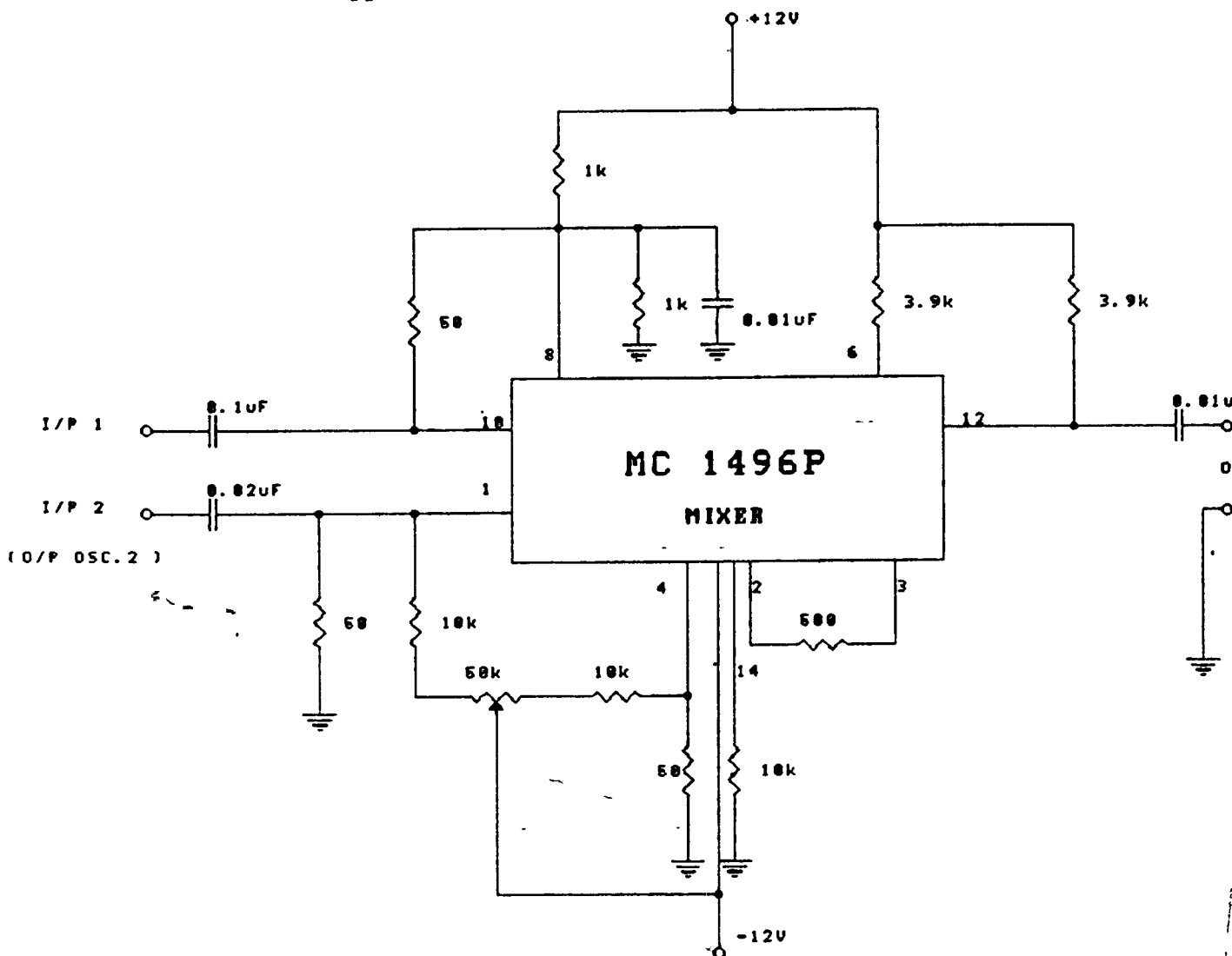


รูปที่ 3.3 วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillators Circuit)

วงจร Oscillators ภายในเครื่องวัดจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ชุด คือ Oscillators 1 และ 2 โดยที่วงจร Oscillators 1 จะผลิตสัญญาณ Sine Wave ความถี่ 14.96 MHz ส่วนวงจร Oscillators 2 จะผลิตสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าสัญญาณ 14.96 MHz อยู่ 2 KHz โดยการปรับค่าตัวเก็บประจุปรับค่าได้ที่ตั้งอยู่ในวงจรดังรูปที่ 3.3

จากวงจร Oscillators 1 และ 2 เป็นวงจร Colpitt Oscillator โดยใช้คริสตัล (Crystal) ความถี่ 14.96 MHz เป็นตัวผลิตและควบคุมความถี่ในวงจร ซึ่งความถี่ที่ได้จากวงจรจะมีความเที่ยงตรงสูงมาก จากวงจรจะใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N222A ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ความถี่สูง ทำหน้าที่เป็นตัวขยายสัญญาณออสซิลเลตที่เกิดขึ้น ส่วนตัวเก็บประจุปรับค่าได้จะทำหน้าที่ปรับค่าความถี่ที่เกิดขึ้นให้มีค่าใกล้เคียง 14.96 MHz วงจรนี้จะใช้แหล่งจ่ายขนาด 12 โวลต์และให้เอาท์พุทสัญญาณที่ออสซิลเลตขนาด 35mV

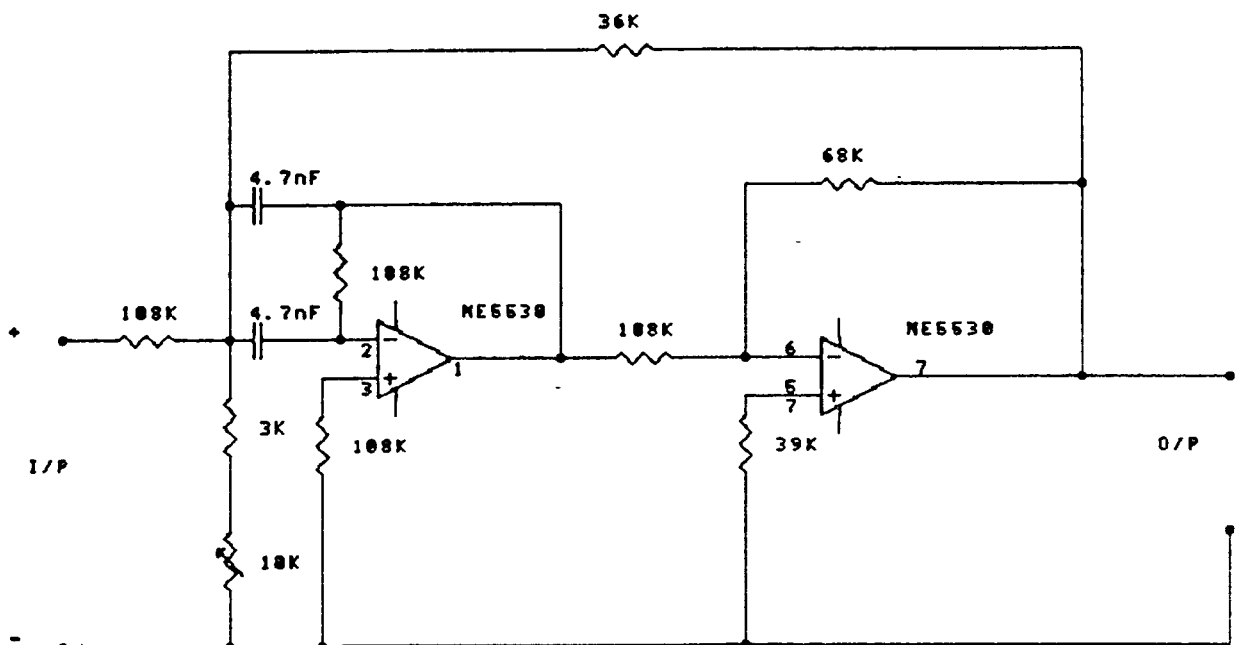
3.4 วงจรผสมสัญญาณ (Mixer Circuit)



รูปที่ 3.4 วงจรผสมสัญญาณ (Mixer Circuit)

วงจรมิกเซอร์ (Mixer Circuit) เป็นวงจรที่มีความสำคัญต่อการทำงานของเครื่องวัดระยะทางด้วยแสงอินฟราเรดหนึ่ง วงจรมิกเซอร์จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณความถี่สูง (14.96 MHz) ให้เป็นสัญญาณความถี่ต่ำ (2KHz) โดยอาศัยหลักการ Heterodine ภายในเครื่องวัดระยะทางจะมีวงจรมิกเซอร์อยู่ 2 ชุด คือ Mixer1 และ 2 จากรูปที่ 3.4 เป็นวงจรมิกเซอร์ที่ใช้ IC Balance Modulators เบอร์ MC1496 ซึ่งเป็นวงจรคูณสัญญาณ (Multiplier) มาใช้เป็นอุปกรณ์หลัก จากรูปสัญญาณจาก Oscillator 2 จะถูกต่อเข้ากับขา 1 ของ IC โดยผ่านทางตัวเก็บประจุ 0.02 $\mu$ F ซึ่งเปรียบเสมือนสัญญาณ Carrier ของเครื่องรับวิทยุ ส่วนสัญญาณจาก Oscillator 1 ก็จะถูกต่อกับขา 10 ของ IC โดยผ่านทางตัวเก็บประจุขนาด 0.1 $\mu$ F ซึ่งเปรียบเสมือนสัญญาณมอดูเลตในเครื่องรับวิทยุ นั่นเอง ส่วนความต้านทานปรับค่าได้ 50K จะเป็นตัวปรับเพื่อขจัดสัญญาณ (Suppress Carrier) จาก Oscillator 2 ให้มีค่าออกทางด้านเอาต์พุตน้อยที่สุด ส่วนความต้านทานค่า 500 โอห์ม ก็ต่อคร่อมอยู่ระหว่างขา 2 และ 3 ของ IC จะทำหน้าที่ควบคุมอัตราขยายของวงจร วงจร Mixer 1 และ 2 ต้องการแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงขวงลบ 12 โวลต์

3.5 วงจรแบนพาสฟิลเตอร์ ( Band Pass Filter )



รูปที่ 3.5 วงจรแบนพาสฟิลเตอร์ ( Band Pass Filter Circuit )

วงจรแบบพาสฟิลเตอร์ ในรูปที่ 3.5 นี้เป็นวงจร Second Order Positive Feedback Band Pass Filter ที่ให้ค่า Q ของวงจรค่อนข้างสูงมาก โดยที่สามารถทำให้ค่า Q ของวงจรสูงขึ้นได้จนถึง 50 ในวงจรนี้จะใช้ Opamp 2 ตัว และมีการ Feedback ผ่านความต้านทาน 36K ในลักษณะ Positive Feedback กลับมายังทางอินพุท

ซึ่งวงจรแบบพาสฟิลเตอร์นี้จะมี Transfer Function ของวงจร คือ

$$H(s) = V_2(s)/V_1(s) = \frac{Ks}{s^2 + Bs + \omega_0^2}$$

$$K = R_4 / (R_1)^2 C$$

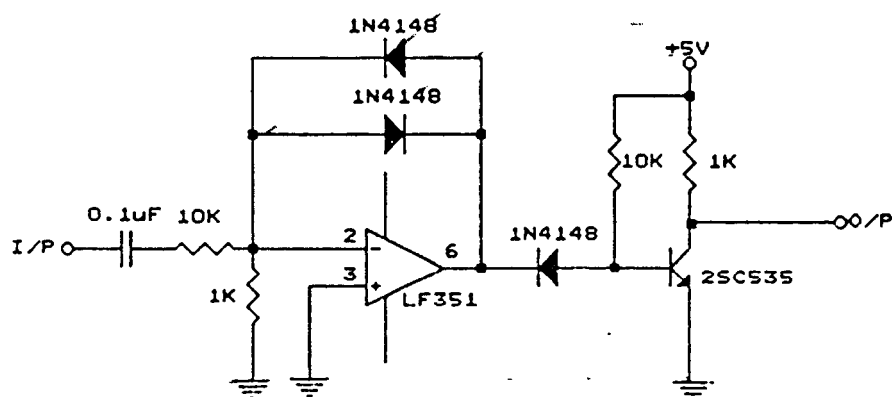
$$B = (1/R_1 C) \cdot (2 - R_4/R_2)$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{R_1 C^2} \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

1/2

ซึ่งจะได้ความถี่คัทออฟ  $F_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{R_1 C^2} \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$

### 3.6 วงจร Zero Crossing Detector

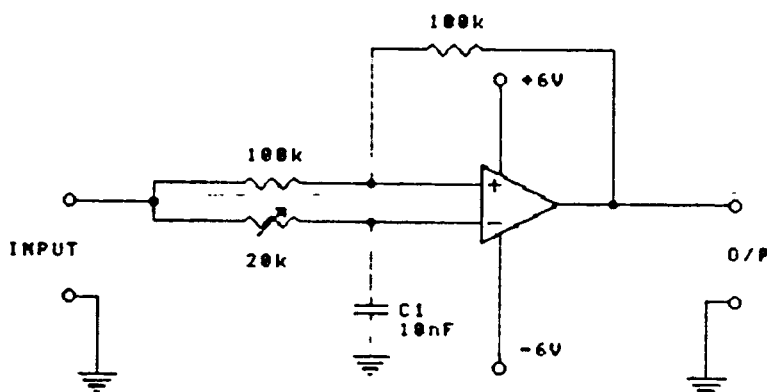


รูปที่ 3.6 วงจร Zero Crossing Detector

วงจร Zero Crossing Detector ภายใต้เครื่องวัดระยะทางด้วยแสง จะทำการแปลงสัญญาณรูปคลื่น Sine Wave ให้เป็นสัญญาณ Square Wave ที่มีความถี่เท่าเดิม โดยวงจรจะทำการตีเทค(Detected) เมื่อระดับสัญญาณ Sine Wave มีค่าเท่ากับศูนย์ เอาท์พุทของวงจรก็จะมีค่าเท่ากับศูนย์โวลต์เช่นกัน เมื่อสัญญาณ Sine Wave มีค่าสูงกว่าระดับศูนย์โวลต์เพียงเล็กน้อย สัญญาณทางด้านเอาท์พุทของวงจรก็จะมีค่าเป็น High และในทางตรงกันข้ามเมื่อระดับสัญญาณตกลงมาที่ระดับศูนย์อีกครั้ง ระดับสัญญาณที่ออกทางเอาท์พุทจะมีค่าเป็น Low จากวงจรในรูปที่ 3.6 จะเห็นว่าวงจรจะใช้ Opamp เบอร์ LF 351 และ Diode เบอร์ 1N4148 เป็นตัวตีเทคสัญญาณ และมีทรานซิสเตอร์เบอร์ 2SC535 จะทำหน้าที่เป็นตัวสวิทช์ On-Off วงจร Zero Crossing Detector นี้จะใช้แรงดันไฟเลี้ยง 5 โวลต์ เพื่อให้มีค่าใกล้เคียงกับระดับสัญญาณดิจิทัล

### 3.7 วงจร Phase Shifter

วงจร Phase Shifter เป็นวงจรที่นำมาใช้ในเครื่องวัดระยะทางด้วยแสง เพื่อทำการปรับค่า Delay ของสัญญาณที่ผ่านไปในอุปกรณ์ภาคต่างๆ เนื่องจากวงจรภาคต่างๆจะมีค่า Delay Time เกิดขึ้น เมื่อป้อนสัญญาณเข้าไปในวงจรภาคต่างๆ สัญญาณที่ป้อนเข้าไปจะถูกหน่วงเวลาเอาไว้ด้วยค่าๆหนึ่ง ซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดได้ ดังนั้น ก่อนที่จะนำเอาเครื่องวัดไปใช้งานจึงควรจะมีการปรับเซ็ทค่าการวัดให้มีค่าเป็นศูนย์และค่าที่ถูกต้องเสียก่อน



PHASE SHIFTER

รูปที่ 3.7 วงจร Phase Shifter

จากวงจร phase Shifter ดังรูปที่ 3.7 เป็นวงจรแบบ First Order ซึ่งวงจรจะมี Transfer Function เป็นดังสมการข้างล่างนี้ คือ

$$T(s) = \frac{1 - sCR}{1 + sCR}$$

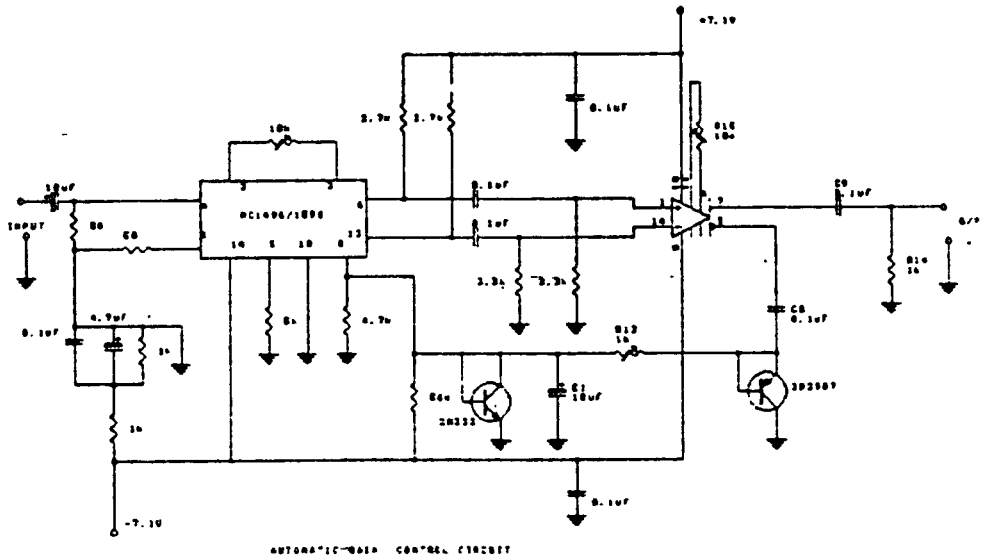
$$|T(s)| = \frac{(1 + (wCR)^2)^{1/2}}{(1 + (wCR)^2)^{1/2}} = 1$$

$$\phi(w) = \tan(-wRC) - \tan(wRC)$$

$$\phi(w) = -2\tan(wRC)$$

ดังนั้น จากสมการข้างบนจะพบว่า วงจร phase Shifter จะไม่มีผลต่อขนาดของสัญญาณแต่จะมีผลต่อเฟสของสัญญาณ ซึ่งจะเห็นว่าเฟสของสัญญาณจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตาม Function ของค่า R C และความถี่ ดังนั้นการปรับค่า R จะมีผลทำให้เฟสของสัญญาณเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0-180 องศา

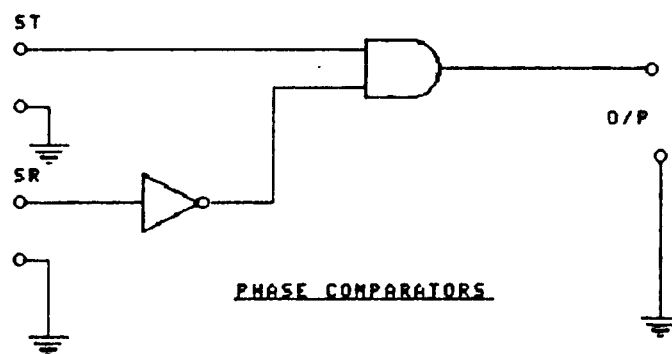
3.8 วงจร Automatic Gain Control (AGC)



รูปที่ 3.8 วงจร Automatic Gain Control (AGC)

### 3.10 วงจร Phase Comparators

วงจร Phase Comparator นี้จะทำหน้าที่เปรียบเทียบเฟสของสัญญาณภายในเครื่องวัดกับสัญญาณที่เครื่องรับเข้ามา เพื่อหาค่าความต่างเฟสของสัญญาณทั้งสอง หลังจากเมื่อได้สัญญาณความต่างเฟสออกมาแล้ว สัญญาณก็ถูกส่งไปประมวลผลอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 3.10 วงจร Phase Comparator

