

เครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์
LASER RANGEFINDERS

กานต์ชรา เมืองยศ
Kanteera Mueangyot
วัลลิกา สมใจ
Wanlipa Somjai
ศุภวัฒน์ สนิ่วงาม
Supawat Sribouragan

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมกลึงเครื่องกลึง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

พ.ศ. 2556

เครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์

LASER RANGEFINDERS

โดย

กานต์ธีรา เมืองยศ

วัลลิกา สมใจ

สุภาวิช สิบวังม

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ประภากร สุวรรณะ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2556

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์

LASER RANGEFINDERS

ผู้จัดทำ นางสาวกานต์ธีรา เมืองยศ รหัสประจำตัว 53010093

นางสาววัลลิภา สมใจ รหัสประจำตัว 53011465

นายสุภวัช สีบัวงาม รหัสประจำตัว 53011764

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(ผศ. ประภากร สุวรรณะ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์
นักศึกษา นางสาวกานต์ธีรา เมืองยศ รหัสประจำตัว 53010093
นางสาววัลลิภา สมใจ รหัสประจำตัว 53011465
นายสุภวัช สีบัวงาม รหัสประจำตัว 53011764
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา 2556
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ผศ. ประภากร สุวรรณะ

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ อธิบายการออกแบบและการสร้างเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ที่สามารถวัดระยะทางได้ไม่เกิน 5 เมตร ใช้หลักการวัดความแตกต่างของเฟส โดยการใช้ทรานซิสเตอร์ขับเคลื่อนพาหะที่คำนวณได้จากระยะทางที่สามารถวัดได้ 15 MHz ไปกับเลเซอร์ไดโอด ส่งไปยังวัตถุที่ต้องการวัดระยะทาง ฝั่งรับมีโฟโตไดโอดรับแสงสะท้อนจากวัตถุมาถึงเครื่องวัด โดยแสงที่สะท้อนกลับมาจะมีเฟสที่เปลี่ยนไปจากเดิม ซึ่งสามารถใช้ความต่างเฟสนี้มาคำนวณหาระยะระยะจัดได้ การหาความต่างเฟสด้วยวิธีตรงทำได้ยากในความถี่สูง จะใช้การผสมความถี่เพื่อลดค่าความถี่พาหะ ซึ่งจะช่วยให้วงจรส่วนที่หาความต่างเฟสซับซ้อนน้อยลงโดยผสมความถี่ F (ความถี่พาหะ-1kHz: 14.999 MHz) กับความถี่พาหะ และผสมความถี่ F กับความถี่พาหะที่สะท้อนกลับมาที่มีความต่างเฟสด้วย ซึ่งความถี่ F นี้มีค่าใกล้เคียงกับความถี่พาหะ จากนั้นนำค่าความต่างเฟสไปผ่านวงจรขยายและแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล และเข้าสู่วงจรนับค่าระยะทางออกมาแสดงผลด้วย 7Segment โดยในวงจรกำเนิดสัญญาณและวงจรรวมสัญญาณจะมีวงจรเฟสล็อกช่วยควบคุมให้ความถี่เป็นไปตามที่ต้องการ เพื่อให้การวัดมีความแม่นยำมากขึ้น

Thesis Title	Laser Rangefinder		
Student	Ms. Kanteera	Mueangyot	Student ID 53010093
	Ms. Wanlipa	Somjai	Student ID 53011465
	Mr. Suparwat	Sribourngam	Student ID 53011764
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Electronics Engineering		
Year	2013		
Thesis Advisor	Asst.Prof. Prapakorn Suwanna		

ABSTRACT

This thesis describes the design and construction of a laser rangefinder that can measure distance up to 5 meters by using method of measure the phase difference. This device has carrier wave 15 MHz which calculated by the distance that can be measured.

The Operating Principles of the machine is first; using transistor driver carriers wave 15 MHz with laser diode and send to an object to measure the distance. Then, photodiode received the light reflected from the object. The light reflected back has phase change from the original. This phase difference can be used to calculate the displacement. However, determination of the phase difference with the direct method is difficult in the higher frequencies. Using a mixer circuit to reduce the frequency carrier, this will allow the circuit to determine the phase difference less complicated. By mixed frequency F (carrier frequency-1kHz: 14.999 MHz) with carrier frequency, and mixed frequency F with carrier frequencies reflected back with the phase difference. After that, betake phase difference signal through the amplifier and comparator to converted analog signal into digital signals. Finally, signal came to counter circuit which can determine the displacement to an object and display in 7Segment.

In Oscillator circuit and mixer circuit have Phase Lock Loop circuit assist control frequency as needed to provide a more accurate measurement.

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์เรื่องเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ ของนักศึกษาคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความสำเร็จจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ประภากร สุวรรณะ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ
ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ มาโดยตลอด จนวิทยานิพนธ์
นี้เสร็จสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณพ่อ คุณแม่ และผู้ปกครอง ที่ให้คำปรึกษาในเรื่องต่าง ๆ รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดี
เสมอมา และ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ช่วยให้คำแนะนำดี ๆ เกี่ยวกับการทดสอบวงจร การเขียนโปรแกรม
จนทำให้โครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ ที่ช่วยเหลือเพื่อสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ และ
เครื่องมือต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการทำชิ้นงานและการทำรายงาน รวมถึงเงินทุนสำหรับสนับสนุนบางส่วน
ในการทำโครงการนี้

กานต์ธีรา เมืองยศ

วัลลิภา สมใจ

สุภาวิช สีบัวงาม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.1.1 Pulsed.....	1
1.1.2 Continuous Wave.....	2
1.1.3 Interferometer Method.....	3
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	5
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	5
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 วงจรขยายสัญญาณ.....	7
2.1.1 วงจรขยายกำลัง (Power Amplifier).....	10
2.2 วงจรเรโซแนนท์.....	12
2.2.1 วงจรเรโซแนนท์แบบขนาน.....	12
2.2.2 วงจรเรโซแนนท์แบบอนุกรม.....	14
2.3 Matching Impedance.....	15
2.4 เลเซอร์ไดโอด.....	15
2.5 โฟโตไดโอด.....	16
2.6 วงจรเลื่อนเฟส (Phase-shifter).....	17
2.7 อิเล็กทรอนิกส์ ออสซิลเลเตอร์ (Electronic Oscillator).....	18
2.7.1 Oscillator แบบเชิงเส้นหรือฮาร์โมนิค.....	19
2.7.2 Oscillator แบบควบคุมด้วยแรงดันไฟฟ้า (VCO).....	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 เฟสล็อกกลูป (Phase Locked Loop).....	22
2.8.1 ส่วนประกอบของวงจร PLL.....	23
2.8.2 สภาวะของวงจร PLL.....	24
2.8.3 ฟังก์ชันโอนย้ายของ PLL พื้นฐาน.....	24
2.8.4 การตอบสนองสัญญาณทรานส์เซียนส์ของ PLL.....	28
2.8.5 วงจรสังเคราะห์ความถี่ (Frequency Synthesizers).....	28
2.9 วงจรรวมความถี่ (Mixer).....	31
2.10 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator Circuit).....	32
2.10.1 การเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ขั้วบวก.....	35
2.10.2 การเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ขั้วลบ.....	36
2.10.3 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่มีฮิสเตอร์ซิส.....	37
2.11 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller).....	40
2.11.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	40
2.11.2 ส่วนประกอบทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	40
2.11.3 ประเภทของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	41
2.11.4 ภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์.....	42
2.11.5 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์.....	42
2.12 7 Segment.....	45
2.12.1 โครงสร้าง.....	46
2.12.2 การต่อ LED ภายในตัว 7 Segment.....	46
2.12.3 การดูสัญลักษณ์การต่อภายใน 7 Segment.....	47
2.12.4 การตรวจสอบขาของ 7 Segment.....	48
2.13 Switching Power Supply.....	50
2.13.1 สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายกับแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น.....	50
2.13.2 หลักการทำงานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย.....	51
บทที่ 3 การออกแบบวงจร.....	52
3.1 วงจรส่วนที่ 1.....	54
3.1.1 การคำนวณค่าแรงดันตกคร่อม R.....	57
3.1.2 การคำนวณ Low Pass Filter.....	58
3.2 วงจรส่วนที่ 2.....	62
3.2.1 การออกแบบวงจร RF Power Amplifier.....	63

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 วงจรส่วนที่ 3.....	65
3.4 วงจรส่วนที่ 4.....	67
3.5 วงจรส่วนที่ 5.....	70
3.5.1 การคำนวณวงจรคอมพาราเตอร์แบบใช้ฮิสเตอรีซิส.....	73
3.5.2 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมแสดงผลในไมโครคอนโทรลเลอร์.....	74
3.6 วงจรส่วนที่ 6.....	77
3.6.1 การออกแบบวงจรไฟเลี้ยง 5V.....	78
3.6.2 การออกแบบวงจรไฟเลี้ยง 7.5V.....	79
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	81
4.1 การทดลองที่ 1 ทดสอบการทำงานของวงจรส่วนที่ 1.....	81
4.2 การทดลองที่ 2 ทดสอบการทำงานของวงจรส่วนที่ 2.....	82
4.3 การทดลองที่ 3 ทดสอบการทำงานของวงจรส่วนที่ 3.....	83
4.4 การทดลองที่ 4 ทดสอบการทำงานของวงจรส่วนที่ 5.....	85
4.4.1 วงจรคอมพาราเตอร์.....	85
4.5 การทดลองที่ 5 การทดสอบวงจรส่วนที่ 6.....	86
4.5.1 วงจรไฟเลี้ยง 5V.....	86
4.5.2 วงจรไฟเลี้ยง 7.5V.....	86
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	87
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	87
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	88

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ประเภทของวงจรรขยายสัญญาณในรูปแบบอุดมคติ.....	8
ตารางที่ 2.2 ความต้านทานอินพุตและความต้านทานเอาต์พุตของวงจรรขยายสัญญาณในรูปแบบ อุดมคติ.....	8
ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติของวงจรรขยายแบบต่างๆ.....	11
ตารางที่ 2.4 อุปกรณ์ที่ใช้งานใช้ใน oscillators และความถี่สูงสุดโดยประมาณ.....	21
ตารางที่ 3.1 Sample LASER DIODE Spec.....	58
ตารางที่ 4.1 แรงดันที่วัดได้จากวงจรไฟเลี้ยง.....	86

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1	เครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์แบบ Pulsed	1
รูปที่ 1.2	เครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์แบบ Continuous Wave.....	2
รูปที่ 1.3	กราฟแสดงความต่างเฟส θ	3
รูปที่ 1.4	เครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์แบบ Interferometer Method.....	4
รูปที่ 2.1	การขยายกำลังของสัญญาณ.....	10
รูปที่ 2.2	แสดงตัวอย่างการขยายสัญญาณ.....	12
รูปที่ 2.3	วงจรเรโซแนนท์แบบขนาน.....	12
รูปที่ 2.4	วงจรเรโซแนนท์แบบอนุกรม.....	14
รูปที่ 2.5	(a) วงจรเสมือนประกอบด้วยตัวเก็บประจุและตัวต้านทาน	15
	(b) วงจรเสมือนประกอบด้วยตัวต้านทาน	15
	(c) วงจรเสมือนประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำและตัวต้านทาน.....	15
รูปที่ 2.6	หลักการทำงานของโฟโตไดโอด.....	17
รูปที่ 2.7	op-amp relaxation oscillator ที่เป็นที่ยอมรับ.....	18
รูปที่ 2.8	วงจร Feedback Oscillator.....	19
รูปที่ 2.9	บล็อกไดอะแกรมของวงจร LC จะได้แก่ Hartley และ Colpitts.....	20
รูปที่ 2.10	บล็อกไดอะแกรมของวงจร Negative Resistance Oscillator.....	20
รูปที่ 2.11	Voltage-controlled Oscillator (VCO)	22
รูปที่ 2.12	แผนผังของ PLL เบื้องต้น.....	23
รูปที่ 2.13	แผนผังของระบบ PLL เบื้องต้น.....	24
รูปที่ 2.14	วงจร ตัวกรองความถี่ต่ำผ่านแบบพาสซีฟมีฟังก์ชันโอนย้าย.....	25
รูปที่ 2.15	วงจร Passive Lead – Lag.....	26
รูปที่ 2.16	วงจรขยายที่มีอัตราขยายสูง.....	27
รูปที่ 2.17	ระบบลำดับที่สอง เมื่อความถี่อินพุตของ PLL เปลี่ยนในทันทีทันใด.....	28
รูปที่ 2.18	วงจรสังเคราะห์ความถี่ โดยใช้ระบบ PLL.....	29
รูปที่ 2.19	วงจรสังเคราะห์ความถี่แบบ Prescaled.....	30
รูปที่ 2.20	วงจรสังเคราะห์ความถี่แบบ Heterodyne-Down.....	31
รูปที่ 2.21	สัญลักษณ์แสดงการทำงานของ Mixer.....	32
รูปที่ 2.22	วงจรเปรียบเทียบสัญญาณอย่างง่าย.....	33
รูปที่ 2.23	วงจรเปรียบเทียบแรงดันที่มีการป้องกันอินพุต.....	34
รูปที่ 2.24	วงจรตรวจจับผ่านศูนย์.....	34
รูปที่ 2.25	วง คอมพาราเตอร์แบบที่มีระดับสัญญาณแรงดันอ้างอิงปรับค่าได้.....	34
รูปที่ 2.26	วงจรเปรียบเทียบแบบที่มีระดับสัญญาณแรงดันอ้างอิงคงที่.....	35
รูปที่ 2.27	วงจรเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ชั่ววอก.....	36
รูปที่ 2.28	วงจรเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ชั่วลบ.....	37
รูปที่ 2.29	ผลของสัญญาณรบกวนต่อการทำงานของวงจร.....	38
รูปที่ 2.30	วงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่มีฮิสเทอรีซิส.....	38

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.31 กราฟ $V_{in} - V_{out}$ ของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่มีฮิสเตอร์ซิส.....	38
รูปที่ 2.32 แสดงวงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบไม่กลับเฟสที่มีการป้อนกลับแบบบวก.....	38
รูปที่ 2.33 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบไม่กลับเฟสที่มีการป้อนกลับแบบบวก.....	39
รูปที่ 2.34 แสดงวงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบกลับเฟสที่มีการป้อนกลับแบบบวก.....	39
รูปที่ 2.35 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบกลับเฟสที่มีการป้อนกลับแบบบวก.....	40
รูปที่ 2.36 ส่วนแสดงผล 7 Segment	46
รูปที่ 2.37 แสดงตำแหน่งส่วนแสดงผล A- G.....	46
รูปที่ 2.38 แสดงการนำเอา LED มาต่อกัน แบบคอมมอน K.....	47
รูปที่ 2.39 แสดงการนำเอา LED มาต่อกัน แบบคอมมอน A.....	47
รูปที่ 2.40 การต่อ LED ไว้ภายใน 7 Segment.....	48
รูปที่ 2.41 แบบ Common Cathode.....	49
รูปที่ 2.42 แบบ Common Anode	49
รูปที่ 2.43 ค่า R จำกัดกระแสให้แก่ LED	50
รูปที่ 2.44 องค์ประกอบพื้นฐานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย.....	51
รูปที่ 3.1 Block Diagram ของเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์.....	53
รูปที่ 3.2 วงจรส่วนที่ 1 (Transmitter)	54
รูปที่ 3.3 วงจรส่วนที่ 1 (VCO1, PLL1)	55
รูปที่ 3.4 วงจรส่วนที่ 1 (PLL1)	56
รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง DC Current Gain กับ Collector Current.....	57
รูปที่ 3.6 Typical Low pass filter ของ CD4046.....	58
รูปที่ 3.7 Typical Low pass filter ที่เพิ่ม C เข้าไปต่อขนานกับ R_B ของ CD4046.....	60
รูปที่ 3.8 วงจรส่วนที่ 2 (Receiver, Mixer 2, Differential Amplifier).....	62
รูปที่ 3.9 Block Diagram ของ IC MC1490.....	63
รูปที่ 3.10 การใช้งาน IC MC1490.....	64
รูปที่ 3.11 Block Diagram ของ IC SA602.....	64
รูปที่ 3.12 วงจรส่วนที่ 3 (VCO2, PLL2)	66
รูปที่ 3.13 วงจรส่วนที่ 3 (VCO2, PLL2)	67
รูปที่ 3.14 การใช้งาน IC HC 7046.....	68
รูปที่ 3.15 วงจร Phase Shifter.....	68
รูปที่ 3.16 วงจรส่วนที่ 4 (Mixer 1, Phase Shifter)	69
รูปที่ 3.17 วงจรส่วนที่ 4 (PLL3)	70
รูปที่ 3.18 วงจรส่วนที่ 5 (Comparator, 7Segment)	72
รูปที่ 3.19 วงจร Comparator และ วงจรยกระดับสัญญาณ AC	73
รูปที่ 3.20 วงจร DC Switching Supply.....	77
รูปที่ 3.21 Block Diagram ของ LM2575.....	77
รูปที่ 3.22 Adjustable Output Voltage Versions.....	78

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.23	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ET กับ I_L ที่ E.T = 56.0897 V. μ s.....	79
รูปที่ 3.24	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ET กับ I_L ที่ E.T = 54.0865 V. μ s.....	80
รูปที่ 4.1	ขาที่ 9 ของ IC CD4060 เป็นขาที่เชื่อมต่อกับ Test point ความถี่ 4.8 MHz 5V.....	81
รูปที่ 4.2	ขาที่ 5 ของ IC CD4060 เป็นขาที่หารความถี่ 2^5 ความถี่ 150.00 kHz 4.8V.....	81
รูปที่ 4.3	ขาที่ 13 ของ IC HC390 เป็นขาเอาต์พุทของ IC ที่หารความถี่จาก VCO ด้วย 100 ความถี่ 150.00 kHz 4.8V.....	82
รูปที่ 4.4	วัตต์ที่ KSP10 จุดที่จะส่งไป drive เลเซอร์ไดโอด ความถี่ 15.00 MHz 2V.....	82
รูปที่ 4.5	สัญญาณที่ IC MC1490 ขาที่ 8 ความถี่ 15.000 MHz 100 mV.....	83
รูปที่ 4.6	ขาที่ 9 ของ IC CD4060 เป็นขาที่เชื่อมต่อกับ Test point ความถี่ 4.7998 MHz 5V.	83
รูปที่ 4.7	ขาที่ 5 ของ IC CD4060 เป็นขาที่หารความถี่ 2^5 วัดความถี่ได้ 149.99 kHz 5V.....	84
รูปที่ 4.8	ขาที่ 13 ของ IC HC390 เป็นขาเอาต์พุทของ IC ที่หารความถี่จาก VCO ด้วย 100 วัดความถี่ได้ 151.21 kHz 4.8V.....	84
รูปที่ 4.9	วัตต์ที่ KSP10 จุดที่จะเชื่อมต่อกับวงจร Mixer วัดความถี่ได้ 14.999 MHz 1.5V.....	84
รูปที่ 4.10	เอาต์พุทจากคอมพาราเตอร์ A.....	85
รูปที่ 4.11	เอาต์พุทจากคอมพาราเตอร์ B.....	86

บทที่ 1

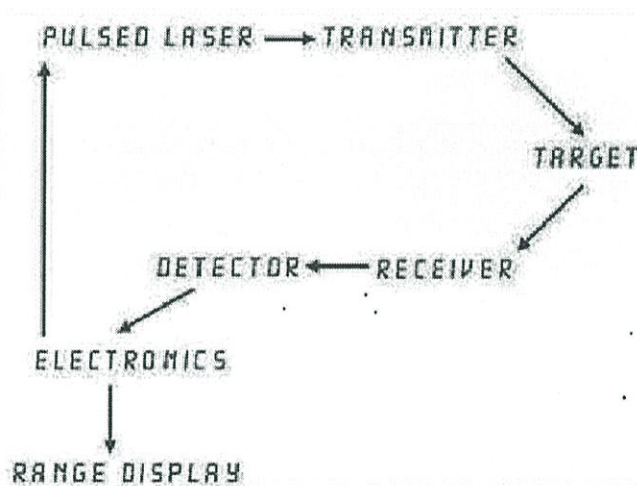
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการวัดระยะทางสามารถทำได้หลากหลายวิธี และมีเครื่องมืออุปกรณ์วัดแตกต่างกันหลายแบบที่สามารถเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ และหนึ่งในเครื่องมือวัดที่น่าสนใจคือ เครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ (Laser Rangefinder)

เครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่เพิ่มความสะดวกในการวัดระยะให้แก่ผู้ใช้งาน โดยเครื่องวัดระยะจะใช้ลำแสงเลเซอร์ฉายส่งในลักษณะของสัญญาณรูปไซน์ (sine wave) ไปยังจุดที่ต้องการวัด เพื่อคำนวณระยะทาง หลักการวัดระยะทางนั้นทำโดยการคำนวณเวลาตั้งแต่เครื่องวัดระยะส่งแสงเลเซอร์ ส่งไปกระทบวัตถุที่วัดระยะทางแล้วสะท้อนกลับมายังเครื่องวัดระยะ โดยระยะที่วัดได้จะเป็นระยะขจัด คือระยะเส้นตรงจากเครื่องวัดไปยังเป้า แบ่งได้เป็น 3 วิธี คือ

1.1.1 Pulsed



รูปที่ 1.1 เครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์แบบ Pulsed

เครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์แบบ Pulsed ใช้ระยะเวลาสั้นและพลังงานสูง เป็นวิธีที่นิยมที่สุด แต่ไม่เหมาะกับการวัดระยะทางที่ต้องการความละเอียดมากๆ หลักการทำงานคือ

- ส่งสัญญาณ Pulse เลเซอร์ไปยังจุดที่ต้องการวัด
- ตรวจจับสัญญาณ Pulse ที่สะท้อนกลับมา
- วัดความแตกต่างของเวลาจากสัญญาณที่ส่งไปกลับ
- คำนวณระยะทางจากความเร็วแสง

การคำนวณระยะทางสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$2R = C \cdot Tr \quad (1.1)$$

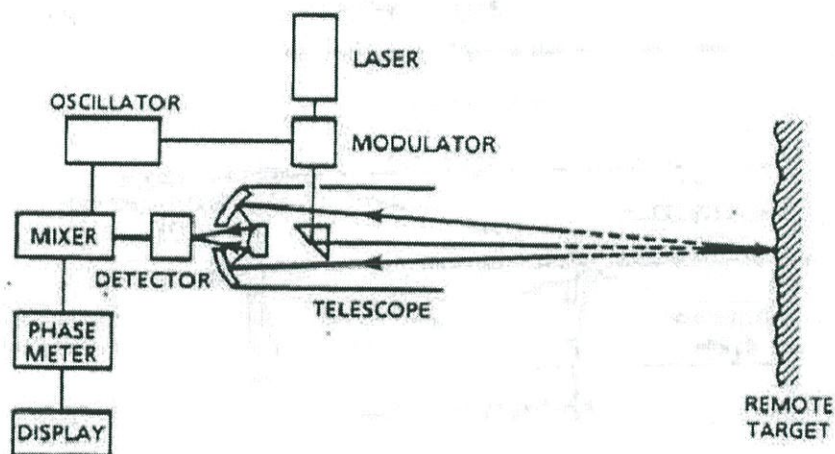
โดยที่ R = ระยะทาง

C = ความเร็วแสง

Tr = เวลาที่ใช้ในการเดินทาง

ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 30 เซนติเมตร ต่อ หนึ่งกิโลเมตร

1.1.2 Continuous Wave



รูปที่ 1.2 เครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์แบบ Continuous Wave

สำหรับวิธี continuous Wave จะใช้การมอดูเลทความถี่กับเลเซอร์ เราทราบว่า

- แสงเดินทางเป็นเส้นตรง
- เลเซอร์และความถี่ที่มอดูเลทต้องมีความสอดคล้องกัน
- รู้ความเร็วแสง

ดังนั้นเราสามารถคำนวณระยะทางที่แน่นอนที่แสงเดินทางได้

การคำนวณเวลาของรอบคลื่น

$$Tr = \frac{\phi_r}{2\pi f_{mod}} \quad (1.2)$$

Tr คือ เวลาของรอบคลื่น

ϕ คือ เฟส

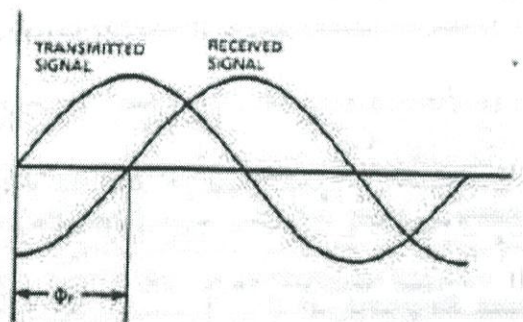
จากนั้นคำนวณระยะทางจากสูตร

$$2R = C \cdot Tr \quad (1.3)$$

R = ระยะทาง

C = ความเร็วแสง

Tr = เวลาที่ใช้ในการเดินทาง ได้จากสมการบน



รูปที่ 1.3 กราฟแสดงความต่างเฟส ϕ

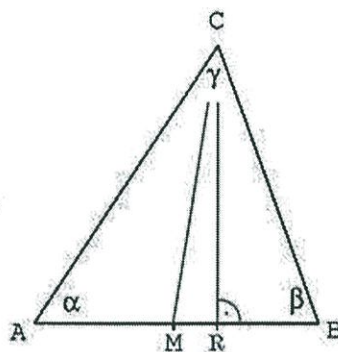
ความคลาดเคลื่อน 1 ซม. ต่อ 1 กม.

ปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องแม่นยำของการวัดระยะทางด้วยวิธีนี้คือ

- ความถี่ที่ใช้ในการมอดูเลต
- ความแม่นยำของการวัดเฟสสูง ขึ้นอยู่กับความเข้มของสัญญาณ นอยซ์ และอื่นๆ
- ความเสถียรของการมอดูเลต laser กับ Oscillator
- จำนวนของรอบที่เฉลี่ยในช่วงระยะที่สามารถวัดได้
- ความปั่นป่วนในอากาศที่แสงวิ่งผ่าน
- การเปลี่ยนแปลงดัชนีหักเหในอากาศ

1.1.3 Interferometer Method

วิธีนี้สามารถเรียกได้อีกชื่อว่า Triangulation วัดระยะทางจากมุมถึงวัตถุจากจุดที่กำหนด จากจุดที่ทราบมุมจนถึงวัตถุ แทนการวัดระยะโดยตรง และจะต้องมีมุมที่ทราบสองมุม และความยาวด้านที่ทราบหนึ่งด้าน จากนั้นทำการคำนวณทางตรีโกณมิติเพื่อให้ได้ระยะทาง



รูปที่ 1.4 เครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์แบบ Interferometer Method

การคำนวณเพื่อหาระยะทาง สามารถทำได้ดังนี้

$$\ell = \frac{d}{\tan \alpha} + \frac{d}{\tan \beta} \quad (1.4)$$

ดังนั้น

$$d = \ell / \left(\frac{1}{\tan \alpha} + \frac{1}{\tan \beta} \right) \quad (1.5)$$

ใช้เอกลักษณ์ตรีโกณ $\tan \alpha = \sin \alpha / \cos \alpha$ และ $\sin(\alpha + \beta) = \sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta$

$$d = \frac{\ell \sin \alpha \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (1.6)$$

จากสมการ ก็จะสามารถหาระยะห่างระหว่างวัตถุได้

เครื่องวัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์มีข้อดีคือความสะดวก โดยผู้วัดสามารถวัดระยะโดยไม่ต้องเดินไปหาวัตถุ ไม่ต้องใช้เทปวัดระยะ และสามารถวัดระยะไปยังเป้าที่ไม่สามารถลากสายวัดไปได้หรือลากสายวัดลำบาก แต่มีข้อเสียคือความละเอียด เนื่องจากวิธีการวัดนั้นใช้การจับเวลาการเดินทางของแสงเลเซอร์ซึ่งเร็วมากๆ ดังนั้นช่วงความละเอียดของเครื่องวัดระยะแสงเลเซอร์จะแตกต่างกันไปตามวิธีที่ใช้วัด

เนื่องจากเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์มีราคาที่สูง จึงเป็นที่นิยมสำหรับการใช้งานบางประเภทสำหรับคนบางกลุ่ม เช่น ผู้ที่เล่นกีฬาอล์ฟ ผู้ที่เล่นกีฬาปืน ดังนั้นกลุ่มผู้จัดทำจึงต้องการที่จะสร้างเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ด้วยวงจรในแบบของตนเอง โดยที่เป็นตัวต้นแบบที่มีประสิทธิภาพในการวัดระยะทางและความแม่นยำน้อยกว่าเครื่องที่วางขายโดยทั่วไป เพื่อศึกษาหลักการทำงานและวิธีการสร้างเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ โดยที่เลือกใช้วิธี Continuous wave

ซึ่งไม่ใช่วิธีที่เป็นที่นิยมเท่ากับวิธี Pulsed และใช้ความถี่ 15 MHz และสามารถวัดระยะทางได้มากที่สุด 5 เมตร ใช้ 7Segment แสดงผลทศนิยม 2 ตำแหน่ง และใช้ Microcontroller ในการเขียนโปรแกรม

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะการออกแบบและการสร้างเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ที่สามารถใช้งานได้จริง

- วงจรส่วนออสซิลเลเตอร์และเลเซอร์ไดโอดสามารถส่งแสงเลเซอร์ที่มีความถี่ 15.000 MHz ได้
- วงจรส่วนโฟโต้ไดโอด มิกเซอร์ และวงจรขยายให้สัญญาณเอาต์พุทรูปขายนที่มีค่าไม่ต่ำกว่า 50 mVpp
- วงจรส่วนออสซิลเลเตอร์ที่จะนำเอาท์พุทมาเข้ามิกเซอร์ให้สัญญาณความถี่ 15.001 MHz หรือ 14.999 MHz
- วงจร Phase Shifter สามารถแก้ไข Delay ในวงจรรวมเพื่อใช้ป้อนให้คอมพาราเตอร์เทียบกับสัญญาณที่ได้จากโฟโต้ไดโอดได้ และวงจร Phase Lock Loop สามารถสร้างสัญญาณนาฬิกา 5MHz ป้อนให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้
- วงจรคอมพาราเตอร์สามารถสร้างสัญญาณพัลซ์ป้อนเป็นอินพุทให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ และไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถแสดงระยะทางที่วัดได้ถูกต้อง
- วงจรสร้างไฟเลี้ยงสามารถแปลงไฟจากแบตเตอรี่เป็นไฟเลี้ยง 5V และ 7.5 V ได้

1.2.2 เพื่อนำความรู้ความสามารถที่มีมาใช้ในการแก้ไขปัญหาและพัฒนาชิ้นงานให้สามารถใช้ได้ตรงตามคุณสมบัติที่ตั้งเป้าหมายไว้

1.2.3 เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้ไปเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ในอนาคต

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1.3.1 เครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์สามารถนำมาใช้งานได้จริง

- วงจรส่วนออสซิลเลเตอร์และเลเซอร์ไดโอดส่งแสงเลเซอร์ที่มีความถี่ 15.000 MHz ได้
- วงจรส่วนโฟโต้ไดโอด มิกเซอร์ และวงจรขยายให้สัญญาณเอาต์พุทรูปขายนที่มีค่าไม่ต่ำกว่า 50 mVpp
- วงจรส่วนออสซิลเลเตอร์ที่จะนำเอาท์พุทมาเข้ามิกเซอร์ให้สัญญาณความถี่ 15.001 MHz

- วงจร Phase Shifter แก้ไข Delay ในวงจรรวมและป้อนสัญญาณให้คอมพาราเตอร์ เทียบกับสัญญาณที่ได้จากโฟโตไดโอด และวงจร Phase Lock Loop สร้างสัญญาณนาฬิกา 5MHz ป้อนให้ไมโครคอนโทรลเลอร์

- วงจรคอมพาราเตอร์สามารถสร้างสัญญาณพัลซ์ป้อนเป็นอินพุตให้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถแสดงระยะทางที่วัดได้ถูกต้อง

- วงจรสร้างไฟเลี้ยงแปลงไฟจากแบตเตอรี่เป็นไฟเลี้ยง 5V และ 7.5 V

1.3.2 เครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์สามารถวัดระยะทางมากที่สุดได้ 5 เมตร

1.3.3 ผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปพัฒนาต่อไปได้ในอนาคต

