สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ดอปเปลอร์เรดาร์และการประยุกต์ใช้งานสำหรับการตรวจจับความเร็วของวัตถุ

DOPPLER RADAR AND ITS APPLICATION FOR OBJECT SPEED DETECTION

T046428

นายนิตินันต์ หลวงฟอง
นายนนทณัฐ เนืองกันยา
นายสุริยะ มีเกิด

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 46428
วัน, เดือน, ปี - 1 เม.ย. 2546

.b.....
.i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ดอปเปลอร์เรดาร์และการประยุกต์ใช้งานสำหรับการตรวจจับความเร็วของวัตถุ		
นักศึกษา	นายนิตินันต์	หลวงฟอง	รหัสประจำตัว 43015871
	นายนนทณัฐ	เนืองกันยา	รหัสประจำตัว 43015881
	นายสุริยะ	มีเกิด	รหัสประจำตัว 43015897
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	อ. มนต์ชัย	แช่มช้อย	
	อ. พิชญ	สุพรรณกูล	
ระดับการศึกษา	ปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต		
	สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม		
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2545		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
( )
..... กรรมการ
( )
..... กรรมการ
( )
..... กรรมการ
( )
..... กรรมการ
( )

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ดอปเปลอร์เรดาร์และการประยุกต์ใช้งานสำหรับการตรวจจับความเร็วของวัตถุ		
นักศึกษา	นายนิตินันต์	หลวงฟอง	รหัสประจำตัว 43015871
	นายนนทณัฐ	เนืองกันยา	รหัสประจำตัว 43015881
	นายสุริยะ	มีเกิด	รหัสประจำตัว 43015897
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	อ. มนต์ชัย	แช่มช้อย	
	อ. พิชญ	สุพรรณกูล	
ระดับการศึกษา	ปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต		
	สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม		
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2545		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับความเห็นชอบจากอาจารย์ที่ปรึกษาเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

.....

(อ. มนต์ชัย แช่มช้อย)

.....

(อ. พิชญ สุพรรณกูล)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ดอปเปลอร์เรดาร์และการประยุกต์ใช้งานสำหรับการตรวจจับความเร็วของวัตถุ		
นักศึกษา	นายนิตินันต์	หลวงฟอง	รหัสประจำตัว 43015871
	นายนนทณัฐ	เนืองกันยา	รหัสประจำตัว 43015881
	นายสุริยะ	มีเกิด	รหัสประจำตัว 43015897
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	อ. มนต์ชัย	แซ่มช้อย	
	อ. พิชญ	สุพรรณกูล	
ระดับการศึกษา	ปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต		
	สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม		
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2545		

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านการสื่อสารได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วทำให้เกิดการสื่อสารในรูปแบบต่างๆ มากมาย เรดาร์ก็เป็นการสื่อสารอีกรูปแบบหนึ่งที่มีการพัฒนาใช้อย่างกว้างขวาง ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงได้คิดสร้างโครงงานเรื่อง ดอปเปลอร์เรดาร์และการประยุกต์ใช้งานสำหรับการตรวจจับความเร็วของวัตถุขึ้นมา หลักการของโครงงานนี้จะอาศัย การส่งคลื่นต่อเนื่องในย่านความถี่ไมโครเวฟ (3 GHz) ออกไปเมื่อคลื่นกระทบกับวัตถุใดๆจะทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นนั้น ซึ่งคลื่นสะท้อนนี้จะทำให้เกิดการเลื่อนความถี่ดอปเปลอร์ขึ้นและสัมพันธ์กับความเร็วของวัตถุ ในโครงงานนี้ได้ออกแบบให้ความถี่ดอปเปลอร์อยู่ในช่วง 0-1KHz โดยความถี่ดังกล่าวจะถูกนำไปประมวลผลเป็นความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้นๆ ซึ่งจะสามารถตรวจจับความเร็วได้ 0-360 Km / hr หรือ 0-100 m / s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Doppler radar and its application for object speed detection		
Student	Mr. Nitinun	Loungfong	ID 43015871
	Mr. Nonthanat	Nuangkanya	ID 43015881
	Mr. Suriya	Meekerd	ID 43015897
Advisor	Mr. Monchai	Chamchoy	
	Mr. Pichaya	Supanakoon	
Degree	Bachelor Degree of Industrial Technology		
Major	Telecommunication Technology		
Department	Information Engineering		
Academic Year	2002		

ABSTRACT

Currently, communication technologies have been developed into various kinds of communication application. Radar is one of the most popular communication technologies that we are motived to implement the Doppler radar and its application for object speed detection. The detector used high frequency continuous wave (CW) to radiate electromagnetic wave into free space. When the radiated wave impinged on any moving target, reflected wave is introduced. The interaction of the radiated wave and the reflected wave involved frequency shift or Doppler shift and it related to speed of the moving object. In this project, the detector is designed to detect the Doppler shift of 0 ~ 1 KHz which is related to 0 ~ 360 km/hr or 0 ~ 100 m/s.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถจัดทำให้สำเร็จลุล่วงได้ดี ก็เพราะได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาจากท่าน อาจารย์มนต์ชัย แซ่มช้อย อาจารย์พิชญ สุพรรณกูล คณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้กำลังใจและเป็นผู้ซึ่งให้โอกาสทางการศึกษา และทุกสิ่งทุกอย่างมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ กรมอุตุนิยมวิทยา ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับดอปเปลอร์เรดาร์