จากรูปที่ 3.10 เป็นวงจร Phase Comparator ที่มีอุปกรณ์ And และ Not เป็นอุปกรณ์หลักในการทำงาน ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นวงจรทางด้านดิจิตอลและสามารถเขียนฟังก์ชันการทำงานได้ดังฟังก์ชันการทำงานข้างล่างนี้

$$\text{Diff. Pulse} = S_1 \cdot S_2$$

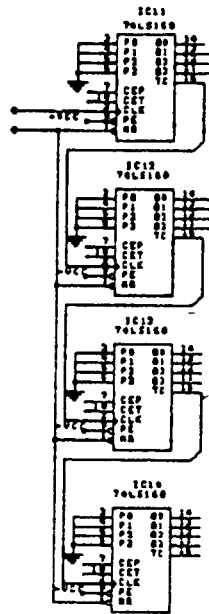
$$S_1 = \text{สัญญาณสี่เหลี่ยมภายในเครื่องวัด}$$

$$S_2 = \text{สัญญาณสี่เหลี่ยมที่รับเข้ามา}$$

$$\text{Diff. Pulse} = \text{สัญญาณพัลส์ความต่างเฟส}$$

### 3.11 วงจร 16 Bits Counter

วงจรมีขนาด 16 บิต (16 Bits Counter) เป็นวงจรที่ใช้นับจำนวนสัญญาณ Clock ที่ถูกล่งมาจากวงจร And Gate เพื่อทำการแปลงสัญญาณความถี่ให้เหลืออยู่ในรูปสัญญาณ Binary ที่สามารถทราบค่าได้ จากวงจรในรูปที่ 3.11 เป็นรูปวงจรมีขนาด 16 Bits Counter จากวงจรจะเห็นได้ว่า อุปกรณ์หลักที่นำมาใช้ในวงจร จะเป็น IC 74LS161 ซึ่งเป็น IC วงจรมีขนาดจำนวนเลขฐานสองขนาด 4 บิต (4 Bits Binary Counter) จำนวน 4 ตัว เพื่อต้องการทำให้เป็นวงจรมีขนาด 16 บิต ดังนั้น วงจรนี้จะสามารถนับจำนวนเลขฐานสองได้ค่าสูงสุด  $2^{16}$  หรือ 65536 สัญญาณ O/P ของวงจรมีขนาด 16 บิต จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ไบต์ (Byte) เพื่อต้องการนำค่าที่นับได้ไปเก็บเอาไว้ในหน่วยความจำเก็บข้อมูลภายในเครื่องอีกครั้งหนึ่ง ในการแบ่งจะแบ่งให้บิต  $D_0-D_7$  เป็นไบต์ล่างและให้  $D_8-D_{15}$  เป็นไบต์บน หลังจากนั้น O/P ของวงจรมีขนาด 16 บิต จะถูกเชื่อมต่อกับวงจร D-Type Flip-Flops ขนาด 8 บิต 2 ตัว เพื่อเป็นตัวเชื่อมต่อกับวงจรหน่วยความจำข้อมูลภายในเครื่อง โดยใช้ IC 74LS373 จำนวน 2 ตัว ดังรูปที่ 3.11



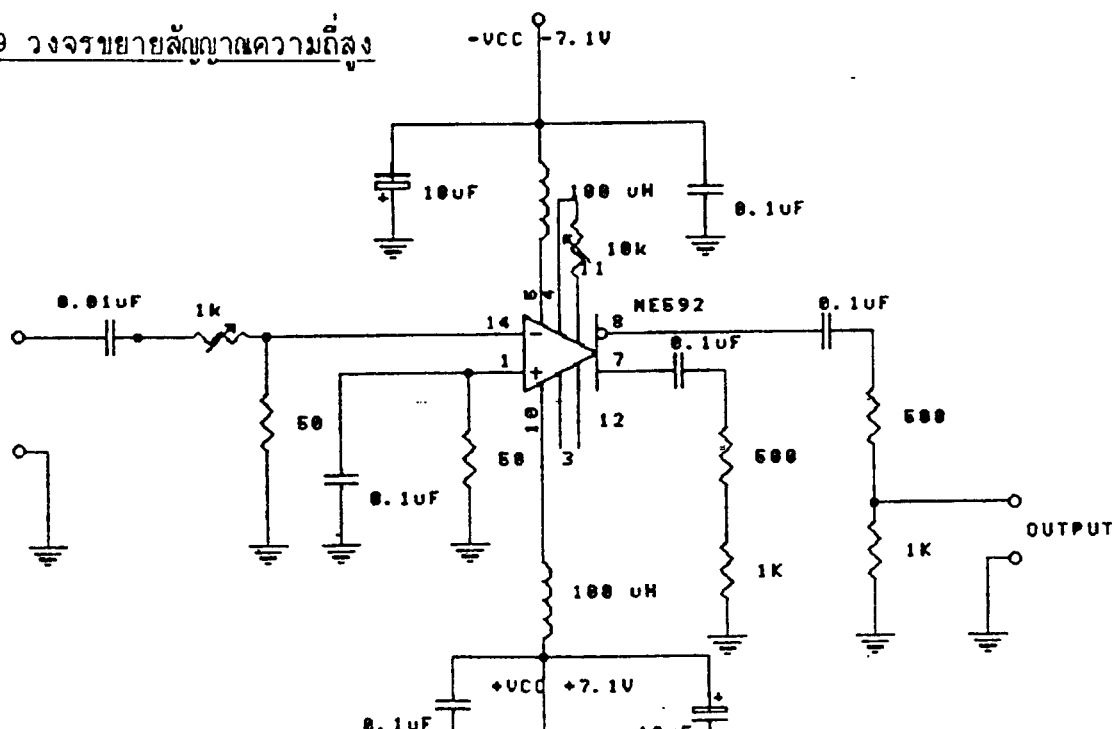
รูปที่ 3.11 วงจรมีขนาด 16 บิต ( 16 Bits Counter )

ในกรณีที่ภาครับสัญญาณรับสัญญาณเข้ามาได้ไม่คงที่ เช่นรับสัญญาณได้แรงบ้างและอ่อนบ้าง ทั้งนี้เนื่องจากระยะทางที่นำเครื่องวัดไปวัดจะมีระยะทางแตกต่างกัน ดังนั้น จึงทำให้ขนาดของสัญญาณที่รับได้ในแต่ละครั้งมีค่าน้อยไม่เท่ากัน ด้วยขนาดของสัญญาณที่รับได้มีค่าไม่เท่ากันนี้ จะทำให้เครื่องวัดมีประสิทธิภาพในการวัดลดลง ดังนั้น เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องวัดจึงจำเป็นต้องมีวงจรที่ช่วยให้เอาท์พุทมีค่าคงที่ โดยที่สัญญาณทางด้านอินพุทมีค่าไม่คงที่ วงจร AGC เป็นวงจรที่มีความเหมาะสมสำหรับหน้าที่นี้โดยเฉพาะ จากรูปที่ 3.8 เป็นรูปของวงจร Automatic Gain Control จากรูป วงจร AGC จะใช้ IC Balance Modulator เบอร์ MC1496 ทำงานในลักษณะเป็นวงจรคูณสัญญาณ และมี IC Video Amp. เบอร์ LM 733 ทำหน้าที่เป็นวงจร Differential Amplifier สัญญาณอินพุทจะถูกป้อนเข้ามาที่ขาอินพุทข้างหนึ่งของ MC1496 ที่ขา 4 ส่วนเอาท์พุทจะถูกขยาย โดย LM 733 ในลักษณะ Differential เอาท์พุทข้างหนึ่งของของ LM 733 จะถูกนำไป Rectify โดยทรานซิสเตอร์ 2N2907 ซึ่งต่อในลักษณะเป็นตัวไดโอด โดยวงจรนี้จะทำการ Rectify สัญญาณทางซิกนัลของสัญญาณ สัญญาณที่ผ่านการ Rectify จะถูกฟิลเตอร์ด้วยตัวเก็บประจุขนาด 10 $\mu$ F และมีทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N222 ต่อในลักษณะไดโอดเพื่อทำหน้าที่ควบคุมระดับแรงดันที่ขา 8 ของ MC1496 ให้มีค่าคงที่ 0.7 โวลต์

### 3.9 วงจรขยายสัญญาณความถี่สูง

วงจรขยายสัญญาณความถี่สูงนี้ ใช้สำหรับขยายสัญญาณ Oscillator เพื่อป้อนเป็นอินพุทให้กับวงจรขับ Laser Diode โดยภายในวงจรจะใช้ IC Video Amp. เบอร์ LM 733 หรือ NE592 ก็ได้ เพราะอุปกรณ์ทั้งสองมีลักษณะการทำงานที่คล้ายคลึงกันมาก แต่พบว่า NE 592 จะให้สัญญาณที่ทางเอาท์พุทดีกว่า และสัญญาณรบกวนน้อยกว่า วงจรขยายสัญญาณนี้จะมีอัตราการขยายสัญญาณประมาณ 16 เท่า

รูปที่ 3.9 วงจรขยายสัญญาณความถี่สูง

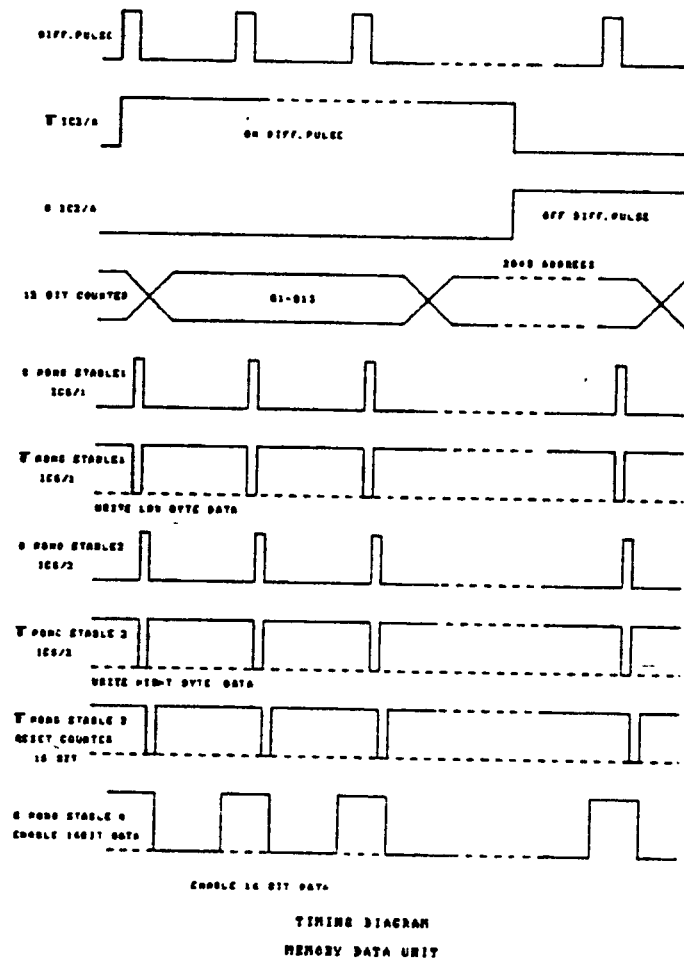


### 3.12 วงจรหน่วยความจำเก็บข้อมูลภายใน

วงจรหน่วยความจำเก็บข้อมูลภายในเครื่อง เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่ได้รับการวัดความต่างเฟส ที่อยู่ในรูปสัญญาณดิจิตอลขนาด 16 บิต เพื่อเป็นแหล่งข้อมูลทางอินพุตให้กับวงจรประมวลผลภายในเครื่อง การทำงานของวงจรหน่วยความจำเก็บข้อมูลภายในเครื่อง มีหลักการทำงานดังนี้ คือวงจรจะรับสัญญาณ O/P จากวงจรนับขนาด 16 บิต (16 Bits Counter) มาเก็บไว้แรมขนาด 8 บิต 2 ตัวที่มีอยู่ในวงจรดังรูปที่ 3.12 โดยการเก็บข้อมูลไว้ในแรม (6116) นั้น วงจรจะไม่เก็บพร้อมกันทั้ง 16 บิต แต่วงจรจะผลัดกันเก็บทีละ 8 บิต โดยวงจรจะอาศัยสัญญาณความต่างเฟสมาเป็นสัญญาณฐานเวลาในการเก็บข้อมูล เมื่อมีสัญญาณความต่างเฟสจากวงจร Phase Comparator สัญญาณพัลส์ความต่างเฟสก็จะถูกส่งเข้าไปยังวงจรนับขนาด 12 บิต ซึ่งใช้ IC เบอร์ SCL4040 เป็นตัวนับ โดยก่อนที่สัญญาณพัลส์ความต่างเฟสจะถูกส่งเข้าไปยังวงจรนับขนาด 12 บิต สัญญาณพัลส์ความต่างเฟสจะถูกนำมาแอนกับสัญญาณ Q ของวงจร Flip-Flop 74LS74 ซึ่งในสภาวะเริ่มเปิดเครื่อง O/P ที่ขา Q ของวงจร Flip-Flop จะมีสถานะเป็น High ดังนั้น ในสภาวะเริ่มแรกสัญญาณพัลส์ความต่างเฟสก็จะสามารถผ่านวงจร And Gate ไปได้ วงจรนับขนาด 12 บิต ก็จะนับจำนวนสัญญาณความต่างเฟส พร้อมกับส่งข้อมูลผ่านไปให้กับวงจร Buffers ขนาด 11 บิตโดยนำเอา IC เบอร์ 74LS244 มาทำหน้าที่เป็นตัว Buffers 2 ตัวมาต่อกัน โดยสัญญาณควบคุมตัว Buffers จะมาจากวงจร Flip-Flop 74LS74 ที่ขา Q บาร์ ดังนั้น สัญญาณจากวงจรนับ 12 บิตก็จะถูกส่งไปยังขาแอดเดรส (Address) ของแรมขนาด 8 บิต (6116) พร้อมกันนั้นวงจรโมโนสเตเบิล (Mono Stable Multivibrator) ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 4 ชุด

วงจรโมโนสเตเบิล (Mono Stable Multivibrator) 3 ชุดแรกที่ต่อร่วมกันอยู่ จะมีการทำงานที่ขอบขาลงของสัญญาณพัลส์ความต่างเฟส ส่วนอีกชุดหนึ่งจะทำงานในช่วงขอบขาขึ้นของสัญญาณพัลส์ความต่างเฟส ดังนั้น เมื่อถึงช่วงเวลาขอบขาลงของสัญญาณพัลส์ความต่างเฟส O/P ที่ขา Q บาร์ ของ IC 6/1 ก็จะมีสถานะเป็น Low อยู่ประมาณ 1  $\mu$ sec ซึ่งทำให้ข้อมูลไบต์กลางจากวงจรนับขนาด 16 บิต ถูก Enable เข้ามายังที่ขาข้อมูลของแรมขนาด 8 บิต (6116) และทำให้สัญญาณแอดเดรสจากวงจรนับ 12 บิตถูก Enable เข้าไปยังขาแอดเดรสของแรม ซึ่งเป็นการเขียนข้อมูลลงไปบนแรม (6116) ตัวแรก (IC 8) หลังจากนั้น เมื่อสัญญาณ 1  $\mu$ sec ของวงจรโมโนสเตเบิลตัวแรกผ่านไป สัญญาณ Q บาร์จากวงจรโมโนสเตเบิลตัวที่สองก็จะเริ่มทำงานที่ขอบขาลงของสัญญาณ Q ของตัวแรก วงจรโมโนสเตเบิลตัวที่สองก็จะส่งสัญญาณที่ขา Q บาร์ไป Enable สัญญาณ 8 บิต ไบต์บน ( $D_{15}-D_8$ ) จากวงจรนับขนาด 16 บิต แล้วส่งสัญญาณไป Enable สัญญาณแอดเดรสที่มาจากวงจรนับ 12 บิตอีกทางหนึ่ง โดยสัญญาณที่ขา Q บาร์ของวงจรโมโนสเตเบิลจะมีค่าเท่ากับ 1  $\mu$ sec เช่นกัน จึงทำให้สัญญาณ 8 บิต ไบต์บนถูกเขียนลงไปบนแรม

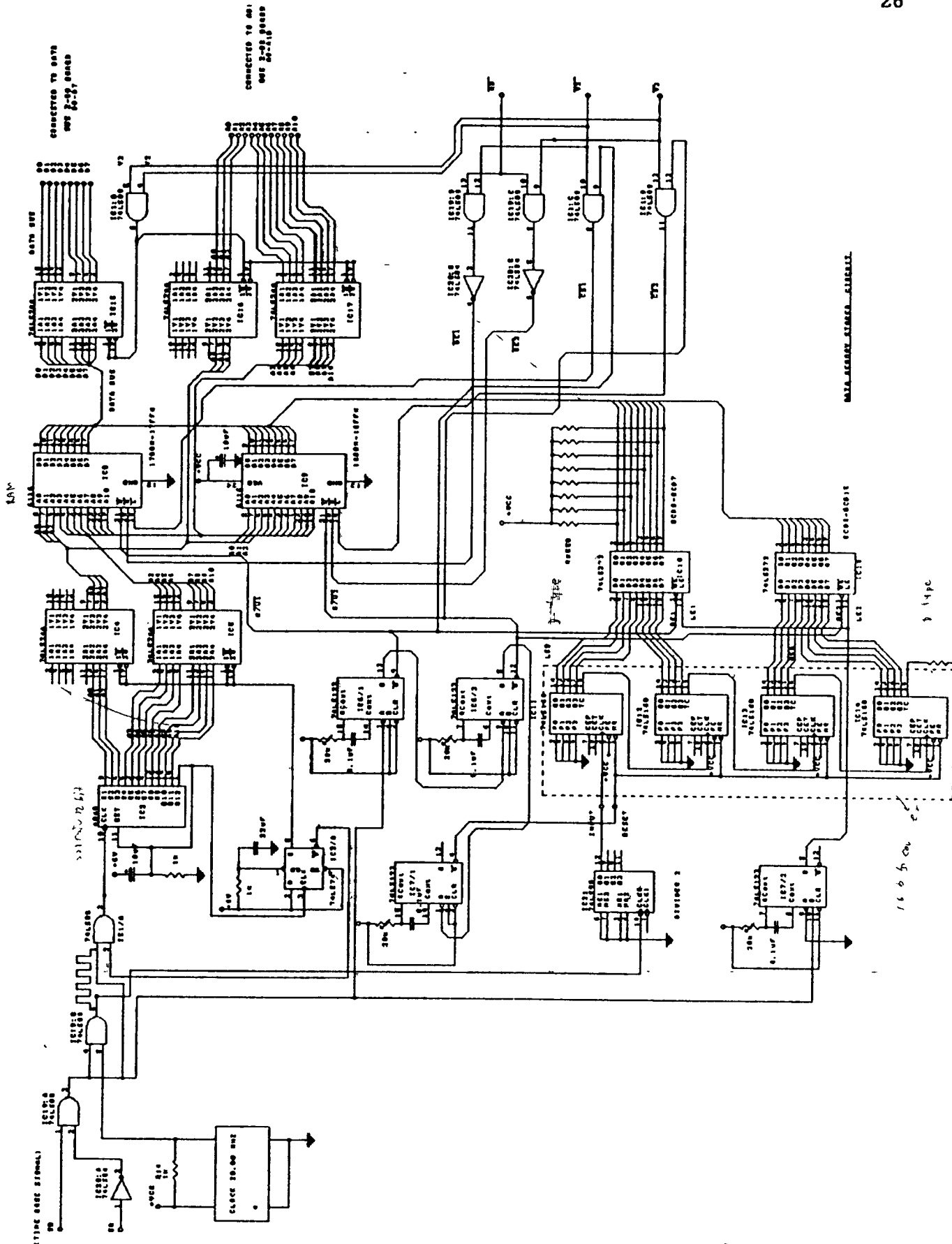
(6116) ตัวที่สอง (IC9) หลังจากนั้น วงจรโมโนสเตเบิลตัวที่สาม (IC7/1) ก็จะเริ่มทำงานที่ขอบขาลงของ สัญญาณ Q ของวงจรโมโนสเตเบิลตัวที่สอง ซึ่งสัญญาณ Q บาร์ของโมโนสเตเบิลตัวที่สามนี้ จะถูกส่งไปเป็น สัญญาณรีเซ็ตวงจรนับขนาด 16 บิต ซึ่งเป็นการครบรอบการทำงานของวงจรหน่วยความจำภายในเครื่อง ซึ่งหน่วยความจำข้อมูลภายในเครื่องจะทำงานซ้ำๆ เป็นอย่างนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งหน่วยความจำข้อมูลภายในเครื่องจะเก็บข้อมูลครบ 2048 ตำแหน่ง ส่วนวงจรโมโนสเตเบิลตัวที่สี่ (IC7/2) จะทำงานที่ขอบขาขึ้น ของสัญญาณพัลส์ความต่างเฟส โดยสัญญาณที่ขา Q ของวงจรโมโนสเตเบิลตัวที่สี่นี้ จะถูกส่งไป Enable สัญญาณให้กับ 74LS373 เพื่อให้รับข้อมูลจากวงจรถับขนาด 16 บิต ตลอดช่วงที่มีสัญญาณความต่างเฟสเกิดขึ้น ซึ่งสามารถแสดงเวลาการทำงานของวงจรหน่วยความจำข้อมูลภายในเครื่องได้ดังรูปที่ 3.12ก