1.4 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยนี้จัดทำขึ้นโดยกลุ่มนักศึกษา 3 คน ชั้นปีที่ 4 จากภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และทำการสร้าง ทดสอบ วงจร ทำการเก็บผลการทดลอง และประกอบวงจรเข้าด้วยกันเป็นชิ้นงาน ที่อาคารภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้ เวลา 1 ปีการศึกษา คือตั้งแต่ มิถุนายน 2556 – มีนาคม 2557

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้รับความรู้เพิ่มเติมจากการสร้างวงจรซึ่งเป็นส่วนประกอบของเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์
- ได้ฝึกการปฏิบัติงานในด้านการสร้างชิ้นงานจริงเพื่อนำมาใช้งาน
- ได้เครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ที่สามารถใช้งานได้จริงใน
- ได้ฝึกการทำงานร่วมกับผู้อื่น
- ได้ฝึกความรับผิดชอบและการจัดการรวมทั้งการบริหารเวลาในการทำงานที่ได้รับมอบหมายให้เสร็จในเวลาที่กำหนด

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วงจรขยายสัญญาณ

ตัวขยายสัญญาณ หรือ วงจรขยายสัญญาณ (Electronic Amplifier or Amplifier) หรือเรียกสั้นๆว่า Amp เป็นอุปกรณ์หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ช่วยเพิ่มขนาดของสัญญาณ โดยการใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟและการควบคุมสัญญาณเอาต์พุตให้มีรูปร่างเหมือนสัญญาณอินพุต แต่มีขนาดใหญ่กว่า ในความหมายนี้ ตัวขยายทำการ modulates เอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟ

ตัวขยายอิเล็กทรอนิกส์มีหลายประเภทที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะอย่างในการนำไปใช้งานต่างๆ ตัวขยายอาจหมายถึงอะไรก็ได้ที่เป็นวงจรไฟฟ้าที่ใช้อุปกรณ์ชิ้นเดียว จนถึงระบบที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น ชุดเครื่องขยายเสียง Hi-Fi

คุณภาพของตัวขยายขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติดังต่อไปนี้

- Gain คืออัตราส่วนระหว่างขนาดของสัญญาณที่เอาต์พุตกับสัญญาณที่อินพุต
- แบนด์วิดธ์ คือความกว้างของช่วงความถี่ที่ใช้งานได้
- ประสิทธิภาพ หมายถึงอัตราส่วนระหว่างกำลังของการส่งออกและการบริโภคพลังงานทั้งหมด
- ความเป็นเชิงเส้น หมายถึงระดับของสัดส่วนระหว่าง input และ output
- Noise หมายถึงการวัดการรบกวนที่ไม่พึงประสงค์ที่ผสมเข้าไปในเอาต์พุต
- ช่วงเอาต์พุตแบบไดนามิก หมายถึงอัตราส่วนของสัญญาณเอาต์พุตที่ใหญ่ที่สุดและที่เล็กที่สุด
- Slew rate หมายถึงอัตราสูงสุดของการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุต
- Rise time, settling time, ringing และ overshoot ที่บอกลักษณะการตอบสนองเป็นขั้นตอน
- เสถียรภาพ หมายถึงความสามารถในการหลีกเลี่ยง การ Oscillation ในวงจร

การจำแนกประเภทของขั้นตอนวงจรขยายสัญญาณและระบบ

การจำแนกประเภทหลายทางเลือกได้กล่าวถึงมุมมองที่แตกต่างกันของการออกแบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกี่ยวข้องระหว่างพารามิเตอร์การออกแบบกับวัตถุประสงค์ของวงจร การออกแบบวงจรขยายสัญญาณจะต้องประนีประนอมอยู่เสมอกับปัจจัยหลายอย่าง เช่นค่าใช้จ่าย การใช้พลังงาน, ความไม่สมบูรณ์ของอุปกรณ์ในโลกแห่งความจริง และ ความหลากหลายของ คุณสมบัติของความสามารถในการทำงาน ด้านล่างนี้เป็นวิธีการที่แตกต่างกันหลายประการในการจัดหมวดหมู่ คือ

วงจรรขยายสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ใช้ตัวแปรหนึ่งตัวที่แสดงเป็นทั้งกระแสและแรงดัน ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต นำไปสู่สี่ประเภทของวงจรรขยายสัญญาณ ในรูปแบบอุดมคติ ประเภทเหล่านี้จะเป็นตัวแทนของแต่ละประเภทของสี่แหล่งจ่ายไม่อิสระที่ใช้ในการวิเคราะห์เชิงเส้น ดังแสดงในรูปกล่าวคือ

ตารางที่ 2.1 ประเภทของวงจรรขยายสัญญาณในรูปแบบอุดมคติ

Input	Output	Dependent source	Amplifier type
I	I	Current controlled current source CCCS	Current amplifier
I	V	Current controlled voltage source CCVS	Transresistance amplifier
V	I	Voltage controlled current source VCCS	Transconductance amplifier
V	V	Voltage controlled voltage source VCVS	Voltage amplifier

แต่ละประเภทของวงจรรขยายสัญญาณในรูปแบบอุดมคติของมันจะมีความต้านทานอินพุตและความต้านทานเอาต์พุตในอุดมคติ ที่เป็นเช่นเดียวกับของแหล่งจ่ายไม่อิสระที่สอดคล้องกัน

ตารางที่ 2.2 ความต้านทานอินพุตและความต้านทานเอาต์พุตของวงจรรขยายสัญญาณในรูปแบบอุดมคติ

Amplifier type	Dependent source	Input impedance	Output impedance
Current	CCCS	0	∞
Transresistance	CCVS	0	0
Transconductance	VCCS	∞	∞
Voltage	VCVS	∞	0

ในทางปฏิบัติ อิมพีแดนซ์ในอุดมคติจะมีค่าโดยประมาณเท่านั้น สำหรับวงจรใด การวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็ก มักจะถูกใช้เพื่อหาค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จริง กระแสสลับ I_x ขนาดเล็กเพื่อทดสอบจะถูกป้อนเข้าที่อินพุทหรือเอาต์พุท, ทุกแหล่งจ่ายภายนอกจะถูกตั้งค่าไปที่ AC ศูนย์, และแรงดันไฟฟ้าสลับ V_x ที่ตกคร่อมแหล่งจ่ายกระแสที่ถูกทดสอบจะเป็นตัวกำหนดค่าอิมพีแดนซ์ที่โหนดนั้น ซึ่งจะมีค่า $R = V_x / I_x$.

วงจรขยายสัญญาณที่ออกแบบมาเพื่อแนบไปกับสายส่งที่อินพุทและ/หรือเอาต์พุท, โดยเฉพาะอย่างยิ่ง RF แอมป์, ไม่อยู่ในวิธีการจัดหมวดหมู่แบบนี้ แทนที่จะจัดการกับแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าเป็นรายตัว แอมป์แบบนี้จะจับคู่อินพุทและ/หรือเอาต์พุทอิมพีแดนซ์ให้เข้ากันได้กับอิมพีแดนซ์ของสายส่ง นั่นคือ แมทซ์อัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าเข้ากับกระแส หลาย RF แอมป์ตัวจริงสามารถทำได้ใกล้เคียงกับอุดมคตินี้ ถึงแม้ว่า RF แอมป์สามารถถูกจัดว่ามีคุณสมบัติที่ขยายแรงดันหรือกระแสได้ ถ้าให้แหล่งจ่ายและโหลดอิมพีแดนซ์ที่เหมาะสม, โดยพื้นฐานแล้ว แอมป์ RF เป็นพาวเวอร์แอมป์

วิธีการ coupling ระหว่างขั้นตอน

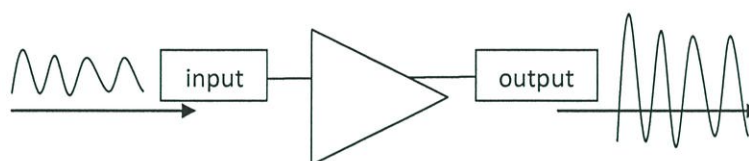
วงจรขยายสัญญาณบางครั้งถูกจำแนกโดยวิธีการเชื่อมโยงสัญญาณที่ขั้นตอนอินพุท ขั้นตอนเอาต์พุท หรือระหว่างขั้นตอนนั้น มีหลายชนิดที่แตกต่างกัน รวมถึง

- Resistive-capacitive coupled amplifier โดยใช้เครือข่ายของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ โดยการออกแบบ วงจรขยายสัญญาณเหล่านี้ไม่สามารถขยายสัญญาณ DC เพราะตัวเก็บประจุจะบล็อกองค์ประกอบ DC ของสัญญาณอินพุท วงจรแบบนี้ถูกนำมาใช้ในวงจรหลอดสุญญากาศหรือทรานซิสเตอร์เป็นชิ้นส่วนแยก ในสมัยของวงจรรวม ทรานซิสเตอร์ไม่ก็ตัวบวมขิปจะถูกกว่าและมีขนาดเล็กกว่าตัวเก็บประจุเสียอีก
- Inductive-capacitive (LC) coupled amplifier ใช้เครือข่ายของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ วงจรขยายสัญญาณชนิดนี้จะถูกใช้บ่อยที่สุดในวงจรเลือกคลื่นความถี่วิทยุ
- Transformer coupled amplifier ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อแมทซ์ impedances หรือเพื่อแยกบางส่วนของวงจรค่อนข้างบ่อย วงจรขยาย LC-coupled และ transformer-coupled ไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ เพราะหม้อแปลงไฟฟ้ก็เป็นตัวเหนี่ยวนำชนิดหนึ่ง
- Direct coupled amplifier ไม่ใช้อิมพีแดนซ์ และชิ้นส่วนที่ bias matching วงจรขยายสัญญาณแบบนี้เป็นเรื่องไม่ปกติในวันหลอดสุญญากาศ เมื่อแรงดันที่แอด (output) สูงกว่าหลายร้อยโวลต์และแรงดันที่กริด (อินพุท) เป็นลบไม่ก็โวลต์ ดังนั้นวงจรพวกนี้จึงถูกนำมาใช้เฉพาะถ้าอัตราการขยายถูกระบุลงไป DC (เช่นในสโคป) ในบริบทของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทันสมัย มีการส่งเสริมให้นักพัฒนาใช้วงจรแบบนี้ เมื่อใดก็ตามที่เป็นไปได้

2.1.1 วงจรขยายกำลัง (Power Amplifier)

2.1.1.1 หลักการทำงานของ Power Amplifiers

เป็นส่วนที่ขยายสัญญาณเพื่อให้สัญญาณที่ถูกส่งออกไปในอากาศมีกำลังการส่งความต้องการ และเพื่อให้สัญญาณที่ถูกส่งสามารถเดินทางไปได้ในระยะทางที่ไกลๆ และมีความสามารถในการทะลุผ่านผนังต่างๆ ได้ โดยที่สัญญาณยังสามารถไปถึงตัวรับได้ และไม่เกิดความผิดพลาดของสัญญาณ



รูปที่ 2.1 การขยายกำลังของสัญญาณ

จากรูปที่ 2.1 เป็นการขยายสัญญาณในอุดมคติ คือ เมื่อมีสัญญาณส่งเข้าถูกส่งมาที่เครื่องขยายกำลังของสัญญาณเครื่องขยายกำลังของสัญญาณจะทำการขยายกำลังของสัญญาณที่ได้รับมาให้มีกำลังสัญญาณมากกว่าเดิม หรือหากมองในรูป 2.1 จะพบว่าแอมพลิจูดของสัญญาณมีความสูงเพิ่มมากขึ้น แต่ในทางปฏิบัติจะไม่เป็นอย่างในรูปที่ 2.1 เพราะมีปัจจัยอย่างอื่นที่มีส่วนทำให้ output ของสัญญาณเปลี่ยนไป วิธีการวัดอัตราขยายคือการเปรียบเทียบกำลังของสัญญาณที่ส่งออกต่อสัญญาณที่ส่งเข้าสามารถแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Gain} = P_{\text{out}}/P_{\text{in}} \quad (2.1)$$

Gain = อัตราขยาย

P_{out} = กำลังของสัญญาณที่ส่งออก

P_{in} = กำลังของสัญญาณที่ส่งเข้า

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติของวงจรขยายแบบต่างๆ

	คลาสเอ	คลาสบี	คลาสบี	คลาสซี
ประสิทธิภาพ	50 %	ระหว่างคลาสเอ และบี	78.5 %	100 %
มุมการ นำกระแส	180°	ระหว่างคลาสเอ และบี	180°	น้อย (ประมาณ 90°)
ความเพี้ยน	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
ไบอัส	ฟอร์เวิร์ด (จุดกึ่งกลางของเส้น โหลด)	ฟอร์เวิร์ด (ใกล้จุดคัตออฟ)	ศูนย์ (ที่จุดคัตออฟ)	รีเวิร์ส (เหนือจุดคัตออฟ)
การ ประยุกต์ใช้ งาน	ส่วนใหญ่ใช้เป็น วงจขยายขนาดเล็ก ส่วนน้อยใช้เป็น เพาเวอร์แอมป์ขนาด กลางในเครื่องเสียง	ภาคจ่ายกำลังสูงทั้ง ในงานความถี่เสียง และงานความถี่ วิทยุ	ภาคจ่ายกำลัง สูงโดยทั่วไป ไม่ใช้ในงาน ความถี่เสียง เนื่องจากความ เพี้ยนของ สัญญาณ	โดยทั่วไป จำกัดการใช้ งานความถี่วิทยุ วงจรรุ่นช่วยซัด ความเพี้ยนมากของ สัญญาณ

2.1.1.2 การวัดประสิทธิภาพของ Power Amplifiers

2.1.1.2.1 Output Gain

อัตราขยายกำลังของสัญญาณและการวัดประสิทธิภาพของเครื่องขยายสัญญาณส่วนมากจะวัดในหน่วย dBm สามารถอยู่อธิบายในรูปสมการได้ดังนี้

$$G = 10 \log_{10} (P) \quad (2.2)$$

G คือ กำลังในหน่วย dB

P คือ กำลังในหน่วย W

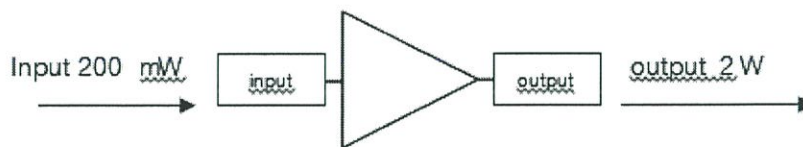
ส่วน dBm คือ อัตราขยายกำลังของสัญญาณเทียบกับ 1 mW

$$A = G/G_{1mW} \quad (2.3)$$

เมื่อ A มีหน่วยเป็น dBm

เมื่อ $G_{1mW} = G$ at 1mW

ดังนั้นจึงใช้หน่วย dBm ในการวัดประสิทธิภาพของ output gain โดยเครื่องขยายสัญญาณที่ดี ต้องมีความแตกต่างระหว่างของสัญญาณส่งออกและสัญญาณส่งเข้าที่มีค่าสูง กำลังในหน่วย dBm ดังแสดงดังรูปที่ 2.2



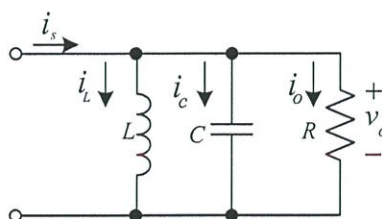
รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างการขยายสัญญาณ

จากรูปที่ 2.2 เมื่อสัญญาณส่งเข้ามีกำลัง 200 mW และสัญญาณส่งออกมีกำลัง 2 W เมื่อเปลี่ยนให้อยู่ในหน่วย dBm คือ 23 dBm และ 33 dBm ตามลำดับ แสดงว่าเครื่องขยายมีกำลังขยายเท่ากับ 10 dBm

2.2 วงจรเรโซแนนท์

- เงื่อนไขการเกิดเรโซแนนท์ ทำได้โดยการปรับค่าตัวเหนี่ยวนำ หรือตัวเก็บประจุ หรือการปรับความถี่ของแหล่งจ่ายกระแสที่ป้อนให้กับวงจร ในที่นี้กำหนดให้ความถี่เป็นตัวแปรที่ปรับค่าได้
- สภาวะเรโซแนนท์ (Resonance) ทำการปรับค่าความถี่ของแหล่งจ่ายแรงดันที่ความถี่ค่าหนึ่งทำให้ค่ารีแอกแตนซ์ $X_L = X_C$ ได้ค่าอิมพีแดนซ์ $Z = R$ แรงดันและกระแสในวงจรมีเฟสตรงกันตัวคูณกำลังของวงจรมีค่าเป็นหนึ่งในสามตามทฤษฎี
- ความถี่เรโซแนนท์ (Resonant frequency) คือความถี่ที่ทำให้เกิดสภาวะเรโซแนนท์ ผลรวมของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุมีค่าเป็นศูนย์ วงจรเรโซแนนท์แบบขนานอิมพีแดนซ์มีค่าสูงสุดกระแสไหลในวงจรมีค่าต่ำสุด ส่วนวงจรเรโซแนนท์แบบอนุกรมอิมพีแดนซ์ของวงจรมีค่าต่ำสุดกระแสที่ไหลในวงจรจะมีค่าสูงสุด ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรในวงจร จะใช้เฟสเซอร์ในการวิเคราะห์

2.2.1 วงจรเรโซแนนท์แบบขนาน



รูปที่ 2.3 วงจรเรโซแนนท์แบบขนาน

ค่าแอดมิตแตนซ์

$$\begin{aligned} Y &= \frac{1}{R} = j\omega C - j\frac{1}{\omega L} \\ &= \frac{1}{R} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) \end{aligned} \quad (2.4)$$

การเกิดเรโซแนนซ์เมื่อแรงดันและกระแสที่ขั้วอินพุทมีเฟสตรงกัน มีค่าแอดมิตแตนซ์เฉพาะส่วนจริงเท่านั้นเป็นค่าความนำ (Conductance)

$$Y = \frac{1}{R} = G \quad (2.5)$$

ส่วนจินตภาพของแอดมิตแตนซ์มีค่าเป็นศูนย์

$$\begin{aligned} \omega C - \frac{1}{\omega L} &= 0 \\ \omega C = \frac{1}{\omega L}, \quad \omega^2 CL = 1, \quad \omega^2 &= \frac{1}{CL} \end{aligned} \quad (2.6)$$

ความถี่เรโซแนนซ์กำหนด

$$\begin{aligned} \omega_0 &= \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{rad/s} \\ f_0 &= \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{Hz} \\ \omega_0 &= 2\pi f_0 \end{aligned} \quad (2.7)$$

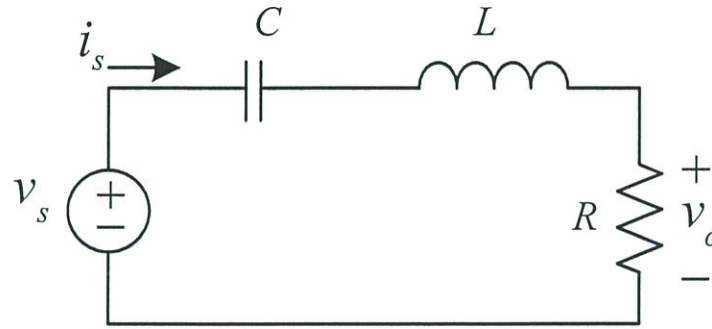
เกิดการเรโซแนนซ์ จะต้องกำหนดให้ค่าแอดมิตแตนซ์เท่ากับค่าความนำ $Y = G$ ส่วนค่า Susceptance จะมีค่าเป็นศูนย์ วงจรจะเกิดการเรโซแนนซ์เมื่อขนาดของแอดมิตแตนซ์มีค่าต่ำที่สุด $\frac{1}{R}$

ขนาดของอิมพีแดนซ์มีค่าสูงสุด R

แรงดันที่ตกคร่อมวงจรเป็น $V_o = RI_s$

โดยที่กระแสจะไหลจากแหล่งจ่ายเข้าสู่ตัวต้านทานเพียงตัวเดียว โดยไม่ไหลเข้าสู่ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C)

2.2.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม



รูปที่ 2.4 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

ฟังก์ชันโอนถ่าย

กำหนดให้แรงดันตกคร่อมตัวต้านทานเป็นเอาต์พุตและแหล่งจ่ายแรงดันเป็นอินพุต

$$H(j\omega) = \frac{V_o(j\omega)}{V_s(j\omega)} = \frac{R}{R + j\omega L - j\left(\frac{1}{\omega C}\right)} = \frac{1}{1 + j\left(\frac{\omega L}{R} - \frac{1}{\omega RC}\right)} \quad (2.8)$$

อิมพีแดนซ์

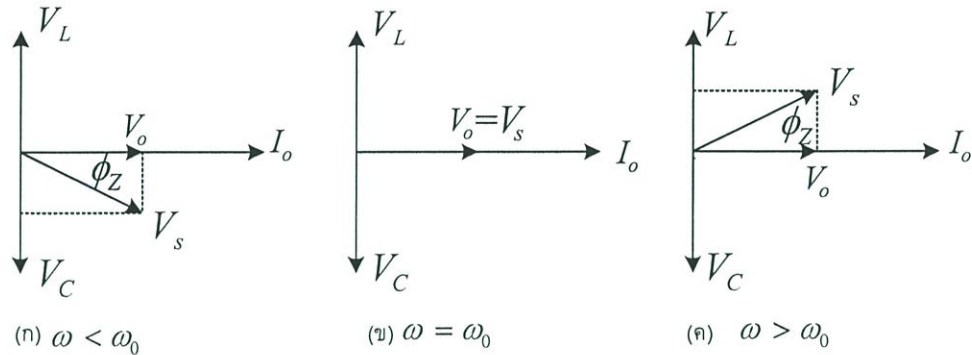
$$Z(j\omega) = R + j\omega L - j\left(\frac{1}{\omega C}\right) = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (2.9)$$

การเกิดเรโซแนนซ์เมื่อส่วนจินตภาพของอิมพีแดนซ์มีค่าเป็นศูนย์วงจรรีโซแนนซ์แบบขนาน
ความถี่เรโซแนนซ์

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (2.10)$$

เฟสเซอร์ไดอะแกรมของวงจรอนุกรม



รูปที่ 2.5 (a) วงจรเสมือนประกอบด้วยตัวเก็บประจุและตัวต้านทาน
 (b) วงจรเสมือนประกอบด้วยตัวต้านทาน
 (c) วงจรเสมือนประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำและตัวต้านทาน

2.3 Matching Impedance

วงจรขยายความถี่สูงสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้เงื่อนไขค่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิดและอิมพีแดนซ์ของโหลดที่เหมาะสม การแมทซ์อิมพีแดนซ์ ทำให้การถ่ายทอดพลังงานจากต้นกำเนิด ถ่ายทอดไปสู่โหลดได้ดีที่สุด การถ่ายทอดกำลังงานจะมากที่สุดเมื่อ อิมพีแดนซ์ของโหลด เท่ากับอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายสัญญาณ

วงจรแมทซ์เป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรหรือโครงข่าย เพื่อให้วงจรมีค่าอิมพีแดนซ์ตามที่เรต้องการ เพื่อทำให้วงจรมีการถ่ายทอดกำลังงานสูงสุด มีสามแบบ คือ วงจรที่ใช้ตัวความต้านทาน วงจรที่ใช้หม้อแปลง วงจรที่ใช้ L-C

ในการส่งสัญญาณวิทยุ นั้น นอกเหนือจากการถ่ายทอดกำลังงานไปสู่โหลดได้สูงสุดแล้ว ณ จุดที่อิมพีแดนซ์แมทซ์กันนั้น จะไม่มี Standing wave เกิดขึ้นในสายสัญญาณที่ต่อระหว่างแหล่งกำเนิดสัญญาณและโหลด ทำให้ไม่มีการแพร่กระจายคลื่นออกมาจากสายสัญญาณ ซึ่งเป็นสิ่งที่เราไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในการใช้งาน

2.4 เลเซอร์ไดโอด

เลเซอร์ไดโอด LD เป็นเลเซอร์ที่มีขนาดกลางที่เกิดขึ้นจากรอยต่อ p-n ของสารกึ่งตัวนำที่คล้ายกันกับที่พบในไดโอดเปล่งแสงที่มีใช้งานกันอยู่ เลเซอร์ไดโอดจะเกิดขึ้นได้จากการฉีดกระแสไฟฟ้าเข้าไป เลเซอร์ไดโอดควรจะแตกต่างจากเลเซอร์ไดโอดปั๊มออปติคัล (optically pumped laser diodes), ซึ่งจะให้กำลังขับ (ปั๊ม) ด้วยลำแสงซึ่งมักจะกระตุ้นให้เกิดขึ้นได้โดยเลเซอร์ไดโอด

ทฤษฎีการทำงาน

เลเซอร์ไดโอดถูกสร้างโดยการเจือสารกระตุ้น (doping) เป็นชั้นบางมากบนพื้นผิวของแผ่นเวเฟอร์ของผลึก ผลึกจะถูกเจือเพื่อผลิตบริเวณของสารชนิด n และบริเวณของสารชนิด p (n-type region and a p-type region), หนึ่งในผลลัพธ์ข้างต้นก็คือ ทำให้เกิดรอยต่อของสาร p-n หรือ ไดโอดนั่นเอง

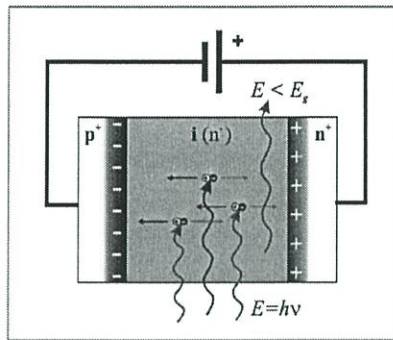
เลเซอร์ไดโอดสร้างจากส่วนย่อยของการจัดหมวดหมู่ขนาดใหญ่ของไดโอดสารกึ่งตัวนำ รอยต่อ p-n การไบแอสกระแสไฟฟ้าไปข้างหน้าข้ามผ่านเลเซอร์ไดโอดจะทำให้ประจุสื่อนำไฟฟ้าสองชนิดคือ - โฮลและอิเล็กตรอน - จะ "ถูกฉีด" จากแต่ละอีกฝั่งที่อยู่ด้านตรงข้ามกันของรอยต่อ p-n เข้ามาในบริเวณเขตการพ่อง โฮลจะถูกฉีดจากบริเวณของสารกึ่งตัวนำที่เป็นสารเจือชนิด P และอิเล็กตรอนจากบริเวณของสารเจือชนิด n (คือ บริเวณของการพ่องปราศจากประจุสื่อนำทางไฟฟ้าใด ๆ ในรูปแบบที่เป็นผลมาจากความแตกต่างทางความต่างศักย์ไฟฟ้าที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิด n (n-type) และสารชนิด p (p-type) เมื่อใดก็ตามที่พวกมันอยู่ในสถานะของการสัมผัสติดต่อกันทางกายภาพกันอยู่) เนื่องจากการใช้การฉีดของประจุในการสร้างกำลังแก่เลเซอร์ไดโอดมากที่สุด, ประเภทของเลเซอร์แบบนี้บางครั้งเรียกว่า "เลเซอร์ฉีด" หรือ "เลเซอร์ไดโอดฉีด" (ILD) เป็นเลเซอร์ไดโอดที่เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่พวกมันอาจถูกจัดจำแนกได้ว่าเป็นเลเซอร์สารกึ่งตัวนำ ซึ่งเป็นการกำหนดคุณลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งที่มีความแตกต่างจากเลเซอร์สถานะของแข็ง

2.5 โฟโตไดโอด

โฟโตไดโอด (Photo Diode) เป็นอุปกรณ์เชิงแสงชนิดหนึ่ง ที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และสารกึ่งตัวนำชนิด N รอยต่อจะถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุที่แสงผ่านได้ เช่น กระจกใส โฟโตไดโอดจะมีอยู่ 2 แบบ คือแบบที่ตอบสนองต่อแสงที่เรามองเห็น และแบบที่ตอบสนองต่อแสงในย่านอินฟราเรด (IR Photo Diode) ในการรับใช้งานจะต้องต่อโฟโตไดโอดในลักษณะไบอัสกลับ (Reverse Bias)

โฟโตไดโอดเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็น สัญญาณไฟฟ้า เมื่อแสงตกกระทบอิเล็กตรอนที่ยึดติดอยู่กับอะตอมในขั้วผลึกจะแตกหลุด เกิด เป็นอิเล็กตรอนอิสระ และโฮลอิสระขึ้น อิเล็กตรอน และโฮลเหล่านี้จะเคลื่อนที่เข้าไปในเขตปลอดพาหะ เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าย้อนด้วยปริมาณที่แปรเปลี่ยนตามความเข้มแสง เรียกว่า กระแสโฟโต

โฟโตไดโอดจะยอมให้กระแสไหลผ่านได้มากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสง เมื่อโฟโตไดโอดได้รับไบอัสกลับ ด้วยแรงดันค่าหนึ่งและมีแสงมาตกกระทบที่บริเวณรอยต่อ ถ้าแสงที่มาตกกระทบมีความยาวคลื่นหรือแลมด้าที่เหมาะสมจะมีกระแสไหลในวงจร โดยกระแสที่ไหลในวงจร จะแปรผกผันกับความเข้มของแสงที่มาตกกระทบ ลักษณะทั่วไปขณะไบอัสตรง (Forward Bias) จะยังคงเหมือนกับไดโอดธรรมดาที่ยอมให้กระแสไหลผ่านได้



รูปที่ 2.6 หลักการทำงานของโฟโตไดโอด

โฟโตไดโอดใช้ประโยชน์ในงาน

- วัดความเข้มแสง
- ชัตเตอร์แสง
- กำหนดตำแหน่งของเครื่องมือกล
- การวัดระยะทางไกลด้วยแสงอินฟราเรด
- ตรวจจับสัญญาณแสงที่มีความถี่สูง

โฟโตไดโอดเมื่อเทียบกับ LDR (ตัวต้านทานที่แปรค่าตามแสง) แล้วโฟโตไดโอดมีการตอบสนองเร็วกว่า LDR มาก จึงนิยมนำไปประยุกต์งานในวงจรที่ต้องการความเร็วสูง เช่น เครื่องนับสิ่งของ, ตัวรับรีโมทคอนโทรล, วงจรกันขโมยอินฟราเรด เป็นต้น

เนื่องจากโฟโตไดโอดให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อแสงต่ำ คืออยู่ในช่วง 1-10 mA เท่านั้น ดังนั้นการใช้งานโฟโตไดโอดจึงต้องมีตัวขยายกระแสเพิ่มเติม ผู้ผลิตจึงหันมาใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวขยายกระแสเพิ่มเติมอยู่ในตัวถังเดียวกัน ซึ่งเรียกว่าโฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor)

2.6 วงจรเลื่อนเฟส (Phase-shifter)

วงจรเลื่อนเฟส (Phase-shifter) หรือบางทีเรียกว่าวงจรรองทั้งหมดผ่าน (All-pass filter) เป็นวงจรที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายในวงจรประมวลผลทางสัญญาณแอนะล็อก และยังใช้งานในวงจรสื่อสารต่างๆ อีกมากมาย โดยวงจรจะทำหน้าที่เลื่อนเฟสให้นำหน้า (Lead) หรือล่าหลัง (Lag) ขณะที่ขนาด (Amplitude) ของสัญญาณไม่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าความถี่ แต่เดิมวงจรเลื่อนเฟสมีการออกแบบขึ้นจากออปแอมป์ที่เป็นอุปกรณ์แอคทีฟ (Active element) ต่อร่วมกับอุปกรณ์พาสซีฟ (Passive element) ที่เป็นตัวต้านทานและตัวเก็บประจุจำนวนมาก ทำให้วงจรมีขนาดใหญ่และไม่สะดวกต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน ซึ่งในปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางวงจรรวม (Integrated Circuit หรือ IC) มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วและมีการออกแบบ IC ขึ้นมาใช้งานที่หลากหลาย พบว่าในการเลือกนำเอา IC ที่สามารถใช้ในการควบคุมวงจรได้แบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronically tunable) มักจะได้รับความสนใจมากเป็นพิเศษ เนื่องจากการใช้กระแสหรือแรงดันจากภายนอกสามารถนำไปควบคุมพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในวงจรได้แล้วยังทำให้การปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ทำได้ง่าย

มีความรวดเร็วและแม่นยำกว่ารูปแบบเดิม ๆ ที่ใช้การปรับเปลี่ยนแบบเชิงกล (Mechanically tunable) เช่นการปรับที่ตัวต้านทาน เป็นต้น

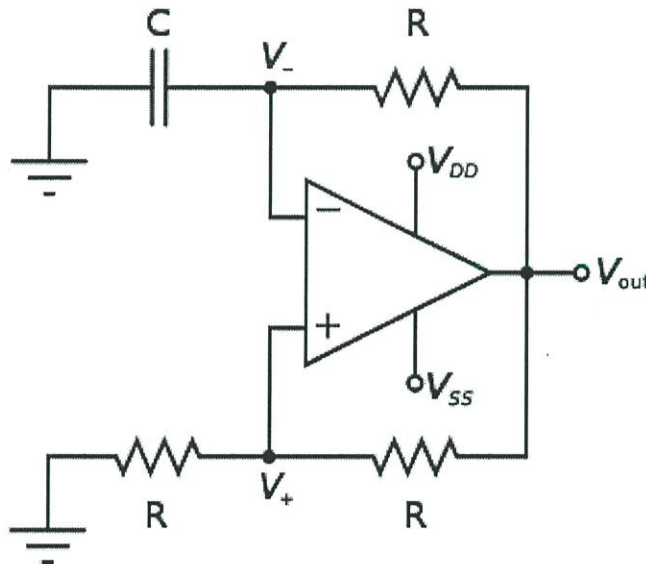
2.7 อิเล็กทรอนิกส์ ออสซิลเลเตอร์ (Electronic Oscillator)

เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ผลิตสัญญาณออกมาซ้ำๆกัน คลื่นไฟฟ้าที่ออกมาส่วนใหญ่จะเป็น sine wave และคลื่นรูปสี่เหลี่ยม Oscillators มีแหล่งจ่ายไฟเป็นกระแสตรง (DC) มีเอาต์พุตเป็นสัญญาณดังกล่าวเพื่อใช้ในการส่งสัญญาณวิทยุและโทรทัศน์, สัญญาณนาฬิกาที่ควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ทุกชนิด, นาฬิกาควอตซ์และเสียงที่ผลิตโดย beepers อิเล็กทรอนิกส์และวิดีโอเกม.