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์มาโดยตลอด

คณะผู้จัดทำ

นายนิตินันต์ หลวงฟอง

นายนนทณัฐ เนืองกันยา

นายสุริยะ มีเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์	1
1.2 ขอบเขตโครงงาน	1
1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ดอปเปลอร์เรดาร์ (Doppler Radar) สายอากาศและวงจรไมโครเวฟ	3
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของเรดาร์ (Radar)	3
2.2 ทฤษฎีของดอปเปลอร์เรดาร์ (Doppler Radar)	10
2.3 สายอากาศไมโครสตริป	10
2.4 การแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า (Frequency to Voltage converter)	25
2.5 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น	29
2.6 สถาปัตยกรรมของ AT89S8252	33
2.7 เซอร์คิวเลเตอร์	38
บทที่ 3 การออกแบบ	39
3.1 โครงสร้างโดยรวมของโครงงาน	39
3.2 การออกแบบวงจรจ่ายไฟ	39
3.3 การออกแบบวงจร AGC (Automatic Gain Control)	41
3.4 การออกแบบวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน (Frequency to Voltage)	41
3.5 การออกแบบวงจรขยายโดยใช้ออปแอมป์	43
3.6 การออกแบบวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล	44
3.7 การออกแบบโปรแกรม	45
3.8 ขั้นตอนการทำงาน (Flow Chart)	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	51
4.1 วงจรจ่ายไฟ	51
4.2 วงจร AGC	53
4.3 วงจร F/V (Frequency to Voltage Converter)	55
4.4 วงจรขยาย	57
4.5 วงจร ADC (Analog to Digital Converter)	58
4.6 วงจรทั้งหมดใช้ฟังก์ชันเจเนเรเตอร์ป้อนความถี่	59
4.7 การทดลองวงจรทั้งหมดตามบล็อกไดอะแกรม	63
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์	65
ภาคผนวก	
บรรณานุกรม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ความถี่ของเรดาร์กับการใช้งานต่าง ๆ 9

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวงจรจ่ายไฟส่วนที่ 1 51

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวงจร F/V (Frequency to Voltage Converter) 56

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองวงจรขยาย 58

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล 59

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองวงจรทั้งหมดโดยใช้ฟังก์ชันเจเนเรเตอร์ป้อนความถี่ 60

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองสรุปค่าอย่างคร่าว ๆ 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 Block Diagram ส่วนประกอบของโครงงาน	2
รูปที่ 1.2 Block Diagram การทดลองโดยใช้ฟังก์ชันเจเนเรเตอร์ป้อนเป็นความถี่อินพุต	2
รูปที่ 2.1 Primary radar และ Secondary radar	5
รูปที่ 2.2 Monostatic radar	6
รูปที่ 2.3 Bistatic radar	6
รูปที่ 2.4 การส่งพัลส์เรดาร์	7
รูปที่ 2.5 (ก) วัตถุเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับบีมของเรดาร์	8
(ข) วัตถุเคลื่อนที่ต่างทิศทางกับบีมของเรดาร์	8
รูปที่ 2.6 รูปแบบโครงสร้างทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป	11
รูปที่ 2.7 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบ Patch (MPA)	13
รูปที่ 2.8 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบ Traveling-Wave	13
รูปที่ 2.9 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบ Slot	14
รูปที่ 2.10 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป	24
รูปที่ 2.11 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งโคแอคเชียล	24
รูปที่ 2.12 การป้อนสัญญาณแบบฝังให้กับสายอากาศ	25
รูปที่ 2.13 วงจรภายในของไอซีเบอร์ LM2907	26
รูปที่ 2.14 วงจรที่เลือกใช้	29
รูปที่ 2.15 ไดอะแกรมการทำงานของวงจร ADC แบบซักเซสซีฟแอพร็อกซิเมชั่น	30
รูปที่ 2.16 การจัดขาของไอซี LTC1298	32
รูปที่ 2.17 การเชื่อมต่อ LTC1298 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	32
รูปที่ 2.18 สถาปัตยกรรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	35
รูปที่ 2.19 การจัดขาของ AT89S8252	36
รูปที่ 2.20 เซอร์คิวเลเตอร์แบบ 3 พอร์ต	38
รูปที่ 3.1 โครงสร้างโดยรวมของโครงงาน	39
รูปที่ 3.2 วงจรจ่ายไฟส่วนที่ 1	40
รูปที่ 3.3 วงจรจ่ายไฟส่วนที่ 2	40
รูปที่ 3.4 วงจร AGC ที่ออกแบบ	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.5 วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน 42