รูปที่ 3.12 ก ช่วงเวลาการทำงานของวงจรหน่วยความจำเก็บข้อมูลภายในเครื่อง

buffer

ฟู ฟิว ๓๓๙๑๔๗



รูปที่ 3.12 ข วงจรหน่วยความจำเก็บข้อมูลภายในเครื่อง

๓ ๑ ๔ ๒

๓ ๑ ๕ ๒

### 3.13 Z-80 ไมโครโปรเซสเซอร์

ชุด z-80 ไมโครโปรเซสเซอร์นี้ประกอบไว้ด้วยหน่วยความจำขนาด 4k ไบท์จะเป็น EPROM เบอร์ 2716 ทั้ง 2 ตัว หรือ 2716 หรือ RAM เบอร์ 6116 อีกตัวก็ได้และใช้พอร์ทเบอร์ 8155 ซึ่งมี RAM สำหรับเก็บข้อมูล 256 ไบท์และยังประกอบด้วยพอร์ทที่สามารถโปรแกรมได้อีก 3 พอร์ทเป็น พอร์ท 8 ขา 2 พอร์ทและ 6 ขาอีก 1 พอร์ท นอกจากนี้ยังมีตัวนับหรือตัวหารความถี่ขนาด 14 บิตที่โปรแกรมได้ให้อีกหนึ่งตัว

z-80 นี้ยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรงต้องมีการต่ออุปกรณ์ภายนอกและการเขียนโปรแกรมลงไปใน EPROM เสียก่อน

#### โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์

เนื่องจากมีจุดประสงค์ที่จะให้วงจรมีขนาดเล็ก กะทัดรัด ใช้อุปกรณ์น้อยชิ้นและประหยัดจึงเลือกใช้พอร์ทเบอร์ 8155 ทำงานร่วมกับ z-80 CPU ซึ่งเป็น CPU ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายและเขียนซอฟต์แวร์ได้ง่าย

สาเหตุที่เลือกพอร์ทเบอร์ 8155 ก็เพราะว่าภายใน 8155 ประกอบไว้ด้วยพอร์ทที่สามารถโปรแกรมได้ 3 พอร์ท RAM ขนาด 256 ไบท์ และ เคาน์เตอร์ขนาด 14 บิตอีก 1 ตัว และราคาไม่แพงนัก

รูปที่ 3.13ก ใช้แสดงวงจรของชุด z-80 ไมโครโปรเซสเซอร์ จะเห็นว่า z-80 ติดต่อกับหน่วยความจำ คือ IC2 กับ SK1 โดยที่ IC2 ใช้ EPROM เบอร์ 2716 ซึ่งเป็นโปรแกรม มอนิเตอร์ของวงจรขนาด 2 Kbyte หรือ ถ้าหากว่าต้องการเพิ่มเป็น 4 Kbyte ก็ทำได้โดยใช้ 2716 อีก 1 ตัวเสียบลงใน SK1 แต่ถ้าหากว่าต้องการใช้ RAM ขนาดมากๆ (มากกว่า 256 ไบท์) ก็สามารถใช้ RAM เบอร์ 6116 ขนาด 2 Kbyte เสียบลงใน SK1 แทน

IC6 ทำหน้าที่ถอดรหัส Address ให้กับ 2716 อยู่ในตำแหน่ง Address ที่ 07FF และให้ SK1 อยู่ในตำแหน่ง 0800-0FFF แต่ลักษณะเอาต์พุตของ IC6 ยังมีให้ใช้อีก 4 ขา (Y2-Y5) ดังนั้นถ้าต้องการขยายหน่วยความจำเพิ่มขึ้นอีกก็ทำได้ ซึ่งสามารถขยายได้สูงสุด 12 Kbyte

ในกรณีที่ใช้ RAM เสียบใน SK1 ซึ่งเลือกใช้ RAM เบอร์ 6116 ได้ออกแบบให้มีแบตเตอรี่สำรองเอา ในกรณีที่เกิดไฟดับด้วย โดยมี D1, D2 เป็นตัวช่วยให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสแทนในกรณีเกิดไฟดับ ซึ่งเป็นการป้องกันไม่ให้ข้อมูลสำคัญที่เราโปรแกรมเอาไว้สูญหายไปได้และที่ขา 21 ซึ่งเป็นขา R/W ต้องเชื่อมต่อกับขา WR ของ z-80 ด้วย แต่ถ้าใช้ SK1 เป็น 2716 B1, D1, D2, C3, R7, R8 ไม่ต้องใช้ และแทน D1 กับ R7 ด้วยลวดเชื่อมต่อเพื่อลัดวงจรให้ต่อกับ Vcc โดยตรง

สัญญาณนาฬิกาในเกท IC5/1, IC5/2 กำเนิดสัญญาณร่วมกับ x'ta1 ขนาด 2MHZ เพื่อป้อนให้กับ z-80 แต่ถ้าไม่ต้องการใช้ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาขนาด 2MHZ นี้เป็นฐานเวลาให้กับวงจรอื่น ก็สามารถใช้ตัวเก็บประจุค่า 200pF แทนตัว x'ta1 นี้ได้ ซึ่งจะได้สัญญาณนาฬิกาความถี่ประมาณ 1.67 MHZ

เนื่องจาก 8155 เป็นไอซีซึ่งผลิตโดยบริษัทอินเทลดังนั้น 8155 จึงสามารถใช้ร่วมกับ CPU ของอินเทลได้โดยตรง เช่น 8085, 8035, 8048 เป็นต้นแต่เมื่อนำมาใช้กับ z-80 : ซึ่งเป็นของบริษัทไซล็อกจึงไม่สามารถต่อกันได้โดยตรง ในวงจรรูปที่ 3.13ก ได้จัดการใช้ IC4 และ IC5 มาช่วยให้ z-80 เข้ากับ 8155 ได้

ด้วยเหตุที่ 8155 ใช้ขาข้อมูลและขาแอดเดรสร่วมกัน[ADO-AD7] ดังนั้นในการที่ z-80 จะติดต่อกับกับ 8155 z-80 จะต้องส่งแอดเดรสของพอร์ตหรือของ RAM หรือของเคาน์เตอร์(สมมติให้ชื่อว่า AD-A) ไปทางขาข้อมูล (DO-D7) ก่อน และต้องส่งสัญญาณเม้าท์ขา ALE (Address Latch Enable) จะแจ้งให้ 8155 รับรู้ว่าข้อมูลที่ส่งออกมาทางขา ADO-AD7 ตอนนี้เป็น การอ้างอิงถึงแอดเดรสก่อน ซึ่ง 8155 จะแลกรหัสค่าแอดเดรสเอาไว้ แล้ว z-80 ต้องส่งข้อมูลที่หลัง การเขียนหรืออ่านพอร์ต หรือ RAM หรือเคาน์เตอร์(สมมติให้ชื่อว่า AD-D) ออกมาทางขาข้อมูล(DO-D7) อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งตอนนี้ 8155 จะรับรู้เองว่าข้อมูลทางขา ADO-AD7 เป็นข้อมูลที่ต้องการเขียนหรืออ่านไม่ใช่แอดเดรส

สรุปแล้ว z-80 จะต้องส่งข้อมูลให้ 8155 2 ครั้ง จึงสามารถอ่านและเขียนพอร์ตและ RAM หรือเคาน์เตอร์ได้ โดยข้อมูลแรกจะเป็นค่าแอดเดรส (AD-A) และข้อมูลที่ สองเป็นข้อมูลเป็นข้อมูลที่ต้องการอ่านหรือเขียน (AD-D) และเมื่อดูในวงจรรูปที่ 3.13ก จะเห็นว่า IC ถูกอินทิเกรตด้วยขา MREQ เพื่อที่จะส่งสัญญาณไปเขียนหรืออ่าน 8155 ดังนั้น ในที่นี้ 8155 จะเป็นเสมือนหน่วยความจำตำแหน่งหนึ่ง ซึ่งทำให้การอ้างอิงถึง 8155 จะต้องเป็นการอ้างอิงถึงหน่วยความจำไม่ใช้พอร์ต และไม่สามารถใช้คำสั่ง IN หรือ OUT กับ 8155 ได้เหมือนกับพอร์ตทั่วไป

เมื่อ z-80 พบกับ 8155

เพื่อให้เข้าใจการติดต่อกันระหว่าง z-80 กับ 8155 โดยง่าย ลองมาดูวงจรในรูปที่ 3.13ก อีกครั้งดังที่ได้กล่าวไว้แล้วว่า z-80 จะต้องส่งข้อมูลซึ่งเป็นการอ้างอิงถึงแอดเดรส (AD-A) ก่อน และจะต้องใช้คำสั่ง เช่นเดียวกับการเขียนหรืออ่านหน่วยความจำ ดังนั้นคำสั่งแรกที่จะส่งข้อมูลซึ่งเป็นแอดเดรส (AD-A) จะต้องเป็นคำสั่งเมื่อเขียนหน่วยความจำในตำแหน่งที่ขึ้นอยู่กับ  $Y_7$  ของ IC เพราะที่ตำแหน่งแอดเดรสนี้จะส่งสัญญาณ ALE ไปแลกรหัสที่แอดเดรส (AD-A) ไว้ และตำแหน่งของหน่วย



#### 4.5 การทดลองเกี่ยวกับวงจรแบนพาสฟิลเตอร์

การทดลองวงจรแบนพาสฟิลเตอร์ จะทำการทดลองโดยการต่ออินพุทของวงจรเข้ากับเอาต์พุทของวงจรมิกเซอร์แล้วทำการปรับค่าความต้านทาน 10K ที่ขาอินพุทของวงจร ซึ่งจะทำให้ขนาดเอาต์พุทของวงจรแบนพาสฟิลเตอร์เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

#### 4.6 การทดลองเกี่ยวกับวงจร Zero Crossing Detector

การทดลองวงจร Zero Crossing Detector ทำการทดลองโดยการป้อนสัญญาณ Sine Wave ขนาด 3 V ความถี่ 2KHz ให้กับวงจรทางด้านอินพุท หลังจากนั้นก็ทำการวัดสัญญาณทางด้านเอาต์พุทของวงจร ซึ่งก็จะได้สัญญาณรูปคลื่น Square Wave ขนาดความถี่ 2KHz โดยสัญญาณ HIGH ของวงจรจะมีค่าประมาณ 5 V และสัญญาณระดับ LOW Level จะมีค่าประมาณ 0 V

#### 4.7 การทดลองเกี่ยวกับวงจรเฟลชีฟเตอร์

การทดลองวงจรเฟลชีฟเตอร์ จะทำการทดลองโดยการป้อนสัญญาณ Square Wave ขนาด 5 V ความถี่ 2KHz เข้าทางอินพุทของวงจร แล้วทำการวัดสัญญาณทางด้านเอาต์พุทของวงจรโดยทำการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ในวงจรเฟลชีฟ แล้วนำเอาสัญญาณทางด้านอินพุทและเอาต์พุทมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งขณะที่ทำการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ในวงจร จะพบว่าสัญญาณทั้งสองจะมีเฟลชีฟกัน

ความจำ (หมายถึง 8155) จะขึ้นอยู่กับ  $A_{1,1}$  ถึง  $A_{1,6}$  ซึ่งใช้  $IC_6$  เป็นตัวถอดรหัสให้ได้เอาท์พุท  $Y_7$  ซึ่งจะได้ เป็น

$$\begin{array}{cccccccc} A_{1,6} & A_{1,4} & A_{1,3} & A_{1,2} & \dots & A_1 & A_0 & \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & x & x & x - \end{array}$$

$A_{1,6}$  จะต้องเป็น "1" เพื่อส่งสัญญาณไปอินาเบิลขา CS ของ 8155 ส่วนขา  $A_0$  ต่อกับขา IO/M ของ 8155 ซึ่งถ้าเป็น "0" จะเป็นการเลือก RAM ใน 8155 แต่ถ้าเป็น "1" จะเป็นการเลือกพอร์ทและเคาน์เตอร์ใน 8155 และในที่นี้สมมติให้  $A_1$  ถึง  $A_0$  เป็น "0" ด้วยเหตุนี้คำสั่งแรกจะต้องอ้างถึง

หน่วยความจำ (8155) ในแอดเดรสที่

B800 เป็นแอดเดรสสำหรับเลือก RAM ใน 8155

B801 เป็นแอดเดรสสำหรับเลือก พอร์ทและเคาน์เตอร์ใน 8155

- คำสั่งแรกต้องส่งค่าแอดเดรสไปก่อน

คำสั่งแรกของ z-80 ที่ต้องการติดต่อกับ RAM ใน 8155 จะเป็นคำสั่งดังต่อไปนี้

LD (B800),A

LD (HL),reg หรือ n

LD (IX+0),reg หรือ n

LD (IY+0),reg หรือ n เป็นต้น

เมื่อข้อมูลในรีจิสเตอร์ (reg) หรือ n เป็นค่าแอดเดรสใน RAM [AD-A] ใน 8155 ซึ่งมีค่าได้ตั้งแต่ 00H ถึง FFH [256 BYTE] และข้อมูลใน HL, IX, IY มีค่าเป็น B800

ส่วนคำสั่งที่สองของ z-80 ที่จะส่งข้อมูลมาเขียนหรืออ่าน (AD-D) RAM นั้นขอคิดเอาไว้ก่อน ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

ในกรณีของพอร์ทและเคาน์เตอร์นั้นคำสั่งแรกของ z-80 ที่ต้องการติดต่อดังนั้นจะต้องอ้างถึงแอดเดรส B801 (ตามที่สมมติไว้) ซึ่งจะเป็นคำสั่งดังต่อไปนี้

- LD (B801),A

- LD (HL),reg หรือ n

- LD (IX+1),reg หรือ n

- LD (IY+1),reg หรือ n เป็นต้น

เมื่อข้อมูลในรีจิสเตอร์ (reg) หรือ n เป็นค่าแอดเดรส (AD-A) เป็นพอร์ทและเคาน์เตอร์

(รวมทั้งแอดเดรสของ control byte ด้วย ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป) และข้อมูลใน HL มีค่าเป็น B801 , ข้อมูลใน IX, IY เป็น B800

ส่วนคำสั่งที่สองของ Z-80 เมื่อจะส่งข้อมูล 8155 มาเขียนหรืออ่านนั้นจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไปเช่นกัน

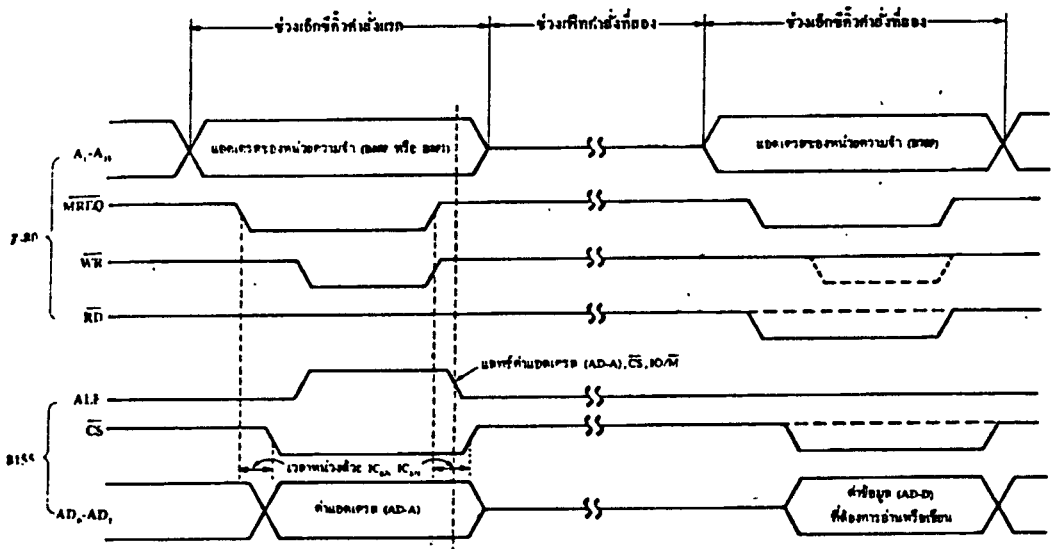
ถึงตอนนี้ เรามาดูแผนผังเวลาของขาสัญญาณต่าง ๆ ของ 8155 และ Z-80 ในรูปที่ 3.13 ขกก่อน เริ่มต้นด้วยหลังจากที่ Z-80 เพช้คำสั่งแรกไปแล้ว ก็จะส่งสัญญาณเอาต์เดรส  $A_0-A_{15}$  เป็น B800 หรือ B801 แล้วแต่ว่าจะเลือก RAM หรือพอร์ทและเคาน์เตอร์ จากนั้นจึงส่งสัญญาณ MREQ ตามมาเพื่อให้  $IC_{1,2}$  ทำการถอดรหัสให้ขา  $Y_7$  เป็น "0" ถึงตอนนี้ ข้อมูลใน reg หรือค่า n (หรือค่าแอดเดรส AD-A) จะถูกส่งออกจาก Z-80 มารอไว้ที่ขา  $AD_0-AD_7$  และตอนนี้เช่นกันขา CS ของ 8155 จะถูกห้วงเวลาไว้ด้วยเกต  $IC_{3,4}$  และ  $IC_{5,6}$  และเวลาต่อมา Z-80 จะส่งสัญญาณ WR ตามมาทำให้  $IC_{4,5}$  ส่งสัญญาณ ALE เปลี่ยนจาก "0" ไปเป็น "1" แต่ยังไม่มียผลอะไร จนกระทั่ง Z-80 เลิกส่งสัญญาณ MREQ , WR ก็จะทำให้เกิดสัญญาณ ALE เปลี่ยนจาก "1" ไปเป็น "0" ซึ่งตอนนี้เองที่ 8155 จะทำการ แลทซ์ข้อมูลที่ขา  $AD_0-AD_7$  (ตอนนี้คือค่าแอดเดรส AD-A) , ขา CS และขา IO/M เอาไว้ด้วย เป็นที่นําส่งเกตว่าที่ต้องใช้  $IC_{3,4}$  และ  $IC_{5,6}$  มาห้วงเวลาขา CS ไว้ก็เพื่อให้สัญญาณ CS ถูกเลื่อนออกไปเป็นเวลาเล็กน้อย ไม่เช่นนั้นขา CS จะเปลี่ยนแปลงพร้อมกับขา ALE ทำให้ 8155 ไม่สามารถแลทซ์สัญญาณ CS เอาไว้ได้