Oscillators แบ่งตามลักษณะของความถี่ของสัญญาณเอาต์พุต ได้แก่

- oscillator เสียงที่มนุษย์ได้ยิน (audio frequency) ผลิตความถี่อยู่ในช่วงเสียงประมาณ 16-20 kHz.
- oscillator RF ผลิตสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ (RF) ช่วงประมาณ 100 kHz ถึง 100 GHz.
- oscillator ความถี่ต่ำ (LFO) สร้างสัญญาณความถี่ต่ำกว่า 20 Hz \approx คำนี้มักจะใช้ในด้าน การสังเคราะห์เสียงจะแตกต่างจาก oscillator เสียง
- oscillators เพื่อผลิตเอาต์พุต AC พลังงานสูงจากไฟกระแสตรงมักจะเรียกว่าอินเวอร์เตอร์

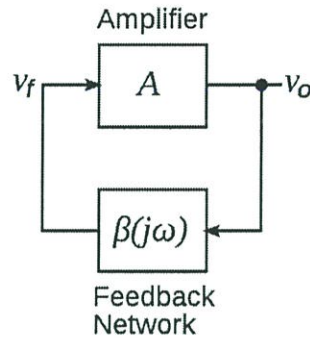
oscillator อิเล็กทรอนิกส์ แบ่งเป็นสองประเภทหลักคือ oscillator เชิงเส้นหรือฮาร์โมนิกและ oscillator ไม่เชิงเส้นหรือฟอนคลาย



รูปที่ 2.7 op-amp relaxation oscillator ที่เป็นที่ยอมรับ

2.7.1 Oscillator แบบเชิงเส้นหรือฮาร์โมนิก ผลิตเอาต์พุตคลื่นไซน์ มีสองประเภท ได้แก่

2.7.1.1 Feedback Oscillator



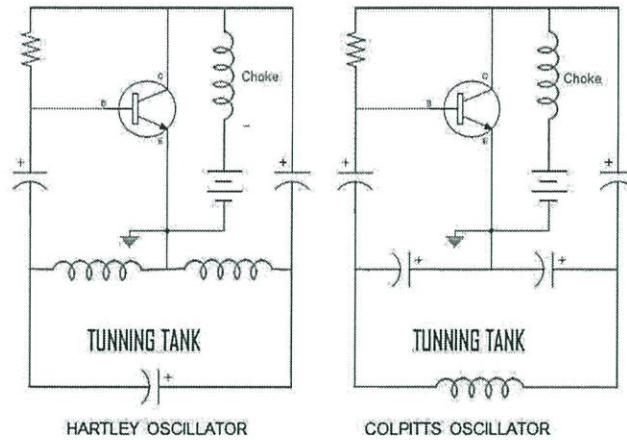
รูปที่ 2.8 วงจร Feedback Oscillator

รูปแบบที่พบมากที่สุดของ oscillator เชิงเส้นคือวงจรขยายสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์เช่น แอมป์ทรานซิสเตอร์หรือออปแอมที่เชื่อมต่อกับ feedback loop ที่มีเอาต์พุตป้อนกลับเป็นอินพุท โดยผ่านทางตัวกรองเฉพาะความถี่เพื่อให้เป็น positive feedback เมื่อเริ่มจ่ายไฟไปให้วงจรขยายสัญญาณ สัญญาณรบกวนในวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะเริ่มให้วงจรออสซิลเลเตอร์ทำงาน สัญญาณรบกวนดังกล่าวเดินทางเป็นวงรอบในวงจรมีการขยายกำลังและถูกกรองเฉพาะความถี่ที่ต้องการออกมาเป็นคลื่นไซน์ที่มีความถี่เดียว

วงจร feedback สามารถจำแนกตามชนิดของตัวกรองเลือกความถี่ ดังนี้

- วงจร RC, ตัวกรองประกอบด้วยตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ. RC oscillator ส่วนใหญ่จะใช้ในการสร้างความถี่ต่ำเช่นในช่วงเสียงออดิโอ ประเภททั่วไปของวงจร RC ได้แก่ Phase shifted Oscillator และ Wien Bridge Oscillator

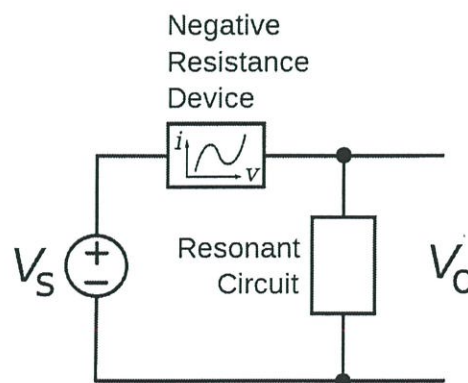
- วงจร LC เป็นวงจรกรองแบบปรับความถี่ได้ ที่ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) เชื่อมต่อกันได้. ประจุไฟฟ้าจะไหลไปมาระหว่างแผ่นตัวเก็บประจุกับตัวเหนี่ยวนำ ดังนั้นวงจรกรองปรับความถี่สามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าที่จะสั้นที่ความถี่เรโซแนนซ์(การสั้นพ้อง, เรโซแนนซ์, ปรากฏการณ์เมื่อระบบถูกทำให้สั้นด้วยความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติของระบบเองแล้ว การสั้นนั้นจะสั้นได้รุนแรงหรือมีช่วงกว้างของการสั้นกว้างมากที่สุด [พจนานุกรมศัพท์ สสวท] ของ L และ C นั้นมีการสูญเสียเล็กน้อยในวงจรดังกล่าว แต่วงจรขยายสัญญาณสามารถชดเชยการสูญเสียเหล่านั้นได้ และจ่ายพลังงานเอาต์พุตเป็นสัญญาณออกมา oscillators LC มักจะสร้างความถี่วิทยุ ใช้กับงานที่ต้องการมีการปรับความถี่เช่นในเครื่องสร้างสัญญาณ, ในเครื่องส่งสัญญาณวิทยุและการปรับหาสถานีในเครื่องรับวิทยุ โดยทั่วไป วงจร LC จะได้แก่ Hartley, Colpitts and Clapp



รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมของวงจร LC จะได้แก่ Hartley และ Colpitts

• วงจรคริสตัล ใช้ผลึกคริสตัลในการสร้างความถี่ คริสตัลจะสั่นด้วยแรงกล ทำตัวเหมือนตัวเรโซเนเตอร์ ความถี่ของการสั่นสะท้อนกำหนดความถี่ของสัญญาณที่ผลิต คริสตัลมีค่า Q-factor สูงมากและความมั่นคงด้านอุณหภูมิดีกว่า LC หรือ RC oscillators จึงถูกนำมาใช้เพื่อรักษาเสถียรภาพของความถี่ของเครื่องส่งสัญญาณวิทยุมากที่สุดและเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในคอมพิวเตอร์และนาฬิกาควอตซ์ oscillators คริสตัลมักจะใช้วงจรเดียวกับ oscillators LC แต่ใช้คริสตัลแทนที่วงจรปรับความถี่; วงจรเพียร์ซเป็นที่นิยมใช้ ผลึกควอตซ์มีข้อจำกัดโดยทั่วไปที่ความถี่ 30 MHz หรือต่ำกว่า คลื่นพื้นผิว (SAW) เป็นอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่งของ piezoelectric resonator ทำให้ได้ความถี่ที่สูงขึ้นมาก ออสซิลเลเตอร์ดังกล่าวจะใช้ในการใช้งานเฉพาะที่จำเป็นต้องมีการอ้างอิงความถี่สูงเช่นในโทรศัพท์มือถือ

2.7.1.2 Negative Resistance Oscillator



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของวงจร Negative Resistance Oscillator

นอกจากนี้ feedback oscillator ที่อธิบายไว้ข้างต้นซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์และออปแอมป์แล้ว, oscillator แบบเชิงเส้นยังมีอุปกรณ์ที่มีความต้านทานเชิงลบ เช่น หลอดแมกนีตรอน, ทันเนลไดโอด, และกันนำไดโอด อีกด้วย oscillators ต้านทานเชิงลบมักจะใช้ความถี่สูงในช่วงไมโครเวฟหรือสูงกว่า เพราะที่ความถี่สูงขนาดนี้ feedback oscillator ทำงานได้ไม่ดีเนื่องจากเฟสชิฟมากเกินไปในเส้นทาง feedback

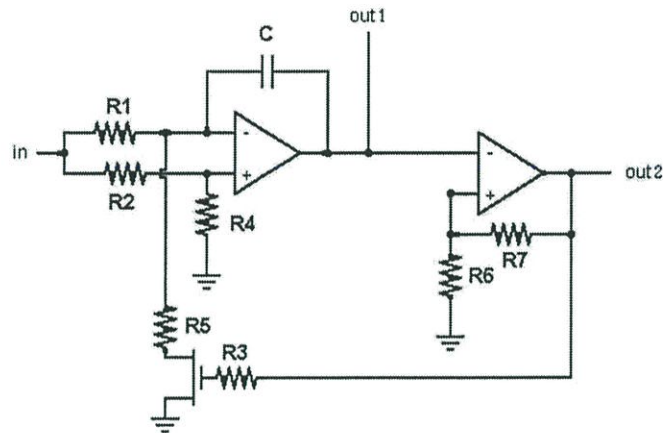
ใน oscillators ต้านทานเชิงลบ, วงจรเรโซแนนซ์เช่นวงจร LC, คริสตัลหรือ cavity resonator มีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่มีความต้านทานที่หักล้างกันเอง วงจรเรโซแนนซ์โดยมันตัวเองเกือบจะเป็น oscillator อยู่แล้ว; โดยที่มันสามารถเก็บพลังงานในรูปแบบของการแกว่งทาง อิเล็กทรอนิกส์ถ้ากระตุ้นมัน แต่เพราะมีความต้านทานและความสูญเสียภายในอื่นๆ ทำให้การแกว่ง ลดลงเป็นศูนย์ ความต้านทานเชิงลบของอุปกรณ์ได้หักล้างการต้านทาน(เชิงบวก)ภายในตัว เรโซเนเตอร์ เป็นผลให้ลดการลดทอนและสร้างการสั่นอย่างต่อเนื่องที่เกิดขึ้นเองที่ความถี่เรโซแนนซ์ ของมันเอง

oscillator แบบความต้านทานเชิงลบไม่จำกัดเฉพาะอุปกรณ์พอร์ตเดียวเหมือนไดโอด; วงจร feedback oscillator ที่ใช้อุปกรณ์ขยายสองพอร์ตเช่นทรานซิสเตอร์และหลอดก็มีความต้านทานเชิงลบเช่นกัน ในช่วงความถี่สูงทรานซิสเตอร์และ FETs ไม่ต้องการการ feedback แต่เมื่อใส่โหลด บางอย่างเข้าที่พอร์ตหนึ่งจะทำให้เกิดความไม่แน่นอนที่อีกพอร์ตหนึ่ง ทำให้เกิดความต้านทานเชิงลบ ป้อนกลับภายใน เกิดการสั่นขึ้น ดังนั้น oscillators ความถี่สูงโดยทั่วไปได้รับการออกแบบโดยใช้ เทคนิคความต้านทานเชิงลบ

ตารางที่ 2.4 อุปกรณ์ที่ใช้งานใช้ใน oscillators และความถี่สูงสุดโดยประมาณ

อุปกรณ์	ความถี่
Triode vacuum tube	1 GHz
Bipolar transistor (BJT)	20 GHz
Heterojunction Bipolar Transistor (HBT)	50 GHz
Metal Semiconductor Field Effect Transistor (MESFET)	100 GHz
High Electron Mobility Transistor (HEMT)	200 GHz
Gunn diode, fundamental mode	100 GHz
Gunn diode, harmonic mode	200 GHz
IMPATT diode	300 GHz
Klystron tube	200 GHz
Magnetron tube	100 GHz
Gyrotron tube	300 GHz

2.7.2 Oscillator แบบควบคุมด้วยแรงดันไฟฟ้า (VCO)



ปที่ 2.11 Voltage-controlled Oscillator (VCO)

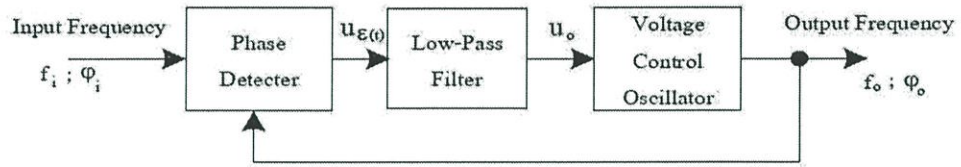
oscillator สามารถออกแบบเพื่อให้ความถี่สามารถปรับได้ด้วยกระแสหรือแรงดันที่อินพุต oscillators ที่สามารถควบคุมด้วยแรงดันไฟฟ้าที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายใน phase-locked loop ที่ซึ่งความถี่ของ oscillator หนึ่งสามารถถูกล็อกกับความถี่ของ oscillator อื่นได้ วงจรนี้เป็นที่แพร่หลายในการสื่อสารที่ทันสมัย, ใช้ในการกรอง, modulators, demodulators และใช้เป็นพื้นฐานของวงจรสังเคราะห์ความถี่ที่ใช้ในการปรับแต่งวิทยุและโทรทัศน์

VCOs ความถี่วิทยุมักจะถูกสร้างโดยการเพิ่มไดโอด Varactor ในวงจรหาค่าคลื่นนิ่งหรือโดยการเพิ่มตัวสร้างเรโซแนนซ์ในวงจร oscillator การเปลี่ยนแรงดันไฟตกคร่อม varacter จะเปลี่ยนแปลงค่า capacitance ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรหาค่าคลื่นนิ่งด้วย oscillator แบบผ่อนคลายที่ถูกควบคุมด้วยแรงดันไฟฟ้าสามารถถูกสร้างขึ้นโดยการชาร์จและการดิสชาร์จตัวเก็บประจุด้วยแหล่งจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน การเพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่อินพุตจะไปเพิ่มอัตราของการชาร์จประจุของตัวเก็บประจุ แต่ไปลดเวลาระหว่างการเปลี่ยนชาร์จ/ดิสชาร์จนั้นคือลดความถี่ในวงจร oscillator

2.8 เฟสล็อกลูป (Phase Locked Loop)

PLL เป็นระบบควบคุมความถี่ โดยใช้วิธีเปรียบเทียบเฟส (Phase) ของความถี่ทางด้านเอาต์พุต กับเฟสของความถี่อ้างอิง (Reference Frequency) ซึ่งถูกป้อนเข้าทางด้านอินพุตของระบบ

2.8.1 ส่วนประกอบของวงจร PLL



รูปที่ 2.12 แผนผังของ PLL เบื้องต้น

จากแผนผัง พบว่า PLL เบื้องต้น จะประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

2.8.1.1 ภาคตรวจจับเฟส หรือตัวเปรียบเทียบสัญญาณ (Phase Detector หรือ Comparator)

มีหน้าที่เปรียบเทียบความแตกต่างของเฟสระหว่าง i_ϕ และ o_ϕ ให้กำเนิดแรงดันคลาดเคลื่อน (Error Voltage) ; u_ϵ ออกมาทางเอาต์พุต

$$u_\epsilon(t) = K_\phi(\phi_i - \phi_o) = K_\phi \Delta\phi \quad (2.11)$$

2.8.1.2 ภาคกรองความถี่ต่ำผ่าน หรือภาคกรองความถี่ลูป (Low - Pass Filter หรือ Loop Filter)

ทำหน้าที่กำจัดส่วนประกอบทางไฟสลบที่ปะปนมากับแรงดันคลาดเคลื่อน และปล่อยให้ส่วนประกอบทางไฟตรงของแรงดันคลาดเคลื่อน ผ่านไปยังเอาต์พุต

$$u_o = \overline{u_\phi(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T u_\epsilon(t) dt \quad (2.12)$$

2.8.1.3 ภาคกำเนิดสัญญาณควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Controlled Oscillator, VCO)

ความถี่ o_f ของ VCO จะเปลี่ยนไปตามแรงดัน; o_u ทางอินพุต ดังนั้นเมื่อ o_u เปลี่ยนไปก็จะมีผลทำให้ o_f และ o_ϕ เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

$$f_o = K_f u_o \quad (2.13)$$

ในระบบ PLL ขนาดของแรงดันคลาดเคลื่อนที่ได้จากภาคตรวจจับเฟสจะแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างของ $f_i - f_o$ และ $\phi_i - \phi_o$

แรงดันคลาดเคลื่อนนี้จะไปควบคุมให้การเปลี่ยนแปลงของ f_o ของ VCO เป็นไปในทิศทางที่ทำให้ผลต่างของความถี่; $i f_i - f_o$ มีขนาดลดลง นั่นคือ f_o จะมีค่าเข้าใกล้ f_i มากขึ้น เราเรียกภาวะของลูป (Loop) ในขณะที่ VCO เริ่มเปลี่ยน ความถี่ f_o ว่า “สถานะแคปเตอร์

(Capture State)” เมื่อ f_o มีค่าเท่ากับ f_i การเปลี่ยนแปลงของ f_o ก็สิ้นสุดลง เราเรียกภาวะนี้ว่า “เฟสล็อก(Phase Locked)”

2.8.2 สถานะของวงจรร PLL

โดยทั่วไปแล้ว เราสามารถบอกได้ว่า PLL ประกอบด้วย 3 ภาวะด้วยกัน คือ

2.8.2.1 ภาวะทำงานเป็นอิสระ (Free – Running) ; ความถี่ของ VCO ถูกกำหนดจากโครงสร้างวงจรรของ VCO เอง

2.8.2.2 ภาวะแคปเตอร์ (Capture) ; ความถี่ f_o ของ VCO กำลังวิ่งเข้าหาความถี่อินพุต; f_i

2.8.2.3 ภาวะเฟสล็อก (Phase Locked) ; ความถี่ f_o ของ VCO เท่ากับความถี่อินพุต; f_i

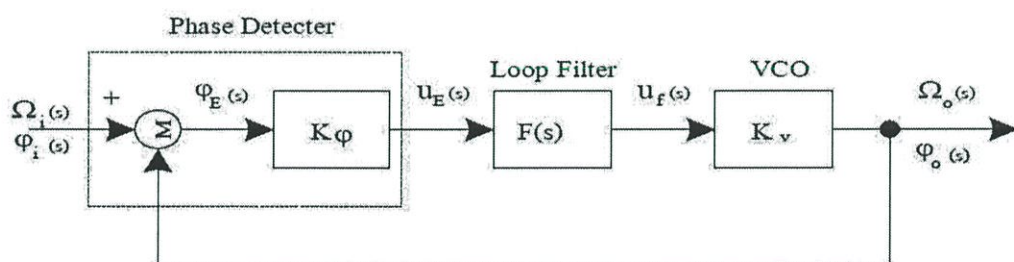
ย่านความถี่ ซึ่งระบบลูปสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของความถี่อินพุตได้ เราเรียกว่า “ย่านล็อก (Lock Range)”

ย่านความถี่ ซึ่งระบบลูปสามารถเข้าถึงภาวะเฟสล็อกได้ เรียกว่า “ย่านแคปเตอร์ (Capture Range)” ซึ่งจะมีย่านแคบกว่า Lock Range

สำหรับลักษณะสมบัติทางไดนามิกส์ (Dynamic Characteristics) ของ PLL จะถูกกำหนดโดยคุณสมบัติของตัวกรองความถี่ลูป ซึ่งเป็นวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน ในขณะที่ PLL อยู่ในภาวะเฟสล็อก ความเร็วในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของความถี่อินพุต; f_i ของ PLL จะถูกจำกัดโดยตัวกรองความถี่ลูป

2.8.3 ฟังก์ชันโอนย้ายของ PLL พื้นฐาน

แผนผังของระบบ PLL เบื้องต้น สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้



รูปที่ 2.13 แผนผังของระบบ PLL เบื้องต้น

เนื่องจาก ตัวกรองความถี่ลูป เป็นวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน ซึ่งมีความถี่ตัด (Cutoff Frequency) ต่ำกว่าส่วนประกอบทางไฟสลับของแรงดันคลาตเคลื่อนจากภาคตรวจจับเฟสมากๆ ทำให้ส่วนประกอบทางไฟสลับ ไม่สามารถส่งผ่านลูปได้ ดังนั้น $u_E(s)$ ที่ปรากฏในแผนผัง จึงหมายถึง แรงดันคลาตเคลื่อนที่ไม่มีส่วนประกอบทางไฟสลับ

สำหรับที่ VCO เราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi_o(s)$ และ $u_f(s)$ ได้ดังนี้

$$\Omega_o(s) = K_V u_f(s) \quad (2.14)$$

เนื่องจาก

$$\Omega_o(s) = s \phi_o(s) \quad (2.15)$$

แทนค่า (2.14) ใน (2.15) จะได้

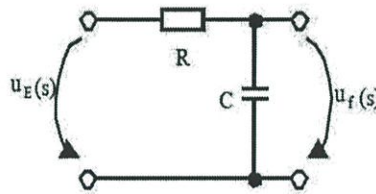
$$\phi_o(s) = \frac{K_V u_f(s)}{s} \quad (2.16)$$

ฟังก์ชันโอนย้าย; $T(s)$ ของ PLL ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\phi_i(s)$ และ $\phi_o(s)$ สามารถหาได้จากแผนผังข้างต้น ดังนี้

$$T(s) = \frac{\phi_o(s)}{\phi_i(s)} = \frac{K_\phi K_V F(s)}{s + K_\phi K_V F(s)} \quad (2.17)$$

2.8.3.1 PLL ที่มีตัวกรองความถี่ชนิด A

จากวงจร ตัวกรองความถี่ต่ำผ่านแบบพาสซีฟมีฟังก์ชันโอนย้าย



รูปที่ 2.14 วงจร ตัวกรองความถี่ต่ำผ่านแบบพาสซีฟมีฟังก์ชันโอนย้าย

$$F_A(s) = \frac{u_f(s)}{u_E(s)} = \frac{1}{1 + \tau s} \quad (2.18)$$

ค่าเวลาคงที่ (Time Constant); τ หาได้จาก $\tau = RC$

ความถี่ตัด; ω_A $\omega_A = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{RC}$ (2.19)

เมื่อแทน $F_A(s)$ ลงใน $F(s)$ จะได้ฟังก์ชันโอนย้ายของ PLL ดังนี้

$$T_A(S) = \frac{K_\phi K_V / \tau}{s^2 + (1/\tau)s + K_\phi K_V / \tau} \quad (2.20)$$

สมการ (2.20) เป็นระบบลำดับที่สอง (2nd - Order System) ซึ่งสามารถเขียนในรูปแบบมาตรฐานดังนี้

$$T_A(S) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2.21)$$

ความถี่ธรรมชาติของระบบ (System Natural Frequency (Swing)); ω_n

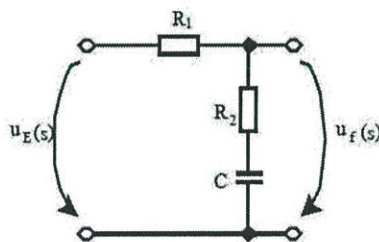
$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_\phi K_V}{T}} = \sqrt{K_\phi K_V \omega_A} \quad (2.22)$$

ปัจจัยหน่วง (Damping Factor); ζ

$$\zeta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{K_\phi K_V \tau}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\omega_A}{K_\phi K_V}} \quad (2.23)$$

2.8.3.2 PLL ที่มีตัวกรองความถี่ชนิด B

จากวงจร Passive Lead - Lag



รูปที่ 2.15 วงจร Passive Lead - Lag

$$F_B(S) = \frac{u_f(S)}{u_E(S)} = \frac{\tau_2 s + 1}{(\tau_1 + \tau_2)s + 1} \quad (2.24)$$

ค่าเวลาคงที่; τ_1 และ τ_2 หาได้จาก

$$\tau_1 = RC_1 \text{ และ } \tau_2 = RC_2$$

ความถี่ตัด; ω_B

$$\omega_B = \frac{1}{(R_1+R_2)C} \quad (2.25)$$

แทนค่า $F_B(S)$ ลงในฟังก์ชันโอนย้าย; $T(s)$ ของ PLL จะได้

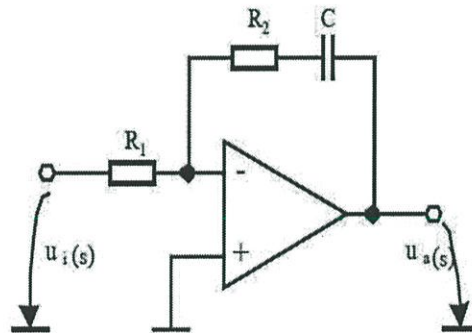
$$T_B(S) = \frac{\omega_n[2\zeta - \omega_n/K_\phi K_V]s + \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2.26)$$

2.8.3.3 PLL ที่มีตัวกรองความถี่ชนิด C

สำหรับตัวกรองความถี่ชนิด C นั้น มีฟังก์ชันโอนย้าย; $F_C(S)$ ดังนี้

$$F_C(S) = \frac{\tau_2 s + 1}{\tau_1 s} \quad (2.27)$$

ส่วนวงจรที่มีฟังก์ชันโอนย้ายดังกล่าว สามารถสร้างได้โดยใช้วงจรขยายที่มีอัตราขยายสูงๆ
ช่วย



รูปที่ 2.16 วงจรขยายที่มีอัตราขยายสูง

$$A_u | (S) = \frac{u_a(S)}{u_i(S)} = - \frac{\tau_2 s + 1}{\tau_1 s} \quad (2.28)$$

$$\tau_1 = R_1 C \quad (2.29)$$

$$\tau_2 = R_2 C \quad (2.30)$$

$$\omega_c = \frac{1}{R_1 C} \quad (2.31)$$

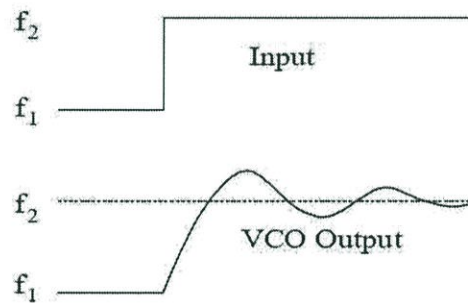
จากสมการ $A_u(s)$ พบว่า วงจรดังกล่าวมีลักษณะลักษณะสมบัติสลับขั้ว ดังนั้น ภาคตรวจ
จับเฟสที่ต่อกับวงจรกรองความถี่ดังกล่าว จะต้องมึลักษณะสมบัติสลับขั้วด้วย
ถ้า PLL ใช้ตัวกรองความถี่ลูป จากสมการ $F_c(s)$ แล้วจะได้ฟังก์ชันโอนย้าย ดังนี้

$$T_c(s) = \frac{2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2.32)$$

2.8.4 การตอบสนองสัญญาณทรานส์เซียนส์ของ PLL (Transient Response of PLL)

จากสมการ $T_A(s)$, $T_B(s)$, และ $T_C(s)$, จะเห็นว่า ฟังก์ชันโอนย้ายของ PLL เป็นระบบลำดับที่
สอง

ในกรณีที่มีระบบลำดับที่สอง มีลักษณะ Under damped ($\zeta < 1$) เมื่อความถี่อินพุตของ PLL
เปลี่ยนจาก f_1 ไปเป็น f_2 ในทันทีทันใด เอาต์พุตของ VCO ก็จะพยายามที่จะเปลี่ยนตาม แต่จะปรากฏ
ว่า f_o ที่เอาต์พุตของ VCO จะมีค่าแกว่ง (Oscillate) ขึ้นลงรอบๆค่าของ f_2 เป็นระยะเวลาหนึ่งแล้วจึง
ค่อยๆเข้าสู่ค่า f_2 ในที่สุด เมื่อ f_o มีค่าเท่ากับ f_2 ก็จะแสดงว่า PLL เข้าสู่ภาวะ “สภาวะคงตัว (Steady
State)”

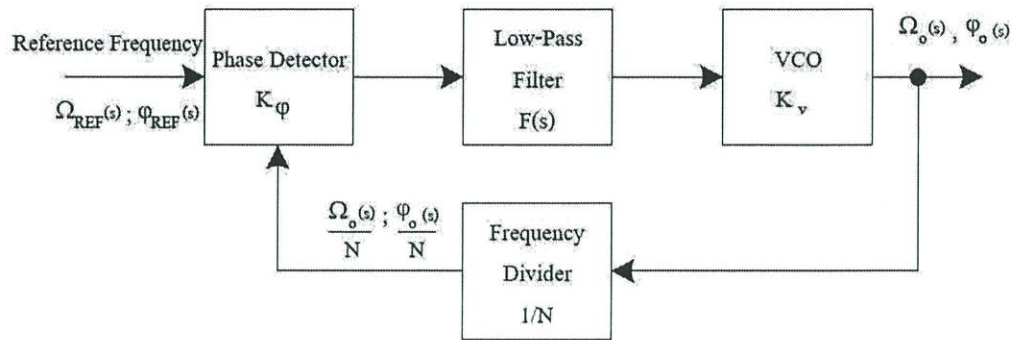


รูปที่ 2.17 ระบบลำดับที่สอง เมื่อความถี่อินพุตของ PLL เปลี่ยนในทันทีทันใด

ในการออกแบบ PLL โดยทั่วไปแล้ว เราจะเลือกค่า ζ ให้อยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 0.8

2.8.5 วงจรสังเคราะห์ความถี่ (Frequency Synthesizers)

วงจรสังเคราะห์ความถี่เป็นแหล่งจ่ายความถี่ ซึ่งเอาต์พุตสามารถให้ความถี่เป็นทวีคูณ
(Multiple) ของความถี่อ้างอิงที่อินพุต (Input Reference Frequency)



รูปที่ 2.18 วงจรสังเคราะห์ความถี่ โดยใช้ระบบ PLL

การติดตั้งวงจรรีบแบบหาร N ในทางเดินป้อนกลับ ทำให้เราได้ความถี่เอาต์พุต: $\Omega_o(s)$ มีขนาดเป็นความถี่ N เท่าของความถี่อ้างอิงที่อินพุต: $\Omega_{REF}(F)$ เมื่อ PLL อยู่ในภาวะ “เฟสล็อก” สำหรับฟังก์ชันโอนย้าย ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง $\varphi_o(s)$ และ $\varphi_{REF}(s)$ ของวงจรรสังเคราะห์ความถี่ สามารถเขียนได้ดังนี้

$$T(S) = \frac{\varphi_o(S)}{\varphi_{REF}(S)} = \frac{K_\phi K_V F(S)}{s + K_\phi K_V F(S) \frac{1}{N}} \quad (2.33)$$

วงจรรสังเคราะห์ความถี่ในทางปฏิบัติ (Practical Synthesizers)