รูปที่ 3.6 วงจรขยาย 43

รูปที่ 3.7 การเชื่อมต่อ LTC1298 กับ MCS-51 44

รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม 47

รูปที่ 3.9 (ก) ขั้นตอนการทำงานของการแสดงผลแบบ Km/Hr 49

(ข) ขั้นตอนการทำงานของการแสดงผลแบบ m/s 49

รูปที่ 3.10 (ก) ขั้นตอนการทำงานของ Hold Km/Hr 50

(ข) ขั้นตอนการทำงานของ Hold m/s 50

รูปที่ 4.1 วงจรจ่ายไฟส่วนที่ 1 51

รูปที่ 4.2 วงจรจ่ายไฟส่วนที่ 2 52

รูปที่ 4.3 ผลการทดลองวงจรจ่ายไฟให้กับ VCO 52

รูปที่ 4.4 วงจร AGC 53

รูปที่ 4.5 สัญญาณอินพุตขนาด 1.28 โวลท์พีคทูพีค (Vpk-pk) 54

รูปที่ 4.6 สัญญาณอินพุตขนาด 18 โวลท์พีคทูพีค (Vpk-pk) 54

รูปที่ 4.7 สัญญาณอินพุตขนาด 20.8 โวลท์พีคทูพีค (Vpk-pk) 55

รูปที่ 4.8 วงจร F/V (Frequency to Voltage Converter) 55

รูปที่ 4.9 ผลการทดลองวงจร F/V (Frequency to Voltage Converter) 57

รูปที่ 4.10 วงจรขยาย 57

รูปที่ 4.11 การเชื่อมต่อ LTC1298 58

รูปที่ 4.12 บล็อกไดอะแกรมวงจรทั้งหมดใช้ฟังก์ชันเจเนเรเตอร์ป้อนความถี่ 59

รูปที่ 4.13 (ก) ผลการทดลองวงจรตามรูปที่ 4.12 62

(ข) ผลการทดลองวงจรตามรูปที่ 4.12 63

รูปที่ 4.14 บล็อกไดอะแกรมวงจรทั้งหมด 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านการสื่อสารและโทรคมนาคมได้เจริญก้าวหน้าและมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว อันเป็นผลเนื่องจากความเพียรพยายามในการศึกษาค้นคว้าวิจัยของมนุษย์อย่างไม่หยุดยั้งทำให้เกิดการสื่อสารในรูปแบบต่างๆมากมาย แต่ว่าอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบการเรียนการทดลองที่เป็นอยู่ในปัจจุบันยังมีบางส่วนที่เราได้เรียนแต่เพียงทฤษฎี แต่ว่าอุปกรณ์ที่ไม่สามารถปฏิบัติให้เห็นจริงได้เหมือนกับได้เรียนได้ศึกษามา ดังนั้นด้วยแนวคิดตรงจุดนี้จึงคิดทำโครงงานเรื่องดอปเปลอร์เรดาร์และการประยุกต์ใช้งานสำหรับการตรวจจับความเร็วของวัตถุ(Doppler Radar and Its Application for Object speed Detection) ขึ้นมาแนวทางโครงงานนี้คือ ทำการส่งคลื่นความถี่อย่างต่อเนื่องออกไปโดยไม่มีการมอดูเลทและคลื่นความถี่ที่สะท้อนจากวัตถุที่เราได้นั้นเรียกว่าความถี่ดอปเปลอร์(Doppler frequency) ในโครงงานนี้ความถี่ดอปเปลอร์กำหนดใช้ในช่วงความถี่คือ 0 - 1KHz นำไปเข้าวงจร AGC (Automatic Gain Control) เข้าวงจร F/V (Frequency to Voltage converter) จากนั้นเข้าวงจร A/D (Analog to Digital converter) และนำไปประมวลผลเพื่อแสดงค่าออกมาเป็นความเร็วของวัตถุที่เราทำการวัด อย่างไรก็ตามโครงงานนี้อาจมีข้อจำกัดในเรื่องประสิทธิภาพโดยรวมของการวัดความเร็วบางอย่างเพราะว่าเป็นโครงงานที่ได้ทำขึ้นมาใหม่

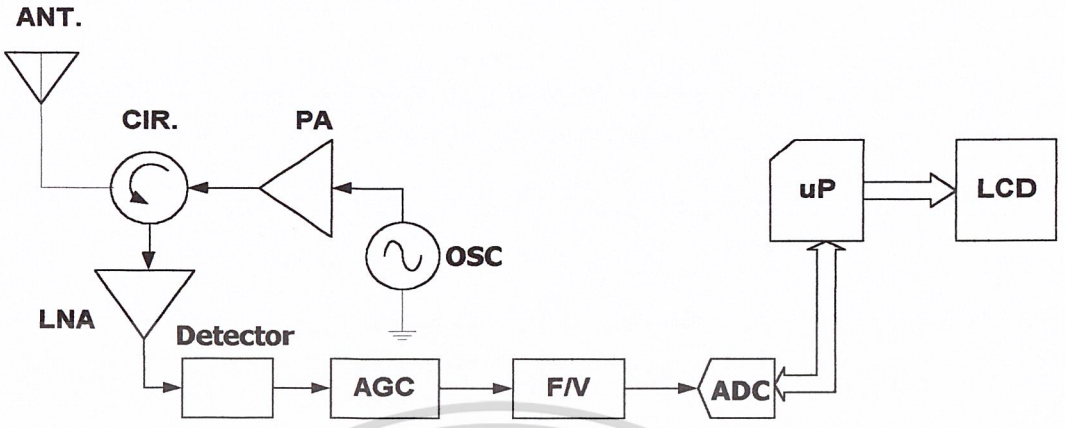
1.1 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาและเรียนรู้เกี่ยวกับดอปเปลอร์เรดาร์
2) เพื่อศึกษาวงจรส่วนต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้ประกอบ
3) เพื่อศึกษาโปรแกรมที่จะใช้ในการควบคุม
4) เพื่อประยุกต์ใช้งานในการตรวจจับความเร็วของวัตถุ