**คำสั่งที่สองส่งข้อมูลตามไป**

หลังจากที่ 8155 ได้แลทซ์ค่าแอดเดรส , CS และ IO/M เอาไว้แล้ว Z-80 จะต้องส่งข้อมูลที่ต้องการอ่านหรือเขียน RAM หรือพอร์ทหรือเคาน์เตอร์ (AD-D) พร้อมทั้งส่งสัญญาณ RD และ WR ตามไปด้วย เมื่อดูวงจรในรูปที่ 3.13ก จะเห็นว่าสัญญาณ RD และ WR ของ Z-80 จะต้องผ่าน  $IC_{4,5}$  และ  $IC_{4,6}$  โดยการควบคุมด้วย  $Y_6$  ของ  $IC_{1,2}$  ดังนั้นคำสั่งที่สองนี้จะเขียน (8155) ได้ ต้องขึ้นอยู่กั  $Y_6$  ของ  $IC_{1,2}$  นี้ ซึ่ง  $Y_6$  นี้จะเป็นตัวกำหนดแอดเดรสของหน่วยความจำ (หมายถึง 8155) ในการส่งข้อมูล (AD-D) ไปทำการอ่านหรือเขียน พิจารณาที่  $Y_6$  จะเห็นว่าขึ้นอยู่กัขา  $A_{15}$  ถึง  $A_{14}$  ซึ่งในที่นี้  $A_{15}$  จะไม่มีผลเพราะ 8155 ได้ทำการแลทซ์ขา CS เอาไว้แล้ว ดังนั้นตำแหน่งของหน่วยความจำ (หมายถึง 8155) เพื่อที่ Z-80 จะส่งคำสั่งที่สองจะอยู่ที่แอดเดรส

$A_{15}$   $A_{14}$   $A_{13}$   $A_{12}$   $A_{11}$   $A_{10}$   $A_9$  .....  $A_1$   $A_0$   
 X    0    1    1    0    X    X .....    X    X

เนื่องจาก 8155 ได้ทำการแลตซ์เอา IO/M เอาไว้แล้ว ดังนั้น  $A_0$  เป็น  
 อะไรก็ได้ในคำสั่งทั้งสองนี้แอดเดรสที่ส่งไปเขียนหรืออ่านให้กับ RAM หรือพอร์ทกับเคาเตอร์จะ  
 เป็นแอดเดรสเดียวกันก็ได้ ในที่นี้สมมติให้แอดเดรสนี้เป็น B700 คือ  $A_{15}$  เป็น "1",  $A_9$   
 ถึง  $A_{10}$  เป็น "1" และ  $A_0$  ถึง  $A_7$  เป็น "0"



รูปที่ 2 แผนผังเวลาของ Z-80 ในการติดต่อกับ 8155

รูปที่ 3.13 ขณแผนผังเวลาของ Z-80 ในการติดต่อกับ 8155

คำสั่งที่สองของ Z-80 ที่ต้องการเขียนข้อมูล (AD-D) กับ RAM หรือพอร์ทหรือเคาน์เตอร์ ใน 8155 จะเป็นคำสั่งดังต่อไปนี้

- LD (B700) ,A
- LD (HL),reg หรือ n
- LD (IX+0),reg หรือ n
- LD (IY+0),reg หรือ n เป็นต้น

เมื่อกำหนดใน reg หรือ n เป็นค่าข้อมูลจาก Z-80 (AD-D) ที่ต้องการเขียนกับ RAM หรือพอร์ทหรือเคาน์เตอร์ และค่าใน HL ,IX ,IY มีค่าเป็น B700

แต่ถ้า Z-80 ต้องการอ่านข้อมูล (AD-D) จาก RAM หรือพอร์ทหรือเคาน์เตอร์ คำสั่งที่สองนี้จะต้องเป็น

- LD A , (B700)
- LD reg , (HL)
- LD reg , (IX+0)
- LD reg , (IY+0) เป็นต้น

เมื่อ HL , IX , IY มีค่าเป็น B700 และข้อมูล (AD-D) ที่อ่านเข้ามาจะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ (reg) ใน Z-80 และ A หมายถึงรีจิสเตอร์ A ใน Z-80

คราวนี้มาดูแผนผังเวลาในรูปที่ 3.13 ข กันต่อ หลังจากที่ Z-80 ส่งคำสั่งแรกแล้วตามมามีคำสั่งที่สองนั้น ก็จะเป็นช่วงเฟิร์สคำสั่งที่ 2 เมื่อ Z-80 ดำเนินการในช่วงเฟิร์สเรียบร้อยแล้วก็จะเริ่มช่วงเอ็กซ์คิวต์คำสั่งที่ 2 โดยการให้ขา  $A_0-A_{15}$  เป็น B700 (ตามที่สมมติไว้) แล้วส่งสัญญาณ MREQ ตามมา ทำให้  $Y_6$  ของ  $IC_1$  เป็น "0" ทำการเปิดเกต  $IC_{2,1}$  และ  $IC_{2,2}$  ให้สัญญาณ RD หรือ WR ของ Z-80 ผ่านเข้าขา RD หรือ WR ของ 8155 ได้ และช่วงนี้เองที่ขา  $AD_0-AD_7$  จะรับข้อมูลจาก Z-80 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ต้องการอ่านหรือเขียน (AD-D) RAM หรือพอร์ทหรือเคาน์เตอร์ ตามค่าแอดเดรส (AD-A) และ IO/M ของคำสั่งแรก

จากที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถสรุปการติดต่อระหว่าง Z-80 กับ 8155 ในการเขียนหรืออ่าน RAM หรือพอร์ทหรือเคาน์เตอร์ ได้ดังตารางที่ 1 และสามารถแสดงรูปแบบของคำสั่งของ Z-80 ในการที่จะเขียนข้อมูลให้กับ 8155 ได้เป็น

LD (แอดเดรส B80X) , ค่าแอดเดรส (AD-A)

LD (แอดเดรส B700) , ค่าข้อมูล (AD-D)

และเมื่อ Z-80 ต้องการอ่านข้อมูลจาก 8155 จะได้คำสั่งเป็น

LD (แอดเดรส B80X) , ค่าแอดเดรส (AD-A)

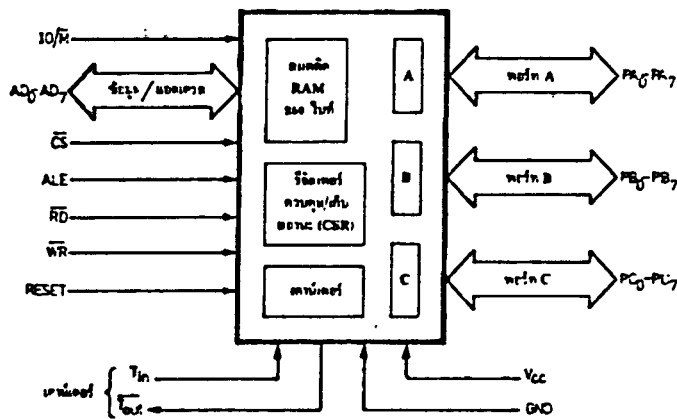
LD reg , (แอดเดรส B700)

ตารางที่ 1 แสดงการอ้างอิงแอดเดรสของ 8155 ในการส่งแอดเดรสและข้อมูลขอ Z-80

คำสั่งที่	ค่าแอดเดรสของ 8155 เมื่ออ้างอิงถึง RAM	ค่าแอดเดรสของ 8155 เมื่อ อ้างอิงพอร์ทและเคาน์เตอร์	ข้อมูลที่ Z-80 ส่งหรือรับ
1	1011 1XXX XXXX XXX0	1011 1XXX XXXX XXX1	ค่าแอดเดรส[AD-D]
2	X011 0XXX XXXX XXXX	X011 0XXX XXXX XXXX	ค่าข้อมูล[AD-D]

### 8155 กับซอฟต์แวร์

จากหัวข้อที่แล้วได้ศึกษาค่าแอดเดรสของ RAM , พอร์ท และเคาน์เตอร์ (AD-A) และข้อมูลที่ต้องการอ่านหรือเขียน (AD-D) ใน 8155 ในที่นี้จะได้กล่าวถึงรายละเอียดและตัวอย่างการโปรแกรมพอร์ทและเคาน์เตอร์ ทั้งนี้เพราะก่อนใช้งานเราต้องโปรแกรมมันก่อน ไม่งั้นพอร์ทและเคาน์เตอร์จะใช้งานไม่ได้ เพื่อให้ใช้งาน 8155 ได้ถูกต้อง เรามาดูแผนผังภายใน 8155 ในรูปที่ 3.13ค... ซึ่งจะเห็นว่าประกอบด้วย RAM 256 ไบต์ , พอร์ท 3 พอร์ท คือ พอร์ท A , พอร์ท B , พอร์ท C และเคาน์เตอร์ นอกจากนี้ยังมีรีจิสเตอร์อีก 1 ตัว ซึ่งเป็นตัวเก็บคำสั่งที่เราโปรแกรมพอร์ทเคาน์เตอร์และยังเก็บสถานะของพอร์ทและเคาน์เตอร์ในการขออินเตอร์รัพท์ รีจิสเตอร์นี้มีชื่อว่า Command/Status Register (ใช้ชื่อย่อว่า CSR) รายละเอียดจะได้กล่าวเป็นเรื่อง ๆ ไป



รูปที่ 3.13 ค แผนผังภายใน 8155

ในเรื่องของ RAM นั้น สามารถใช้คำสั่งอ่านหรือเขียน RAM ขนาด 256 ไบต์ นี้ได้โดยตรง โดยไม่ต้องมีการโปรแกรมมาก่อน ค่าแอดเดรสของ RAM (AD-A) มีค่าได้ตั้งแต่ 00H ถึง FFH สมมติว่าต้องการเขียนข้อมูล 3EH ลงในแอดเดรสที่ 61H และใช้ค่าแอดเดรสของ 8155 เมื่ออ้างถึง RAM เป็น B800 และ B700 ตามที่สมมติไว้ จะได้คำสั่งดังนี้

```
LD A , 61H
LD (B800) , A
LD A , 3EH
LD (B700) , A เป็นต้น
```

ในการทำงานกลับกัน ถ้าหากค่าที่ต้องการอ่านข้อมูลจากแอดเดรสที่ 61H มาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A จะได้คำสั่งดังนี้

```
LD A , 61H
LD (B800) , A
LD A , (B700) เป็นต้น
```

จะเห็นว่าค่าแอดเดรสของ 8155 คือ B800 และ B700 จะมีการเรียกใช้บ่อย ๆ เมื่อมีการเขียน/อ่าน RAM หรือพอร์ท หรือเคาน์เตอร์ ดังนั้นวิธีที่จะประหยัดคำสั่งของ Z-80 ควรจะใช้รีจิสเตอร์คู่เก็บค่าแอดเดรส B800 และ B700 นี้ไว้ และในที่นี้จะใช้รีจิสเตอร์ IX และ HL และจะใช้เป็นตัวอย่างต่อ ๆ ไป ด้วย ซึ่งจากตัวอย่างข้างบนนี้สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

```
LD IX , B800
```

```
LD HL , B700
```

```
LD (IX+0) , 61H
```

```
LD (HL) , 3EH
```

เมื่อต้องการเขียนข้อมูล 3EH ลงในแอดเดรส 61H และใช้คำสั่ง

```
LD (IX+0) , 61H
```

```
LD A , (HL)
```

เมื่อต้องการอ่านข้อมูลที่แอดเดรส 61H มาเก็บไว้ที่รีจิสเตอร์ A

ค่าแอดเดรส [AD-D]	อ้างอิง	เมื่อ Z-80 เขียน	เมื่อ Z-80 อ่าน
XXXXX000	CSR	เขียนค่า CONTROLBYTE เพื่อโปรแกรมพอร์ทและ ควบคุมเคาท์เตอร์	อ่านสถานะการอินเทอร์รัพท์ ของพอร์ทและเคาท์เตอร์ [STATUS REGISTER]
XXXXX001	พอร์ท A	เป็นเอาท์พุทพอร์ท	เป็นอินพุทพอร์ท
XXXXX010	พอร์ท B	เป็นเอาท์พุทพอร์ท	เป็นอินพุทพอร์ท
XXXXX011	พอร์ท C	เป็นเอาท์พุทพอร์ท[ยก เว้นโหมด ALT 3 และ ALT 4]	เป็นอินพุทพอร์ท[ยกเว้น โหมด ALT 3 และ ALT 4]
XXXXX100	ไบต์ต่ำของ เคาท์เตอร์	โปรแกรมช่วงการนับ หรือหาร	อ่านค่าที่นับเหลือของเคาท์ เคาท์เตอร์ไบต์สูง
XXXXX101	ไบต์สูงของ เคาท์เตอร์	โปรแกรมช่วงการนับหรือ หารและโหมดของเคาท์ เตอร์	อ่านค่าที่นับเหลือของเคาท์ เตอร์ไบต์สูงและโหมดของ เคาท์เตอร์

ตารางที่ 2 แสดงถึงการอ้างพอร์ท , เคาท์เตอร์ และ CSR เมื่อ Z-80 ส่งค่าแอดเดรส (AD-A) มาเลือก

## เรื่องของพอร์ต เคาน์เตอร์ และ CSR

เริ่มต้นของหัวข้อนี้จะได้ว่ากันเรื่องของแอดเดรสของพอร์ตและเคาน์เตอร์ซึ่งจะถูกเลือกด้วยค่าแอดเดรส (AD-A) ตารางที่ 2 ได้แสดงแอดเดรสของการอ้างถึง พอร์ต , เคาน์เตอร์ และ CSR จะเห็นว่าค่าแอดเดรส 5 บิตแรกจะเป็นอะไรก็ได้ แต่ในที่นี้สมมติให้เป็น "0" ที่โหมด เช่นสมมติว่า ค่าแอดเดรส (AD-A) เป็น 01H จะเป็นการอ้างถึงพอร์ต A แต่ก่อนอื่นจะต้องทำการโปรแกรมพอร์ตและเคาน์เตอร์ก่อน โดยเริ่มต้นจะต้องอ้างถึง CSR เพื่อส่งค่าข้อมูล (AD-D) ไปเขียนคำสั่งเพื่อโปรแกรม (control byte)

ความหมายของค่าข้อมูล (AD-D) เมื่อทำการโปรแกรมพอร์ตและเคาน์เตอร์ซึ่งในที่นี้เป็นการอ้างถึง CSR (ที่แอดเดรส 00H) แสดงไว้ในรูปที่ 3.13จ ที่นำสังเกตคือบิตที่ 2 และบิต 3 ซึ่งจะเป็นการกำหนดโหมดของพอร์ต C และโหมดของพอร์ต C นี้แสดงไว้ในตารางที่ 3 เนื่องจากพอร์ต C สามารถให้ทำงานเป็น handshaking ได้ในโหมด ALT3 และ ALT4 และมีการขออินเตอร์รัพท์ได้ด้วย

โหมด	ALT 1	ALT 2	ALT 3	ALT 4
ขา				
PC0	อินพุทพอร์ต	เอาต์พุทพอร์ต	A LNTR[interrupt]	A INTR[interrupt]
PC1	"	"	A BF[buffer full]	A BF[buffer full]
PC2	"	"	A STB[storbe]	A STB[strobe]
PC3	"	"	เอาต์พุทพอร์ต	B INRT[interrupt]
PC4	"	"	"	B BF[buffer full]
PC5	"	"	" [พอร์ต A]	B STB[strobe]

ตารางที่ 3 แสดงความหมายแต่ละโหมดของพอร์ต C

สมมติว่าต้องการให้พอร์ท A และพอร์ท B เป็นเอาต์พุต และพอร์ท C เป็นอินพุต (ALT1) ทำให้ไม่มีการขออินเทอร์รัพท์ (บิต 2 และ 3 เป็น "0") และยังไม่สามารถใช้เคาน์เตอร์ จะได้ค่าของ control byte ซึ่งก็คือค่าข้อมูล (AD-D) นั้นเองเป็น

00000011 = 03H

เนื่องจากการโปรแกรม 8155 ดังนั้น Z-80 จะต้องเขียนข้อมูล 03H นี้ให้ 8155 ที่ตำแหน่งแอดเดรส B801 และจากตารางที่ 2 จะเห็นว่าค่าแอดเดรส (AD-A) จะต้องอ้างถึง CSR (ที่แอดเดรส 00H) เพื่อโปรแกรม ซึ่งจะได้คำสั่งดังนี้

LD (IX+), 00H ; อ้างถึง CSR

LD (HL), 03H ; ส่งค่า control byte

เมื่อ IX มีค่าเป็น B800 และ HL มีค่าเป็น B700 ตามที่สมมติมาแล้ว และถึงตอนนี้ก็สามารถเขียนข้อมูลให้พอร์ท A หรือ B และอ่านข้อมูลจากพอร์ท C ได้แล้ว สมมติว่าต้องการเขียนข้อมูลค่า 57H และ 6BH ให้แก่พอร์ท A และพอร์ท B ตามลำดับ และอ่านข้อมูลจากพอร์ท C มาเก็บไว้ที่รีจิสเตอร์ B จะได้คำสั่งดังต่อไปนี้

LD (IX+1), 01H ; อ้างถึงพอร์ท A

LD (HL), 57H ; ส่งค่าข้อมูลไปเขียน

LD (IX+1), 02H ; อ้างถึงพอร์ท B

LD (HL), 6BH ; ส่งค่าข้อมูลไปเขียน

LD (IX+1), 03H ; อ้างถึงพอร์ท C

LD B, (HL) ; อ่านค่าข้อมูลเข้ามา

ข้อนำสังเกตอย่างหนึ่งคือในการอ่านหรือเขียนพอร์ทเดียวกันหลาย ๆ ครั้งสามารถส่งค่าแอดเดรส (AD-A) ไปครั้งเดียวแล้วจะอ่านหรือเขียนกี่ครั้งก็ได้ ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการเขียนข้อมูล 43H, 5AH, E2H แก่พอร์ท B ตามลำดับ คำสั่งก็จะเป็น

LD (IX+1), 02H





LD (HL), 43H

LD (HL), 5AH

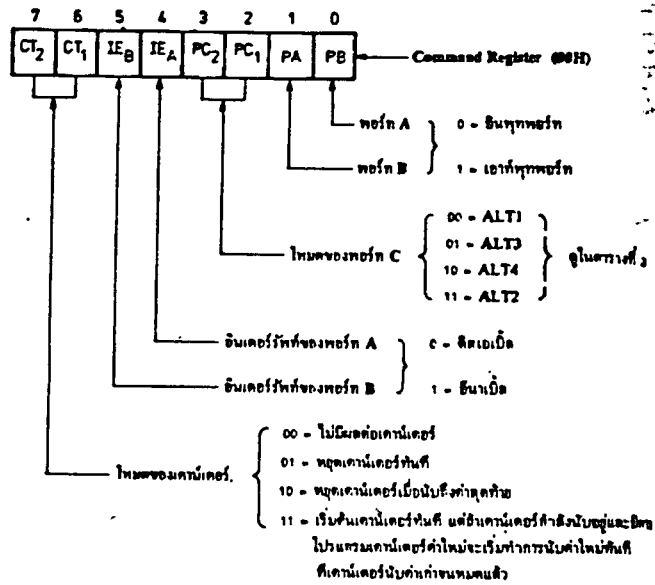
LD (HL), E2H

4

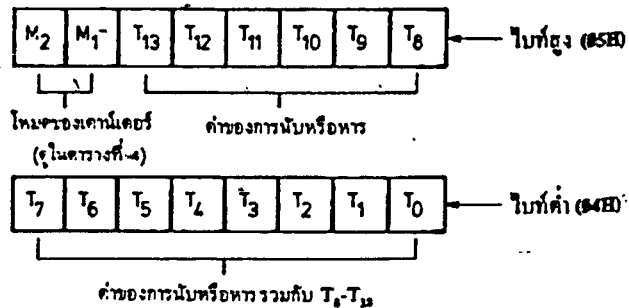
ในเรื่องของเคาน์เตอร์นั้น ความจริงแล้วต้องเรียกว่าเคาน์เตอร์/โคม์เมอร์ แต่ที่เรียกเคาน์เตอร์มาตั้งแต่ต้นก็เพื่อให้สะดวกในการเรียกสั้น ๆ ตัวเคาน์เตอร์นี้เป็นตัวหารหรือนับความถี่ซึ่งสามารถโปรแกรมได้ โดยสามารถโปรแกรมให้หารหรือนับได้ตั้งแต่ 2 ถึง 16,383 โดยการป้อนสัญญาณอินพุตเข้าที่ขา  $T_{CLK}$  (ขา 3 ของ 8155) และเอาท์พุทที่ผ่านการนับหรือหารแล้วจะออกทางขา  $T_{OUT}$  (ขา 6 ของ 8155)