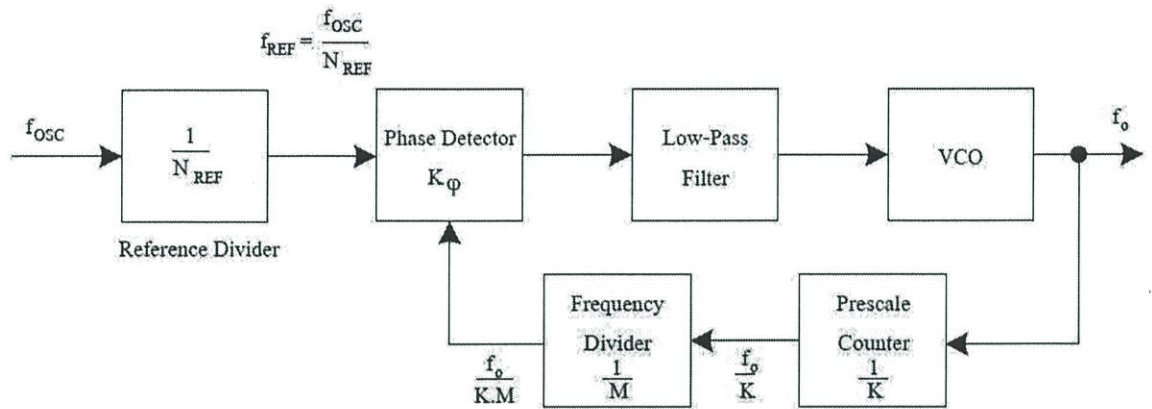
เราใช้วงจรรีบแบบหารด้วยค่า N ต่อในทางเดินป้อนกลับของ PLL เพื่อเพิ่มความถี่เอาต์พุตให้กับตัวสังเคราะห์ความถี่

วงจรรีบชนิด CMOS ใช้กระแสน้อยมาก แต่มีความถี่ปฏิบัติงานสูงสุด (Max Operating Frequency) ประมาณ 6MHz เท่านั้น ในขณะที่วงจรรีบชนิด TTL สามารถใช้ได้ถึง 20MHz แล้ว การเลือกใช้ วงจรรีบชนิด ECL ซึ่งมีความถี่ปฏิบัติงานสูงสุดอยู่ระหว่าง 100MHz – 300MHz ก็เป็นการแก้ปัญหาวิธีหนึ่ง แต่อุปกรณ์ ECL มักมีราคาสูง และใช้กระแสมาก

ปัญหาของความถี่อ้างอิงที่อินพุต (f_{REF})

โดยทั่วไปแล้ว ค่า N ของวงจรรีบในทางเดินป้อนกลับ จะถูกออกแบบให้สามารถปรับแต่งได้ระหว่าง N_{MIN} และ N_{MAX} ทำให้ขนาดของความถี่เอาต์พุตต่างๆ อยู่ระหว่าง f_{OMIN} และ f_{OMAX} เพื่อให้ Channel Space : f_{CH} ระหว่างค่าของความถี่เอาต์พุต; f_o ต่างๆ มีความละเอียดอย่างเพียงพอ จึงมักกำหนดให้ ความถี่อ้างอิงที่อินพุต: $f_{REF} \leq 10kHz$ แต่ปรากฏว่าวงจรรีบกำเนิดสัญญาณที่ใช้คริสตอลที่ใช้ทั่วไปมี $f_{OSC} \geq 1 MHz$ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทอน f_{OSC} ลงมาอยู่ในระดับ f_{REF} ที่ต้องการ ก่อนที่จะต่อเข้าอินพุตของตัวตรวจจับเฟสใน PLL

2.8.5.1 วงจรสังเคราะห์ความถี่แบบ Prescaled (Prescaled Synthesizer)



รูปที่ 2.19 วงจรสังเคราะห์ความถี่แบบ Prescaled

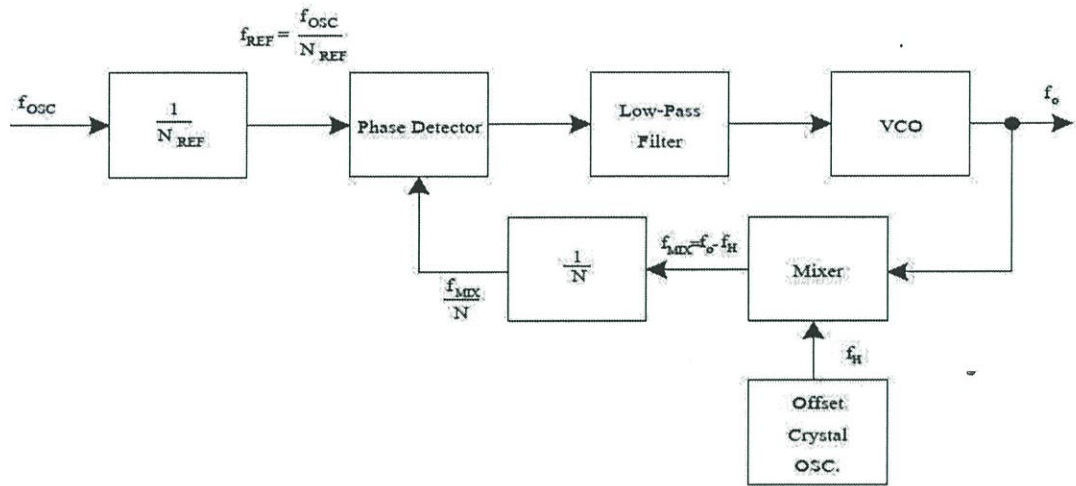
วงจรมีค่าคงที่ (Fixed Prescale Counter) ซึ่งมีความถี่ปฏิบัติงานสูงสุด $> f_{OMAX}$ จะทำการทอนความถี่ลงมา มีขนาดเท่ากับ

$$\frac{f_{OMAX}}{K} \quad (2.34)$$

ซึ่งอยู่ในย่านที่ตัวหารความถี่ (Frequency Divider) สามารถทำงานได้ สำหรับ Channel Space: f_{CH} ของวงจรสังเคราะห์ความถี่ หาได้จากสมการ

$$f_{CH} = K f_{REF} = \frac{K}{N_{REF}} f_{osc} \quad (2.35)$$

2.8.5.2 วงจรสังเคราะห์ความถี่แบบ Heterodyne-Down (Heterodyne-Down Frequency Synthesizer)



รูปที่ 2.20 วงจรสังเคราะห์ความถี่แบบ Heterodyne-Down

วงจรถ่ายความถี่สัญญาณ Offset หรือ Local OSC ซึ่งกำเนิดความถี่คงที่ f_H จะต่อเข้ากับมิกเซอร์ (Mixer) ในทางเดินป้อนกลับ เพื่อทำการผสม หรือมอดูเลตกับความถี่ f_o ที่ได้จากเอาต์พุตของวงจรถ่ายความถี่ จะได้ความถี่ที่เอาต์พุตของมิกเซอร์เท่ากับ f_{MIX}

$$f_{MIX} = f_o - f_H \quad (2.36)$$

สำหรับ ค่าคงที่ของการหาร: N ของตัวหารความถี่ หาได้จาก

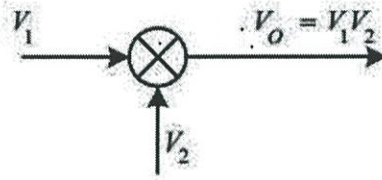
$$N_{MAX} = \frac{f_{MIX(MAX)}}{f_{REF}} = \frac{f_o(MAX) - f_H}{f_{REF}} \quad (2.37)$$

$$N_{MIN} = \frac{f_{MIX(MIN)}}{f_{REF}} = \frac{f_o(MIN) - f_H}{f_{REF}} \quad (2.38)$$

และวงจรถ่ายความถี่ จะต้องมีความถี่ปฏิบัติการสูงสุด $f_{MIX(MAX)}$

2.9 วงจรรวมความถี่ (Mixer)

มิกเซอร์ความถี่ ส่วนใหญ่แล้วในระบบหรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้งานเกี่ยวกับความถี่ มักจะต้องมีวงจรรวมความถี่ หรือที่เรียกกันว่า Mixer



รูปที่ 2.21 สัญลักษณ์แสดงการทำงานของ Mixer

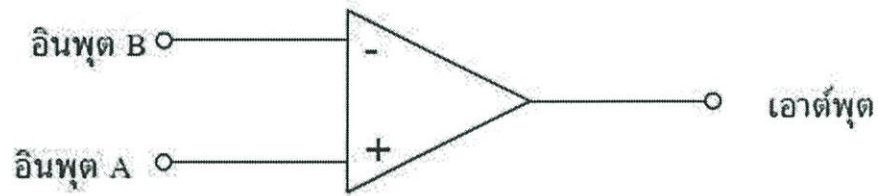
Mixer จะรวมเอาสัญญาณ 2 สัญญาณ เข้าด้วยกัน เช่นในกรณีที่สัญญาณขาเข้าเป็นอินพุต มิกเซอร์ในทางอุดมคติก็จะให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาดังสมการ

$$\begin{aligned} V_o &= (A_1 \sin \omega_1 t)(A_2 \sin \omega_2 t) \\ &= \frac{A_1 A_2}{2} [\cos(\omega_1 - \omega_2)t - \cos(\omega_1 + \omega_2)t] \quad (2.39) \end{aligned}$$

สัญญาณเอาต์พุตที่ได้สามารถเป็นได้ทั้งผลรวมและผลต่างของสัญญาณทั้งสอง โดยที่จะมีสัญญาณที่เราต้องการเพียงสัญญาณเดียวเท่านั้น และอีกสัญญาณหนึ่งจะถูกนำออกเมื่อผ่านวงจรกรองความถี่ ซึ่งการทำงานร่วมกันของมิกเซอร์และวงจรกรองความถี่จะเรียกว่า single sideband mixer อย่างไรก็ตามมิกเซอร์ในทางอุดมคตินั้นก็ไม่สามารถนำมาใช้ในทางปฏิบัติได้ แต่ก็ยังมีวงจรแบบอื่นที่นำมาใช้ทดแทนกันได้และมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ซึ่งมีทั้งวงจรแบบแอดทีฟและพาสซีฟ โดยที่วงจรแบบแอดทีฟจะมีอัตราขยายในตัวเอง แต่วงจรแบบพาสซีฟจะไม่มีอัตราขยาย และอาจจะลดทอนสัญญาณด้วย

2.10 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator Circuit)

วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) เป็นวงจรที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมการทำงานของระบบในงานวิจัยนี้ ดังนั้นในบทนี้จึงได้นำ วงจรเปรียบเทียบสัญญาณมาอธิบายหลักการทำงานด้วยพอสั่งเซป ในการเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันนี้ โดยมากจะใช้โอปแอมป์ (Op-Amp) มาเป็นตัวแสดงผลซึ่งสถานะเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณจะสามารถบอกได้ว่าสัญญาณอินพุตสองสัญญาณ สัญญาณใดมีค่ามากหรือน้อยกว่ากัน ดังนั้นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณจึงเป็นวงจรที่มีอินพุตเป็นสัญญาณอนาล็อก(Analog) และมีเอาต์พุตเป็นสัญญาณดิจิทัล (Digital) ลักษณะของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณอย่างง่ายแสดงดังในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณอย่างง่าย

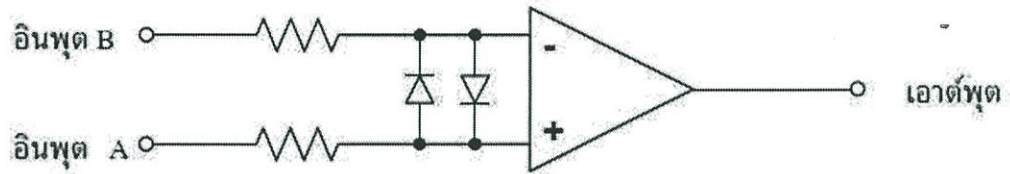
จากรูปที่ 2.32 จะได้ว่าแรงดันเอาต์พุตของวงจร (V_o) จะมีค่าเป็น

$$V_o = (V_{inA} - V_{inB}) A_{vol} \quad (2.40)$$

โดยที่ A_{vol} คืออัตราขยายแรงดันเปิดลูป (Open-loop voltage gain) ของออปแอมป์ส่วน V_{inA} และ V_{inB} เป็นค่าแรงดันจากอินพุต A และ B ตามลำดับ เมื่อเทียบกับจุดกราวด์จะได้ว่า ถ้า V_{inA} มีค่ามากกว่า V_{inB} เทอมในวงเล็บในสมการ (2.41) จะมีค่าเป็นบวกและออปแอมป์ในอุดมคติจะให้แรงดันเอาต์พุตเป็นค่าบวกอนันต์ (Infinity) ถ้า V_{inA} มีค่าน้อยกว่า V_{inB} แล้ว เทอมในวงเล็บของสมการตัวนี้จะมีค่าเป็นลบ และออปแอมป์ในอุดมคติจะให้แรงดันเอาต์พุตเป็นค่าลบอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติแรงดันเอาต์พุตนี้ถูกจำกัดโดยแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงและวงจรภายในของออปแอมป์ซึ่งค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้ จะมีค่าน้อยกว่าแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงประมาณ 1 โวลต์ และเรียกค่าแรงดันนี้ว่า แรงดันอิ่มตัว (Saturation voltage : V_{SAT}) ดังนั้นถ้าสมมติว่า แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงมีค่าเป็น 15 โวลต์ V_{SAT} ที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 14 โวลต์ และ V_{SAT} จะมีค่าเท่ากับ -14 โวลต์ แต่ในกรณีที่แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงมีขั้วเดียว(Unipolar) เช่น +30 โวลต์ จะได้ค่า V_{SAT} ประมาณ +29 โวลต์ และจะมีค่า V_{SAT} ประมาณ +1 โวลต์ ดังนั้นจากที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่าค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณจึงมีสองสถานะคือ

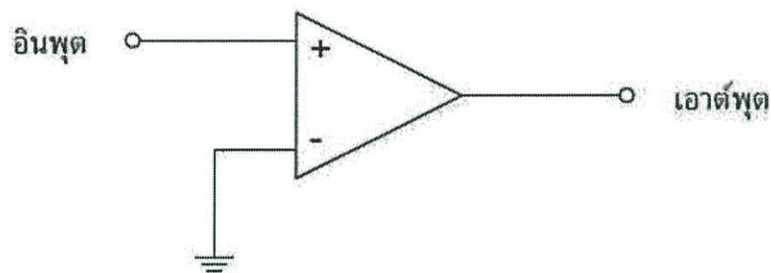
$$V_{out} = \begin{cases} V_{SAT+} ; V_{inA} > V_{inB} \\ V_{SAT-} ; V_{inA} < V_{inB} \end{cases} \quad (2.41)$$

รูปแบบหนึ่งของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน ที่นำมาใช้งานมีลักษณะดังรูปที่ 2.23 วงจรตามรูปนี้มีการนำความต้านทานและไดโอดต่อเพิ่มเข้ามาที่ขาอินพุตของวงจรเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายกับวงจรภาคอินพุตของออปแอมป์ เมื่อผลต่างแรงดันอินพุตมีค่ามากเกินไป



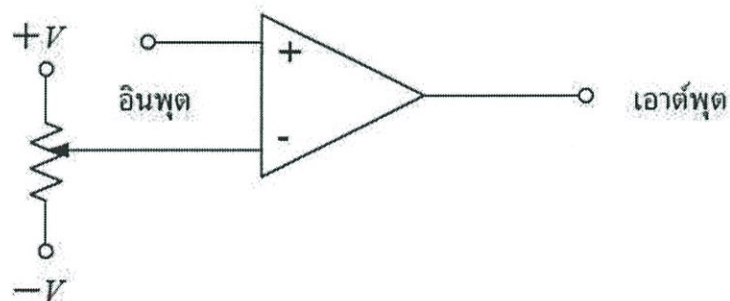
รูปที่ 2.23 วงจรเปรียบเทียบแรงดันที่มีการป้องกันอินพุต

การประยุกต์ใช้วงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่พบบ่อยๆ เช่น นำ มาใช้เพื่อแสดงว่าสัญญาณอินพุตที่เข้ามามีค่ามากหรือน้อยกว่าศูนย์ โดยวงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่ทำงานหน้าที่เช่นนี้เรียกว่า วงจรตรวจจับผ่านศูนย์ (Zero crossing detector) ซึ่งการต่อวงจรมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.24 นั่นคือจะมีขั้วอินพุตขั้วใดขั้วหนึ่งถูกป้อนอินพุตให้มีค่าระดับสัญญาณเป็นศูนย์หรือต่อลงกราวด์นั่นเอง เพื่อใช้เป็นระดับสัญญาณแรงดันอ้างอิง (Voltage reference : V_{ref}) ให้กับวงจรเปรียบเทียบนี้



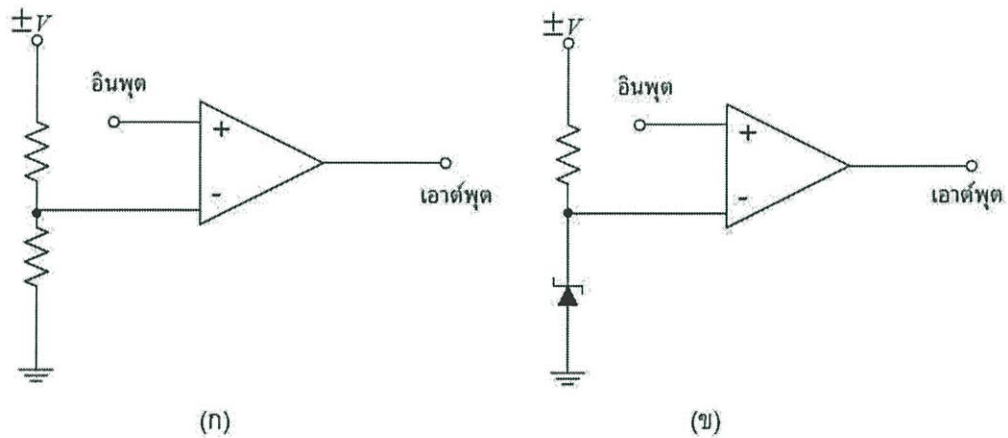
รูปที่ 2.24 วงจรตรวจจับผ่านศูนย์

ปกติโดยทั่วไปแล้วค่าระดับแรงดันอินพุตที่ใช้สำหรับอ้างอิง ไม่จำเป็นจะต้องมีค่าเท่ากับ 0 โวลต์เสมอไป ทั้งนี้อาจจะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าศูนย์ก็ได้ และอาจจะเป็นระดับแรงดันอ้างอิงที่มีค่าคงที่ หรือมีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลาก็ได้ สำหรับวงจรเปรียบเทียบที่มีแรงดันอ้างอิงเป็นสัญญาณที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลาได้นี้เรียกว่า วงจรคอมพาราเตอร์แบบที่มีระดับสัญญาณแรงดันอ้างอิงปรับค่าได้ ซึ่งวงจรมีลักษณะดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 วงจรคอมพาราเตอร์แบบที่มีระดับสัญญาณแรงดันอ้างอิงปรับค่าได้

ส่วนในกรณีที่สัญญาณแรงดันมีค่าเป็นศูนย์ หรือเป็นระดับใดๆ ที่มีค่าคงที่ เรียกว่า วงจรเปรียบเทียบแบบที่มีระดับสัญญาณแรงดันอ้างอิงคงที่ ตัวอย่างวงจรในกรณีนี้มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 วงจรเปรียบเทียบแบบที่มีระดับสัญญาณแรงดันอ้างอิงคงที่

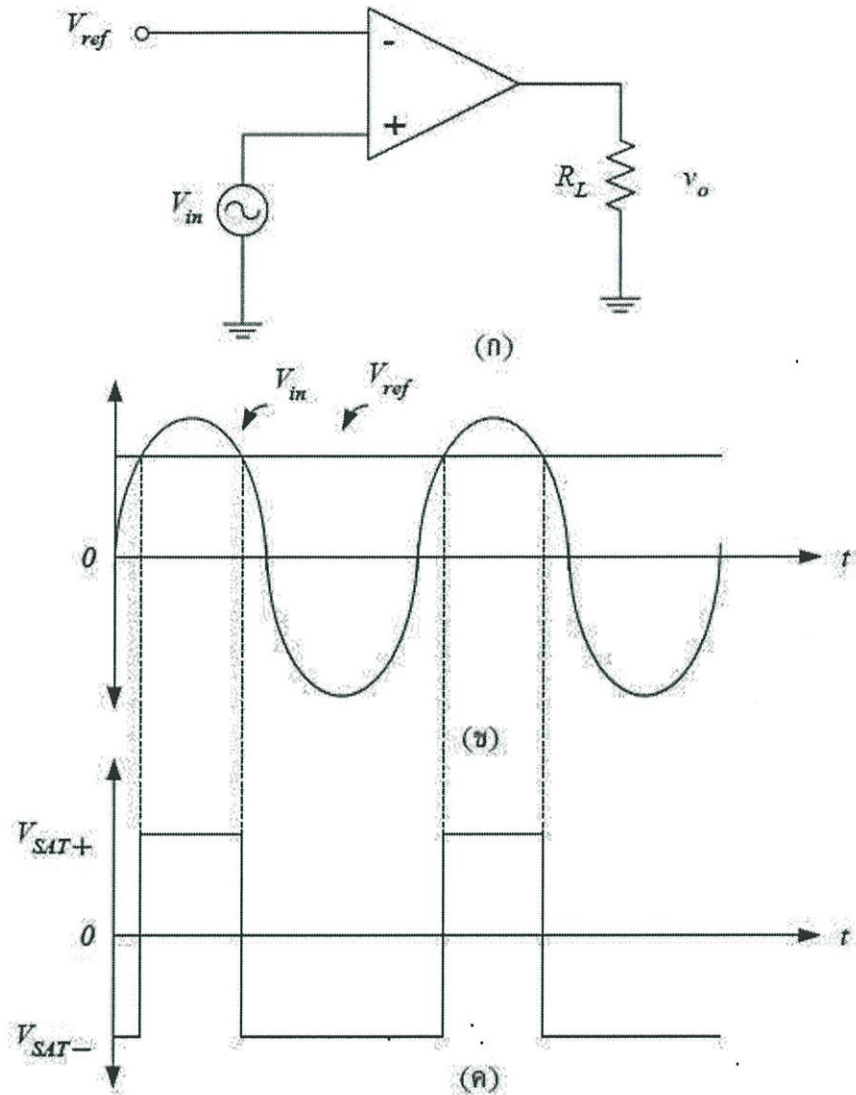
สำหรับวงจรเปรียบเทียบสัญญาณในรูปที่ 2.26 (ก) จะนำ ความต้านทานมาแบ่งแรงดันเพื่อใช้เป็นระดับสัญญาณอ้างอิง ส่วนวงจรตามรูปที่ 2.26(ข) ระดับสัญญาณแรงดันอ้างอิงได้มาจากแรงดันที่ตกคร่อมซีเนอร์ไดโอด (Zener diode) นั้นเอง

ในการเปรียบเทียบสัญญาณของวงจรเปรียบเทียบสามารถพิจารณาได้ 2 ลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนี้คือ

- การเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ขั้วบวก
- การเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ขั้วลบ

2.10.1 การเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ขั้วบวก

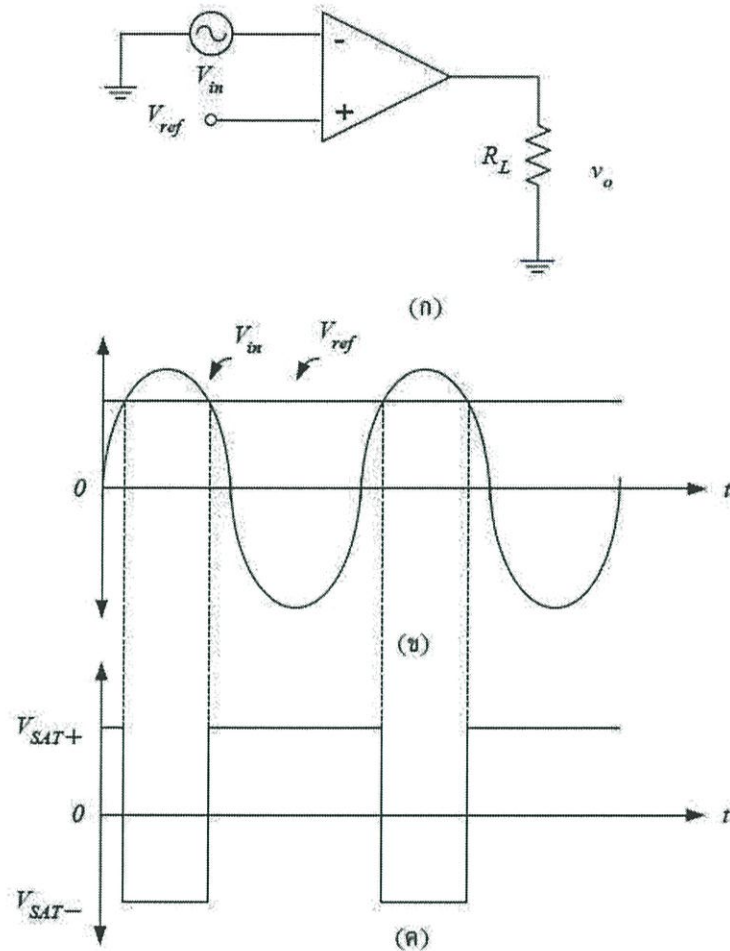
ลักษณะของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ขั้วบวก แสดงดังในรูปที่ 2.27(ก) ซึ่งเป็นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่ใช้แรงดันอ้างอิง V_{ref} ป้อนเข้าที่อินพุตขั้วลบ ส่วนสัญญาณที่มาจากแหล่งกำเนิด V_{in} ป้อนเข้าที่อินพุตขั้วบวก ถ้าสมมติให้สัญญาณอินพุตและสัญญาณ V_{ref} มีลักษณะดังรูปที่ 2.27(ข) จะทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.27(ค) จากรูปนี้จะพบว่าแรงดันเอาต์พุตมีการเปลี่ยนสถานะจาก V_{SAT}^- ไปเป็น V_{SAT}^+ หรือจาก V_{SAT}^+ ไปเป็น V_{SAT}^- ตรงจุดที่แรงดันอินพุต V_{in} มีค่าเท่ากับสัญญาณแรงดัน V_{ref} และเมื่อสังเกตสัญญาณเอาต์พุตจะพบว่าเมื่อ $V_{in} > V_{ref}$ จะให้ค่าเอาต์พุตเป็น V_{SAT}^+ และเมื่อ $V_{in} < V_{ref}$ จะให้ค่าเอาต์พุตเป็น V_{SAT}^- ดังนั้นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณในกรณีนี้จึงเรียกว่า วงจรตรวจจับผ่านศูนย์แบบไม่กลับเฟส (Noninverting zero crossing detector)



รูปที่ 2.27 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ขั้วบวก

2.10.2 การเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ขั้วลบ

ลักษณะของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ขั้วลบแสดงดังในรูปที่ 2.28(ก) ซึ่งเป็นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่ใช้แรงดันอ้างอิง V_{ref} ป้อนเข้าที่อินพุตขั้วบวก ส่วนสัญญาณที่มาจากแหล่งกำเนิด V_{in} ป้อนเข้าที่อินพุตขั้วลบ ถ้าสมมติให้สัญญาณอินพุต และสัญญาณ V_{ref} มีลักษณะดังรูปที่ 2.28(ข) จะทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.28(ค)

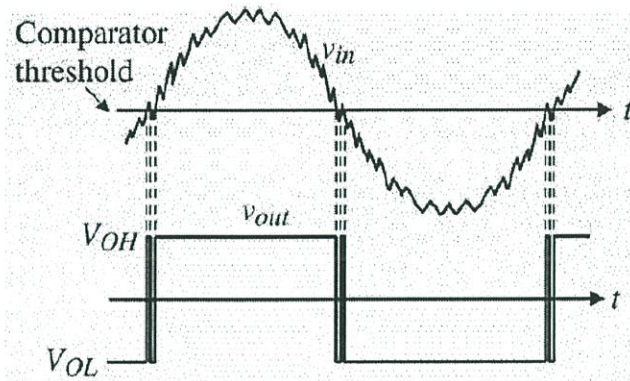


รูปที่ 2.28 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณด้วยจุดสัญญาณเข้าที่ขั้วลบ

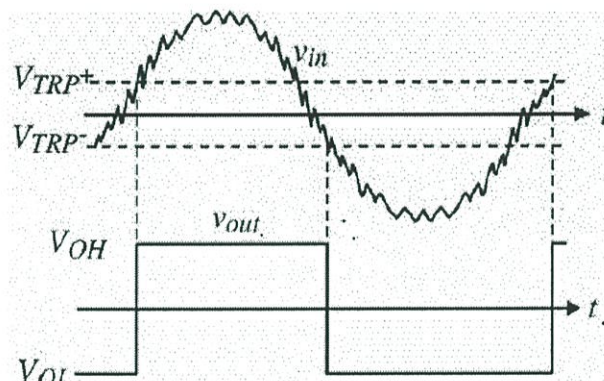
จากรูปนี้ จะพบว่าแรงดันเอาต์พุตมีการเปลี่ยนสถานะจาก V_{SAT+} ไปเป็น V_{SAT-} หรือจาก V_{SAT-} ไปเป็น V_{SAT+} ตรงจุดที่แรงดันอินพุต V_{in} มีค่าเท่ากับสัญญาณแรงดัน V_{ref} และเมื่อสังเกตสัญญาณเอาต์พุตจะพบว่าเมื่อ $V_{in} > V_{ref}$ จะให้ค่าเอาต์พุตเป็น V_{SAT-} และเมื่อ $V_{in} < V_{ref}$ จะให้ค่าเอาต์พุตเป็น V_{SAT+} ดังนั้นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณในกรณีนี้จึงเรียกว่า วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบกลับเฟส (Inverting comparator) และในกรณีนี้ถ้าหากให้สัญญาณแรงดันอ้างอิง V_{ref} มีค่าเป็น 0 โวลต์ วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบนี้จะเรียกว่า วงจรตรวจจับผ่านศูนย์แบบกลับเฟส (Inverting zero crossing detector) ในการนำ วงจรเปรียบเทียบสัญญาณหรือวงจรคอมพาราเตอร์ไปประยุกต์ใช้งานนั้น จะนำวงจรลักษณะใดไปใช้ก็ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ออกแบบวงจรด้วย

2.10.3 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่มีฮิสเทอรีซิส

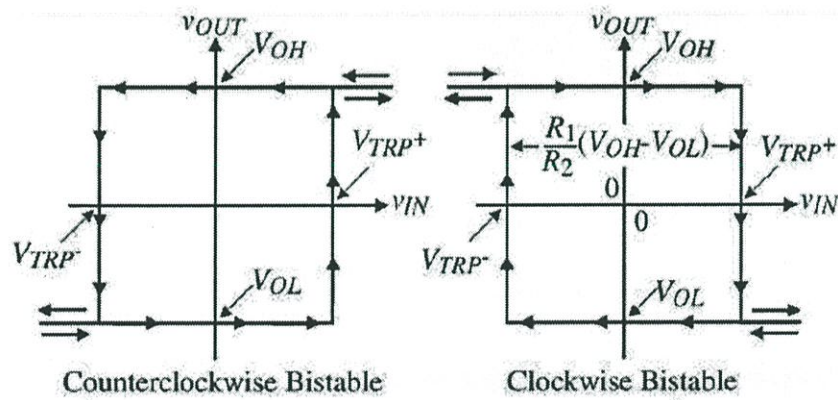
สัญญาณรบกวนสามารถทำให้วงจรเปรียบเทียบสัญญาณทำงานผิดพลาดได้ ดังรูปที่ 2.29 ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการทำให้จุดเปลี่ยน (trip point) ของแรงดันเอาต์พุตขาขึ้น (V_{TRP+}) และขาลง (V_{TRP-}) มีค่าไม่เท่ากัน หรือที่เรียกว่าการสร้างฮิสเทอรีซิสดังรูปที่ เราสามารถสร้างฮิสเทอรีซิสได้โดยการป้อนกลับแบบบวก



รูปที่ 2.29 ผลของสัญญาณรบกวนต่อการทำงานของวงจร



รูปที่ 2.30 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่มีฮิสเทอรีซิส



รูปที่ 2.31 กราฟ $V_{in} - V_{out}$ ของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่มีฮิสเทอรีซิส

รูปที่ 2.32 แสดงวงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบไม่กลับเฟสที่มีการป้อนกลับแบบบวก