1.2 ขอบเขตโครงงาน

1) สามารถตรวจจับความเร็วของวัตถุได้ตั้งแต่ 0 ถึง 360 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
2) สามารถโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของโปรแกรมได้
3) ใช้ความถี่ดอปเปลอร์ อยู่ในช่วง 0 ถึง 1KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

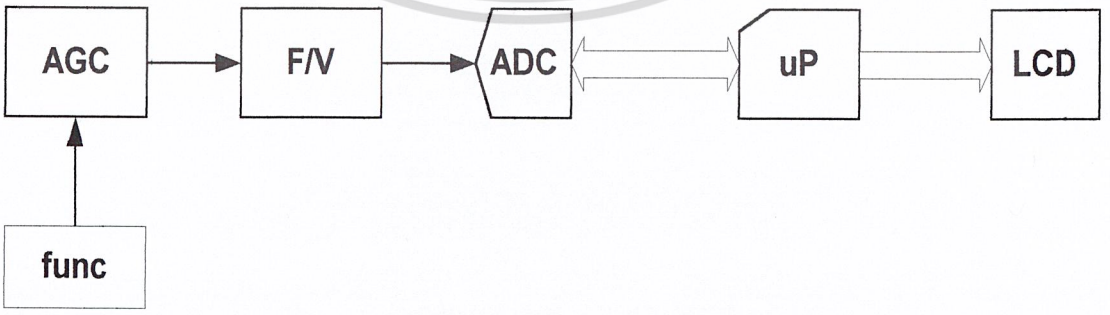


รูปที่ 1.1 BLOCK DIAGRAM ส่วนประกอบของของโครงงาน

1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1) ออกแบบและทดลองวงจร AGC(Automatic Gain Control)
2) ออกแบบและทดลองวงจร F/V(Frequency to Voltage Converter)
3) ออกแบบและทดลองวงจร ADC(Analog to Digital Converter)
4) ออกแบบและทดลองโปรแกรม
5) ประกอบวงจรตามบล็อกไดอะแกรมข้างล่าง และทดลองโปรแกรม

BLOCK DIAGRAM แสดงขั้นตอนการดำเนินงานประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 1.2 BLOCK DIAGRAM การทดลองของโปรเจค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ดอปเปลอร์เรดาร์ (DOPPLER RADAR) สายอากาศและวงจรไมโครเวฟ

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของเรดาร์ (RADAR)

เรดาร์ (RADAR) ย่อมาจาก Radio detection and ranging เป็นการส่งสัญญาณคลื่นความถี่ไมโครเวฟแล้วรับสัญญาณสะท้อนกลับจากวัตถุที่ต้องการตรวจหา ระบบเรดาร์นำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมายอันเป็นประโยชน์ต่อการติดต่อสื่อสารทางโทรคมนาคม การขนส่ง การพยากรณ์อากาศ การทหาร ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และความต้องการในการนำไปประยุกต์ใช้งาน นอกจากนี้เรดาร์ยังสามารถใช้ได้ทั้งทางบก ทางน้ำ และทางอากาศอีกด้วยระบบเรดาร์จะทำงานด้วยหลักการเบื้องต้นที่คล้ายคลึงกันสำหรับในการเลือกใช้งานเพื่อนำไปประยุกต์ใช้เฉพาะด้านจะต้องเลือกคุณสมบัติที่ต้องการให้เหมาะสมกับช่วงความถี่และชนิดของเรดาร์เป็นหลักเพื่อให้ได้ผลการตรวจจับและวัดข้อมูลที่ต้องการได้ดีที่สุดให้ความถูกต้องแม่นยำและน่าเชื่อถือที่สุด จะเห็นว่าการเลือกพิจารณาระบบที่เหมาะสมเป็นประเด็นแรกที่ต้องคำนึงถึงและนำมาพิจารณาก่อนอื่น