M2 M1	โหมด	หน้าที่ของ เคาท์เตอร์	รายละเอียดของ เคาท์เตอร์	รูปคลื่นเอาท์พุทที่ได้
0 0	0	หารครึ่ง เดียว	เมื่อนับถึงค่าหนึ่ง ของค่าที่โปรแกรม จะให้เอาท์พุทเป็น "0" ไปเรื่อยๆจน นับถึงค่าสุดท้าย แล้วจะกลับมาเป็น "1" ตลอดไป	
0 1	1	หารต่อ เนื่อง	เหมือนโหมด 0 แต่เมื่อนับถึงค่าสุด ท้ายแล้วจะกลับมา เริ่มต้นนับใหม่อีก วนไปเรื่อยๆ	
1 0	2	นับครึ่ง เดียว	เมื่อนับถึงค่าก่อน ค่าที่โปรแกรมอยู่ จะให้เอาท์พุท เป็น "0" และเมื่อ นับต่อไปอีก "1" [ถึงค่าสุดท้าย] จะ กลับมาเป็น "1" ตลอดไป	
1 1	3	นับต่อ เนื่อง	เหมือนโหมด 2 แต่เมื่อนับถึงสุด ท้ายแล้วจะกลับมา เริ่มต้นนับใหม่อีก วนไปเรื่อยๆ	

ตารางที่ 4 รายละเอียดแต่ละโหมดของเคาน์เตอร์



รูปที่ 3.13จ ความหมายแต่ละบิตของ CSR เมื่อ Z-80 ทำการเขียน (control byte)



รูปที่ 3.13ข ความหมายของไบนารีต่ำและไบนารีสูงของเคาน์เตอร์ เมื่อ Z-80 เขียนข้อมูลมาไป

ในการโปรแกรมตัวเคาน์เตอร์นี้ Z-80 จะต้องส่งค่าแอดเดรส (AD-D) เป็น 04H และ 05H ตามตารางที่ 2 ซึ่งจะเป็นการอ้างถึงไบต์ต่ำและไบต์สูง ของเคาน์เตอร์ ความหมายของไบต์ต่ำและไบต์สูงของเคาน์เตอร์นี้แสดงไว้ในรูปที่ 5 ซึ่งจะเห็นว่าที่บิต  $M_2$  และ  $M_4$  ของไบต์สูงนี้จะเป็นการกำหนดโหมดของเคาน์เตอร์นี้ ซึ่งมีด้วยกัน 4 โหมดตามตารางที่ 4 ส่วนบิต  $T_2$  ถึง  $T_0$  ของไบต์สูงกับบิต  $T_7$  ถึง  $T_0$  ของไบต์ต่ำจะเป็นการกำหนดค่าของการหารหรือการนับซึ่งทำให้มีค่าได้ตั้งแต่ 0010 ถึง 3FFF (2 ถึง 16,383) สมมติว่าต้องการฐานเวลาทุก ๆ 1 นาที จากความถี่ไฟบ้าน 50 Hz จะต้องโปรแกรมเคาน์เตอร์นี้ให้หารด้วย

$$= 50 * 60 = 3000 \text{ หรือ}$$

$$= 0BB8H \text{ หรือ}$$

$$= M_2 M_4 00 \quad 1011 \quad 1011 \quad 1000$$

แต่เนื่องจากต้องการสัญญาณเป็นฐานเวลา จึงต้องให้เคาน์เตอร์นี้ทำงานในโหมด 1 คือหารต่อเนื่อง ดังนั้นค่าไบต์สูงของเคาน์เตอร์นี้เป็น

$$0100 \quad 1011 \text{ หรือ } 4BH$$

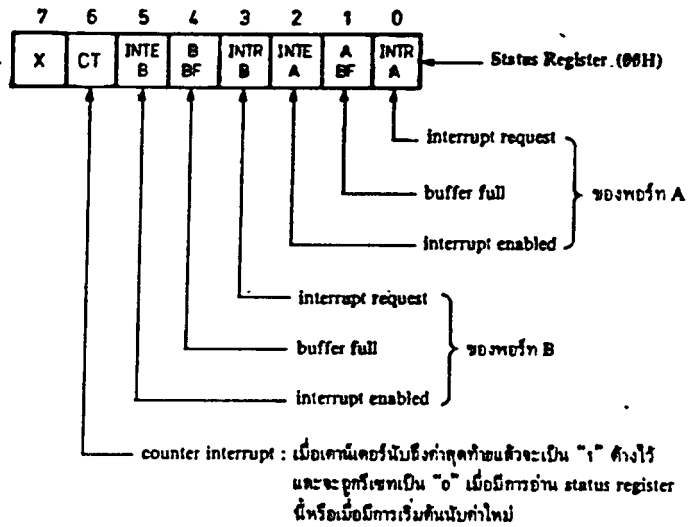
และค่าของไบต์ต่ำยังเหมือนเดิมคือ B8H ดังนั้นคำสั่งของ Z-80 เพื่อโปรแกรมเคาน์เตอร์จะเป็นดังนี้

LD (IX+1 , 04H ; อ้างถึงไบต์ต่ำของเคาน์เตอร์

LD (HL) , B8H ; โปรแกรมค่าไบต์ต่ำ

LD (IX+1) , 05H ; อ้างถึงไบต์สูงของเคาน์เตอร์

LD (HL) , 4BH ; โปรแกรมค่าไบต์สูงและโหมด



รูปที่ 3.13 ฉ ความหมายของแต่ละบิตของ CSR เมื่อ Z-80 ทำการอ่าน (status register)

ในการใช้งานเคาน์เตอร์หลังจากที่ได้โปรแกรมแล้ว จะต้องทำการอ้างถึง CSR ซึ่งบิต 6 และ บิต 7 ของ CSR (ดูรูปที่ 3.13จ)จะเป็นตัวควบคุมการทำงานของเคาน์เตอร์ นั่นคือจะต้องทำการอ้างถึง CSR ทุกครั้งที่มีการเริ่มต้นหรือหยุดเคาน์เตอร์ แต่ต้องคำนึงถึงบิต 0 ถึงบิต 5 ด้วย เพราะจะมีผลต่อการทำงานของพอร์ท หากค่าของบิต 0 ถึง 5 นี้เปลี่ยนไป

สมมติว่าหลังจากที่ได้โปรแกรมพอร์ทและเคาน์เตอร์ตามตัวอย่างที่ยกมาเรียบร้อยแล้ว จากตัวอย่างการโปรแกรมพอร์ทจะได้ค่า control byte เป็น 03H และถึงตอนนี้ต้องการให้เคาน์เตอร์เริ่มทำงานจะต้องส่งค่า control byte ใหม่เป็น

$$1100 \quad 0011 \quad = \quad C3H$$

คำสั่งของ Z-80 ที่จะอ้างถึง CSR ในตอนนี้ก็จะเขียน

```
LD (IX+1) , 00H ; อ้างถึง CSR
```

```
LD (HL) , C3H ; เริ่มเคาน์เตอร์
```

และถ้าหากต้องการหยุดเคาน์เตอร์เมื่อนับถึงค่า 3,000 แล้วจะได้ค่า control type เป็น

1000 0011 = 83H

เขียนคำสั่งของ Z-80 ได้เป็น

LD (IX+1) , 00H ; อ้างถึง CSR

LD (HL) , 83H ; หยุดเคาน์เตอร์

ยังมีอีกเรื่องหนึ่งของ CSR จากที่กล่าวมาทั้งหมดจะเห็นว่าเมื่อทำการอ้างถึง CSR จะเป็นการที่ Z-80 เขียนค่า control byte แต่ถ้าหากว่า Z-80 ทำการอ่านค่า CSR บ้าง ผลที่ได้ออกมาจะเป็นการอ่านสถานะการอินเตอร์รัพท์ของพอร์ตและเคาน์เตอร์ (อ้างถึง status register) ตามรูปที่ 6

สมมติว่าต้องการตรวจสอบว่าเคาน์เตอร์นับถึงค่าสุดท้ายหรือยัง ก็สามารถทำได้โดยการอ่านค่า status register แล้วทำการตรวจสอบบิต 6 ซึ่งสามารถใช้คำสั่งดังนี้

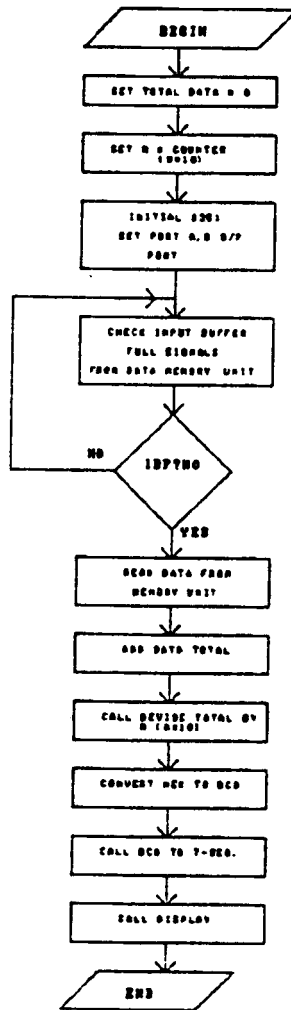
LD (IX+1) , 00H ; อ้างถึง CSR

LD A , (HL) ; อ่านค่า status register

BIT 6 , A ; ตรวจสอบบิต 6

JR NZ , ... ; ถ้าเป็น "1" ไปยังแอดเดรสที่ต้องการ

ส่วนในกรณีที่อ้างถึงไบต์ต่ำหรือไบต์สูงของเคาน์เตอร์และทำการอ่านค่าที่อ่านได้จะเป็นค่าที่เคาน์เตอร์นับเหลืออยู่ ส่วนบิต  $M_2$  และ  $M_1$  ของไบต์สูงยังคงอ่านค่าได้เป็นโหมดของเคาน์เตอร์ที่ทำการโปรแกรมไว้ก่อนแล้ว



รูปที่ 3.13 ต FOLW-CHART การทำงานของโปรแกรมของ Z-80 BOARD

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การทดลองเกี่ยวกับวงจรออสซิลเลเตอร์

จากการทดลองเกี่ยวกับวงจรออสซิลเลเตอร์ 1 และ 2 วัดสัญญาณทางด้าน O/P ของวงจรได้ แรงดันทางด้าน O/P ของวงจรออสซิลเลเตอร์เป็น  $35\text{mV}$  และความถี่ทางด้าน O/P ประมาณ  $14.96\text{ MHz}$

#### 4.2 การทดลองเกี่ยวกับวงจรขยายสัญญาณความถี่สูง

จากการทดลองจะพบว่าวงจรขยายสัญญาณความถี่สูงที่ใช้ IC เบอร์ LM733 และ NE 592 วงจรที่ใช้ IC คณะเบอร์จะให้ประสิทธิภาพในการทำงานของวงจรต่างกัน โดยจากการทดลองพบว่า IC เบอร์ NE592 จะมีเสถียรภาพในการทำงานสูงกว่า และมีสัญญาณรบกวนรวมทั้งความเพี้ยนของสัญญาณที่ขยายมีค่าน้อยกว่า LM733 จากการทดลองจะพบว่าวงจรขยายจะให้อัตราการขยายประมาณ 18 เท่า

#### 4.3 การทดลองเกี่ยวกับวงจรรีเลย์สัญญาณ

จากการทดลองการทำงานของวงจรรีเลย์สัญญาณ ได้ทำการทดลองโดยจ่ายสัญญาณขนาด  $1\text{mV}$  ให้กับวงจรโดยที่ไม่ผ่านทาง PIN Diode จะพบว่าวงจรจะมีอัตราการขยายเพิ่มขึ้น เมื่อปรับค่าความต้านทานที่ต่อ Feedback จากขาอิมิตเตอร์ของ  $Q_1$  มายังขา  $Q_2$  แต่ก็อาจจะทำให้เกิดความเพี้ยนขึ้นมาได้ถ้าปรับค่าไปมาก ๆ

นอกจากนั้นจากการทดลองยังพบว่า ยังสามารถปรับขนาดของสัญญาณทาง O/P ของวงจรได้โดยการปรับอัตราการขยายของวงจรขยาย (NE592)

#### 4.4 การทดลองเกี่ยวกับวงจรมิกเซอร์

เมื่อป้อนสัญญาณความถี่  $14.96\text{ MHz}$  จากวงจรออสซิลเลเตอร์ 1 เข้าที่ขา 10 ของ IC MC1496 โดยผ่านทางตัวเก็บประจุ  $0.1\mu\text{F}$  และป้อนสัญญาณ  $14.96\text{ MHz}$  เข้าที่ขา 1 ของวงจร หลังจากนั้น ก็วัดสัญญาณทางด้านเอาต์พุทของวงจร แล้วทำการปรับค่าตัวเก็บประจุของวงจรออสซิลเลเตอร์ 2 จนกระทั่งได้สัญญาณทางด้านเอาต์พุทของวงจรมิกเซอร์มีค่าเป็น  $2\text{ KHz}$

#### 4.5 การทดลองเกี่ยวกับวงจรแบนพาสฟิลเตอร์

การทดลองวงจรแบนพาสฟิลเตอร์ จะทำการทดลองโดยการต่ออินพุทของวงจรเข้ากับเอาต์พุทของวงจรมิกเซอร์แล้วทำการปรับค่าความต้านทาน 10K ที่ขาอินพุทของวงจร ซึ่งจะทำให้ขนาดเอาต์พุทของวงจรแบนพาสฟิลเตอร์เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

#### 4.6 การทดลองเกี่ยวกับวงจร Zero Crossing Detector

การทดลองวงจร Zero Crossing Detector ทำการทดลองโดยการป้อนสัญญาณ Sine Wave ขนาด 3 V<sub>pp</sub> ความถี่ 2KHz ให้กับวงจรทางด้านอินพุท หลังจากนั้นก็ทำการวัดสัญญาณทางด้านเอาต์พุทของวงจร ซึ่งก็จะได้สัญญาณรูปคลื่น Square Wave ขนาดความถี่ 2KHz โดยสัญญาณ HIGH ของวงจรจะมีค่าประมาณ 5 V และสัญญาณระดับ LOW Level จะมีค่าประมาณ 0 V

#### 4.7 การทดลองเกี่ยวกับวงจรเฟลชีฟเตอร์

การทดลองวงจรเฟลชีฟเตอร์ จะทำการทดลองโดยการป้อนสัญญาณ Square Wave ขนาด 5 V ความถี่ 2KHz เข้าทางอินพุทของวงจร แล้วทำการวัดสัญญาณทางด้านเอาต์พุทของวงจรโดยทำการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ในวงจรเฟลชีฟ แล้วนำเอาสัญญาณทางด้านอินพุทและเอาต์พุทมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งขณะที่ทำการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ในวงจร จะพบว่าสัญญาณทั้งสองจะมีเฟลชีฟกัน

#### 4.8 การทดลองเกี่ยวกับวงจร AGC

การทดลองวงจรเฟลชีฟเตอร์ จะทำการทดลองโดยการป้อนสัญญาณ Sine Wave 14.96 MHz ปรับขนาดของสัญญาณ Sine Wave ให้มีขนาดเปลี่ยนแปลงไปประมาณ 1mV<sub>p-p</sub> - 20mV<sub>p-p</sub> แล้วทำการวัดสัญญาณทางด้าน O/P ของวงจร พบว่าสัญญาณทางด้าน O/P ของวงจร AGC จะมีการค่าคงที่อยู่ที่ 500mV<sub>p-p</sub> ซึ่งขนาดของสัญญาณ I/P จะเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 1mV<sub>p-p</sub>-7mV<sub>p-p</sub> หลังจากนั้นสัญญาณ O/P ของวงจร AGC จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณทาง I/P

## บทที่ 5

### บทสรุปผลการทดลองและวิจารณ์

#### บทสรุป

จากการทดลองเกี่ยวกับการออกแบบและการสร้างเครื่องวัดระยะทางด้วยแสงที่ผ่านมาตลอดปีการศึกษา 2537 จะพบว่าสามารถนำเอาหลักการของเครื่องวัดระยะทางด้วยแสงนี้ไปประยุกต์ใช้กับงานต่างๆได้ นอกจากการวัดระยะทางแล้ว อาทิ เช่น นำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องวัดความยาวของสายไฟ วงจรวัดความต่างเฟสของสัญญาณ 2 สัญญาณและงานทางด้านอื่นๆ อีกมากมาย ทั้งนี้และทั้งนั้น ก็เพราะว่าเรารู้ถึงหลักการและวิธีการในการวัดระยะทางด้วยแสงมากขึ้น กอปรกับการทดลองและออกแบบพัฒนาเกี่ยวกับวงจรทางด้านเครื่องวัดระยะทางด้วยแสงนี้มากยิ่งขึ้น

เนื่องจากการทำงานของวงจรทั้งหมดเป็นย่านความถี่สูง ดังนั้น ในระหว่างการทำการทดลอง จึงต้องระมัดระวังและรอบคอบ เริ่มตั้งแต่การออกแบบขารายวงจร การลงอุปกรณ์การเดินสาย จนถึงการทดสอบวงจร (เพราะวงจรอาจจะเกิดการออสซิลเลตได้ง่าย)

#### บทวิจารณ์

แม้ว่าเราจะรู้หลักการทำงานและหลักการสร้างเครื่องวัดระยะทางด้วยแสงมากขึ้นก็ตาม แต่จากการทดลองจะพบว่า เครื่องวัดระยะทางด้วยแสงที่เรา กำลังจะสร้างขึ้นนี้ ยังมีจุดที่ควรแก้ไขอีกหลายประการ อาทิเช่น การป้องกันสัญญาณรบกวน การออกแบบและการสร้างวงจรที่เหมาะสม

---

### กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้จะไม่สามารถผ่านลุล่วงไปด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและร่วมมือจากหลายๆฝ่าย ขอขอบคุณ อาจารย์ สมศักดิ์ เขียวศิริกุล และรุ่นพี่ทุกคนที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้แก่ผู้จัดทำ รวมทั้งขอขอบคุณภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง

---

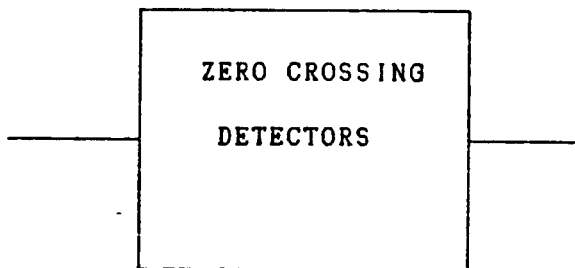
ภาคผนวก ก  
หลักการวัดความต่างเฟส

1. หลักการวัดความต่างเฟส

ในการวัดความต่างเฟสภายในเครื่องวัดนั้น จะมีขั้นตอนหลักๆที่สำคัญอยู่สามขั้นตอน คือ ขั้นแรกจะต้องนำสัญญาณที่จะมาวัดความต่างเฟส ซึ่งอยู่ในลักษณะคลื่น Sine Wave ให้เป็นสัญญาณ Square Wave เสียก่อน ขั้นตอนที่สองก็จะนำเอาสัญญาณทั้งสองมาทำการเปรียบเทียบความต่างเฟส ก็จะได้สัญญาณ Pulse ความต่างเฟสออกมา ขั้นตอนที่สามก็จะนำเอาสัญญาณ Pulse ความต่างเฟสที่ได้จากขั้นตอนที่สองไปแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อนำไปประมวลผลเป็นระยะทางในขั้นตอนต่อไป

1.1 การแปลงสัญญาณ Sine Wave เป็นสัญญาณ Square Wave

ในการแปลงสัญญาณ Sine Wave ให้เป็นสัญญาณ Square Wave สามารถทำได้โดยการใช้วงจร Zero Crossing Detectors เป็นวงจรหลักในการเปลี่ยน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การแปลงสัญญาณ Sine Wave เป็นสัญญาณ Square Wave