สมมติให้ $V_{out} = V_{OL}$ ดังนั้นจุดเปลี่ยนขาขึ้นจะเกิดขึ้น เมื่อ

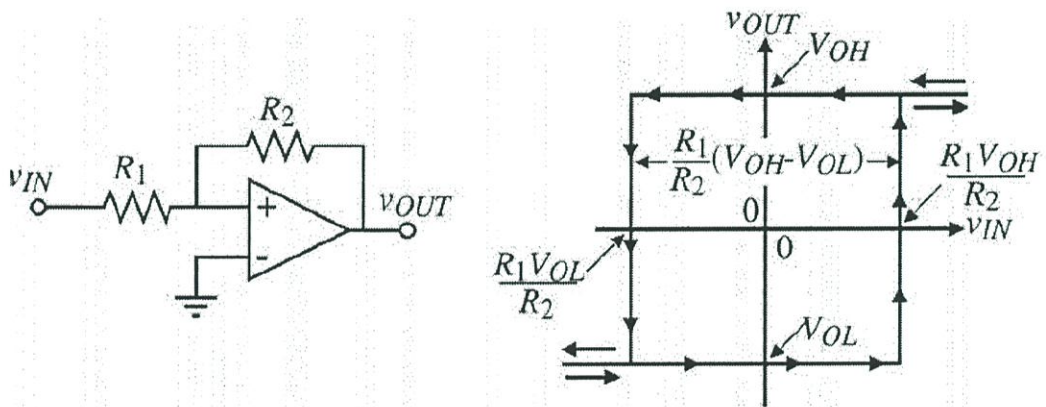
$$0 = \left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right)V_{OL} + \left(\frac{R_2}{R_1+R_2}\right)V_{TRP+} \longrightarrow V_{TRP+} = -\frac{R_1}{R_2}V_{OL} \quad (2.42)$$

สมมติให้ $V_{out} = V_{OH}$ ดังนั้นจุดเปลี่ยนขาลงจะเกิดขึ้น เมื่อ

$$0 = \left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right)V_{OH} + \left(\frac{R_2}{R_1+R_2}\right)V_{TRP-} \longrightarrow V_{TRP-} = -\frac{R_1}{R_2}V_{OH} \quad (2.43)$$

ดังนั้นช่วงกว้างฮิสเทอรีซิส

$$\Delta V_{in} = V_{TRP+} - V_{TRP-} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)(V_{OH} - V_{OL}) \quad (2.44)$$



รูปที่ 2.33 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบไม่กลับเฟสที่มีการป้อนกลับแบบบวก

รูปที่ 2.34 แสดงวงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบกลับเฟสที่มีการป้อนกลับแบบบวก

สมมติให้ $V_{out} = V_{OL}$ ดังนั้นจุดเปลี่ยนขาขึ้นจะเกิดขึ้น เมื่อ

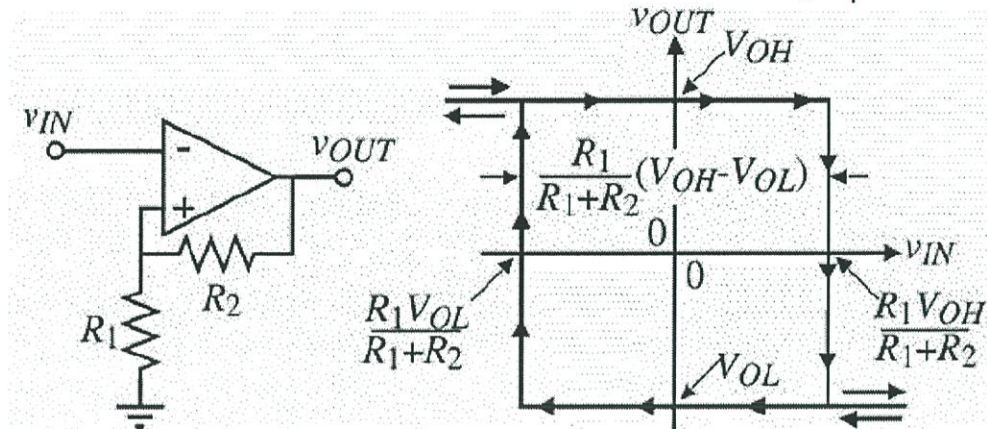
$$V_{TRP+} = \left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right)V_{OH} \quad (2.45)$$

สมมติให้ $V_{out} = V_{OH}$ ดังนั้นจุดเปลี่ยนขาลงจะเกิดขึ้น เมื่อ

$$V_{TRP-} = \left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right)V_{OL} \quad (2.46)$$

ดังนั้นช่วงกว้างฮิสเทอรีซิส

$$\Delta V_{in} = V_{TRP+} - V_{TRP-} = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)(V_{OH} - V_{OL}) \quad (2.47)$$



รูปที่ 2.35 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบกลับเฟสที่มีการป้อนกลับแบบบวก

2.11 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

2.11.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) คือ อุปกรณ์ที่สามารถสร้างระบบควบคุมได้ โดยอุปกรณ์นี้มีขนาดเล็ก และเป็นอุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำที่มีการรวมเอาฟังก์ชันการทำงานต่างๆไว้ในตัวมันเอง ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งในที่นี้หมายถึงอุปกรณ์ภายในที่ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลกลาง, พอร์ตในการเชื่อมต่อแบบต่างๆ โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถึงเดียวกัน

2.11.2 ส่วนประกอบทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์

โครงสร้างโดยทั่วไป ของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

2.11.2.1 หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit)

ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางควบคุมการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ทั้งหมด โดยนำข้อมูลจากอุปกรณ์รับข้อมูลมาทำงาน ประมวลผลข้อมูลตามคำสั่งของโปรแกรม และส่งผลลัพธ์ออกไปหน่วยแสดงผล

2.11.2.2 หน่วยความจำ (Memory)

สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของ เครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้หนึ่งจะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกระดาษทดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความแรม (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกๆ ไป แต่สำหรับ ไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

2.11.2.3 ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port)

มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก ใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุต เพื่อรับสัญญาณ อาจจะใช้การกดสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น

2.11.2.4 ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS)

เส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus) , บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)

2.11.2.5 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับกำหนัดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้น มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

2.11.3 ประเภทของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ มีด้วยกันหลายประเภทแบ่งตามสถาปัตยกรรม (การผลิตและกระบวนการทำงานระบบการประมวลผล) ที่มีใช้ในปัจจุบันยกตัวอย่างดังนี้

2.11.3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC (บริษัทผู้ผลิต Microchip ไมโครชิป)

2.11.3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS51 (บริษัทผู้ผลิต Atmel, Phillips)

- 2.11.3.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR (บริษัทผู้ผลิต Atmel)
- 2.11.3.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM7,ARM9 (บริษัทผู้ผลิต Atmel, Phillips, Analog Device, Sumsung, STMicroelectronics)
- 2.11.3.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล Basic Stamp (บริษัทผู้ผลิต Parallax)
- 2.11.3.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PSOC (บริษัทผู้ผลิต CYPRESS)
- 2.11.3.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MSP (บริษัทผู้ผลิต Texas Instruments)
- 2.11.3.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 68HC (บริษัทผู้ผลิต MOTOROLA)
- 2.11.3.9 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล H8 (บริษัทผู้ผลิต Renesas)
- 2.11.3.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล RABBIT (บริษัทผู้ผลิต RABBIT SEMICONDUCTOR)
- 2.11.3.11 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล Z80 (บริษัทผู้ผลิต Zilog)

2.11.4 ภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

- 2.11.4.1 ภาษา Assembly
- 2.11.4.2 ภาษา Basic
- 2.11.4.3 ภาษา C
- 2.11.4.4 ภาษา Pascal
- 2.11.4.5 ภาษา Java

และอีกหลากหลายภาษาซึ่งได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง

ภาษา ดังกล่าวที่กล่าวในเบื้องต้น ไมโครคอนโทรลเลอร์บางตระกูล จะใช้ได้ครบทุกภาษา แต่บางตระกูลจะใช้ได้บางภาษา ขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิต Software (โดยทั่วไปจะเรียกว่า Editor And Compiler) ที่ใช้เขียนภาษาไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะผลิตออกมาให้ Support หรือไม่

2.11.5 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นระบบที่รวบรวมอุปกรณ์ต่างๆ อยู่ภายใน เช่น Ram, Rom และอื่นๆ เพื่อความสะดวกในการใช้งาน ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นมีขนาดเล็กที่มีความสามารถสูง แต่บางอุปกรณ์ที่ต้องการคาปาซิเตอร์ที่มีความจุสูงๆ ไม่สามารถบรรจุได้ในชิพเพียงตัวเดียว อีกทั้งการรวบรวมอุปกรณ์ไม่สามารถรวบรวมได้ทุกชนิด ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์จึงแบ่งเป็นอนุกรม กำกับด้วยหมายเลขลำดับที่บรรจุความสามารถในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ไว้ภายใน

PIC คือ microcontroller อีกตระกูลหนึ่ง ย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller ซึ่ง concept ก็คือ พยายามรวมเอาทุกอย่างเอาไว้ในตัวไม่ว่าจะเป็น PROGRAM MEMORY, RAM, EEPROM, SERIAL, I2C, PWM, A/D ฯลฯ โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอก ในตัวของ PIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผล รวมทั้งหน่วยความจำ ซึ่งทำให้เหมือนกับ CPU ตัวนี้

2.11.5.1 ความเร็วของ PIC

ภาคของความถี่สัญญาณนาฬิกา ปัจจุบันสามารถทำสัญญาณนาฬิกาได้ที่ 20 MHz ซึ่งทำให้หนึ่งคำสั่งของ PIC ใช้เวลาเพียง 0.25 uSec แต่อย่างไรก็ตามได้มีบริษัทอื่นได้ซื้อลิขสิทธิ์ PIC จาก microchip และได้สร้าง chip ที่มีความเร็วได้มากกว่าเดิมขึ้นไปอีก

2.11.5.2 หน่วยความจำของ PIC

ในอดีตหน่วยความจำของ PIC จะค่อนข้างน้อย คืออยู่ระหว่าง 512 words ถึง 4K words แต่ในปัจจุบัน บริษัท microchip ซึ่งเป็นเจ้าของ PIC ได้พัฒนาจนทำให้ memory ของ PIC มีขนาดเป็นหลายสิบกิโลไบต์ และมีที่ท่าว่าจะขยายได้ใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ในเรื่องของการนับขนาดของหน่วยความจำของ PIC จะนับไม่เหมือนปกติ โดยที่หนึ่งคำสั่งของ PIC จะมีขนาด 14 bits ดังนั้นเราจะเรียกว่า 1 word ของ PIC จะมีขนาด 14 bits เช่น PIC16F84A ระบุว่าหน่วยความจำ 1 K (ซึ่งหมายถึง 1 Kword ถ้าคำนวณให้เป็นแบบ 1 byte = 8 bit จะได้ว่า $1 \times 1,024 \times 14 = 14,336$ bits ดังนั้นก็คือ $14,336 / (8 \times 1,024) = 1.75K$ bytes นั่นเอง

2.11.5.3 Flash Program Memory

Flash memory เป็นพื้นที่หน่วยความจำสำหรับเก็บ program ที่เราเขียนขึ้น ซึ่งมีขนาด 1,024 words ถึงแม้ว่าจะไม่มีไฟฟ้าจ่ายให้กับ MCU ข้อมูลที่เก็บอยู่ใน flash memory ก็จะไม่หายไป จุดเด่นของ Flash memory ก็คือสามารถเขียนทับเข้าไปใหม่ได้หลายๆ ครั้งซึ่งจำนวนครั้งจะอยู่ที่ประมาณ 1000 ครั้ง

2.11.5.4 EEPROM(Electrically Erasable Programmable Read Only Memory)

หน่วยความจำในส่วนนี้เมื่อไม่มีไฟฟ้าจ่ายให้กับ MCU แล้วข้อมูลที่อยู๋ภายในยังคงอยู่จะไม่หายไป และสามารถเขียนด้วยคำสั่งของ program จะมีขนาด 64 bytes. อย่างไรก็ตามการเขียนซ้ำก็มีข้อจำกัด โดยสามารถเขียนทับใหม่ได้ประมาณ 1 ล้านครั้ง ดังนั้นหน่วยความจำในส่วนนี้จะใช้เก็บข้อมูลที่ไม่ค่อยจะเปลี่ยนแปลงบ่อยนัก หน่วยความจำในส่วนนี้สามารถเก็บข้อมูลได้นาน 40 ปี

2.11.5.5 SFR Registers

SFR (Special Function Registers) มีอยู่ 16 ชนิดด้วยกัน ซึ่งสามารถอ้างถึงด้วยการ เปลี่ยนตำแหน่งของ bank ที่จะอ้าง จากรูปข้างล่างแสดงถึงโครงสร้างของ File Registers. ทั้งหมดจะมีขนาด 160 bytes แต่ในข้อเท็จจริงแล้วจะไม่สามารถอ้างได้ครบทั้งหมด

ตัวแปรใน SFR มีดังนี้

- INDF : จะเก็บค่าของ Data memory ที่ถูกชี้แบบ indirect addressing
- TMR0 : เป็น Timer counter ของ Timer 0
- PCL : เก็บค่า 8 bits ล่างของ program counter

- STATUS : จะเก็บค่า Flag ของผลลัพธ์ที่เกิดจากการคำนวณ
- FSR : เป็น pointer ใช้สำหรับอ้างอิง data memory แบบ indirect
- PORTA : เก็บค่าสถานะของ PORTA
- PORTB : เก็บค่าสถานะของ PORTB
- EEDATA : เก็บค่าของ Data ที่ EEPADR ซ้ำอยู่
- EEADR : ตำแหน่งของ EEPROM ที่ต้องการอ้างอิง
- PCLATH : เป็น 5 bits บนของ program counter
- INTCON : ใช้ควบคุมการเกิด Interruption
- OPTION_REG : ใช้สำหรับกำหนด Mode การทำงานของ MCU
- TRISA : ใช้กำหนด Mode ของ PORTA ว่าเป็น INPUT หรือ OUTPUT
- TRISB : ใช้กำหนด Mode ของ PORTB ว่าเป็น INPUT หรือ OUTPUT
- EECON1 : เป็น register ที่ใช้ควบคุม EEPROM
- EECON2 : เป็น register ที่ใช้ป้องกันการเขียน EEPROM

2.11.5.6 Program Counter

เป็น counter ที่แสดงถึงตำแหน่ง address ของ program ที่เขียนเข้าไปไว้ใน flash memory ที่กำลังทำการประมวลผล โดยทั่วไปแล้ว counter ตัวนี้จะเพิ่มขึ้น 1 ทุกๆ ครั้งเมื่อมีการประมวลผลคำสั่งเกิดขึ้น 1 ครั้ง ซึ่งค่าที่แสดงก็คือตำแหน่งของคำสั่งต่อไปที่จะทำการประมวลผล แต่เมื่อประมวลคำสั่ง JUMP ตัว counter จะมีค่าเท่ากับตำแหน่งที่คำสั่ง JUMP นั้นอ้างอิงถึง 8 Level Stack

stack คือ memory ซึ่งจะเก็บค่า return address ของ program ตัวอย่างเช่น เมื่อต้องทำการประมวลผลอย่างหนึ่งหลายๆ ครั้ง ซึ่ง program ในส่วนนี้ถูกสร้างเป็น subroutine ไว้ในตอนสุดท้ายของ subroutine ก็จะมีคำสั่ง RETURN ทุกครั้ง ในการเรียกใช้เราจะใช้คำสั่ง CALL ในการเรียก subroutine ตำแหน่ง program address ที่ถัดจากคำสั่ง CALL ก็จะถูกเก็บลงสู่ stack (กระบวนการนี้บางครั้งจะเรียกว่า PUSH) หลังจากได้ประมวลผลคำสั่งใน subroutine แล้วในตอนสุดท้ายเมื่อมาเจอคำสั่ง RETURN มันก็จะทำการกระโดดไปยังตำแหน่งที่เก็บไว้ใน stack (กระบวนการนี้บางครั้งจะเรียกว่า POP) แต่เนื่องจากว่า stack มีขนาดเพียง 8 เท่านั้น นั่นก็หมายความว่าเราสามารถเรียก คำสั่ง CALL ได้ แก่ครั้งติดต่อกันเท่านั้น ซึ่งถ้าใช้คำสั่ง CALL ไปมากกว่านั้นโดยไม่ RETURN กลับ ค่า stack จะถูกทับเป็นผลทำให้ เมื่อใช้คำสั่ง RETURN ก็จะไม่สามารถกลับไปยังตำแหน่งเดิมได้

คำสั่งต่างๆ ของโปรแกรม ที่ถูกชี้โดย program counter จะถูกอ่านเข้าไปยัง register ตัวนี้ โดยกระบวนการนี้จะถูกเรียกว่า FETCH. Instruction Decode & Control คำสั่งที่ถูก FETCH ไว้ใน Instruction register จะถูกแปลความหมายและทำงานตามคำสั่งนั้น Multiplexer and Arithmetic Logic Unit โดยการแปลความหมายและทำงานตามคำสั่งจะถูกกระทำโดย Multiplexer และ the Arithmetic Logic Unit (ALU) W Register ย่อมาจาก work register มันจะมีหน้าที่สำหรับเก็บผลของการคำนวณที่เกิดจาก ALU เอาไว้ชั่วคราว เพื่อที่จะนำมาคำนวณต่อไป ตัวของมันจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการคำนวณต่างๆ และมันยังทำหน้าที่ส่งผ่านสถานะ output ของ input-output port อีกด้วย

2.11.5.7 STATUS Register

เป็น register ซึ่งจะเก็บค่าผลของ ALU(เช่น ผลลัพธ์ของการ บวก ลบ ของ register เป็น 0, บวก,ลบ), เงื่อนไขการเกิด timeout , เป็นตัวกำหนดว่าขณะนี้ PIC อ้าง register ที่ bank ไหน

2.11.5.8 FSR Register

FSR(File Select Register) ใช้สำหรับอ้างตำแหน่งของ RAM ในรูปแบบ indirect address การอ้างแบบ direct address ก็คือรูปแบบที่อ้างถึง Address นั้นโดยเฉพาะเจาะจงเลย เช่น movfw h'20' ซึ่งหมายความว่าทำการอ่านค่า ที่ address 20 มาเก็บไว้ที่ w register ในกรณีนี้สามารถอ้างตำแหน่งได้ตั้งแต่ 0 ถึง 127 หรืออ้างได้เพียง 7 bit ซึ่งจะอยู่ในขอบเขต 1 bank ในการที่จะเปลี่ยน bank จำเป็นที่จะต้องเกี่ยวข้องกับ RPO bits ของ STATUS register การอ้างแบบ indirect address โดยใช้ FSR register จะนิยมใช้ในการอ้าง address ที่อยู่ติดๆ กันด้วยการอาศัยคำสั่ง inc FSR เพื่อเลื่อนไปยังตำแหน่ง memory ถัดไป

2.11.5.9 Address Multiplexer

ใช้เป็นตัวแบ่งแยกว่าเป็น indirect addressing หรือ the direct address. ซึ่งหมายความว่าทำการ อ่านค่า ที่ address 20 มาเก็บไว้ที่ w register ในกรณีนี้สามารถอ้างตำแหน่งได้ตั้งแต่ 0 ถึง 127 หรืออ้างได้เพียง 7 bit ซึ่งจะอยู่ในขอบเขต 1 bank ในการที่จะเปลี่ยน bank จำเป็นที่จะต้องเกี่ยวข้องกับ RPO bits ของ STATUS register การอ้างแบบ indirect address โดยใช้ FSR register จะนิยมใช้ในการอ้าง address ที่อยู่ติดๆ กันด้วยการอาศัยคำสั่ง inc FSR เพื่อเลื่อนไปยังตำแหน่ง memory ถัดไป

2.11.5.10 EEDATA

เป็น register ที่จะใช้เมื่อมีการอ่านหรือเขียนข้อมูล EEPROM

2.11.5.11 EEADR

เป็น register ที่ใช้สำหรับอ้าง address ของ EEPROM. ซึ่งใน PIC16F84A จะมีหน่วยความจำ EEPROM อยู่ทั้งหมด 64 bytes เมื่อจะทำการเขียน EEPROM จะต้อง เขียนข้อมูล 55h และ AAh ไปยัง EECON2 เสียก่อนจึงจะเริ่มต้นการเขียน EEPROM ได้

2.11.5.12 Timing Generation

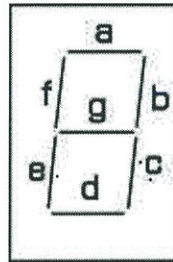
PIC จะมีวงจรภายในที่จะสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดความถี่ของการทำงานของตัวมัน โดยสัญญาณนาฬิกานี้จะมีแหล่งกำเนิดมาจาก crystal หรือ ceramic oscillator จากภายนอก เมื่อสัญญาณนาฬิกาต้องการความแม่นยำสูงเราจะต้องเลือกใช้ crystal แต่โดยปกติทั่วๆไปแล้วจะใช้ ceramic resonator ต่อเข้ากับ capacitors เป็น module อยู่ภายนอก

2.12 7 Segment

ตัวแสดงผล 7 ส่วน หรือที่เรียกว่า 7 Segment เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภท Display เช่นเดียวกับไดโอดเปล่งแสง หรือ LED ตัว 7 Segment นั้นภายในคือ LED 7ตัว (หรือ

มากกว่า) มาต่อกันเป็นรูปตัวเลข 8 ดังนั้นการใช้งาน 7 Segment จะเหมือนกับการใช้งาน LED นั้นเอง

ที่ตัว ส่วนแสดงผล 7 Segment จะมีชื่อกำกับอยู่ โดยจะไล่จาก A,B, C, D, E, F, G และจุดเป็นต้น

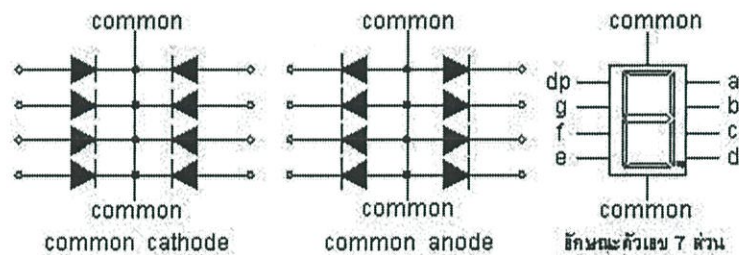


รูปที่ 2.36 ส่วนแสดงผล 7 Segment

2.12.1 โครงสร้าง

ตัวเลข 7 ส่วนเป็นอุปกรณ์ที่นำ LED ดวงเดียวมาจัดเป็นรูปแบบการแสดงผลเป็นตัวเลข ปกติจะแสดงตัวเลข 0-9 พร้อมทั้งมีจุดที่จะแสดงเป็นทศนิยม (decimal point)

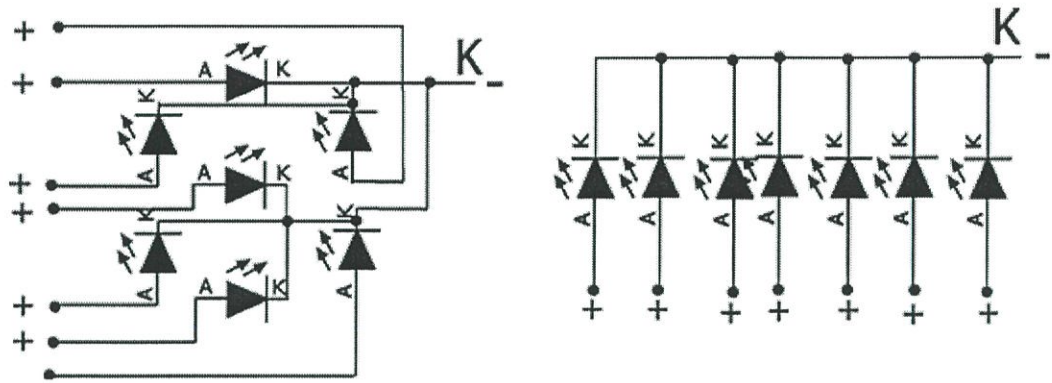
ตัวเลข 7 ส่วนมี 2 ลักษณะ คือ แบบ Cathode ร่วม (Common Cathode) และ แบบ Anode ร่วม (Common Anode) ดังรูป



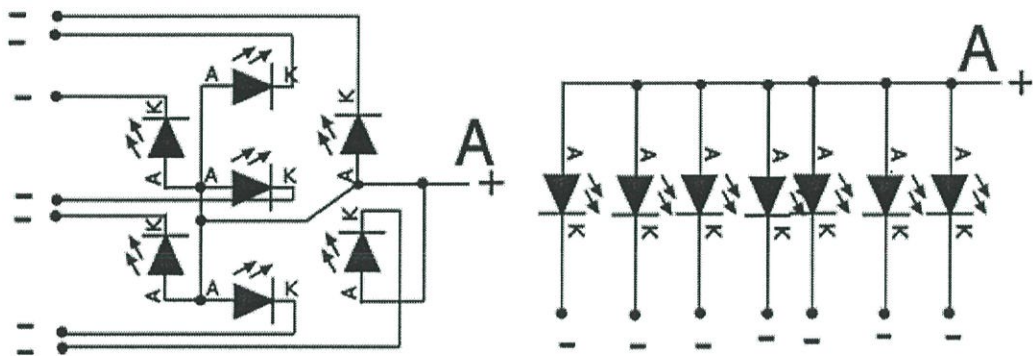
รูปที่ 2.37 แสดงตำแหน่งส่วนแสดงผล A- G

2.12.2 การต่อ LED ภายในตัว 7 Segment

7 Segment นั้นจะมีอยู่ 2 คอมมอนหลักๆ คือ แบบคอมมอน A (อานโท) และแบบคอมมอน K (คาโทด)



รูปที่ 2.38 แสดงการนำเอา LED มาต่อกัน แบบคอมมอน K



รูปที่ 2.39 แสดงการนำเอา LED มาต่อกัน แบบคอมมอน A

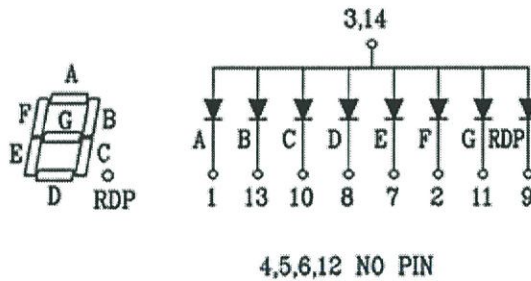
การต่อแบบคอมมอน A เราจะใช้ขั้วลบ (-) ป้อนให้ที่ขา A - G ส่วนไฟบวก (+) จะมาป้อนที่จุดรวมของขา A

การต่อแบบคอมมอน K เราจะใช้ขั้วบวก (+) ป้อนให้ที่ขา A - G ส่วนไฟลบ (-) จะมาป้อนที่จุดรวมของขา K

จากรูปจะเห็นว่าเป็นการจำลองโดยการใช้ LED มาต่อกัน 8 ตัว จะได้เป็นเลข 8 แทนการใช้ 7 Segment ได้

2.12.3 การดูสัญลักษณ์การต่อภายใน 7 Segment

รูปดังกล่าวต่อไปนี้จะแสดงการต่อ LED ไว้ภายใน ซึ่งจะมีทั้งคอมมอน A และ K และแบบรวม โดยที่สัญลักษณ์ จะแสดงตำแหน่งของขา LED ไว้ให้ด้วย



รูปที่ 2.40 การต่อ LED ไว้ภายใน 7 Segment

แสดง 1 หลัก คอมมอน A ที่ขา 3 กับ 14 ส่วนขา 4,5,6,12 ไม่ได้ใช้

2.12.4 การตรวจสอบขาของ 7-Segment (ถ้าไม่มี datasheet)

โดยปกติถ้าเราไปซื้อ 7 Segment ตามร้านทั่วไปนั้นจะไม่มี datasheet ซึ่งจะต้องเป็นหน้าที่ที่จะต้องตรวจสอบตำแหน่งขา ตรวจสอบคอมมอนให้แน่ใจเสียก่อน

2.12.4.1 การตรวจสอบโดยใช้มัลติมิเตอร์แบบเข็ม

จะใช้ย่านวัดโอห์มในการวัด โดยปรับย่านวัดไปที่ X1 ก่อน จากนั้นใช้ที่วัด วัดไปที่ขาของ 7 segment เรื่อยๆ จนกว่าจะเจอว่าขาอะไรเป็นขารวม หรือขาคอมมอน หากแน่ใจแล้วว่าขาที่ได้เป็นขาคอมมอน ให้ดูที่มิเตอร์ว่าขาคอมมอนนั้นต่อกับสายสีอะไรของมัลติมิเตอร์

ถ้าต่ออยู่กับสายสีดำ แสดงว่าเป็นคอมมอน A

ถ้าต่ออยู่กับสายสีแดง แสดงว่าเป็นคอมมอน K

** การจ่ายไฟของย่านวัดค่าโอห์มจะจ่ายสลับชั่วคราว

จากนั้นเมื่อหาได้แล้ว ก็ทำการหาขาที่เหลือคือ ขา A - G และ จุด ต่อไปได้

2.12.4.2 การตรวจสอบโดยใช้ถ่านไฟฉาย

ใช้ไฟประมาณ 3V ในการตรวจสอบ โดยทำแบบเดียวกับการใช้มิเตอร์ คือต้องหาขาร่วมให้ได้ก่อน และเมื่อแน่ใจแล้วว่าได้ขาร่วมหรือขาคอมมอนแล้วดูที่สายไฟว่าต่ออยู่กับขั้วอะไร

ถ้าต่ออยู่กับขั้วบวก(+) แสดงว่าเป็นคอมมอน A

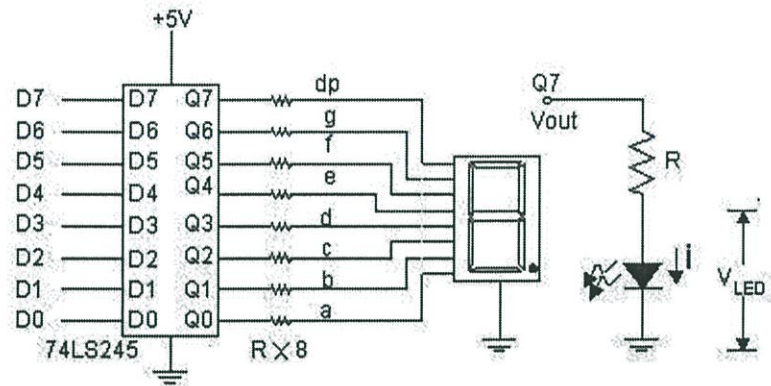
ถ้าต่ออยู่กับขั้วลบ(-) แสดงว่าเป็นคอมมอน K

** ซึ่งจะกลับกับขั้วของมัลติมิเตอร์

จากนั้นเมื่อหาได้แล้ว เราก็ทำการหาขาที่เหลือคือ ขา A - G และ จุด ต่อไปได้

2.12.4.2 การนำ LED ไปใช้แสดงผล

2.12.4.2.1 แบบ Common Cathode



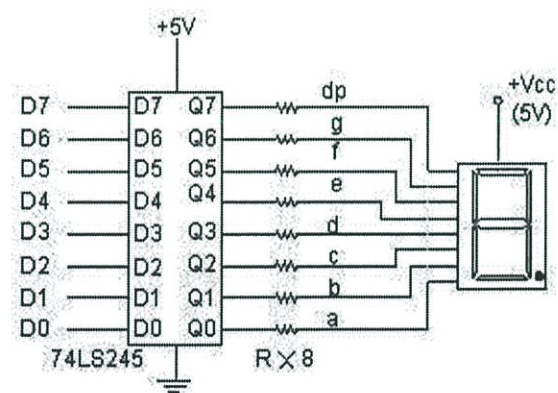
รูปที่ 2.41 แบบ Common Cathode

ในแต่ละ Segment จะต้องมีตัวต้านทานจำกัดกระแส โดยผู้ออกแบบจะต้องกำหนดว่าในแต่ละ Segment จะให้กระแสไฟฟ้าไหลได้เท่าใด และเอาท์พุทที่ขับจะต้องให้ลอจิก "1" และ V_{out} ของไอซีที่ขับขณะเป็นลอจิก "1" จะต้องเป็นเท่าใด

$$R = (V_{out} - V_{LED}) / i \tag{2.48}$$

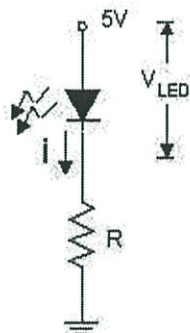
2.12.4.2.2 แบบ Common Anode

LED ตัวเลข 7 ส่วนแบบ Common Anode จะต้องขับด้วยการให้ลอจิก "0" แก่ Anode โดยมีตัวต้านทาน R จำกัดกระแส