2.1.1 หลักการทำงานของเรดาร์

เรดาร์ทำการส่งสัญญาณโดยอาศัยการส่งคลื่นวิทยุในช่วงความถี่ไมโครเวฟซึ่งถือว่าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งเมื่อพิจารณาคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าพบว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะแพร่กระจายสู่บรรยากาศด้วยความเร็วแสงและมีผลกระทบต่อวัตถุที่อยู่ตามแนวเส้นทางเดินของมัน โดยเมื่อมันตกกระทบวัตถุใดๆ จะมีผลทำให้เกิดการกกระจาย การเบี่ยงเบน และการหักเหของคลื่น นำเอาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ในการตรวจหาระยะทางและความเร็วของวัตถุ นอกจากนี้ยังใช้ระบุตำแหน่งของวัตถุเป้าหมายที่ต้องการวัดซึ่งสัมพันธ์กับจุดอ้างอิงที่เรารู้โดยการนำเอาคลื่นดังกล่าวมารวมเป็นบีมแล้วส่งผ่านสายอากาศของเรดาร์ระบบเรดาร์มีจุดเด่นตรงที่สามารถวัดระยะทางได้อย่างรวดเร็วซึ่งไม่มีเทคนิควิธีการอื่นสามารถทำได้ดีเท่าและเรดาร์สมัยใหม่ยังสามารถดึงเอาข้อมูลอย่างอื่นจากสัญญาณสะท้อนของวัตถุได้อีกด้วย

2.1.2 ชนิดของวัตถุที่เรดาร์สามารถตรวจจับได้

1) Soft target วัตถุประเภทนี้จะเป็นองค์ประกอบของชั้นบรรยากาศ เช่น เมฆ ไอน้ำ ฝุ่น ละออง ฝน ก๊าซ และอนุภาคอื่นๆ ในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Hard target วัตถุชนิดนี้จะให้ค่าการสะท้อนที่สูงกว่า Soft target เช่น นก แมลง ตึก เรือ เครื่องบิน เป็นต้น

ข้อแตกต่างของ Soft target กับ Hard target นอกจาก Soft target จะไม่สามารถระบุรูปร่างได้อย่างชัดเจนแล้วค่าการกระจายของอนุภาคยังเพิ่มตามระยะทางด้วยนั่นคือ สัญญาณสะท้อนจะเพิ่มตามระยะทางที่มากขึ้นซึ่งตรงกันข้ามกับ Hard target

2.1.3 การนำเอาเรดาร์ไปประยุกต์ใช้งาน

ระบบเรดาร์ในระยะแรกๆ เข้ามามีบทบาทเกี่ยวกับการทหารแต่ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำเอาเรดาร์มาใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ อีกมากมายซึ่งแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ดังนี้

- Ground – base radar ใช้ในการตรวจหาตำแหน่ง การเคลื่อนไหว ความเร็ว (ใช้กับพวกเรดาร์ของกรมตำรวจ) ตรวจดูเส้นทางการบินของเครื่องบินหรือวัตถุในอากาศ
- Shipboard radar ใช้ในการเดินเรือเพื่อช่วยนำร่องในการเดินเรือได้อย่างปลอดภัย เช่น ตรวจหาตำแหน่งของทุ่นลอยในทะเล ตรวจหาแนวชายฝั่ง และป้องกันการชนกันของเรือหรือชนภูเขาน้ำแข็ง ในกรณีที่มีเมฆหมอกปกคลุมจนยากที่จะสังเกตได้ด้วยตาเปล่า
- Airborne radar ใช้ในการตรวจจับเครื่องบินลำอื่น ตรวจหาเรือที่แล่นในทะเลหรือใช้ในการลงจอดของเครื่องบินนอกจากนี้ยังใช้เป็นแผนที่บอกตำแหน่งของเกาะหรือแผ่นดิน ตรวจหาสภาพภูมิอากาศเพื่อใช้ในการพยากรณ์อากาศ
- Spaceborne radar ใช้ในการนำทางอากาศยานรวมทั้งการสำรวจข้อมูลระยะไกล (Remote sensing) ใช้สำรวจสภาพภูมิอากาศและมลภาวะ สำรวจพื้นผิวโลกเพื่อตรวจดูทรัพยากรธรรมชาติ สำรวจพื้นที่ทางการเกษตร ป่าไม้ และสภาพภูมิประเทศ

2.1.4 การจำแนกชนิดของเรดาร์

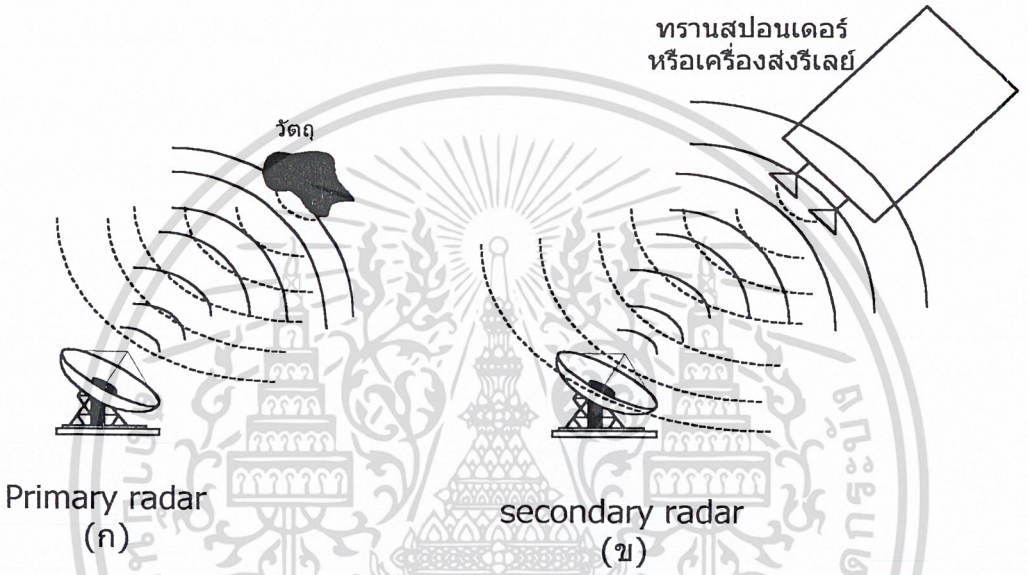
การจำแนกชนิดของเรดาร์สามารถพิจารณาอย่างกว้างๆ ได้ 4 แบบดังนี้