ด้วยวงจร ZERO CROSSING DETECTORS

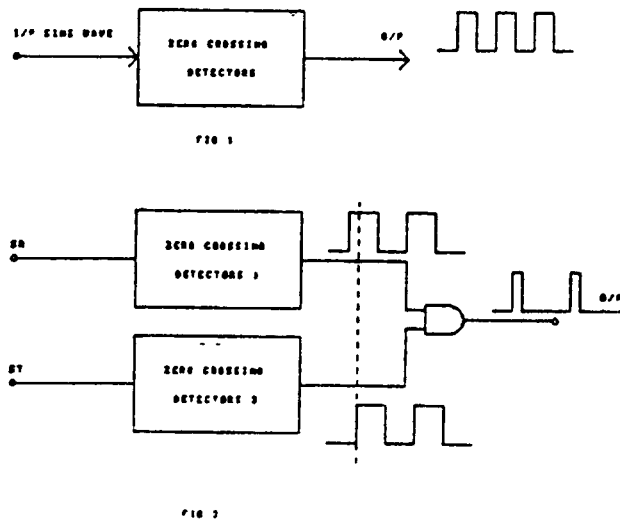
1.2 การสร้างสัญญาณ Pulse ความต่างเฟส

สามารถทำได้โดยการนำเอาสัญญาณ Square Wave ทั้งสองที่ต้องการเปรียบเทียบเฟส ไป

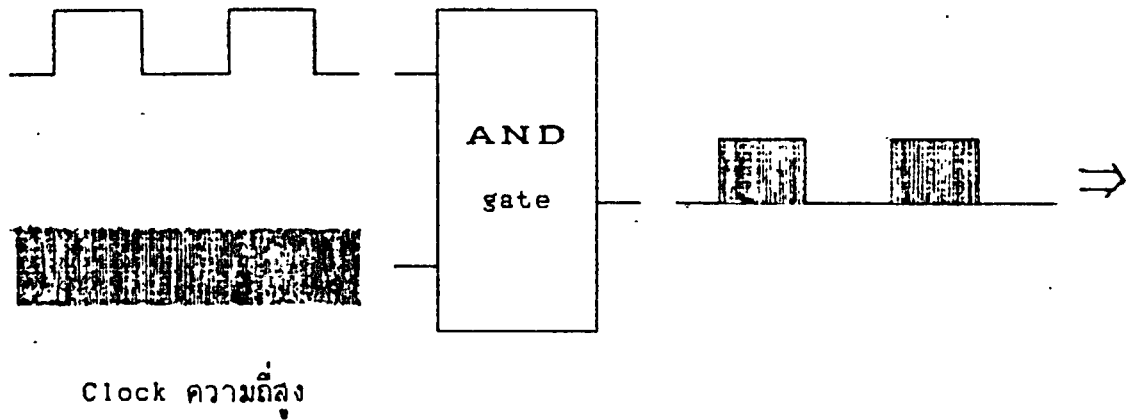
ป้อนเข้าสู่วงจรลอจิก ดังรูปที่ 2 ซึ่งวงจรลอจิกใน รูปที่ 2 ก็จะทำให้เอาท์พุทออกมาเป็นสัญญาณ Pulse ความต่างเฟสออกมาค่าๆ หนึ่ง ซึ่งความกว้างของสัญญาณ Pulse ความต่างเฟสนี้ จะมีค่ามากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความต่างเฟสของสัญญาณทั้งสอง ซึ่งก็หมายถึงระยะทางที่วัดนั่นเอง

### 1.3 การแปลงสัญญาณความต่างเฟสให้เป็นสัญญาณดิจิทัล

เมื่อได้สัญญาณ Pulse ความต่างเฟสของสัญญาณทั้งสองแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็จะเป็นการแปลงสัญญาณ Pulse ความต่างเฟสให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งสามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณ Pulse ความต่างเฟสไปเป็นสัญญาณเปิดเกตให้กับสัญญาณนาฬิกา ดังนั้น จำนวนสัญญาณนาฬิกาที่ออกทางด้าน O/P ของวงจร AND Gate จะขึ้นอยู่กับความกว้างของ Pulse ความต่างเฟส ซึ่งก็คือการขึ้นอยู่กับระยะทางนั่นเอง ดังนั้น จึงเปรียบเสมือนการแปลงระยะทางที่วัดได้ให้เป็นสัญญาณดิจิทัลนั่นเอง ภายในเครื่องวัดนี้จะใช้สัญญาณ Clock ขนาด 20MHz



รูปที่ 2 วงจรสร้างสัญญาณความต่างเฟส



รูปที่ 3 การแปลงสัญญาณความต่างเฟสให้เป็นสัญญาณดิจิทัล

## 2. การนำเอาจำนวนสัญญาณ CLOCK มาคำนวณเป็นระยะทาง

เมื่อได้สัญญาณ Clock จากการแปลงสัญญาณความต่างเฟสให้เป็นสัญญาณดิจิทัลแล้ว จำนวนสัญญาณ Clock ที่วัดได้ ก็จะถูกล่วงไปเข้าวงจรนับ เพื่อนับจำนวนสัญญาณ Clock ว่ามีจำนวนเท่าใด โดยในการนับสัญญาณ Clock จะใช้วงจรนับแบบ Binary Counter ขนาด 16 บิต หลังจากนั้น O/P ที่ได้จากวงจรนับ ก็จะถูกล่วงไปประมวลผลโดย Z-80 Main Board ซึ่งมีขั้นตอนในการประมวลผล ดังนี้

### 2.1 การคำนวณสัญญาณ CLOCK

เนื่องจากสัญญาณฐานเวลา 14.96 MHz ได้ถูกแปลงไปเป็นสัญญาณความถี่ต่ำขนาด 2KHz ด้วยวงจรมิกเซอร์ จึงทำให้คาบเวลาของสัญญาณฐานเวลาภายในเครื่องวัดจาก 66.84 nsec ไปเป็น 0.5 msec ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัญญาณมีความเวลามากกว่าเดิม 7480 เท่า

$$\text{จากสูตร } T = 1/F$$

ดังนั้น สัญญาณ 2KHz จะมีคาบเวลาเป็น  $T = 1/2000$

$$= 0.5\text{msec}$$

และสัญญาณ 14.96MHz จะมีคาบเวลาเป็น

$$T = 1/14.96 \times 10^6$$

$$= 66.84 \text{ nsec}$$

แต่เนื่องจากเฟสของสัญญาณความถี่ต่ำ 2KHz ก็จะมีค่าเท่ากับเฟสของสัญญาณความถี่ 14.96 MHz ดังเดิม เนื่องจากสัญญาณความถี่ 14.96 MHz มีความยาวคลื่นประมาณ 20 เมตร ดังนั้น เครื่องก็จะวัดได้ระยะทางสูงสุดที่ไม่ทำให้เกิดความผิดพลาดเป็น  $20/4 = 5$  เมตร ระยะทาง 5 เมตรเป็นระยะทางที่ทำให้สัญญาณความถี่ 14.96MHz ที่ถูกส่งออกไปมีความต่างเฟสกับสัญญาณฐานเวลาภายในเครื่อง 180 องศา ซึ่งจะทำให้สัญญาณความถี่ต่ำที่ถูกแปลง 2KHz มีความต่างเฟสกันได้สูงสุด 180 องศา หรือคิดเป็นจำนวนเวลาก็จะมีค่าเป็นเวลา  $0.5\text{msec}/2 = 0.25\text{msec}$  เช่นกัน

ดังนั้น จำนวนสัญญาณ Clock สูงสุดที่วงจรสามารถนับได้โดยที่การวัดยังไม่เกิดการผิดพลาด ก็จะมีค่าดังนี้

$$20 \text{ MHz} \cdot (0.5\text{msec}/2) = 5000 \text{ Clock}$$

ดังนั้น ก็จะได้อัตราส่วนระหว่างจำนวน Clock ต่อระยะทางเป็นเมตรเป็นจำนวน

$$5000 \text{ Clock}/5 = 1000 \text{ Clock/เมตร}$$

## 2.2 การทำงานของโปรแกรม

เมื่อทราบค่าอัตราส่วนระหว่างจำนวน Clock ต่อจำนวนระยะทางแล้ว ก็สามารถนำเอามาเป็นข้อมูลในการเขียนโปรแกรม โดยการทำงานของโปรแกรมภายในเครื่องวัดระยะทางนี้ จะมีลักษณะการทำงานดังนี้ คือ

1. อ่านค่าข้อมูลจากหน่วยความจำภายในเครื่องวัดมาจำนวน 10 ค่า
2. เอาค่าข้อมูลที่อ่านเข้ามาจากหน่วยความจำมาหาค่าเฉลี่ย
3. เนื่องจากสัญญาณที่อ่านเข้ามาเป็นสัญญาณ Binary จึงต้องเปลี่ยนเป็นสัญญาณ BCD
4. ส่งสัญญาณไปแสดงผลทางภาคแสดงผลขนาด 4 หลัก

ภาคผนวก ข.

1. แหล่งกำเนิดสัญญาณแสงเลเซอร์ ( LASER LIGHT SOURCE )

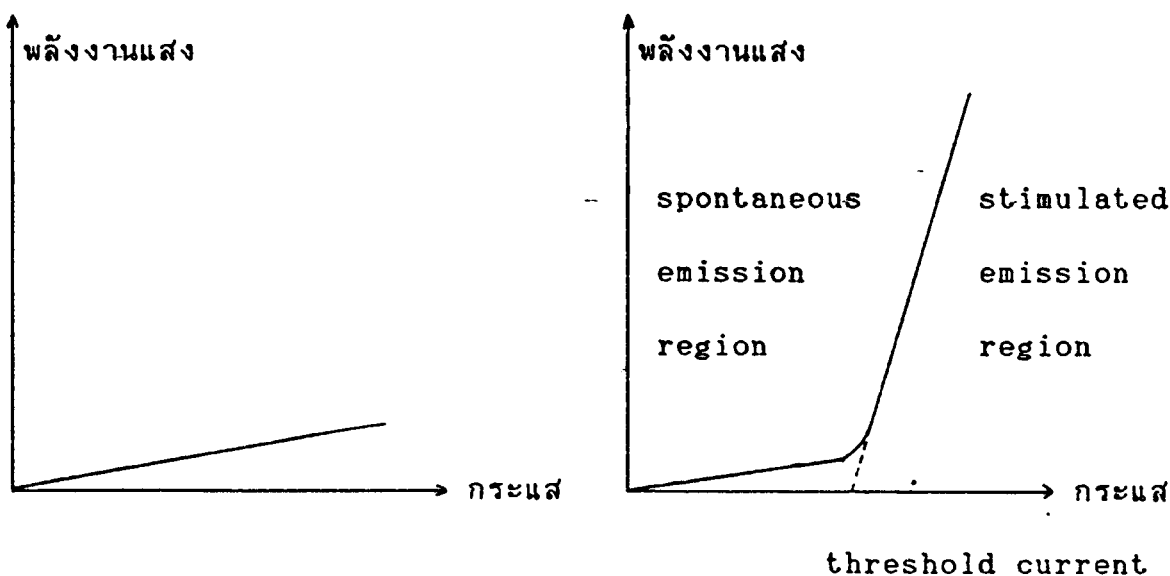
แหล่งกำเนิดสัญญาณแสง คือ อุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าในรูปของกระแสเป็นพลังงานคลื่นแสง (Light) ซึ่งมีอยู่ 2 แบบที่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสง ในส่วนของการส่งสัญญาณ คือ

1. LED (Light Emitting Diode)

2. LASER DIODE

ในการให้กำเนิดแสงจะพบว่าเลเซอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่จะพลังงานคลื่นแสงออกมาได้ดีกว่าพลังงานคลื่นแสงที่ได้มาจากตัว LED โดยคลื่นแสงเลเซอร์จะมีระนาบและทิศทางเคลื่อนที่เป็นระเบียบมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจาก โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอดมีระนาบของ Mirror ทำให้เกิดการป้อนกลับทางแสง (Opticals Feedback) และการเกิดสภาวะ Population Inverstion ทำให้ Spectrum ของแสงที่ได้ออกมามีแบนด์วิดท์แคบมากๆ และพลังงานแสงที่เปล่งออกมาจากตัวเลเซอร์ไดโอด ก็จะสูงกว่าลำแสงที่ได้จาก LED มาก โดยแสงที่เปล่งออกมาจะมีลักษณะการกระจายของลำแสงเป็นแบบ Gaussian Beam

ซึ่งสามารถพิจารณาพลังงานแสงที่เปล่งออกมาจากตัวเลเซอร์ไดโอดและตัว LED โดยเปรียบเทียบปริมาณกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ทั้งสอง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1.ก LED

รูปที่ 1.ข LASER DIODE

รูปที่ 1 แสดงพลังงานแสงที่เปล่งออกมาเปรียบเทียบกับกระแสในอุดมคติ

จะเห็นได้ว่าเลเซอร์ไดโอดจะทำงานเหมือน LED เมื่อป้อนกระแสผ่านตัวเลเซอร์ไม่เกินกระแสเทรลโฮลด์ (Threshold Current) ซึ่งในความเป็นจริงในบริเวณนำกระแสในช่วงนี้ (Spontaneous Emission Region) LED จะเปล่งแสงออกมาเป็นเชิงเส้น (Linear) มากกว่าเลเซอร์ไดโอด ฉะนั้นจึงเหมาะสำหรับการส่งสัญญาณแบบอนาล็อก (Analog Signals) แต่ก็ยังมีวิธีการที่จะสามารถทำให้แสงที่เปล่งออกมาในช่วงนี้มีความเป็นลิเนียร์ (Linear) มากขึ้น โดยวิธีการป้อนกลับทางบวก (Negative Feedback)

ข้อดีของเลเซอร์ไดโอด คือ ให้พลังงานแสงที่เปล่งออกมาสูง การกระจายของแสงและการสูญเสียของพลังงานต่ำกว่าของตัว LED เมื่อส่งสัญญาณผ่านบรรยากาศ ถึงแม้ว่าเลเซอร์ไดโอดจะมีข้อดีจะมีข้อดีมากกว่า แต่การนำเอาเลเซอร์ไดโอดมาใช้ก็มีความยุ่งยากมาก เช่นกัน เนื่องด้วยเลเซอร์ไดโอดมีราคาสูงมาก ในการใช้งานจึงต้องมีอุปกรณ์ช่วย เช่น วงจรควบคุมกระแส วงจรควบคุมแรงดัน วงจรควบคุมอุณหภูมิ ฯลฯ เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพและมีอายุการใช้งานมากขึ้น โดยอายุการใช้งานของเลเซอร์ไดโอดจะแปรผกผันกับกระแสที่ไหลผ่านตัวมันกับอุณหภูมิที่รอยต่อ ( $\propto 1/TK$ )

เมื่อป้อนกระแสให้กับตัวเลเซอร์เกินกระแสเทรลโฮลด์ จะทำให้ตัวเลเซอร์ไดโอดเปล่งแสงเลเซอร์ออกมา ซึ่งอยู่ในบริเวณ Stimulated Emission Region ดังรูปที่ 1. ข

## 2. ตัวรับสัญญาณแสง (Photo Detectors)

ตัวรับสัญญาณแสง คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณทางกระแสไฟฟ้า ซึ่งตัวรับแสงที่ใช้งานในช่วงความถี่สูงๆจะมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ

1. P-I-N PHOTO Diode

2. Avalanche Photo Diode (APD)

คุณสมบัติที่สำคัญของตัวโฟโตดีเทคเตอร์ (Photo Detectors) ที่นำมาใช้งานในด้านต่างๆมีดังนี้คือ

1. Quantum Efficiency เป็นอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างจำนวนคู่อิเล็กตรอน-โฮลที่เกิดขึ้นกับจำนวนโฟตอน (Photon) ที่มาตกกระทบ

2. ความเร็วในการตอบสนอง (Speed Of Response) สำหรับ P-I-N Diode ที่สร้างมาจากสารซิลิกอน จะมีการตอบสนองที่บริเวณดริฟท์ (Drift Region) 50  $\mu\text{m}$  จะมีความเร็วในการตอบสนองประมาณ 0.5 ns และที่ High Quantum Efficiency จะมีค่าประมาณ 0.8-0.9  $\mu\text{m}$  กรณีของ APD ความเร็วของการตอบสนองจะถูกจำกัดตามค่าอัตราขยาย (Gain) ของ APD ซึ่งจะอยู่ในรูปของ Gain-Bandwidth

3. Capacitances จะมีผลต่อการตอบสนองเวลาของสัญญาณ (Time Response) สัญญาณรบกวนและขีดจำกัดในเรื่องของความถี่ที่จะนำมาใช้งาน

4. Dark Current คือ กระแสที่รั่วไหลที่เกิดขึ้น ณ บริเวณรอยต่อในขณะที่ยังไม่ได้รับสัญญาณแสงเข้ามา ซึ่งถือว่าเป็นสัญญาณรบกวนระบบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง ในภาครับที่ใช้โฟโตไดโอดเป็นตัวรับสัญญาณแสง

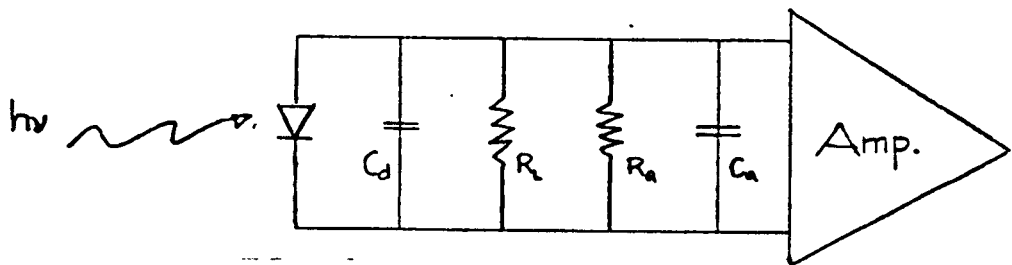
5. Linearity ความเป็นเชิงเส้น คือ การตอบสนองสัญญาณแสงที่รับเข้ามา กับปริมาณกระแสที่ได้ เนื่องจากแสงที่มากตกกระทบ มีผลต่อการออกแบบวงจรมาก

การใช้งาน PIN Photo Diode ต้องป้อนแรงดันไบอัสย้อนกลับ (Reverse Bias) ให้กับตัวไดโอด ม่สูงมากนักแต่ควรจะมีค่าสูงเกินกว่า 5 โวลต์ ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดค่าความจุที่รอยต่อของไดโอดอย่างเหมาะสม ส่วน APD ต้องการแรงดันไบอัสย้อนกลับมีค่าสูงมากระหว่าง 100-400 โวลต์ ซึ่งค่าแรงดันที่ไบอัสให้แก่ APD นี้จะเป็นการปรับค่า Multiplication Factor (M)

$$\text{โดยที่ } M = I / I_0$$

$I$  = กระแสที่ออกจาก APD

$I_0$  = กระแสที่ได้จากพลังงานแสง



### รูปที่ 2 วงจรสมมุติของภาครับสัญญาณแสง

จากรูปที่ 2 ถ้าใช้ PIN Diode โดยปกติสัญญาณรบกวนซึ่งเกิดจากโหลด  $R_L$  และ วงจรขยายสัญญาณ จะมีค่ามากกว่าสัญญาณรบกวนที่มาจากสัญญาณแสง (Photon) มาก ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการ Signals Common Noise Ratio SCNR ได้

$$S/N = \frac{2(pnq/hv)}{4KTB/R_L}$$

- เมื่อ  $p$  = พลังงานแสงที่เข้าตกกระทบ  
 $n$  = Quantum Efficiency  
 $h$  = ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's Constant)  
 $v$  = ความถี่ของคลื่นแสง  
 $B$  = แบนวิดท์ (Bandwidth)  
 $q$  = ค่าประจุอิเล็กตรอน (Electronic Charge)  
 $T$  = อุณหภูมิ (เคลวิน)  
 $K$  = ค่าคงที่ของ Boltzman

สัญญาณที่มีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะวัดได้ ( $S/N = 1$ ) ของ PIN Diode

$$P_{min} = \frac{hv \cdot (2KTB/R_L)^{1/2}}{qn}$$

สำหรับ APD แล้วจะได้

$$P_{min} = \frac{hv \cdot (2KTB/R_L)^{1/2}}{(M)^{2n}}$$

จะเห็นได้ว่าในกรณีที่สัญญาณรบกวนของโหลด  $R_L$  และวงจรมายาสัญญาณมากกว่าสัญญาณรบกวนจากพลังงานแสง APD จะใช้งานได้ดีกว่า PIN Diode ซึ่งสามารถรับสัญญาณที่มีพลังงานต่ำสุดต่ำกว่าถึง  $1/M$  เท่า ในทางตรงกันข้ามถ้าสัญญาณรบกวนที่มาจากสัญญาณแสงมากกว่าสัญญาณรบกวนที่มาจากโหลดและวงจรมายาสัญญาณแล้ว จะได้

$$S/N = \frac{2(pnq/hv)^2}{3q^2 n B p / hv}$$

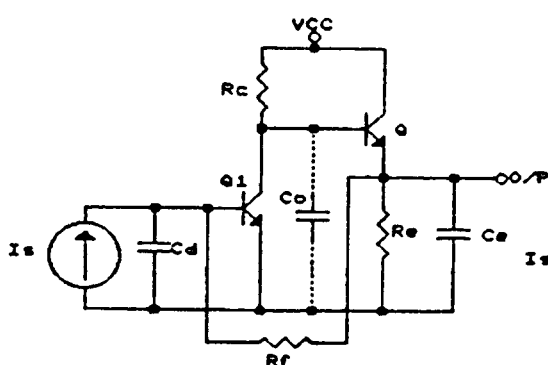
ค่า Multiplication Factor,  $M$  จะไม่มีผลอะไรขึ้น ซึ่งจะทำให้ความไวของการรับแสงระหว่าง APD กับ PIN Diode ไม่มีความแตกต่างกันมาก

ภาคผนวก ค.