รูปที่ 2.42 แบบ Common Anode

การขับ LED แต่ละ Segment ให้ติด เอาท์พุทของ Segment นั้นจะต้องเป็นลอจิก "0" โดย Anode ของ LED ต่อกับแหล่งจ่ายไฟ 5 V



ค่า R จำกัดกระแสได้จาก

$$R = (5V - V_{LED}) / i$$

รูปที่ 2.43 ค่า R จำกัดกระแสให้แก่ LED

อย่างไรก็ตาม การหาค่า R ไม่ว่าจะจำกัดกระแสให้แก่ LED แบบ Common Anode หรือ Common Cathode ก็ตาม จะใช้หลักการเดียวกับการจำกัดกระแส LED แบบดวงเดียว

2.13 Switching Power Supply

สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply) เป็นแหล่งจ่ายไฟตรงคงค่าแรงดันแบบหนึ่ง และสามารถเปลี่ยนแรงดันไฟจากไปสลับโวลต์สูง ให้เป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำ เพื่อใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ได้เช่นเดียวกันแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น (Linear Power Supply) ถึงแม้เพาเวอร์ซัพพลายทั้งสองแบบจะต้องมีการใช้หม้อแปลงในการลดทอนแรงดันสูงให้เป็นแรงดันต่ำเช่นเดียวกัน แต่สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะต้องการใช้หม้อแปลงที่มีขนาดเล็ก และน้ำหนักน้อย เมื่อเทียบกับแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น อีกทั้งสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าอีกด้วย

ในปัจจุบันสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายได้เข้ามามีบทบาทกับชีวิตเราอย่างมาก เครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กซึ่งต้องการแหล่งจ่ายไฟที่มีกำลังสูงแต่มีขนาดเล็ก เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องโทรสาร และ โทรศัพท์ จำเป็นจะต้องใช้สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย แนวโน้มการนำสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายมาใช้ในเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ทุกประเภทจึงเป็นไปได้สูง การศึกษาหลักการทำงานและการออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานอิเล็กทรอนิกส์ทุกประเภท

2.13.1 สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายกับแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น

ข้อได้เปรียบของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น คือ ประสิทธิภาพที่สูง ขนาดเล็ก และน้ำหนักเบาว่าแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นใช้หม้อแปลงความถี่ต่ำจึงมีขนาดใหญ่ และน้ำหนักมาก ขณะใช้งานจะมีแรงดันและกระแสผ่านตัวหม้อแปลงตลอดเวลา กำลังงานสูญเสียที่เกิดจากหม้อแปลงจึงมีค่าสูง การคงค่าแรงดันแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นส่วนมากจะใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ต่ออนุกรมที่เอาต์พุตเพื่อจ่ายกระแสและคงค่าแรงดัน กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนจะมีค่าสูงและต้องใช้แผ่นระบายความร้อนขนาดใหญ่ซึ่งกินเนื้อที่ เมื่อเพาเวอร์

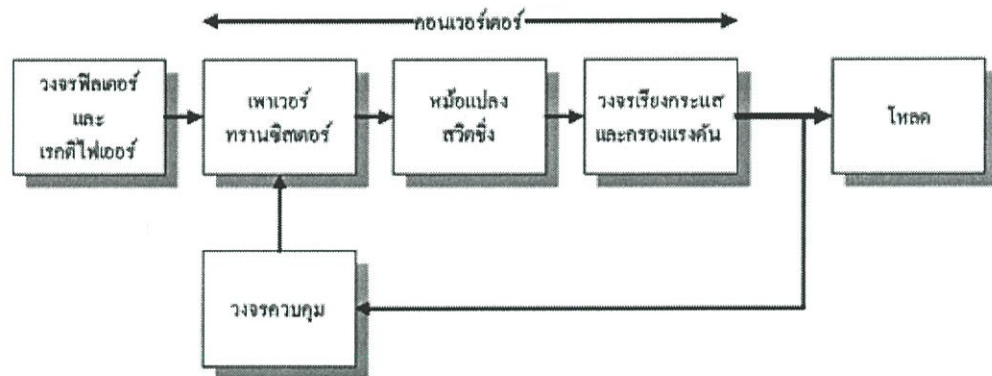
ซัพพลายต้องจ่ายกำลังงานสูงๆ จะทำให้มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก ปกติแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นจะมีประสิทธิภาพประมาณ 30% หรืออาจทำได้สูงถึง 50% ในบางกรณี ซึ่งนับได้ว่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายซึ่งมีประสิทธิภาพในช่วง 65%-80%

สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายมีช่วงเวลาโคลสต์อ์ฟประมาณ 20×10^{-3} ถึง 50×10^{-3} วินาที ในขณะที่แหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นจะทำได้เพียงประมาณ 2×10^{-3} วินาที ซึ่งมีผลต่อการจัดหาแหล่งจ่ายไฟสำรองเพื่อป้องกันการหยุดทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้กับเพาเวอร์ซัพพลายเมื่อเกิดการหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับ รวมทั้งสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายสามารถทำงานได้ในช่วงแรงดันอินพุตค่อนข้างกว้างจึงยังคงสามารถทำงานได้เมื่อเกิดกรณีแรงดันไฟตกอีกด้วย

อย่างไรก็ตาม สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะมีเสถียรภาพในการทำงานที่ต่ำกว่า และก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนได้สูงเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น รวมทั้งสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายยังมีความซับซ้อนของวงจรมากกว่าและมีราคาสูง ที่กำลังงานต่ำๆ แหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นจะประหยัดกว่าและให้ผลดีเท่าเทียมกัน ดังนั้นสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจึงมักนิยมใช้กันในงานที่ต้องการกำลังงานตั้งแต่ 20 วัตต์ขึ้นไปเท่านั้น

2.13.2 หลักการทำงานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายโดยทั่วไปมีองค์ประกอบพื้นฐานที่คล้ายคลึงกัน และไม่ซับซ้อนมากนัก ดังแสดงในรูปที่ 1 หัวใจสำคัญของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะอยู่ที่คอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากทำหน้าที่ทั้งลดทอนแรงดันและคงค่าแรงดันเอาต์พุตด้วย องค์ประกอบต่างๆ ทำงานตามลำดับดังนี้



รูปที่ 2.44 องค์ประกอบพื้นฐานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

แรงดันไฟสลับค่าสูงจะผ่านเข้ามาทางวงจร RFI ฟิลเตอร์ เพื่อกรองสัญญาณรบกวนและแปลงเป็นไฟตรงค่าสูงด้วยวงจรเรกติไฟเออร์ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะทำงานเป็นเพาเวอร์คอนเวอร์เตอร์ โดยการตัดต่อแรงดันเป็นช่วงๆ ที่ความถี่ประมาณ 20-200 KHz จากนั้นจะผ่านไปยังหม้อแปลงสวิตชิงเพื่อลดแรงดันลง เอาต์พุตของหม้อแปลงจะต่อกับวงจรเรียงกระแส และกรองแรงดันให้เรียบ การคงค่าแรงดันจะทำได้โดยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุตกลับมายังวงจรควบคุม เพื่อควบคุมให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแสมากขึ้นหรือน้อยลงตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต ซึ่งจะส่งผลทำให้แรงดันเอาต์พุตคงที่

บทที่ 3

การออกแบบวงจร

การออกแบบเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์นั้น เริ่มจากการกำหนดขอบเขตของระยะการรับส่งก่อน โดยเลือกระยะทางคือ 1.8 , 3.6 , และ 5 เมตร เหตุผลที่เลือก 1.8 และ 3.6 เมตร เนื่องมาจากการตรวจสอบระยะทางสามารถทำได้ง่าย เพราะครึ่งไซเคิลของเฟสที่ใช้วัดระยะทางมีค่า 180 องศา ทำให้การคำนวณง่าย เมื่อกำหนดระยะทางแล้ว คำนวณหาความถี่ที่ต้องใช้มอดูเลชั่นจากสมการ

$$L = ct = c \frac{\phi}{2\pi f_m} \quad (3.1)$$

L คือ ระยะทางที่แสงเดินทางทั้งหมด

C คือ ความเร็วแสง

ϕ คือ เฟสที่ใช้

f_m คือ ความถี่ที่ใช้มอดูเลชั่น

จะสามารถคำนวณความถี่ที่ใช้มอดูเลชั่นในระยะเวลาต่างๆได้ดังนี้

$$1.8 \text{ เมตร ;} \quad 3.6 = \frac{\pi \times 3 \times 10^8}{2\pi f_m} \quad (3.2)$$

$$f_m = 41.667 \text{ MHz}$$

$$3.6 \text{ เมตร ;} \quad 7.2 = \frac{\pi \times 3 \times 10^8}{2\pi f_m} \quad (3.3)$$

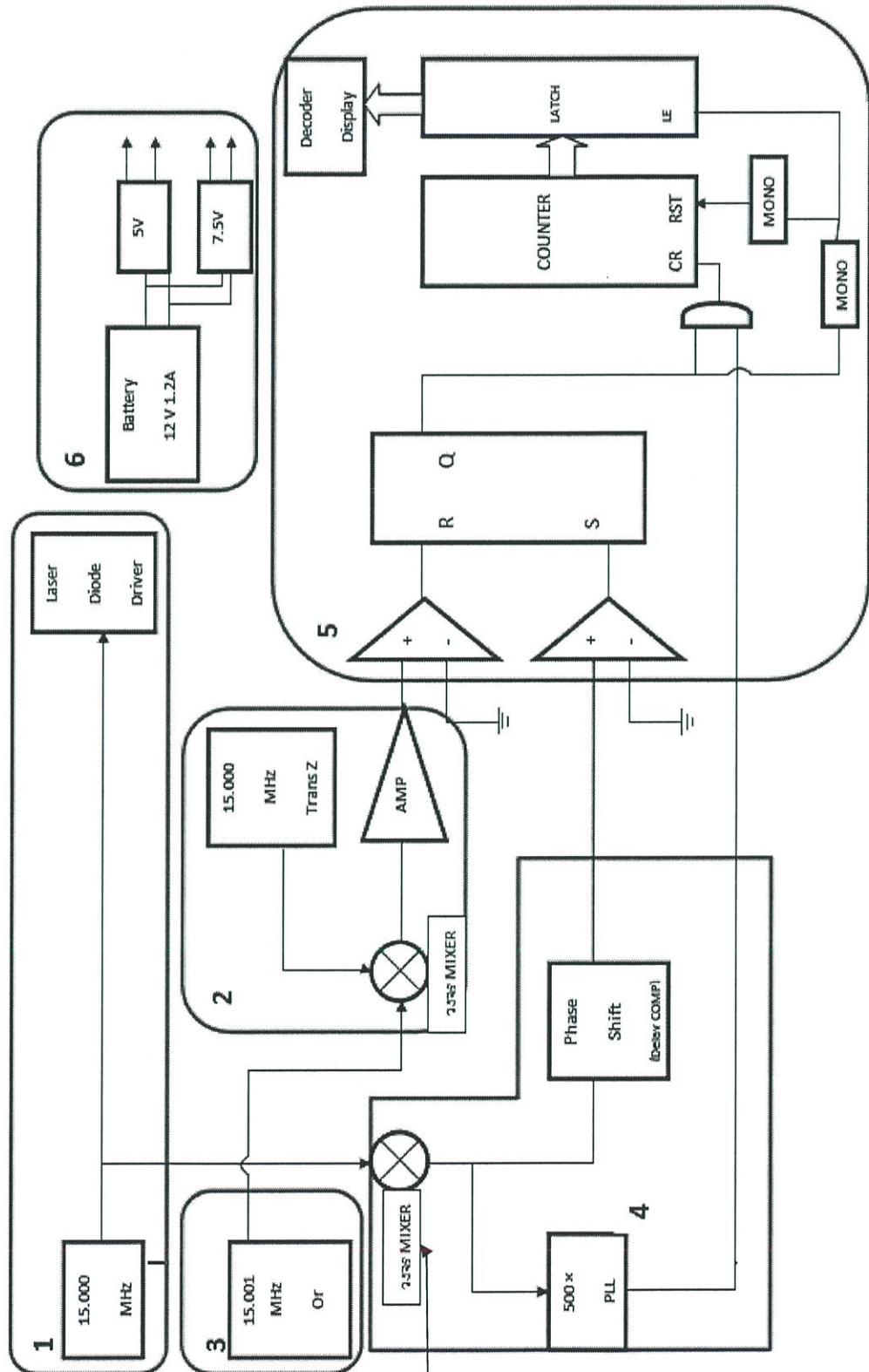
$$f_m = 20.833 \text{ MHz}$$

$$5 \text{ เมตร ;} \quad 10 = \frac{\pi \times 3 \times 10^8}{2\pi f_m} \quad (3.4)$$

$$f_m = 15 \text{ MHz}$$

เพราะฉะนั้น เลือกทำเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ที่วัดระยะทางได้ 5 เมตร

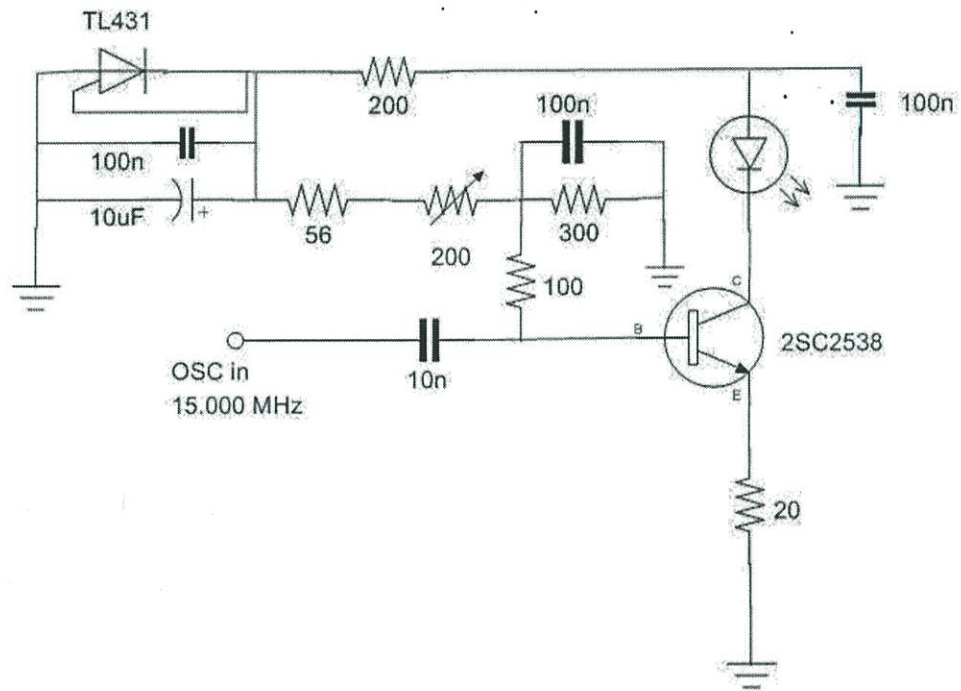
จากนั้นกำหนด Block Diagram ของวงจรโดยคร่าวๆ แบ่งเป็น 6 ส่วนดังนี้



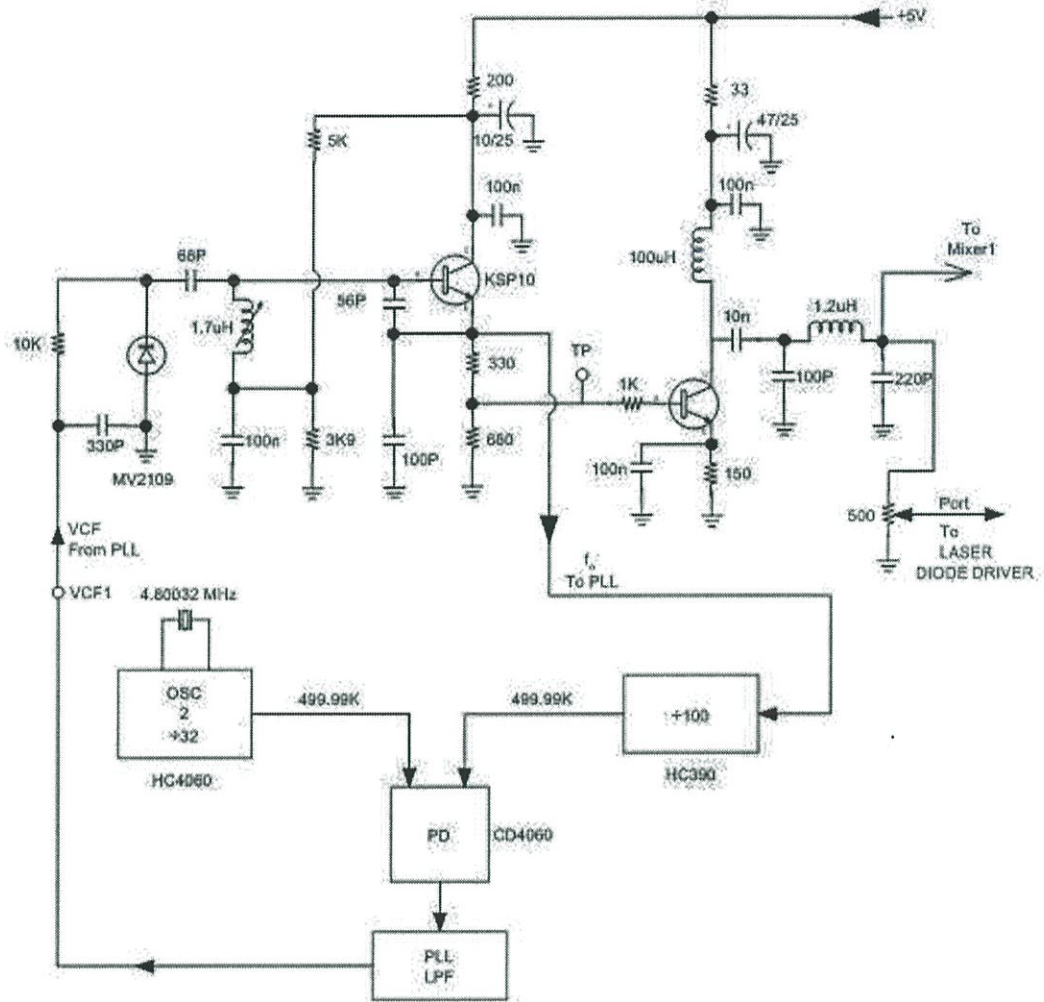
รูปที่ 3.1 Block Diagram ของเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์

3.1 วงจรส่วนที่ 1

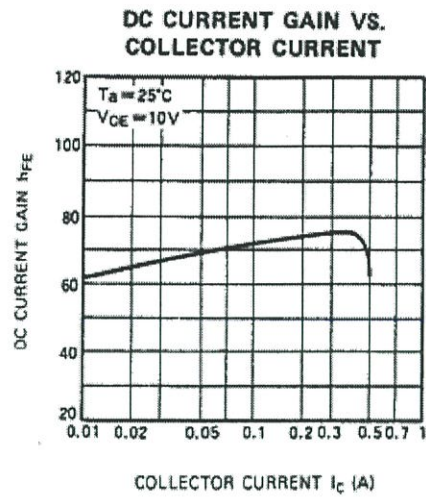
เป็นวงจรฝั่งส่งที่มี Laser Diode และ ทรานซิสเตอร์ 2SC2538 เพื่อไบอัสคลื่นพาหะ 15MHz เข้ากับเลเซอร์ ให้เกิดความเปลี่ยนแปลงในกระแส เปลี่ยนความเข้มแสงของเลเซอร์ ส่งไปยังโฟโตนิกไดโอดต่อไปโดยจะมีวงจร VCO ใช้ทรานซิสเตอร์ KSP10 สร้างความถี่ 15.000 MHz รวมทั้งวงจร PLL ซึ่งประกอบด้วยวงจรรอสซิลเลเตอร์ Phase Detector และวงจรรองความถี่ต่ำ



รูปที่ 3.2 วงจรส่วนที่ 1 (Transmitter)



รูปที่ 3.3 วงจรส่วนที่ 1 (VCO1, PLL1)



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง DC Current Gain กับ Collector Current

3.1.1 การคำนวณค่าแรงดันตกคร่อม R

ทำได้โดย ใส่ R 10 Ω แทนที่ Laser Diode กระแสที่ไหลผ่าน laser diode ดังนั้นสามารถคำนวณค่าแรงดันที่ตกคร่อม R 10 Ω ได้ดังนี้

$$V = IR \quad (3.5)$$

$$V = 50\text{mA} \times 10\Omega$$

$$V = 0.5 \text{ V}$$

ดังนั้น จึงต้องปรับค่า R 200 Ω ให้ แรงดันที่ตกคร่อม R 10 Ω มีค่า 0.5 V

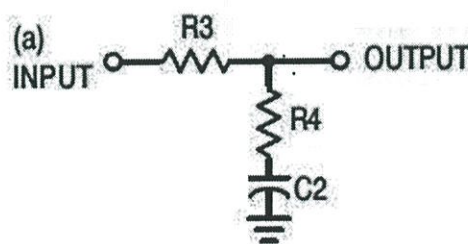
สำหรับข้อมูลทั่วไปของเลเซอร์ไดโอดที่ใช้มีค่าประมาณตารางด้านล่าง

ตารางที่ 3.1 Sample LASER DIODE Spec.

Device No.	MFG	Wavelength/ P_o Nm / mW	$I_{\text{Threshold}}$: mA			I_{op} : mA , P_o :mW				V_{op} : V		
			Min	Typ.	Max	min	Typ.	Max	Po:mW	min	Typ.	Max
DL-3038-033	SANYO	635/5	-	30	50	-	40	60	5	-	2.2	2.4
DL-3038-011	SANYO	635/5	-	40	70	-	55	85	5	-	2.2	2.4
DL-3038-041	SANYO	635/5	-	40	60	-	55	80	5	-	2.2	2.4
DL-3147-041	SANYO	645/5	25	45	60	40	60	80	5	2.0	2.2	2.5
DL-3147-161(-261)	SANYO	650/7	-	45	65	-	60	80	5	-	2.2	2.5
DL-3247-165	SANYO	650/7	-	25	40	-	35	50	5	-	2.3	2.6
DL-LS1030	SANYO	635/5	-	25	40	-	30	50	5	-	2.2	2.6
HL6323MG	HITACHI	639/35	30	45	65	-	95	130	30	-	2.3	2.8
HL6366DG/67DG	HITACHI	642/80	-	80	95	-	155	175	80	-	2.5	2.7
HL6376DG	HITACHI	642/60	-	65	80	-	125	155	60	-	2.5	2.7
HL6548FG	HITACHI	660/90	-	55	70	-	140	180	90	-	2.4	2.8
HL67146	HITACHI	680/10	20	35	60	-	-	-	-	-	-	2.7
HL6738MG	HITACHI	690/35	30	45	70	-	-	-	-	2.1	2.5	2.8
HL6740FG	HITACHI	675/5	-	35	50	-	-	75	5	-	2.3	2.7
LT051PS	SHARP	635/30	-	60	90	-	105	135	30	2.0	2.4	2.9
MCE-6E8F-Z02	UNI	650/5	-	24	35	-	33	40	5	-	2.2	2.8
ML520G71	MITSUISHI	638/300	80	130	180	230	330	400	220	1.9	2.3	2.6
QL63D5SA	ROITHNER	635/5	-	35	50	-	45	60	5	-	2.2	2.7
QL65D6SA	QSI	650/5	-	30	45	-	40	55	5	-	2.3	2.6
RLD65MPT7	ROHM	655/5	-	20	60	-	30	70	5	-	2.3	2.6
RLD65NZT1	ROHM	655/5	-	25	60	-	35	70	5	-	2.3	2.6
SLD1133VL-S3	SONY	650/5	-	50	65	-	60	70	5	-	2.3	2.8
SLD1138VL	SONY	655/4	-	45	55	-	50	65	4	-	2.3	2.7
SLD1332V	SONY	670/500	-	0.4	0.7	-	0.8	1.2	0.5	-	2.4	3.2

3.1.2 การคำนวณ Low pass Filter

จาก Datasheet ของ CD4046 จะมี Typical Low pass filter ดังรูป



รูปที่ 3.6 Typical Low pass filter ของ CD4046

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_\phi K_{VCO}}{NC_1(R_A + R_B)}} \quad (3.6)$$

$$\zeta = 0.5\omega_n \left(R_B C_1 + \frac{N}{K_\phi K_{VCO}} \right) \quad (3.7)$$

กำหนดให้ $K_\phi K_{VCO} = K$

$$\tau_1 = R_A C_1 \quad (3.8)$$

$$\tau_2 = R_B C_1 \quad (3.9)$$

จะได้ว่า

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{N(\tau_1 + \tau_2)}} \quad (3.10)$$

$$\zeta = 0.5\omega_n \left(\tau_2 + \frac{N}{K} \right) \quad (3.11)$$

$$\tau_1 + \tau_2 = \frac{K}{N\omega_n^2} \quad (3.12)$$

$$\tau_2 = \frac{2\zeta}{\omega_n} - \frac{N}{K} \quad (3.13)$$

$$\omega_n \leq \frac{f_R}{10} \quad f_R \text{ ที่อินพุทของ Phase Detector}$$

$$\text{และ } \zeta = 1.14$$

$$K_{VCO} = \frac{2\pi\Delta f}{\Delta VCO} \quad (3.14)$$

$$\cong \frac{2\pi(15.5M - 14.2M)}{4V}$$

$$\approx 2 \times 10^6 \frac{R/S}{V}$$

$$K_\phi = \frac{V_{DD}}{4\pi} \quad (3.15)$$

$$= \frac{5}{4\pi}$$

$$= 0.398 \text{ V/S}$$

$$K = K_{\phi} K_{VCO} \cong 796 \times 10^3 \text{ sec}^{-1} \quad (3.16)$$

ให้

$$\omega_n = \frac{2\pi 150 \text{ kHz}}{500} \cong 1885 \text{ Rad/sec} \quad (3.17)$$

$$\zeta = 1.14, N = 100$$

$$\tau_1 + \tau_2 = 2.24 \text{ ms}$$

$$\tau_2 = 1.084 \text{ ms}$$

ให้

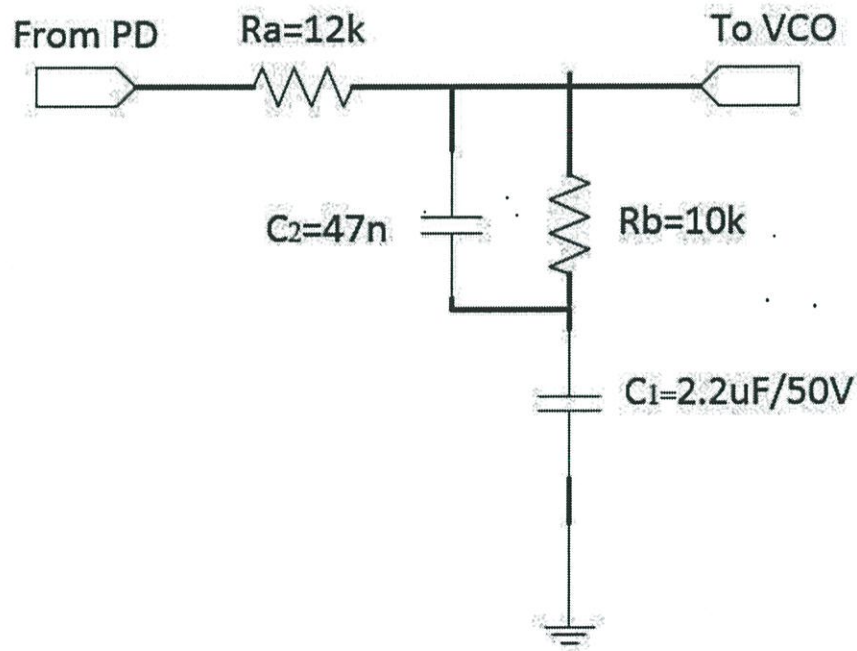
$$C_1 = 100 \text{ nF}$$

$$R_B = 10.84 \text{ k}\Omega$$

$$R_A + R_B = 22.4 \text{ k}\Omega$$

$$R_A = 12 \text{ k}\Omega$$

ในการออกแบบวงจรเพื่อใช้งานจริง ได้เพิ่ม C เข้าไปต่อขนานกับ R_B อีกหนึ่งตัว



รูปที่ 3.7 Typical Low pass filter ที่เพิ่ม C เข้าไปต่อขนานกับ R_B ของ CD4046

$$\omega_{p1} = \frac{1}{c_1(R_a + R_b)} \quad (3.18)$$

$$\omega_{p2} = \frac{1}{c_2(R_a // R_b)} \quad (3.19)$$

$$\omega_{p1} = 455 \text{ R/s}$$

$$\omega_{p2} \geq 10\omega_z$$

ให้

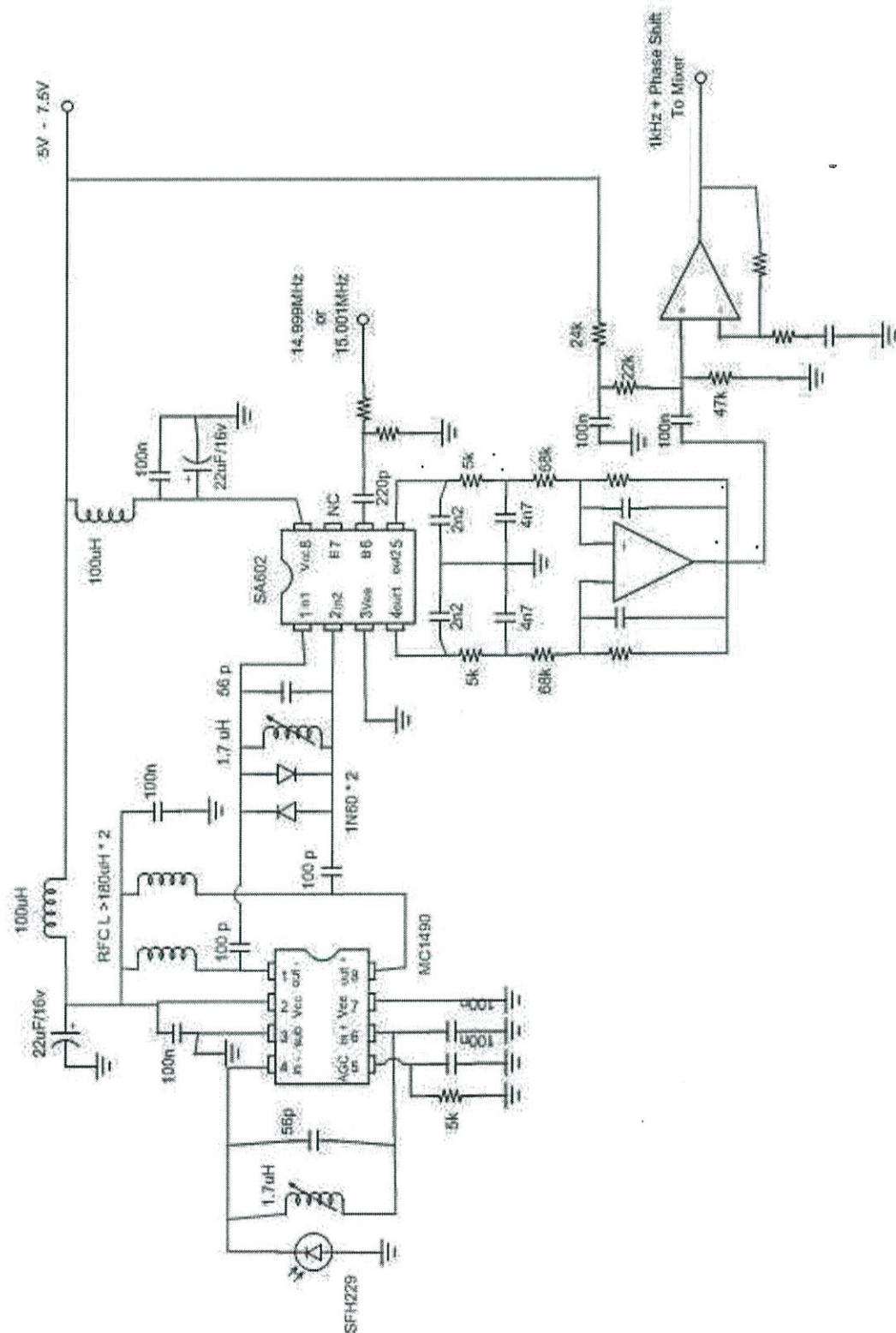
$$\omega_{p2} \cong 10 \text{ kHz} = 62.83 \text{ kR/s}$$

ดังนั้น

$$C_2 = 2.918 \text{ ns} \quad \text{ในวงจรใช้ค่า } C_2 = 47 \text{ nF}$$

3.2 วงจรส่วนที่ 2

วงจรส่วนนี้เป็นวงจรที่มีโฟลต์ไดโอดรับแสงเลเซอร์ วงจร Mixer วงจร Differential Amplifier



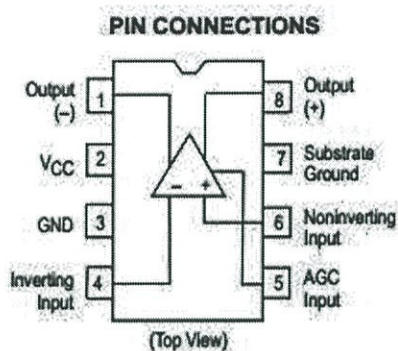
รูปที่ 3.8 วงจรส่วนที่ 2 (Receiver, Mixer 2, Differential Amplifier)

3.2.1 การออกแบบวงจร RF Power Amplifier

วงจร เลือกใช้ IC MC1490 โดยประสิทธิภาพการทำงานของ IC มีดังต่อไปนี้

- อัตราขยาย 50 dBm
- Supply Volte 5 V.