2.1.4.1 จำแนกเป็น Primary radar หรือ Secondary radar

- Primary radar สัญญาณที่สะท้อนจากวัตถุไปยังเครื่องรับเป็นสัญญาณที่สะท้อนจากวัตถุนั้นโดยตรง แสดงตามรูปที่ 2.1(ก)
- Secondary radar สัญญาณที่สะท้อนไม่ใช้สัญญาณสะท้อนจากตัววัตถุโดยตรงแต่จะเกิดจากอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ภายในวัตถุ ซึ่งเป็นอุปกรณ์จำพวกเครื่องส่งรีเลย์หรือทราน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สปอนเดอร์ ทำหน้าที่เป็นตัวส่งสัญญาณไปยังสายอากาศทางด้านรับของเรดาร์ ในบางกรณีในการส่งคลื่นไปในบรรยากาศจะเกิดการสูญเสียเนื่องจากสาเหตุต่างๆ ซึ่งเมื่อคลื่นไปกระทบวัตถุทำให้สัญญาณการสะท้อนกลับไม่แรงพอจึงต้องใช้ตัวทวนสัญญาณ (Repeater) ติดไปกับวัตถุเพื่อให้คลื่นนั้นแรงพอ แสดงตามรูปที่ 2.1(ข)

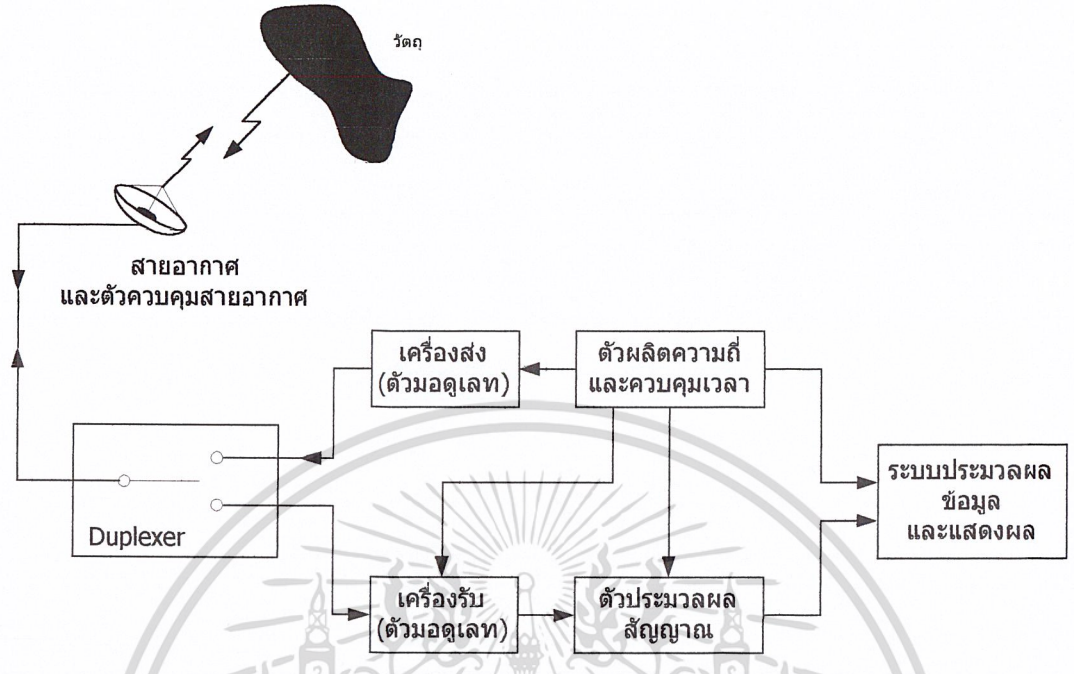


รูปที่ 2.1 Primary radar และ Secondary radar