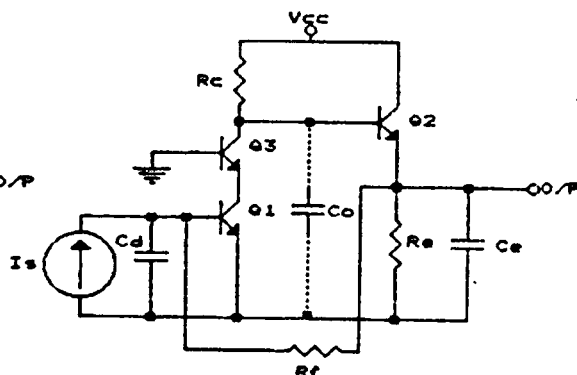
วงจรขยายแบบทรานส์อิมพีแดนซ์

เป็นที่ยอมรับกันมาแล้วว่า วงจรขยายสัญญาณแบบทรานส์อิมพีแดนซ์ (Transimpedance Amp) เป็นวงจรขยายสัญญาณในภาครับสัญญาณแสงที่เหมาะสมมาก ทั้งนี้เนื่องจากวงจรชนิดนี้ให้สัญญาณรบกวนต่ำ และให้แบนวิดท์ (Bandwidth) กว้าง โดยวงจรจะทำการแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้า จึงทำให้อิมพีแดนซ์ของวงจรมีค่าต่ำลง เพราะเนื่องจากการป้อนกลับแบบลบภายในวงจร

วงจรทรานส์อิมพีแดนซ์ที่นำมาพิจารณาจะมีอยู่ 2 แบบ คือ วงจรขยายสัญญาณภาครับ ดังรูปที่ 1ก ซึ่งต่อแบบ Common Emitter/Common Collector (CE/CC) และวงจรในรูปที่ 1ข ซึ่งต่อแบบ Cascode/Common Collector (Cascode)



รูปที่ 1ก (CE/CC)



รูปที่ 1ข Cascode

รูปที่ 1 แสดงวงจรขยายสัญญาณแบบทรานส์อิมพีแดนซ์

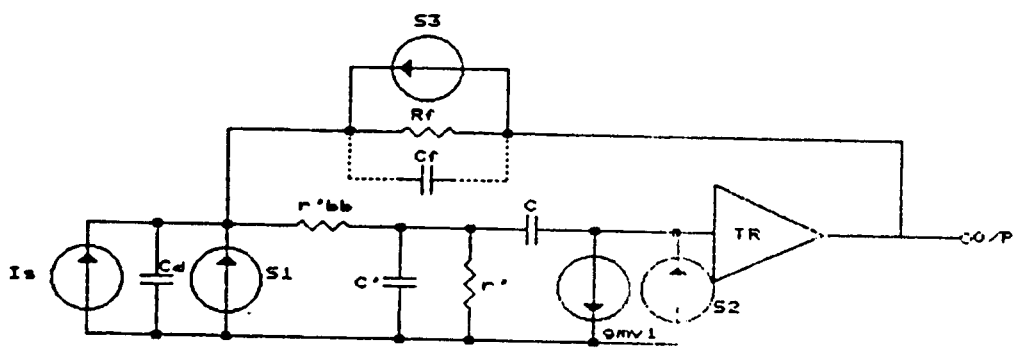
แต่ลักษณะของวงจรที่ต้องการนำมาใช้งาน คือ วงจรขยายสัญญาณแบบทรานส์อิมพีแดนซ์ที่มีวงจรส่วนแรกมีสัญญาณรบกวนต่ำและมีเสถียรภาพในการทำงาน ซึ่งสามารถเขียนวงจรสมมูลย์ของค่าสัญญาณรบกวนภายในวงจรได้ ดังรูปที่ 2

$S_1$  = เป็นสัญญาณรบกวน(Shot Noise)ที่เกิดขึ้นที่ขา(Base)

$S_2$  = เป็นสัญญาณรบกวน(Shot Noise)ที่เกิดขึ้นที่ขาคอลเลคเตอร์(Collector)

$S_3$  = เป็นสัญญาณรบกวน(Thermal Noise)ที่เกิดจาก  $R_f$

TR = ทรานส์ริซิสแตนท์ของขยายสัญญาณที่ 2



รูปที่ 2 แสดงแบบจำลองของสัญญาณรบกวนในวงจร

จากรูปที่ 3 จะได้ทรานส์เฟอ์ฟังก์ชัน(Transfer Function)ของวงจรขยายสัญญาณแบบนี้ (โดยกำหนดให้  $r'_{bb} = 0$ ) เป็น

$$Z_c(s) = \frac{A_o R_{eff}}{1 + (S R_{eff} / R'_c)(t_c + C'_t R'_c) + S^2 t_c C'_t R_{eff}}$$

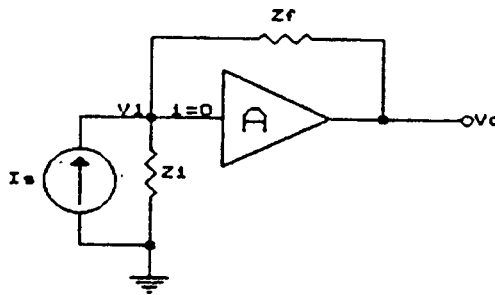
โดยที่  $R_{eff} = \frac{r'_d R_f / (1 + A_o)}{r'_d + R_f / (1 + A_o)}$

$$r_{id} = \frac{R_f r_{id}}{R_f + r_{id}}$$

เมื่อ กำหนดให้

$C_c$  = ค่าอินพุตคาปาซิแตนซ์ลูปปิดสูงสุดของวงจรรขยาย  
(Amplifier Total Close-Loop Input Capacitance )

$C'_c$  = ค่าอินพุตคาปาซิแตนซ์ของวงจรรขยายรูปปิด  
(Amplifier Total Open-Loop Input Capacitance )



รูปที่ 3 แสดงไดอะแกรมของวงจรรทรานส์อิมพีแดนซ์

ดังนั้น  $Z_c(s)$  จะมีโพล(Pole)อยู่ 2 ค่า

$$Z_c(s) = \frac{Z_c(0)}{1 + s(1/Qw_0) + s^2(1/w_0)^2}$$

K คือ แคมป์อิงแฟคเตอร์ (Damping Factor) =  $1/2Q$

โดยสมมติว่า  $t_c \ll C_c R_c$  และ  $C'_c = C_c$  (สำหรับ  $C_c \ll C_o$ )

ซึ่งทำให้สามารถพิจารณาออกแบค่าต่างๆ ในวงจรขยายสัญญาณแบบ ทรานส์อิมพีแดนซ์ได้ โดยกำหนดให้  $r'_c$  มีค่าน้อย ซึ่งจะไม่มีผลต่อเสถียรภาพของวงจร

แบนวิทช์ของสัญญาณ (Signals Bandwidth) ค่าความถี่ 3 dB ของ  $Z_c(j\omega)$  ขึ้นกับค่าของ K และกำหนดได้ดังนี้

$$B_c \approx B \quad \text{เมื่อ } K \gg 1$$

$$B_c \approx 1.2872B \quad \text{เมื่อ } K = 1$$

$$B_c \approx 1.414B \quad \text{เมื่อ } K = 1/\sqrt{2}$$

โดยที่

$$B = \frac{1}{2\pi C_c R_{eff}}$$

หาค่า  $R_c$  โดย

$$R_c = \frac{1}{8\pi B_c (2C_c + C_o)} \quad \text{เมื่อ } K \gg 1$$

$$R_c = \frac{1.2872}{8\pi B_c (2C_c + C_o)} \quad \text{เมื่อ } K = 1$$

$$R_c = \frac{1.414}{8\pi B_c (2C_c + C_o)} \quad \text{เมื่อ } K = 1/\sqrt{2}$$

$C_o$  = คาปาซิแตนซ์ที่แฝงอยู่ที่  $R_c$  ทั้งหมด (Total Parasitic Capacitance Across  $R_c$ )  
ซึ่งค่าเทียบเท่าของแบนวิทช์ของสัญญาณรบกวน (Equivalent Noise Bandwidth) ถูกประมาณโดย

และนั่น  
 ระบายแล  $I_{B_1}$  ที่เหมาะสมเพื่อไบอัสแก่ทรานซิสเตอร์ เพื่อให้วงจรมีสัญญาณรบกวนน้อยที่สุด

$$I_{B_1} = \frac{(KT/q)(2\tau C_{B_1} B_{1_1})}{3B_{1_1}}$$

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวงจรทรานซิสต์ทั้งสองแบบ จะพบว่าการต่อวงจรแบบ Cascode จะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อยกว่าการต่อวงจรแบบ CE/CC ข้อดีของการต่อวงจรแบบ Cascode อีกประการหนึ่ง คือ ให้แบนวิดท์กว้างกว่าการต่อวงจรแบบ CE/CC ทั้งนี้เพราะสามารถลด Miller Capacitance Multiplication ในทางปฏิบัติจะต้องปรับค่า  $R_{E_1}$  และ  $R_{F_1}$  เพื่อให้ได้แบนวิดท์ตามต้องการ



### PIN SILICON PHOTO DIODES

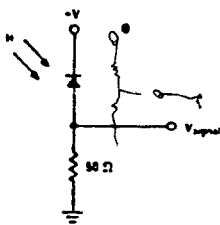
designed for application in light detection, light communications, detection of visible and near infrared light-emitting diodes, optical position encoders, switching and logic circuits, or any other application requiring radiation sensitivity, ultra-high speed, and stable characteristics.

- Ultra Fast Response - ( $< 10$  ns Typ)
- High Sensitivity - MRD500 (1.2  $\mu$ A/mW/cm<sup>2</sup> Min)  
MRD510 (0.3  $\mu$ A/mW/cm<sup>2</sup> Min)
- Available With Convex Lens (MRD500) or Flat Glass (MRD510) for Design Flexibility
- Popular TO-18 Type Package for Easy Handling and Mounting
- Sensitive Throughout Visible and Near Infrared Spectral Range for Wide Application
- Annular Passivated Structure for Stability and Reliability

### MAXIMUM RATINGS (T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	V <sub>R</sub>	100	Volts
Total Power Dissipation @ T <sub>A</sub> = 25°C Derate above 25°C	P <sub>D</sub>	100 0.57	mW mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T <sub>J</sub> , T <sub>stg</sub>	-65 to +200	°C

FIGURE 1 - TYPICAL OPERATING CIRCUIT

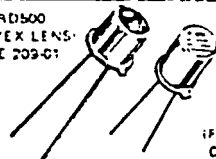


**MRD500  
MRD510**

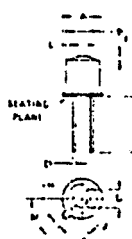
### PHOTO DIODES PIN SILICON

100 VOLTS  
100 MILLIWATTS

MRD500  
(CONVEX LENS)  
CASE 209-01



MRD510  
(FLAT GLASS)  
CASE 210-01

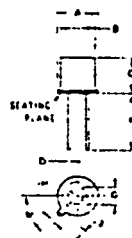


NOTES  
1. PA 2 INTERNALLY CONNECTED TO CATHODE  
2. LEADS WITHIN 0.125 IN DIA  
3. RADIUS OF TOTAL POSITION  
4. AT SEATING PLANE AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION

DIM	MIN	TYP	MAX
A	0.137	0.140	0.143
B	0.137	0.140	0.143
C	0.137	0.140	0.143
D	0.137	0.140	0.143
E	0.137	0.140	0.143
F	0.137	0.140	0.143
G	0.137	0.140	0.143
H	0.137	0.140	0.143
I	0.137	0.140	0.143
J	0.137	0.140	0.143
K	0.137	0.140	0.143
L	0.137	0.140	0.143
M	0.137	0.140	0.143
N	0.137	0.140	0.143
O	0.137	0.140	0.143
P	0.137	0.140	0.143
Q	0.137	0.140	0.143
R	0.137	0.140	0.143
S	0.137	0.140	0.143
T	0.137	0.140	0.143
U	0.137	0.140	0.143
V	0.137	0.140	0.143
W	0.137	0.140	0.143
X	0.137	0.140	0.143
Y	0.137	0.140	0.143
Z	0.137	0.140	0.143

STYLL 1  
PA 1 ANODE  
PA 2 CATHODE

CASE 209-01



NOTES  
1. PA 2 INTERNALLY CONNECTED TO CATHODE  
2. LEADS WITHIN 0.125 IN DIA  
3. RADIUS OF TOTAL POSITION  
4. AT SEATING PLANE AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION

DIM	MIN	TYP	MAX
A	0.137	0.140	0.143
B	0.137	0.140	0.143
C	0.137	0.140	0.143
D	0.137	0.140	0.143
E	0.137	0.140	0.143
F	0.137	0.140	0.143
G	0.137	0.140	0.143
H	0.137	0.140	0.143
I	0.137	0.140	0.143
J	0.137	0.140	0.143
K	0.137	0.140	0.143
L	0.137	0.140	0.143
M	0.137	0.140	0.143
N	0.137	0.140	0.143
O	0.137	0.140	0.143
P	0.137	0.140	0.143
Q	0.137	0.140	0.143
R	0.137	0.140	0.143
S	0.137	0.140	0.143
T	0.137	0.140	0.143
U	0.137	0.140	0.143
V	0.137	0.140	0.143
W	0.137	0.140	0.143
X	0.137	0.140	0.143
Y	0.137	0.140	0.143
Z	0.137	0.140	0.143

STYLL 1  
PA 1 ANODE  
PA 2 CATHODE

CASE 210-01

# MRD500, MRD510

## STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Fig. No.	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Dark Current ( $V_R = 20\text{ V}$ , $R_L = 1.0\text{ megohm}$ , Note 2) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 100^\circ\text{C}$	4 and 1	$I_D$		14	20	nA
Reverse Breakdown Voltage ( $I_R = 10\ \mu\text{A}$ )		$V_{BR}$	2.0	2.5	3.0	V
Forward Voltage ( $I_F = 50\text{ mA}$ )		$V_F$		0.52	1.0	V
Series Resistance ( $I_F = 50\text{ mA}$ )	-	$R_s$	-	1.2	1.0	ohms
Total Capacitance ( $V_R = 20\text{ V}$ , $f = 1.0\text{ MHz}$ )	6	$C_T$	-	2.5	4	pf

## OPTICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )

Characteristic	Fig. No.	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Radiation Sensitivity ( $V_R = 20\text{ V}$ , Note 1)	MRD500 MRD510	$S_R$	1.2 0.3	3.0 0.47	-	$\mu\text{A}/\text{mW}/\text{cm}^2$
Sensitivity at 0.8 $\mu\text{m}$ ( $V_R = 20\text{ V}$ , Note 3)	MRD500 MRD510	$S_{(0.8\ \mu\text{m})}$	-	6.6 1.5	-	$\mu\text{A}/\text{mW}/\text{cm}^2$
Response Time ( $V_R = 20\text{ V}$ , $R_L = 50\text{ ohms}$ )	-	$t_{resp}$	-	1.0	-	ns
Wavelength of Peak Spectral Response	7	$\lambda_p$	-	0.8	-	$\mu\text{m}$

### NOTES

1. Radiation flux density (H) equal to 5.0 mW/cm<sup>2</sup> emitted from a tungsten source at a color temperature of 2870°K.
2. Measured under dark conditions. (Hz: 0).
3. Radiation flux density (H) equal to 0.8 mW/cm<sup>2</sup> at 0.8  $\mu\text{m}$ .

# MRD500, MRD510

## TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS

FIGURE 2 - IRRADIATED VOLTAGE - CURRENT CHARACTERISTIC FOR MRD500

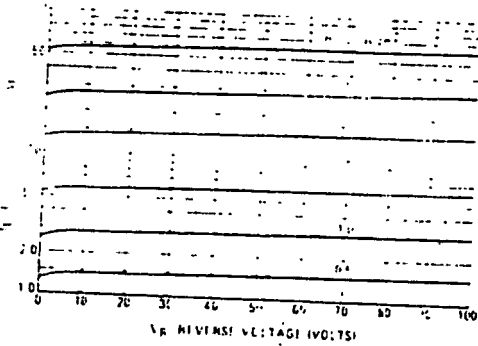


FIGURE 3 - IRRADIATED VOLTAGE - CURRENT CHARACTERISTIC FOR MRD 510

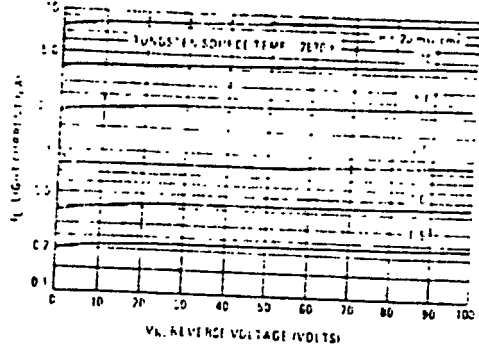


FIGURE 4 - DARK CURRENT versus TEMPERATURE

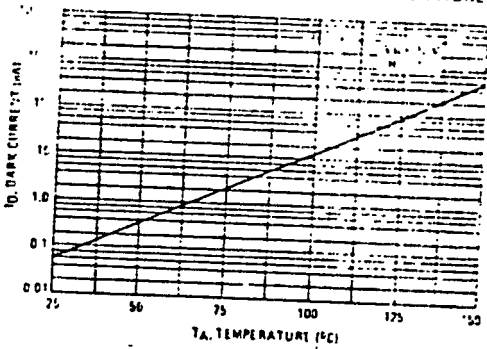


FIGURE 5 - DARK CURRENT versus REVERSE VOLTAGE

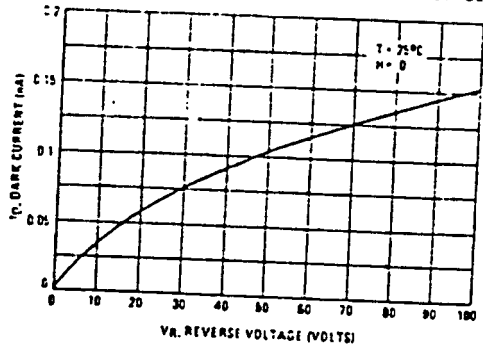


FIGURE 6 - CAPACITANCE versus VOLTAGE

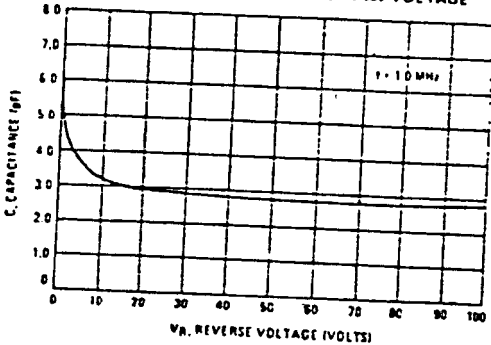
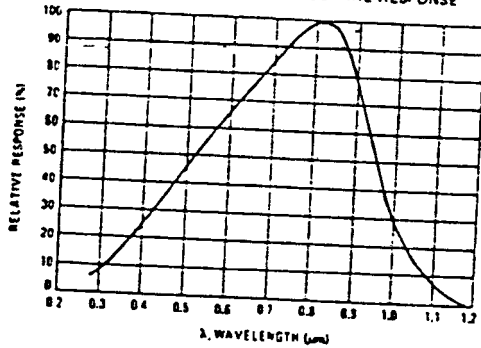


FIGURE 7 - RELATIVE SPECTRAL RESPONSE



## MC1496/MC1596 Balanced Modulator/ Demodulator

### Product Specification

Linear Products

#### DESCRIPTION

The MC1496 is a monolithic double-balanced modulator/demodulator designed for use where the output voltage is a product of an input voltage (signal) and a switched function (carrier). The MC1596 will operate over the full military temperature range of  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$ . The MC1496 is intended for applications within the range of  $0^{\circ}\text{C}$  to  $+70^{\circ}\text{C}$ .