IC MC1490 มีรูปทรงสี่เหลี่ยมมีขาที่ใช้สำหรับต่อกับอุปกรณ์ภายนอกทั้งหมด 8 ขา

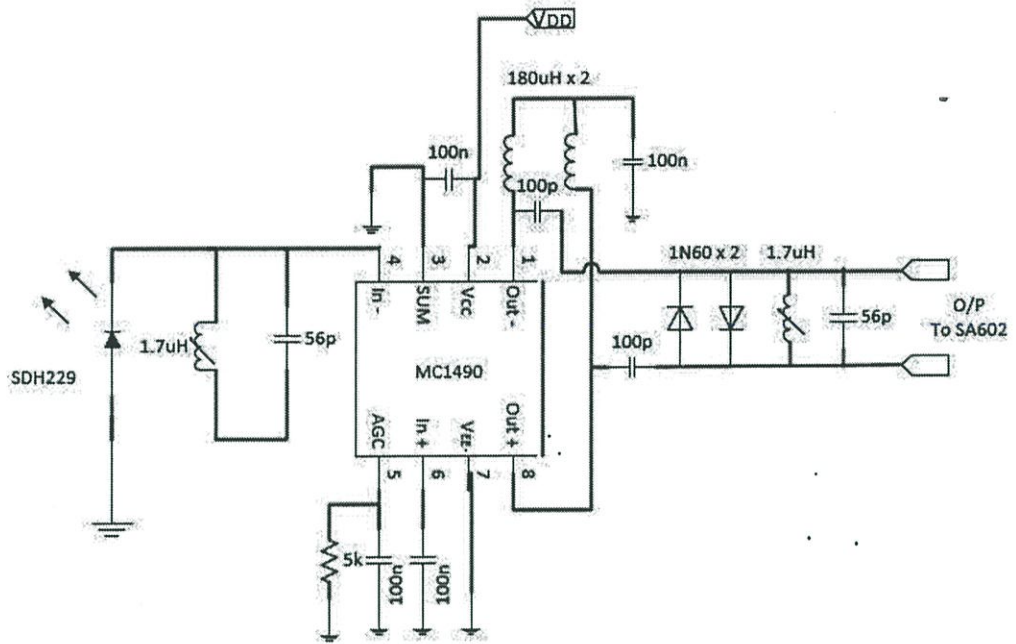


รูปที่ 3.9 Block Diagram ของ IC MC1490

จากรูปที่ 3.7 IC มีขาที่ใช้สำหรับต่อทั้งหมด 8 ขาโดยสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

- input คือ RF in เป็นขาที่ใช้ต่อกับสัญญาณ RF ที่ส่งเข้าแบบ Inverting และ Non-inverting
- OUT คือ RF out เป็นขาที่ใช้ต่อเพื่อส่งออกสัญญาณที่ขยายแล้ว
- Vcc คือ Supply Volt เป็นสัญญาณความต่างศักย์เพื่อเลี้ยงวงจรให้ทำงาน
- GND คือ ขาที่ใช้ต่อกับกราวนด์
- AGC (Automatic Gain Control) ทำหน้าที่ ควบคุมเกณฑ์การขยายให้คงที่โดยอัตโนมัติ

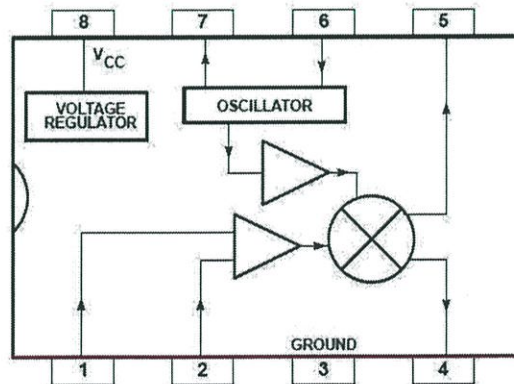
ได้ออกแบบการใช้งาน IC MC1490 ไว้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.10 การใช้งาน IC MC1490

จากรูปที่ 3.8 เป็นการใช้งาน IC MC1490 ในวงจรฝั่งรับ โดยทุกขาที่ต่อ จะมีตัวเก็บประจุต่อเสมอ เพื่อป้องกันการเสียหายของ IC จากการกระชากทางไฟฟ้าในวงจร และ ที่ระหว่างขา 4 และ 6 เป็นวงจรแมทซิ่งอิมพีแดนซ์อินพุท และระหว่างขา 1 และขา 8 เป็นวงจรแมทซิ่งอิมพีแดนซ์เอาต์พุท ในการใช้งานวงจรนี้ต้องทำการ Matching Impedance ก่อน เพื่อให้เกิดการส่งผ่านกำลังงานสูงสุด โดยการทำให้ Impedance ของโหลดมีค่าเท่ากับแหล่งจ่าย

วงจร Mixer ใช้ IC SA602 อินพุทมาจาก Receiver และ OSC2 ซึ่งมีค่า 15.000MHz กับ 14.999MHz เมื่อเข้าMixerแล้วจะได้ค่าความถี่ผลต่างเท่ากับ 1KHz ซึ่งมีค่า Shift จากการวัดระยะทางเกิดขึ้น



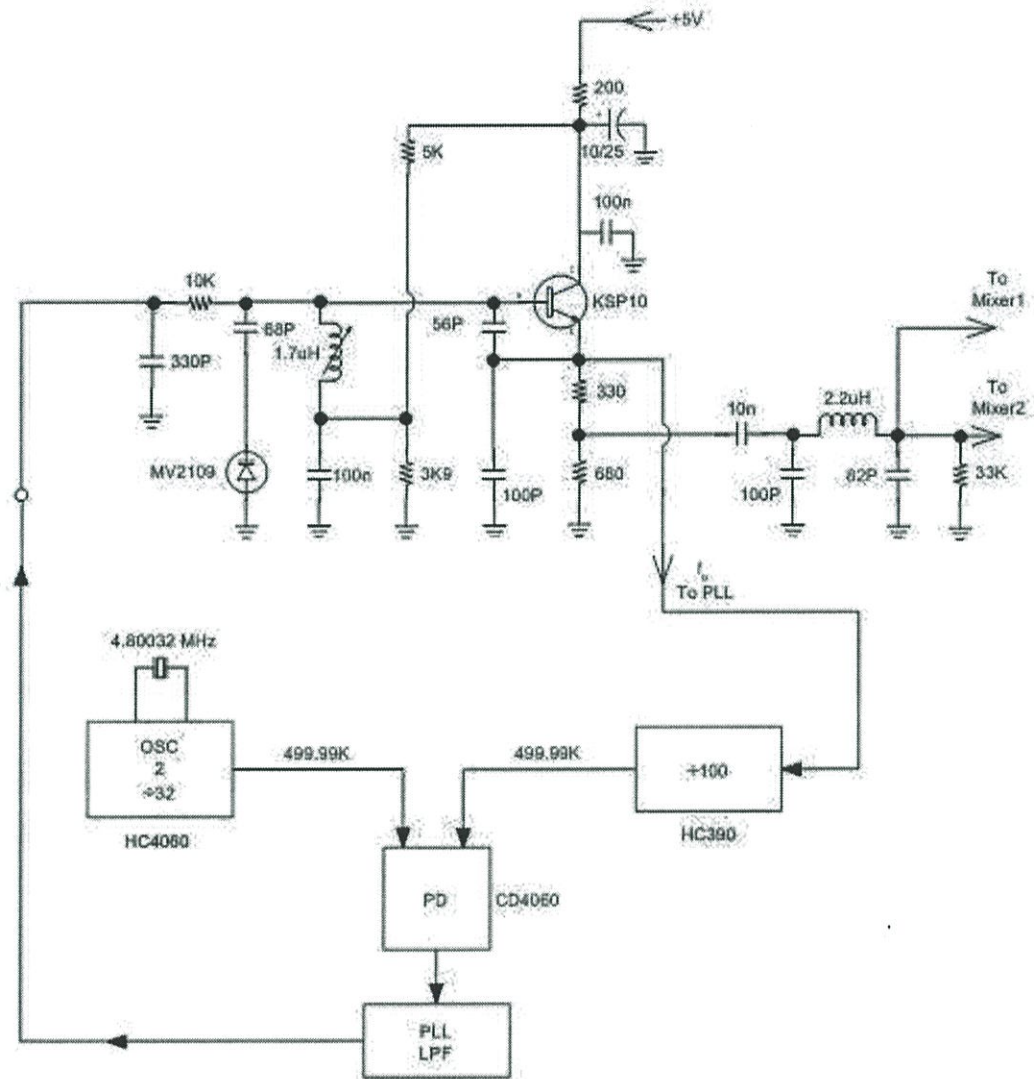
รูปที่ 3.11 Block Diagram ของ IC SA602

และเอาท์พุทที่ได้จากการ Mixer นำไปผ่านวงจรขยายที่ใช้ IC LM358 เพื่อนำไปใช้เป็น input ให้วงจรคอมพิวเตอร์ต่อไป

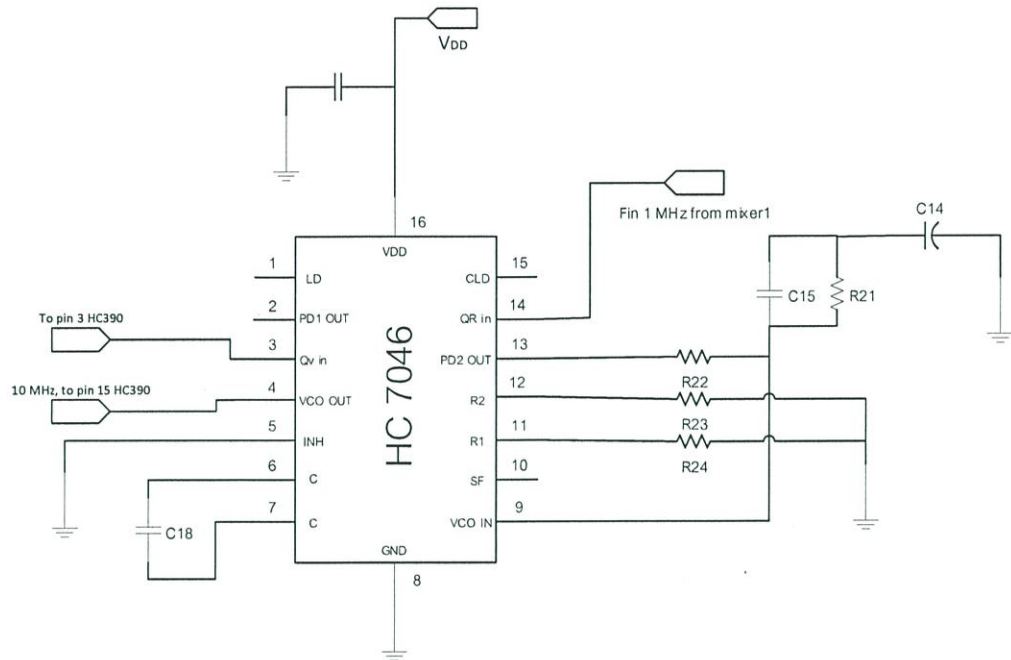
3.3 วงจรส่วนที่ 3

วงจรที่ 3 เป็นวงจรส่วนออสซิลเลเตอร์แบบ Voltage Control Oscillator และวงจร Phase Lock Loop

วงจร VCO ใช้ KSP10 ให้ความถี่ 14.999 MHz โดยที่สัญญาณอาจไม่มีความเสถียร ต้องอาศัยระบบ PLL ซึ่งมีวงจร Phase Detector เทียบสัญญาณที่ได้จาก VCO ซึ่งผ่าน IC HC390 ทหารความถี่ 100 ให้ความถี่ 149.99 kHz กับสัญญาณที่ได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์ซึ่งใช้ crystal 4.80032 MHz ผ่าน IC HC060 ขา 5 ทหารความถี่ $2^5 = 32$ ทำให้สัญญาณมีความถี่ 149.99 KHz. ป้อนให้วงจร Phase Detector IC4046 สัญญาณที่ได้จากวงจร Phase Detector จะเป็นพัลส์ และผ่านวงจร Low pass Filter เพื่อแปลงเป็นไฟ DC ป้อนกลับไปยังวงจร VCO อีกครั้งเพื่อให้ VCO ผลิตความถี่ให้ตรงกับความถี่จาก OSC เอาท์พุทของวงจรมีจะถูกนำไปมิกซ์กับสัญญาณจากโฟโต้ไดโอดในวงจรส่วนที่ 2 และสัญญาณจากวงจร VCO ในส่วนที่ 1 ในวงจรส่วนที่ 4 ต่อไป



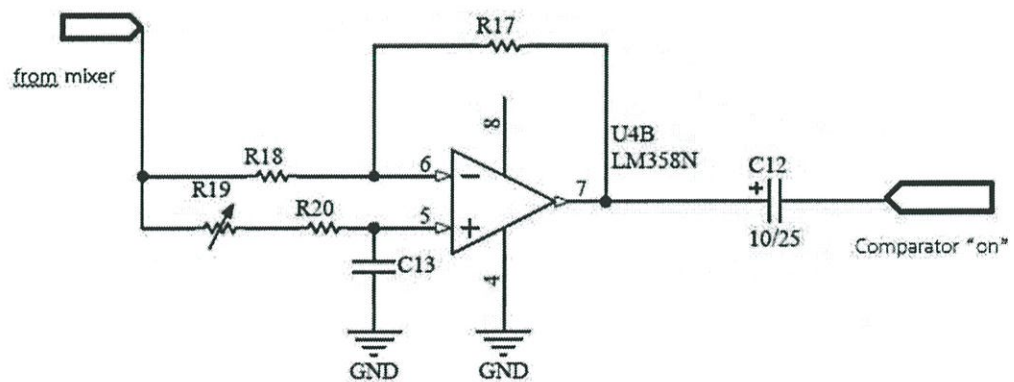
รูปที่ 3.12 วงจรส่วนที่ 3 (VCO2, PLL2)



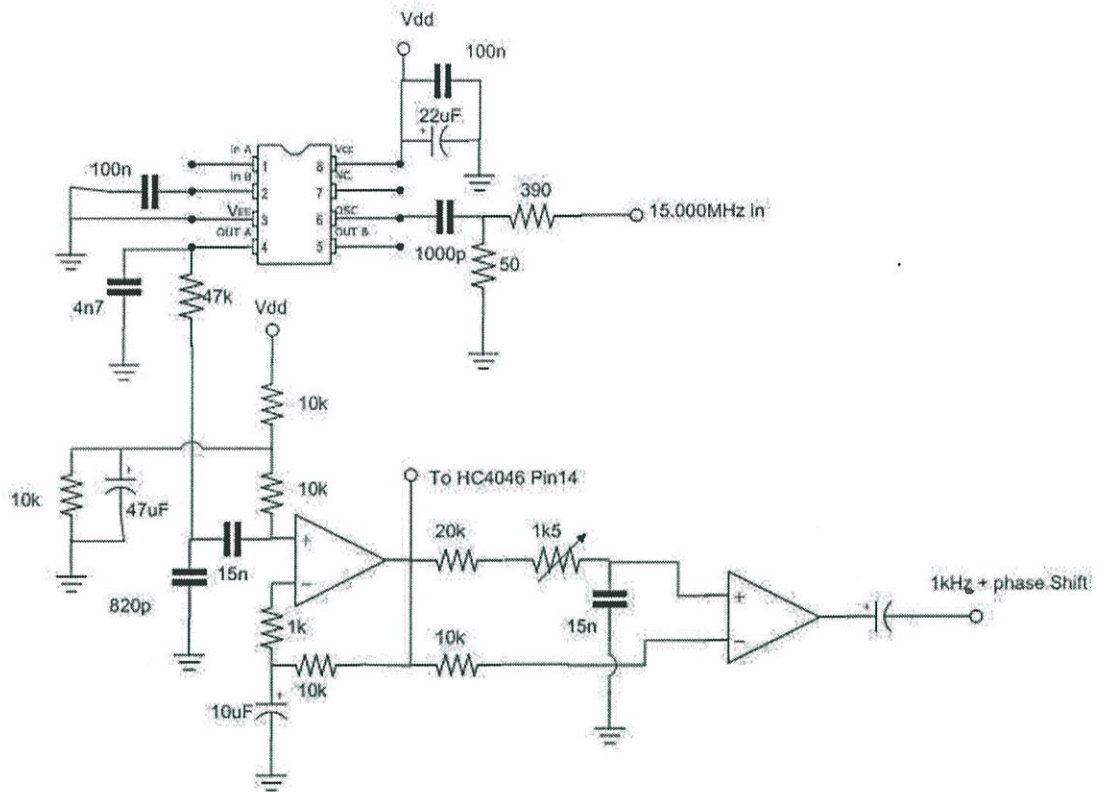
รูปที่ 3.14 การใช้งาน IC HC 7046

วงจร Phase Detect มีอินพุตเข้ามายังขา 14 และขา 3 ได้เอาท์พุทเป็น Pulse ที่ขา 13 ซึ่งต่อผ่าน LPF แล้วต่อเข้าขา 9 ซึ่งเป็น VCO ได้เลย โดยเอาท์พุทจาก VCO ที่ขา 4 มีความถี่ 10 MHz ต่อเข้า IC HC390 จะได้เอาท์พุท 5MHz สำหรับป้อนเป็น clock ให้กับ Microcontroller

นอกจากนั้นสัญญาณที่ผ่านการมิกซิงยังเข้าสู่วงจร Phase Shifter เพื่อแก้ Delay ที่อาจเกิดขึ้นจากการเดินทางของสัญญาณในวงจร คือ เอาท์พุทที่ได้จะมีค่า $1\text{kHz} + \theta$ จากนั้นนำไปป้อนเป็นอินพุทให้กับคอมพาราเตอร์ตัวที่ 2 เพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลให้กับ PIC ในวงจรส่วนที่ 5 ซึ่งเป็นวงจรแสดงผล

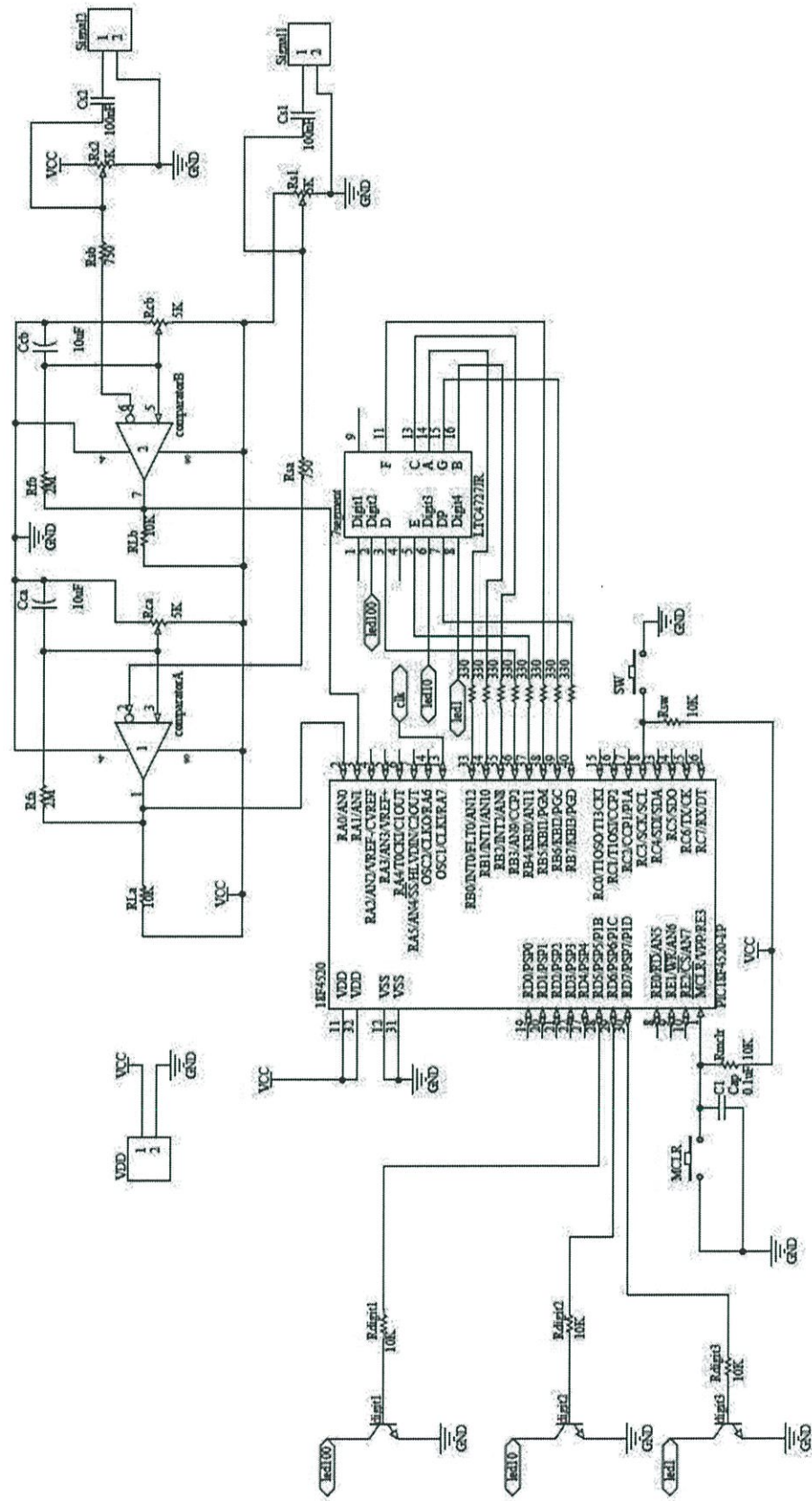


รูปที่ 3.15 วงจร Phase Shifter



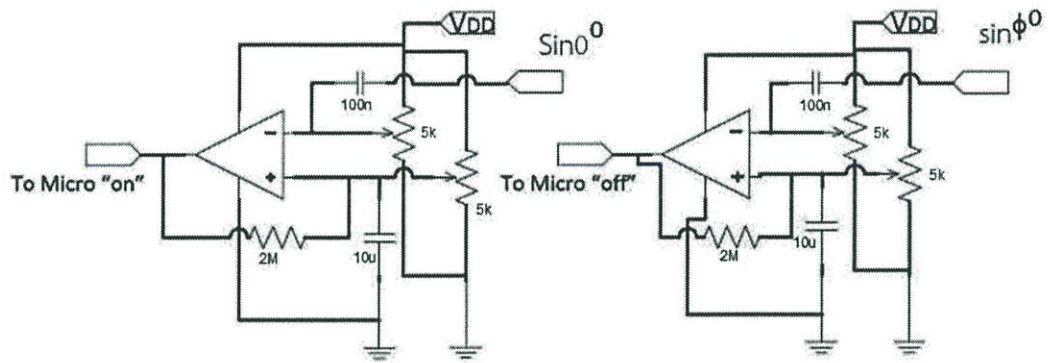
รูปที่ 3.16 วงจรส่วนที่ 4 (Mixer 1, Phase Shifter)

ส่วนแสดงผล 7Segment ต่อแบบคอมมอนแคโทด ใช้ PIC18F4520 และโปรแกรม compiler คือ MikroC หลักการคือ ใช้ทรานซิสเตอร์ 2SC1815 3 ตัวขับกระแสจ่ายให้กับ 7Segment 3 หลัก(หลักหน่วยและทศนิยม 2 ตำแหน่ง)โดยให้ 7Segment แต่ละหลักสลับกันติดที่ละหลักด้วยความเร็วสูงจนตามองไม่ทัน จึงเห็นเสมือนว่าทุกหลักติดพร้อมกันตลอดเวลา โดยมีสัญญาณจาก PLL (วงจรส่วนที่ 4) เป็น CLK ให้กับ PIC และได้รับอินพุตจากคอมพิวเตอร์ทั้งสองตัว ตัวแรกให้เริ่มนับและตัวที่สองให้หยุดนับ จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาระยะทางเพื่อแสดงผล



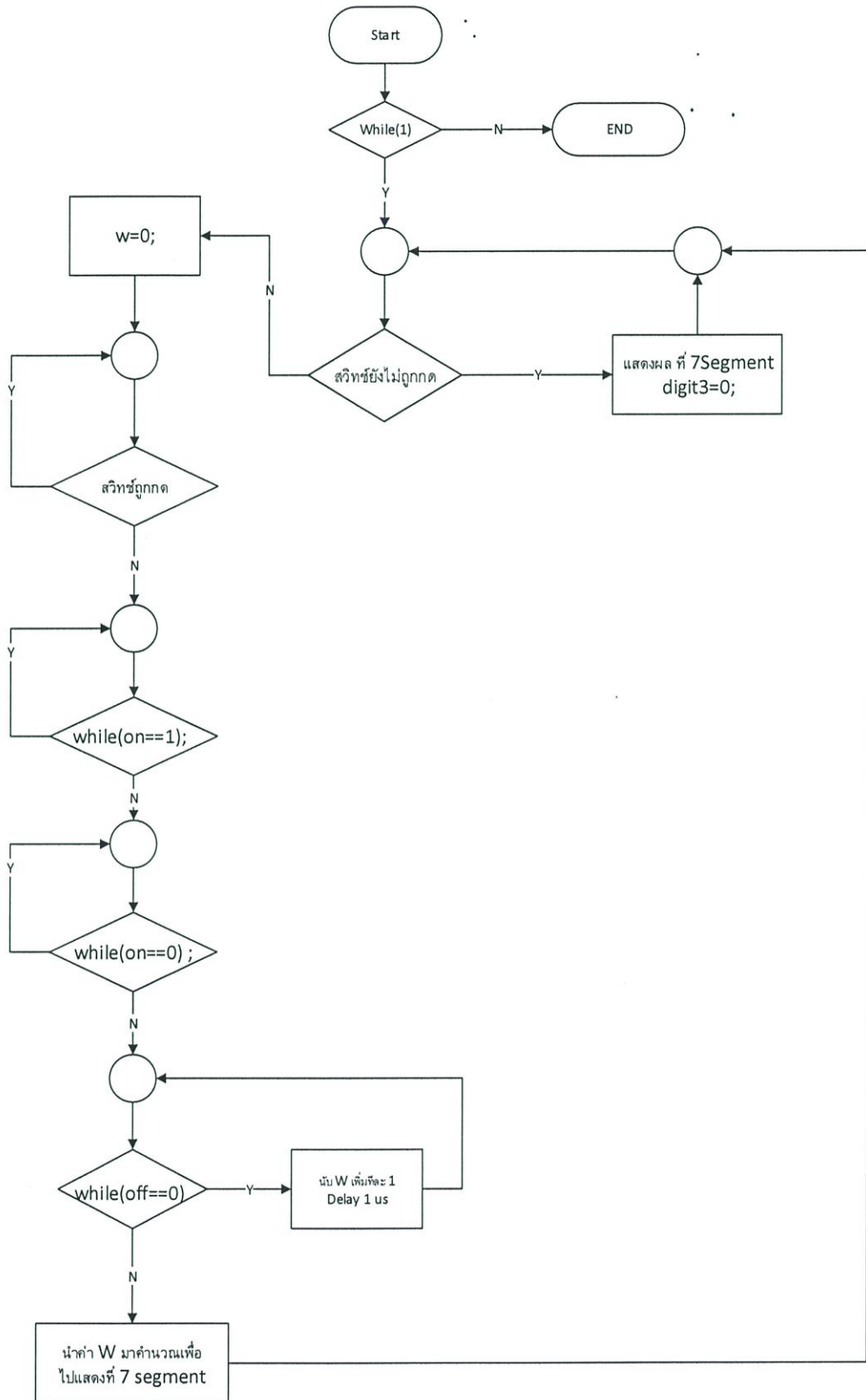
รูปที่ 3.18 วงจรส่วนที่ 5 (Comparator, 7Segment)

3.5.1 วงจรคอมพาราเตอร์แบบใช้ฮิสเตอร์ซิส



รูปที่ 3.19 วงจร Comparator และ วงจรยกระดับสัญญาณ AC

3.5.2 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมแสดงผลในไมโครคอนโทรลเลอร์



```
#define sw PORTC.F3
#define on PORTA.F0 //start count
#define off PORTA.F1 //stop count
#define digit1 PORTD.F5
#define digit2 PORTD.F6
#define digit3 PORTD.F7

unsigned char LED100[]={0b10111111,0b10000110,0b11011011,0b11001111,
    0b11100110,0b11101101,0b11111101,0b10000111,0b11111111,0b11101111};
unsigned char LED10[]={0x3F,0x06,0x5B,0x4F,0x66,0x6D,0x7D,0x07,0x7F,0x6F};
unsigned char LED1[]={0x3F,0x06,0x5B,0x4F,0x66,0x6D,0x7D,0x07,0x7F,0x6F};

void main() {

    int i=0,j=0,k=0,a=0,w=0;
    int n = 0;
    TRISB=0; //7segment
    PORTB=0;
    TRISD=0x00; //transistor
    PORTD=0;
    ADCON1 = 0x0F;
    while(1) {

        while(sw==1){

            digit1=1;
            digit2=0;
            digit3=0;
            PORTB=LED100[i];
            delay_us(100);

            digit1=0;
            digit2=1;
```

```
digit3=0;
PORTB=LED10[j];
delay_us(100);
```

```
digit1=0;
digit2=0;
digit3=1;
PORTB=LED1[k];
delay_us(100);
digit3=0;
}
```