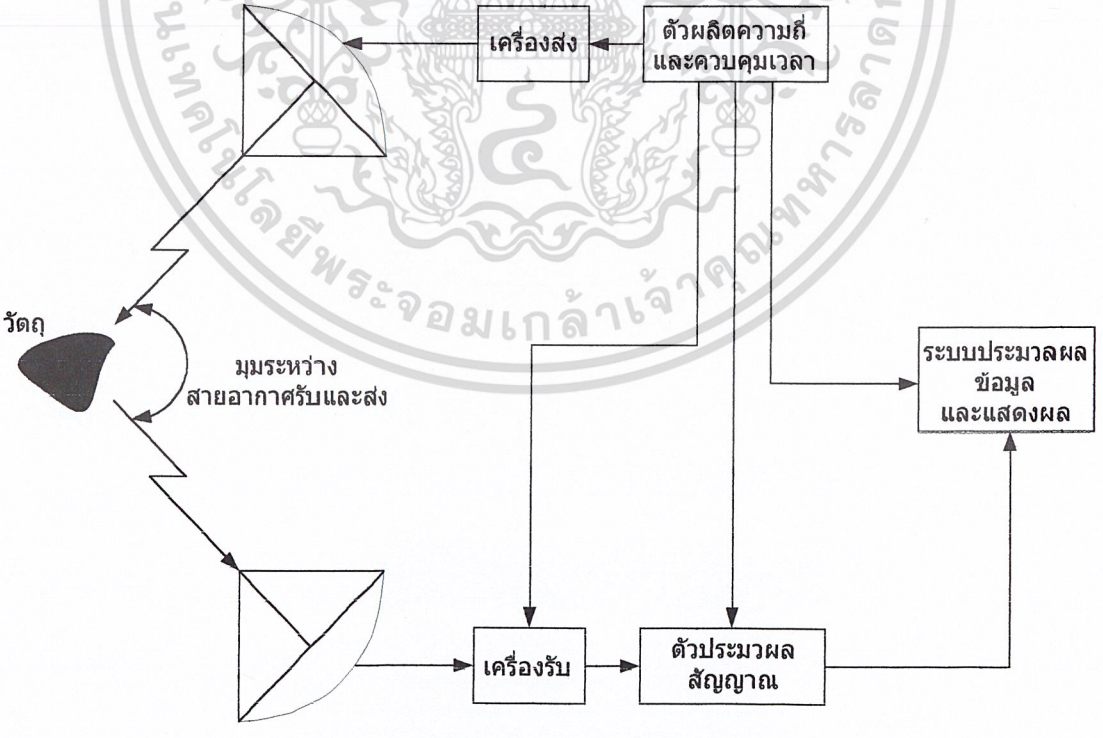
2.1.4.2 จำแนกเป็น Monostatic radar หรือ bistatic radar

- Monostatic radar เรดาร์ชนิดนี้ใช้สายอากาศรับและส่งร่วมกันโดยมีสวิตช์อัตโนมัติเรียกว่า ดูเพล็กเซอร์ (Duplexer) หรือ TR – Switch ทำหน้าที่เป็นตัวแยกสัญญาณรับและส่งไม่ให้ปนกัน เรดาร์ส่วนใหญ่จะนิยมใช้ระบบนี้เพื่อเป็นการประหยัดสายอากาศ แสดงตามรูปที่ 2.2
- Bistatic radar ระบบนี้ใช้สายอากาศรับและส่งแยกกัน ปกติเรดาร์ชนิดนี้มักจะใช้กับคลื่นต่อเนื่อง (CW : Continuous Wave) หรือคลื่นต่อเนื่องที่มีการมอดดูเลตทางความถี่ (FMCW : Frequency modulated Monostatic radar) แสดงตามรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.2 Monostatic radar

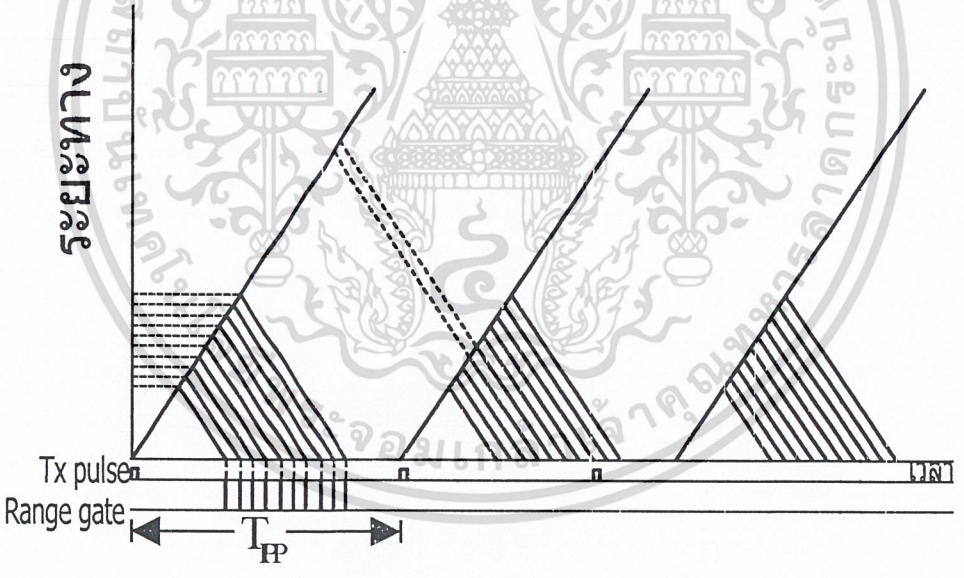


รูปที่ 2.3 Bistatic radar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.3 จำแนกตามลักษณะการส่งสัญญาณเรดาร์