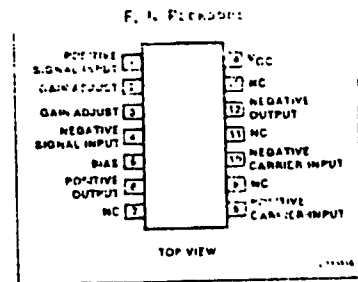
#### FEATURES

- Excellent carrier suppression  
50dB typ 0.5MHz  
55dB typ 10MHz
- Adjustable gain and signal handling
- Balanced inputs and outputs
- High common-mode rejection—  
35dB typ

#### APPLICATIONS

- Suppressed carrier and amplitude modulation
- Synchronous detection
- FM detection
- Phase detection
- Sampling
- Single sideband
- Frequency doubling

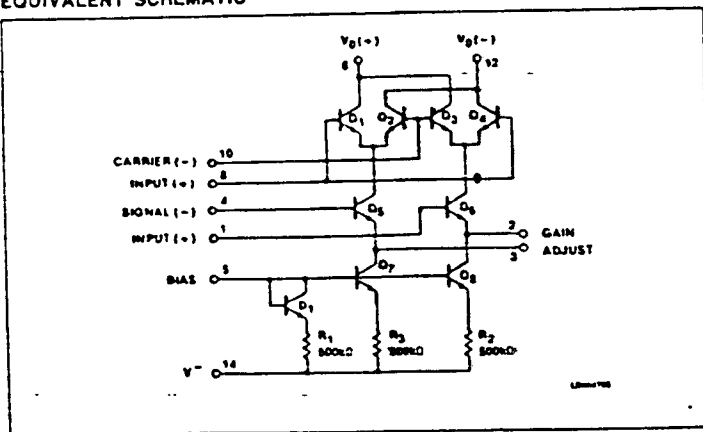
#### PIN CONFIGURATION



#### ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE
14-Pin Cerdip	$0^{\circ}\text{C}$ to $+70^{\circ}\text{C}$	MC1496F
14-Pin Plastic	$0^{\circ}\text{C}$ to $+70^{\circ}\text{C}$	MC1496N
14-Pin Cerdip	$-55^{\circ}\text{C}$ to $+125^{\circ}\text{C}$	MC1596F
14-Pin Plastic	$-55^{\circ}\text{C}$ to $+125^{\circ}\text{C}$	MC1596N

#### EQUIVALENT SCHEMATIC



# Balanced Modulator/Demodulator

MC1496 MC1596

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNIT
	Applied voltage	30	V
$V_1 - V_2$	Differential input signal	10	V
$V_1 - V_1'$	Differential input signal	( $V_{11}$ )	V
$V_2 - V_2'$ $V_1 - V_2'$	Input signal	0	V
$I_b$	Bias current	10	mA
$P_D$	Maximum power dissipation, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (still-air) <sup>1</sup>	F package	1190
		N package	1420
$T_A$	Operating temperature range	MC1496	0 to +70
		MC1596	-55 to +125
$T_S$	Storage temperature range	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

NOTE:

- <sup>1</sup> Derate above 25 $^\circ\text{C}$ , at the following rates:  
 F package at 0.5 mW/ $^\circ\text{C}$   
 N package at 1.4 mW/ $^\circ\text{C}$

## DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS $V_{CC} = +12\text{Vdc}$ ; $V_{EE} = -5\text{Vdc}$ ; $I_S = 1.0\text{mA}$ ; $R_L = 3.0\text{k}\Omega$ ; $R_E = 1.0\text{k}\Omega$ ; $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	MC1596			MC1496			UNIT
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
$R_{ip}$ $C_{ip}$	Single-ended input impedance Parallel input resistance Parallel input capacitance	Signal port, $f = 50\text{MHz}$							k $\Omega$ pF
$R_{op}$ $C_{op}$	Single-ended output impedance Parallel output resistance Parallel output capacitance	$f = 10\text{MHz}$							k $\Omega$ pF
$I_{BS}$ $I_{BC}$	Input bias current $I_{BS} = \frac{I_1 + I_4}{2}$ $I_{BC} = \frac{I_8 + I_{12}}{2}$		12	25		12	30		$\mu\text{A}$
			12	25		12	30		$\mu\text{A}$
$I_{OS}$ $I_{OC}$	Input offset current $I_{OS} = I_1 - I_4$ $I_{OC} = I_8 - I_{12}$		0.7	5.0		0.7	7.0		$\mu\text{A}$
			0.7	5.0		0.7	7.0		$\mu\text{A}$
$T_{CIO}$ $I_{CO}$	Average temperature coefficient of input offset current Output offset current $I_8 - I_{12}$		2.0			2.0			nA/ $^\circ\text{C}$
			14	50		15	80		$\mu\text{A}$
$T_{CLOO}$ $V_O$	Average temperature coefficient of output offset current Common-mode quiescent output voltage (Pin 6 or Pin 12)		90			90			nA/ $^\circ\text{C}$
			8.0			8.0			V $_{DC}$
$I_{D+}$ $I_{D-}$	Power supply current $I_5 + I_{12}$ $I_{14}$		2.0	3.0		2.0	4.0		mA $_{DC}$
			3.0	4.0		3.0	5.0		
$P_D$	DC power dissipation		33			33			mW

# Balanced Modulator/Demodulator

MC1496/MC1596

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS  $V_{DD} = +12VDC$ ,  $V_{CC} = -9.2VDC$ ,  $I_S = 1.0mA_{DC}$ ,  $R_L = 39k\Omega$ ,  $R_E = 1.0k\Omega$ ,  $T_A = +25^\circ C$ , unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	MC1596			MC1496			UNIT
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
$V_{CM}$	Carrier level (dBm)	$V_C = 60mV_{RMS}$ sine wave and offset adjusted to zero $f_C = 10kHz$		40		40		dBm	
		$V_C = 300mV_{RMS}$ sine wave Offset adjusted to zero $f_C = 10kHz$ Offset not adjusted $f_C = 10kHz$		0.04 20	0.2 100		0.04 20	0.4 200	mVrms
$V_{CS}$	Carrier suppressions	$f_S = 10kHz$ , $300mV_{RMS}$ sine wave $f_C = 500kHz$ , $60mV_{RMS}$ sine wave $f_C = 10MHz$ , $60mV_{RMS}$ sine wave	50	65 50		40	65 50		dB
$BW_{3dB}$	Transmittance bandwidth (Magnitude) ( $R_L = 50\Omega$ )	Carrier input port, $V_C = 60mV_{RMS}$ sine wave $f_S = 1.0kHz$ , $300mV_{RMS}$ sine wave Signal input port, $V_S = 300mV_{RMS}$ sine wave $V_{CC} = 0.5V_{DC}$		300			300		MHz
				80			80		MHz
$A_{VS}$	Signal gain	$V_S = 100mV_{RMS}$ , $f = 1.0kHz$ $V_{CC} = 0.5V_{DC}$	2.5	3.5		2.5	3.5		V/V
$CMV$ $ACM$	Common-mode input swing Common-mode gain	Signal port, $f_S = 1.0kHz$ Signal port, $f_S = 1.0kHz$ $V_{CC} = 0.5V_{DC}$		5.0 -85			5.0 -85		$V_{P-P}$ dB
$DV_{OUT}$	Differential output voltage swing capability			8.0			8.0		$V_{P-P}$





National  
Semiconductor  
Corporation

## LM592 Differential Video Amp

### General Description

The LM592 is a two stage differential input, differential output, wideband video amplifier. The use of internal series-shunt feedback gives wide bandwidth with low phase distortion and high gain stability. Emitter follower outputs provide low output impedances necessary to drive capacitive loads. This device offers fixed gains of 100 and 400 with no external components plus the flexibility of adjusting the gain from 0 to 400 with the addition of a single resistor. This flexibility also allows the device to be configured as a high pass, low pass, or band pass filter.

The LM592 is ideal for use in magnetic memory systems. The device is also very useful as a video and pulse amplifier in video recorders and other communications systems.

### Features

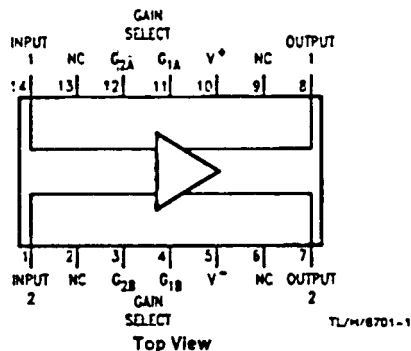
- 120 MHz bandwidth
- Adjustable gains from 0 to 400
- Adjustable pass band
- No frequency compensation required

### Applications

- Disc file memories
- Magnetic tape systems
- Thin film or plated wire memories
- Wide band video amplifiers

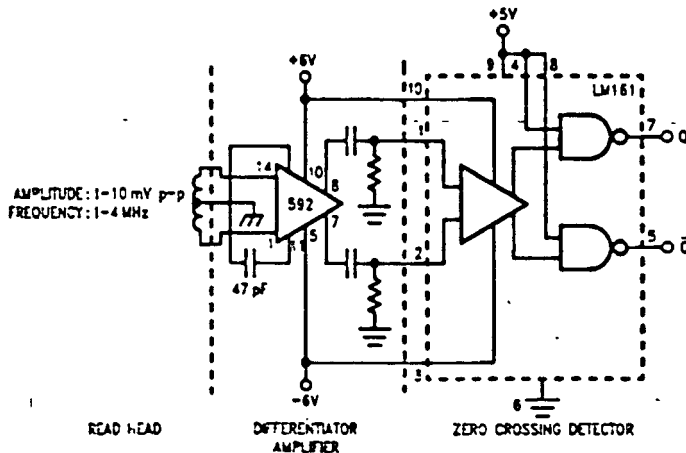
### Connection Diagram

Dual-In-Line and Small Outline Package



Order Number LM592M or LM592N  
See NS Package Number M14A or N14A

### Disc/Tape Phase Modulated Readback Systems



### Absolute Maximum Ratings

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

Differential Input Voltage	± 5V
Common Mode Input Voltage	± 6V
V <sub>supply</sub>	± 8V
Output Current	10 mA
Power Dissipation (Note 1)	500 mW
Junction Temperature	+ 150°C
Storage Temperature Range	- 65°C to + 150°C

Operating Temperature Range	0°C to + 70°C
Soldering Information	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 seconds)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.	

### Electrical Characteristics T<sub>A</sub> = 25°C, unless otherwise specified, see test circuits, V<sub>S</sub> = ± 6.0V (Note 5)

Characteristics	Test Circuit	Test Conditions	LM592			Units (Limit)
			Typ	Tested Limit (Note 6)	Design Limit (Note 7)	
Differential Voltage Gain Gain 1 (Note 2)	1	R <sub>L</sub> = 2 kΩ, V <sub>OUT</sub> = 3 V <sub>PP</sub>	400	250	210	(Min)
Gain 2 (Note 3)			100	600	620	(Max)
Bandwidth Gain 1	2		40			MHz
Gain 2			90			MHz
Rise Time Gain 1	2	V <sub>OUT</sub> = 1 V <sub>PP</sub>	10.5		12	ns
Gain 2			4.5			ns (Max)
Propagation Delay Gain 1	2	V <sub>OUT</sub> = 1 V <sub>PP</sub>	7.5			ns
Gain 2			6		10	ns (Max)
Input Resistance Gain 1			4			kΩ
Gain 2			23		10	kΩ (Min)
Input Capacitance		Gain 2	2			pF
Input Offset Current			0.4	5	6	μA (Max)
Input Bias Current			9	26	31	μA (Max)
Input Noise Voltage		BW = 1 kHz to 10 MHz	12			μV rms
Input Voltage Range	1			± 1	± 1	V (Min)
Common Mode Rejection Ratio Gain 1	1	V <sub>CM</sub> = ± 1V	86	60	50	dB (Min)
Gain 2		V <sub>CM</sub> = ± 1V, f = 5 mHz	60			dB
Supply Voltage Rejection Ratio Gain 2	1	ΔV <sub>S</sub> = ± 0.5V	70	50	50	dB (Min)
Output Offset Voltage Gain 1	1	R <sub>L</sub> = ∞	0.35	0.75	0.75	V (Max)
Output Common Mode Voltage (Note 4)	1	R <sub>L</sub> = ∞	2.9	2.4	2.4	V (Min)
				3.4	3.4	V (Max)
Output Voltage Swing	1	R <sub>L</sub> = 2k	4	3	3	V (Min)
Output Sink Current			3.6	2.5	2.3	mA (Min)
Output Resistance			20			Ω
Power Supply Current	-1	R <sub>L</sub> = ∞	18	24	24	mA (Max)

Note 1: For operation at elevated temperatures these devices must be derated based on a thermal resistance of θ<sub>JA</sub> and T<sub>Jmax</sub>. θ<sub>JA</sub> = 90°C/W in the "M" package and 135°C/W in the "N" package. T<sub>Jmax</sub> = 150°C.

Note 2: Pins G1A and G1B connected together.

Note 3: Pins G2A and G2B connected together.

Note 4: Gain select pins open. Output Common Mode Voltage = (V<sub>O1</sub> + V<sub>O2</sub>)/2.

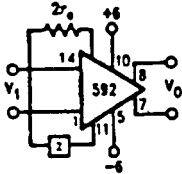
Note 5: Boldface numbers apply at temperature extremes.

Note 6: Guaranteed and 100% production tested.

Note 7: Guaranteed (but not 100% production tested) over the operating temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

## Typical Applications

### Filter Networks



TL/H/6701-3

$$\begin{aligned} \frac{V_0(s)}{V_1(s)} &= \frac{1.4 \times 10^4}{Z(s) + 2z_0} \\ &= \frac{1.4 \times 10^4}{Z(s) + 32} \end{aligned}$$

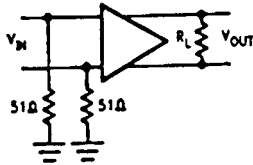
BASIC CONFIGURATION

Impedance Network	Desired Filter	$\frac{V_0(s)}{V_1(s)}$ Transfer Function
 TL/H/6701-10	Low Pass	$\frac{1.4 \times 10^4}{L} \left[ \frac{1}{s + R/L} \right]$
 TL/H/6701-11	High Pass	$\frac{1.4 \times 10^4}{R} \left[ \frac{1}{s + 1/RC} \right]$
 TL/H/6701-12	Band Pass	$\frac{1.4 \times 10^4}{L} \left[ \frac{s}{s^2 + R/Ls + 1/LC} \right]$
 TL/H/6701-13	Band Reject	$\frac{1.4 \times 10^4}{R} \left[ \frac{s^2 + 1/LC}{s^2 + 1/LC + s/RC} \right]$

Note: In the networks above, the R value used is assumed to include  $2z_0$ , or approximately  $32\Omega$

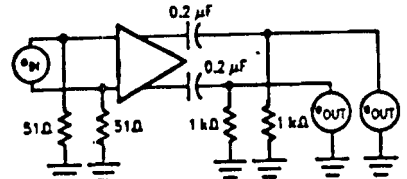
## Test Circuits

Test Circuit 1



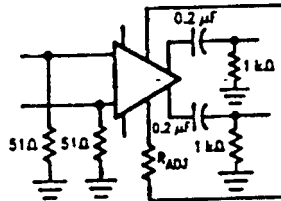
TL/H/6701-4

Test Circuit 2



TL/H/6701-5

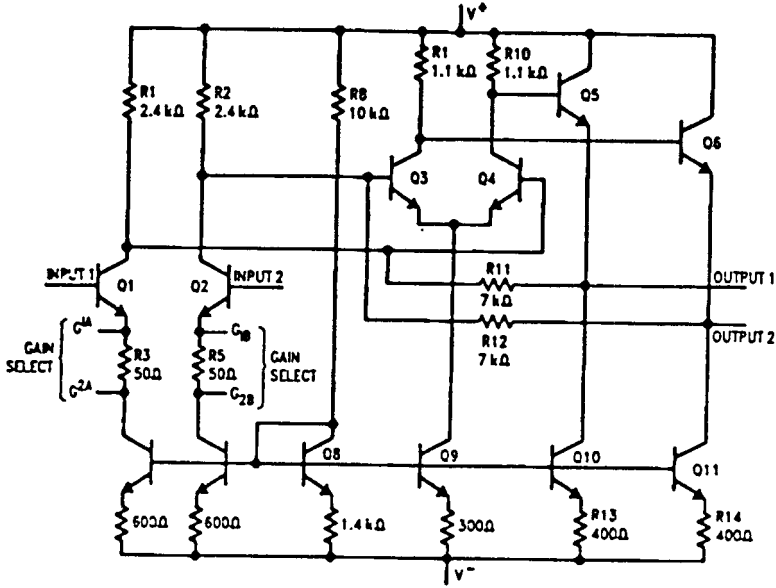
### Voltage Gain Adjust Circuit



TL/H/6701-6

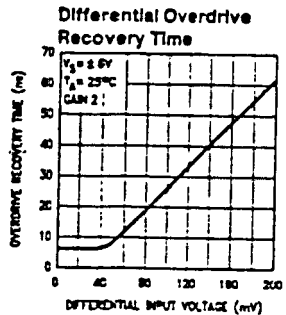
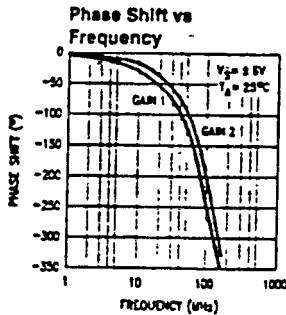
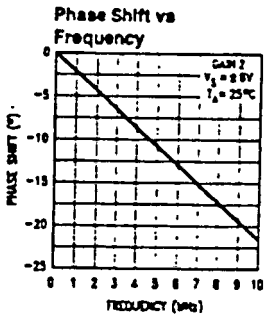
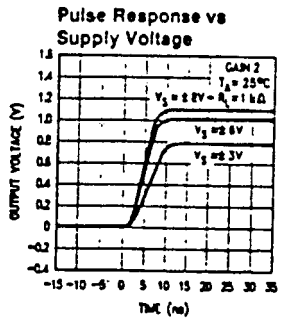
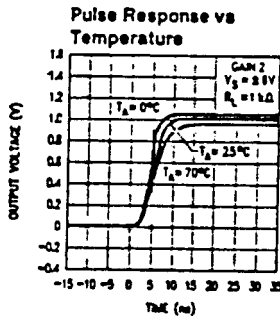
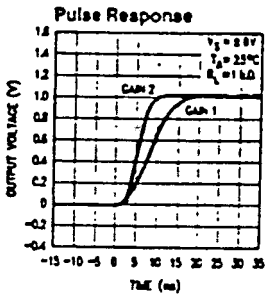
$V_0 = -6V$   
 $T_A = 25^\circ C$

Schematic Diagram



TL/H/6701-7

Typical Performance Characteristics



TL/H/6701-8

Typical Performance Characteristics (Continued)