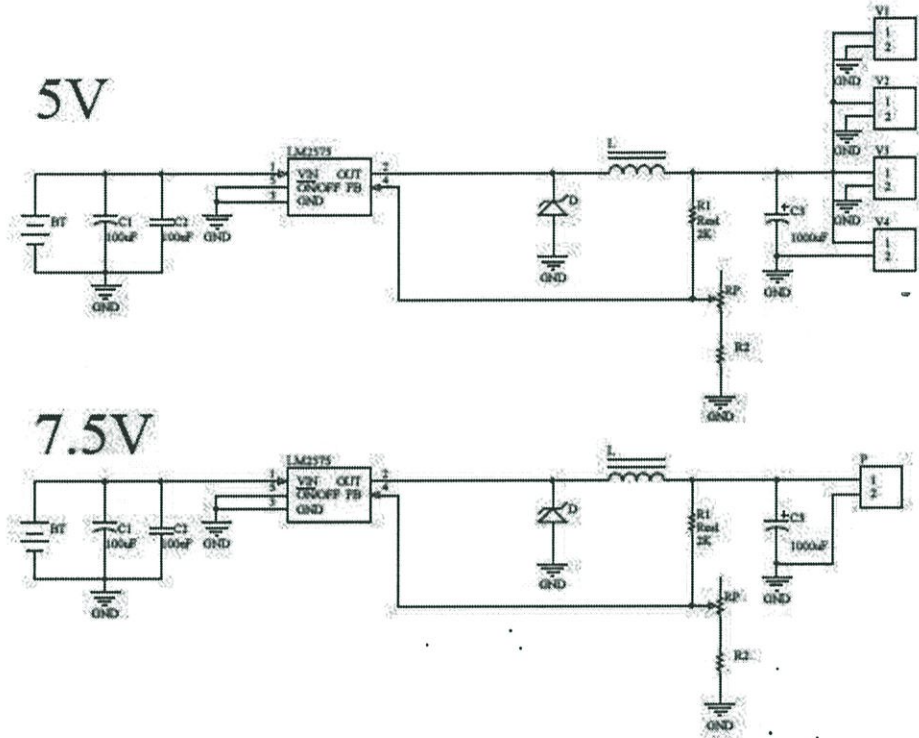
```
while(sw==0)
{
    w=0;
    while(sw==0);
    while(on==1);
    while(on==0);
    while(off==0)
    {
        w++;
        delay_us(1);
    }
    n=w*4;
    if(n>=500) n=999;

    i=n/100;
        a=n%100;
        j=a/10;
    k=a%10;

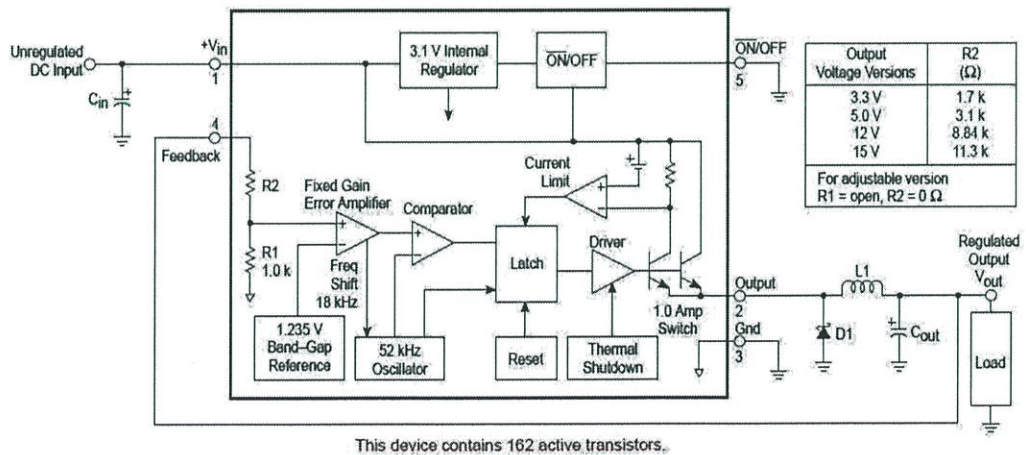
}
}
```

3.6 วงจรส่วนที่ 6

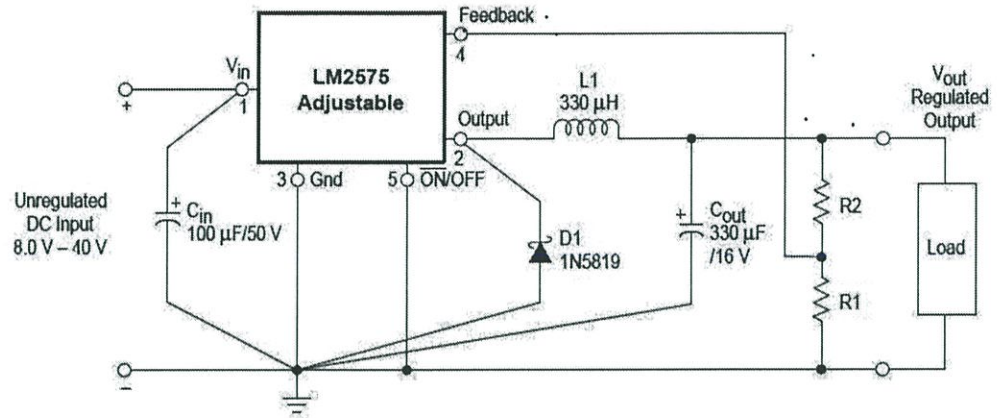
วงจรส่วนที่ 6 เป็นวงจรแปลงไฟเลี้ยงจากแบตเตอรี่ 12 V 1.2A เป็นไฟเลี้ยงให้วงจรอื่น 2 ค่า คือ 5V และ 7.5 V โดยใช้ IC LM2575 ซึ่งเป็น switching step-down voltage regulators หรือ Buck Converter



รูปที่ 3.20 วงจร DC Switching Supply



รูปที่ 3.21 Block Diagram ของ LM2575



รูปที่ 3.22 Adjustable Output Voltage Versions

3.6.1 การออกแบบวงจรไฟเลี้ยง 5V

3.6.1.1 การคำนวณหาค่า R

จากสมการ

$$V_{out} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (3.20)$$

โดยที่ V_{REF} มีค่าเท่ากับ 1.23 V

R_1 มีค่าระหว่าง 1k - 5k Ω

$$R_2 = R_1 \left(\frac{V_{out}}{V_{REF}} - 1 \right) \quad (3.21)$$

ดังนั้น สำหรับบอร์ด 5V

$$R_2 = R_1 \left(\frac{5}{1.23} - 1 \right) \quad (3.22)$$

$$R_2 = R_1 (3.065)$$

ถ้า R_2 มีค่า 2 k Ω

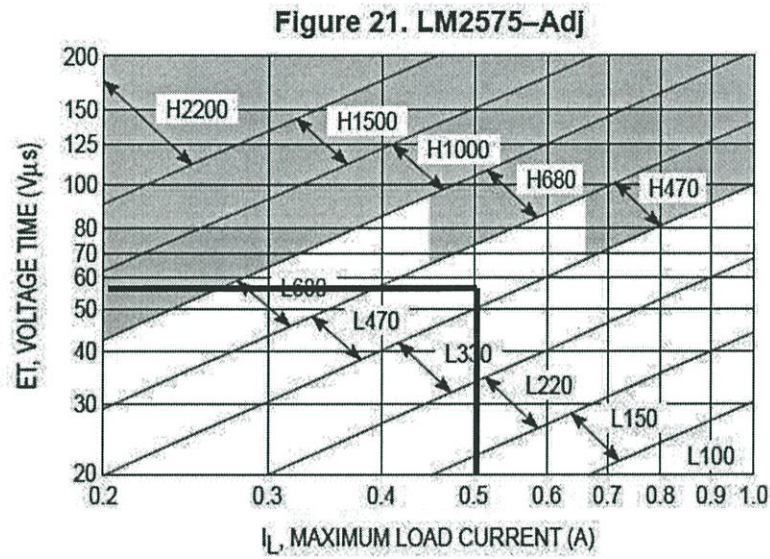
$$R_1 = 652 \Omega$$

3.6.1.2 การคำนวณหาค่า L

$$E.T = (V_{in} - V_{out}) \frac{V_{out}}{V_{in}} \cdot \frac{1000}{52} \quad (3.23)$$

$$C_{out} \geq 7,785 \frac{V_{in(MAX)}}{V_{OUT} \cdot L(\mu H)} (\mu F) \quad (3.24)$$

$$\therefore 5V \ E.T = 56.0897 \ V \cdot \mu s \quad (3.25)$$



รูปที่ 3.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ET กับ I_L ที่ $E.T = 56.0897 \ V \cdot \mu s$

พิจารณาจากกราฟระหว่าง E.T และ I_L จาก Datasheet ของ LM2575

สำหรับวงจรไฟเลี้ยง 5V มีค่า $E.T = 56.0897 \ V \cdot \mu s$

จะได้ค่า $L \approx 470 \mu H$

3.6.2 การออกแบบวงจรไฟเลี้ยง 7.5V

3.6.2.1 การคำนวณหาค่า R

จากสมการ

$$V_{out} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (3.26)$$

โดยที่ V_{REF} มีค่าเท่ากับ 1.23 V

R_1 มีค่าระหว่าง 1k - 5k Ω

$$R_2 = R_1 \left(\frac{V_{out}}{V_{REF}} - 1 \right) \quad (3.27)$$

$$R_2 = R_1 \left(\frac{7.5}{1.23} - 1 \right)$$

$$R_2 = R_1 (5.089)$$

ถ้า R_2 มีค่า 2 k Ω

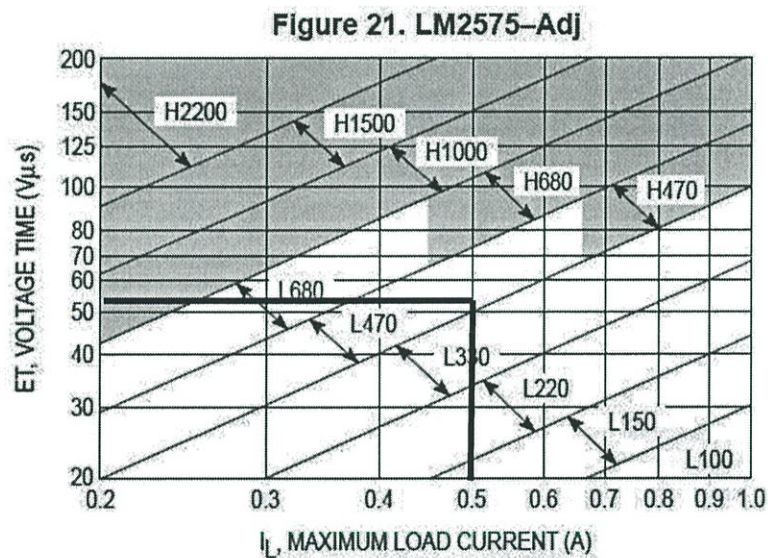
$$R_1 = 392 \Omega$$

3.6.2.2 การคำนวณหาค่า L

$$E.T = (V_{in} - V_{out}) \frac{V_{out}}{V_{in}} \cdot \frac{1000}{52} \quad (3.28)$$

$$C_{out} \geq 7,785 \frac{V_{in(MAX)}}{V_{OUT} \cdot L(\mu H)} (\mu F) \quad (3.29)$$

$$\therefore 7.5V \ E.T = 54.0865 V \cdot \mu s$$



รูปที่ 3.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ET กับ I_L ที่ $E.T = 54.0865 V \cdot \mu s$

พิจารณาจากกราฟระหว่าง E.T และ I_L จาก Datasheet ของ LM2575

สำหรับวงจรไฟเลี้ยง 7.5V มีค่า $7.5V \ E.T = 54.0865 V \cdot \mu s$

จะได้ค่า $L \approx 470 \mu H$

บทที่ 4

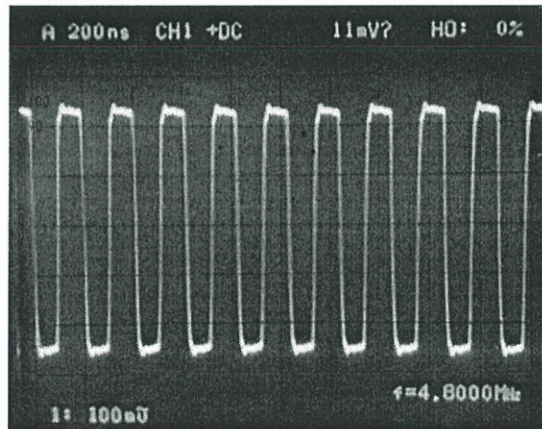
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 ทดสอบการทำงานของวงจรส่วนที่ 1

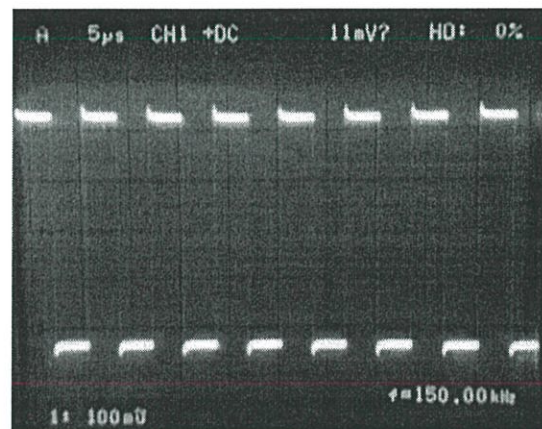
วิธีการทดลอง

- 4.1.1 จ่ายไฟเลี้ยง 5V ให้วงจร
- 4.1.3 ใช้ Analog Oscilloscope วัดที่ IC HC4060 ขาที่ 9 และขาที่ 5
- 4.1.3 วัดที่ IC HC390 ขาที่ 13
- 4.1.4 วัดที่ KSP10 จุดที่จะส่งไป drive เลเซอร์ไดโอด
- 4.1.5 บันทึกผลการทดลอง

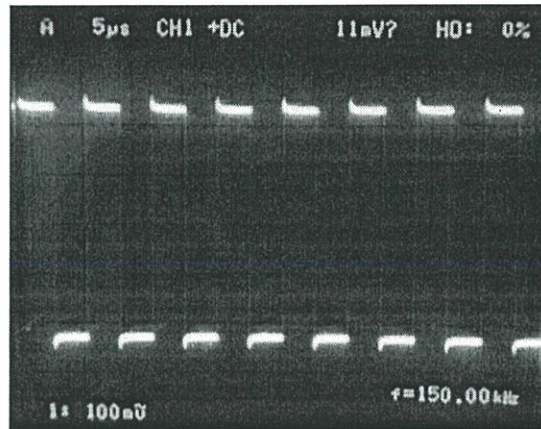
ผลการทดลอง



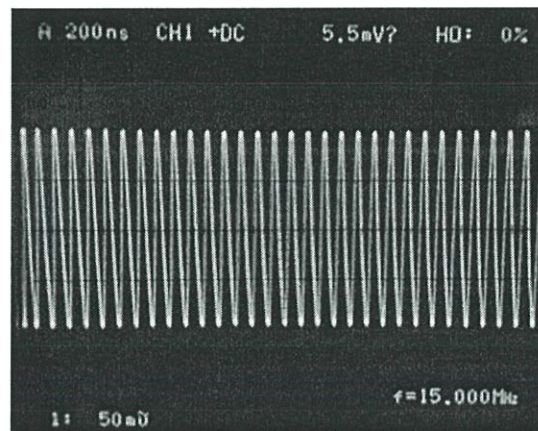
รูปที่ 4.1 ขาที่ 9 ของ IC CD4060 เป็นขาที่เชื่อมต่อกับ Test point ความถี่ 4.8 MHz 5V



รูปที่ 4.2 ขาที่ 5 ของ IC CD4060 เป็นขาที่หารความถี่ 2^5 ความถี่ 150.00 kHz 4.8V



รูปที่ 4.3 ขาที่ 13 ของ IC HC390 เป็นขาเอาต์พุตของ IC ที่หารความถี่จาก VCO ด้วย 100 ความถี่ 150.00 kHz 4.8V



รูปที่ 4.4 วัดที่ KSP10 จุดที่จะส่งไป drive เลเซอร์ไดโอด ความถี่ 15.00 MHz 2V

4.2 การทดลองที่ 2 ทดสอบการทำงานของวงจรส่วนที่ 2

วิธีการทดลอง

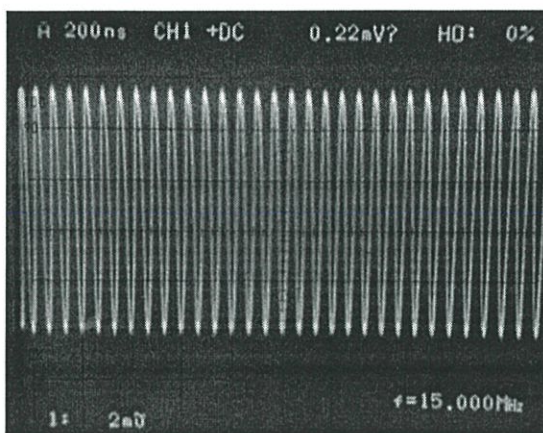
4.2.1 จ่ายไฟเลี้ยง 7.5 V ให้วงจร

4.2.2 วางเลเซอร์ไดโอดจากวงจรส่วนที่ 1 ให้ตรงกับโฟโต้ไดโอด โดยเว้นระยะห่างประมาณ 40 cm.

4.2.3 ใช้ Analog Oscilloscope วัดสัญญาณที่ IC MC1490 ขาที่ 8

4.2.4 บันทึกผลการทดลอง

ผลการทดลอง



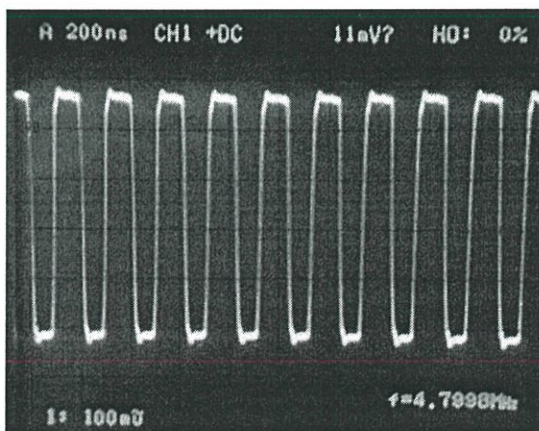
รูปที่ 4.5 สัญญาณที่ IC MC1490 ขาที่ 8 ความถี่ 15.000 MHz 100 mV

4.3 การทดลองที่ 3 ทดสอบการทำงานของวงจรส่วนที่ 3

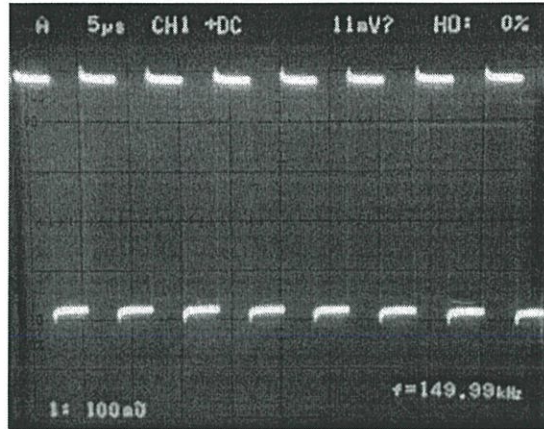
วิธีการทดลอง

- 4.3.1 จ่ายไฟเลี้ยง 5 V ให้วงจร
- 4.3.2 วางเลเซอร์ไดโอดจากวงจรส่วนที่ 1 ให้ตรงกับโฟโตไดโอด โดยเว้นระยะห่างประมาณ 40 cm.
- 4.3.3 ใช้ Analog Oscilloscope วัดสัญญาณที่ IC HC4060 ขาที่ 9 และขาที่ 5
- 4.3.4 วัดที่ IC HC390 ขาที่ 13
- 4.3.5 บันทึกผลการทดลอง

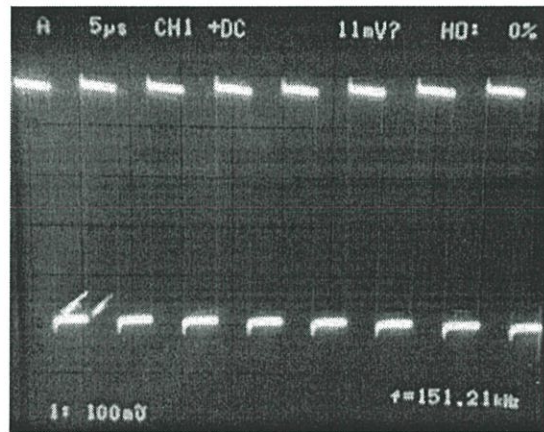
ผลการทดลอง



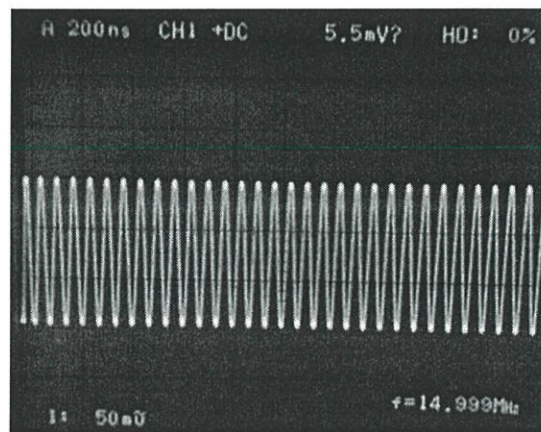
รูปที่ 4.6 ขาที่ 9 ของ IC CD4060 เป็นขาที่เชื่อมต่อกับ Test point ความถี่ 4.7998 MHz 5V



รูปที่ 4.7 ขาที่ 5 ของ IC CD4060 เป็นขาที่หารความถี่ 2^5 วัดความถี่ได้ 149.99 kHz 5V



รูปที่ 4.8 ขาที่ 13 ของ IC HC390 เป็นขาเอาต์พุตของ IC ที่หารความถี่จาก VCO ด้วย 100 วัดความถี่ได้ 151.21 kHz 4.8V



รูปที่ 4.9 วัดที่ KSP10 จุดที่จะเชื่อมต่อกับวงจร Mixer วัดความถี่ได้ 14.999 MHz 1.5V

4.4 การทดลองที่ 5 การทำงานของวงจรส่วนที่ 5

4.4.1 วงจรคอมพาราเตอร์

วงจรนี้ประกอบด้วยคอมพาราเตอร์ 2 ชุด คือคอมพาราเตอร์ A และ B โดยที่คอมพาราเตอร์ A รับอินพุทจากวงจรส่วนที่ 2 ส่วนคอมพาราเตอร์ B รับอินพุทจากวงจรส่วนที่ 4

วิธีการทดลอง

4.4.1.1 ป้อนไฟเลี้ยง DC 5V

4.4.1.2 ปรับค่า R trimpot ที่ต่อกับ C coupling ให้วัดแรงดันได้เท่ากับ $\frac{V_{CC}}{2}$

4.4.1.3 ใช้ Function Generator สร้างสัญญาณชานน์ 1kHz 50mVpp จ่ายเป็นอินพุทให้คอมพาราเตอร์ A

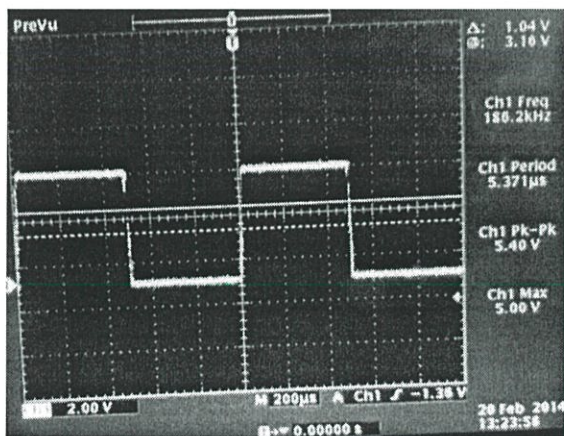
4.4.1.4 ปรับค่า R trimpot ที่ต่อกับ IC LM393 ให้ได้ V_{ref} ที่ต้องการ

4.4.1.5 วัดสัญญาณที่เอาต์พุทว่าเป็น square wave ขนาด 0 – 5 V หรือไม่ สัญญาณมี Slew rate มากน้อยเพียงใด

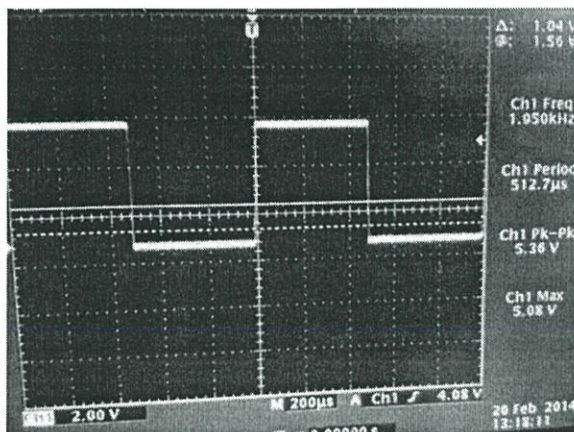
4.4.1.6 เปลี่ยนมาใช้ คอมพาราเตอร์ B แล้วทำตามข้อ 4,5 อีกครั้ง

4.4.1.7 บันทึกผลการทดลอง

ผลการทดลอง



รูปที่ 4.10 เอาต์พุทจากคอมพาราเตอร์ A



รูปที่ 4.11 เอาท์พุทจากคอมพาราเตอร์ B

4.5 การทดลองที่ 6 การทดสอบวงจรส่วนที่ 6

วิธีการทดลอง

4.5.1 วงจรไฟเลี้ยง 5V

4.5.1.1 ต่อวงจรเข้ากับแบตเตอรี่ขนาด 12V 1.2A

4.5.1.2 ใช้ VOM วัดที่เอาท์พุทว่าได้แรงดัน 5V หรือไม่

4.5.1.3 บันทึกผลการทดลอง

4.5.1.4 ต่อโหลดเข้ากับวงจร แล้วทำตามข้อ 2,3 อีกครั้ง

4.5.2 วงจรไฟเลี้ยง 7.5V

4.5.2.1 ต่อวงจรเข้ากับแบตเตอรี่ขนาด 12V 1.2A

4.5.2.2 ใช้ VOM วัดที่เอาท์พุทว่าได้แรงดัน 7.5V หรือไม่

4.5.2.3 บันทึกผลการทดลอง

4.5.2.4 ต่อโหลดเข้ากับวงจร แล้วทำตามข้อ 2,3 อีกครั้ง

ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 แรงดันที่วัดได้จากวงจรไฟเลี้ยง

Output (ideal)	Output
5V	5.1V
7.5V	7.6V

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ อธิบายการออกแบบและการสร้างเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์ที่สามารถวัดระยะทางได้ไม่เกิน 5 เมตร โดยใช้วิธีวัดความแตกต่างของเฟส ซึ่งมีความถี่คลื่นพาห้ที่คำนวณได้จากระยะทางที่สามารถวัดได้ 15 MHz มีองค์ประกอบหลัก 6 ส่วน วงจรส่วนที่ 1 ใช้ทรานซิสเตอร์ Drive เลเซอร์ไดโอดไบอัสคลื่นพาห้ 15.000 MHz จาก VCO เพื่อส่งไปยังวัตถุให้สะท้อนกลับมายังโฟโตไดโอด และมีวงจร PLL เพื่อให้สัญญาณมีความเสถียร สัญญาณที่ได้จะเข้าสู่ วงจร Mixer เพื่อเทียบความต่างเฟสในวงจรส่วนที่ 4 ในวงจรส่วนที่ 2 มีโฟโตไดโอดรับแสงเลเซอร์ จากวงจรส่วนที่ 1 วงจร Mixer สัญญาณจากโฟโตไดโอดกับสัญญาณจากวงจรส่วนที่ 3 จากนั้น สัญญาณจะผ่านวงจร Differential Amplifier ขยายผลต่างของสัญญาณเพื่อเป็นอินพุทให้ Comparator A ในส่วนของวงจรที่ 3 เป็นวงจรส่วนออสซิลเลเตอร์แบบ VCO และวงจร PLL มีการทำงานคล้ายกับวงจรส่วนที่ 1 แต่ให้ความถี่ 14.999 MHz และในวงจรส่วนที่ 4 เป็นวงจร PLL, Mixer และ Phase Shifter สัญญาณที่ได้จากการมิกซ์ระหว่างวงจรส่วนที่ 1 15.000 MHz กับ OSC ในวงจรส่วนที่ 3 14.999 MHz จะให้ความถี่ 1KHz ส่วนที่เข้าวงจร PLL จะได้เอาท์พุทเป็น CLK 5 MHz ให้กับ Microcontroller ส่วนที่ผ่านวงจร Phase Shifter จะช่วยแก้ไข Delay และเป็นอินพุท ให้กับ Comparator B ในส่วนของวงจรส่วนที่ 5 ประกอบไปด้วยคอมพาราเตอร์แบบฮิสเตอร์ซิสและ ส่วนแสดงผล 7Segment ต่อแบบคอมมอนแคโทด ใช้ PIC18F4520 และโปรแกรม compiler คือ MikroC โดยใช้ทรานซิสเตอร์ 3 ตัวขับกระแสจ่ายให้กับ 7Segment 3 หลัก(หลักหน่วยและทศนิยม 2 ตำแหน่ง)โดยให้ 7Segment แต่ละหลักสลับกันติดที่ละหลักด้วยความเร็วสูงจนตามองไม่เห็น จึงเห็นเสมือนว่าทุกหลักติดพร้อมกันตลอดเวลา วงจรสุดท้ายคือวงจรที่ 6 เป็นวงจรแปลงไฟเลี้ยงจาก แบตเตอรี่ 12V เป็นไฟเลี้ยง 5V และ 7.5V

จากการทดลองเพื่อทดสอบความสามารถในการใช้งานจริงของวงจร แบ่งการทดลองทั้งหมด ออกเป็น 6 ตอน ในการทดลองที่ 1 วงจรส่วนออสซิลเลเตอร์และเลเซอร์ไดโอดสามารถส่งแสงเลเซอร์ ที่มีความถี่ 15.000 MHz ได้ ในการทดลองที่ 2 วงจรส่วนโฟโตไดโอด มิกเซอร์ และวงจรขยายควร์ให้ สัญญาณเอาท์พุทรูปซายน์ที่มีค่าไม่ต่ำกว่า 50 mVpp ซึ่งสามารถวัดเอาท์พุทได้ 100mV การทดลอง ที่ 3 วงจรส่วนออสซิลเลเตอร์ที่จะนำเอาท์พุทมามิกเซอร์กับสัญญาณในวงจรส่วนที่ 2 และ 4 ให้ สัญญาณความถี่ 14.999 MHz การทดลองที่ 5 วงจรคอมพาราเตอร์สามารถสร้างสัญญาณพัลซ์ 0-5 V ป้อนเป็นอินพุทให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ การทดลองที่ 6 วงจรสร้างไฟเลี้ยงสามารถแปลงไฟจาก แบตเตอรี่เป็นไฟเลี้ยง 5V และ 7.5 V ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการทำปริญญานิพนธ์ในเรื่องเครื่องวัดระยะทางด้วยเลเซอร์เพื่อให้มีประสิทธิภาพและคุณสมบัติที่ดีกว่าเดิมคือ

- ถ้าหากต้องการวัดระยะทางที่ไกลขึ้น สำหรับวิธีวัดความแตกต่างของเฟส จำเป็นที่จะต้องใช้ความถี่ในการมิกซ์มากกว่าหนึ่งความถี่
- ในการทดลองนี้ตัวกลางในการส่งคืออากาศ ถ้าเปลี่ยนตัวกลางในการส่งเป็นอย่างอื่น อาจทำให้การรับสัญญาณทำได้ดีขึ้น
- โฟโอดีโอดีมีขนาดเล็ก รับสัญญาณจากเลเซอร์ไดโอดีได้ยาก ถ้าสามารถทำให้พื้นที่รับแสงมีมากกว่าเดิมอาจทำให้รับสัญญาณได้ดีขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Patimakorn Jantaraprim. OP-AMP Application. Accessed February,18 2014. สืบค้นจาก URL:<http://fivedots.coe.psu.ac.th/~kpatimakorn/240-206/e-book/chap9.pdf>
- [2] ชัยวัฒน์ จงกุลสถิตชัย. วงจรเลื่อนเฟสแบบปรับคาบิตด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์. ปรินญาณินพนธ์ การศึกษามหาบัณฑิต . มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล รัตนโกสินทร วิทยาเขตศาลายา. Accessed February,18 2014. สืบค้นจาก URL:<http://kucon.lib.ku.ac.th/Fulltext/KC4511045.pdf>
- [3] มนตรี ศิริปรัชญานันท์. เฟสล็อกลูบ. [ออนไลน์]. Accessed February,17 2014. สืบค้นจาก URL:<http://www.te.kmutnb.ac.th/msn/224413han06.pdf>
- [4] มนตรี ศิริปรัชญานันท์. วงจรมอดูเลเตอร์และดีมอดูเลเตอร์. [ออนไลน์]. Accessed February,17 2014. สืบค้นจาก URL:<http://www.te.kmutnb.ac.th/msn/224413han07.pdf>
- [5] มนตรี ศิริปรัชญานันท์. วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ วงจรขมิตทริกเกอร์ วงจรอินทีเกรเตอร์ การให้กำเนิดสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยมเบื้องต้น. [ออนไลน์]. Accessed February,17 2014. สืบค้นจาก URL: <http://www.te.kmutnb.ac.th/~msn/trigen.pdf>
- [6]. Apinunt Thanachayanont. Comparators. Accessed February,17 2014. สืบค้นจาก URL: <http://jumpstartinnovation.blogspot.com/2013/07/blog-post.html>
- [7] Jump Startinnovation. Microcontroller Project. [ออนไลน์]. Accessed February,17 2014. สืบค้นจาก URL: <http://jumpstartinnovation.blogspot.com/2013/07/blog-post.html>
- [8] พงศ์รัช ชีพพิมลชัย. อโณ โขติมณี. สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายเบื้องต้น. Accessed February,18 2014. สืบค้นจาก URL:http://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/switching_regulator/