1) Pulse radar ทำการส่งและรับคลื่นเป็นพัลส์โดยมีการกำหนดช่วงเวลาในการส่งคลื่นแต่ละลูก (IPP : Inter – pulse period) ให้สัมพันธ์กับอัตราการแซมปลิ้งสัญญาณตามจำนวนการแซมเปิ้ลที่ต้องการ ในที่นี้การแซมปลิ้งสัญญาณจะต้องถูกกำหนดให้อยู่ในขอบเขตของช่วงเวลาระหว่างพัลส์แต่ละลูกเพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาด ซึ่งถ้าอัตราการแซมปลิ้งสัญญาณมีมากกว่าช่วงเวลาในการส่งพัลส์ข้อมูลที่ได้จะไม่ถูกต้องเรียกว่า Alaising effect ทำให้ระยะทางของวัตถุที่คำนวณได้ผิดพลาดเรียกว่า Ambiguity range ซึ่งเป็นระยะที่แสดงเป็นเส้นประในรูปที่ 2.4 คือระยะทางของวัตถุจะมีค่ามากกว่า แต่จะพบว่าระยะทางที่คำนวณได้เป็นระยะที่น้อยกว่าเพราะเกิดหลังพัลส์ลูกถัดไป ดังนั้นในการหาระยะทางจึงเทียบกับพัลส์ลูกหลังแทนจึงได้ระยะทางที่ผิดไปจากความเป็นจริง

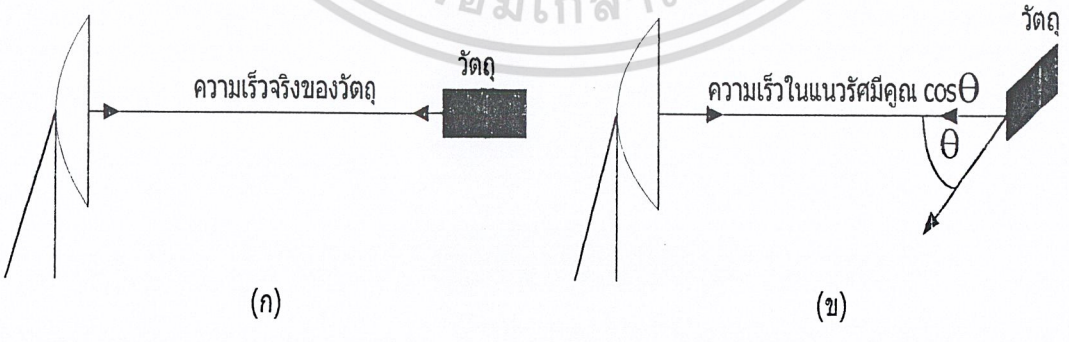


รูปที่ 2.4 การส่งพัลส์เรดาร์

2) CW radar : Continuous wave radar หรือ Doppler radar เป็นการส่งคลื่นวิทยุอย่างต่อเนื่องกันไปเป็นสายยาวโดยไม่มีการมอดูเลทคลื่นสัญญาณในการส่งคลื่นดังกล่าวออกไปนั้นจะได้ข้อมูลจากสัญญาณของวัตถุใดๆ ที่อยู่ในแนวบีมเรดาร์สะท้อนกลับไปยังสายอากาศรับคลื่น ค่ามุมแบริ่ง และมุมเงยของวัตถุหาได้จากตำแหน่งและทิศทางของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศที่ทำมุมกับวัตถุในขณะที่สัญญาณสะท้อนมีค่ามากที่สุด แต่ CW radar ไม่สามารถวัดระยะทางได้เนื่องจากส่งคลื่นอย่างต่อเนื่องไปโดยไม่มีการเว้นช่วงเวลาในการส่งคลื่นลูกถัดไป ดังนั้นจึงไม่สามารถจับเวลาที่คลื่นแต่ละลูกส่งออกไปกระทบวัตถุแล้วสะท้อนกลับได้ระบบ CW radar จะใช้การตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ หรือติดตั้งเรดาร์ไปกับวัตถุที่เคลื่อนที่โดยอาศัยหลักการของดอปเปลอร์ (Doppler effect) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงความถี่ไปตามการเคลื่อนที่ของวัตถุคือ ถ้าวัตถุเคลื่อนที่เข้าหาจุดที่ทำการสังเกตความถี่ของคลื่น ณ จุดสังเกตจะมากขึ้น และที่ระยะห่างออกไปความถี่จะลดลงหรือถ้าวัตถุเคลื่อนที่ออกจากจุดสังเกตความถี่ของสะท้อน ณ จุดสังเกตจะลดลง อาศัยหลักการของปรากฏการณ์ดอปเปลอร์สามารถหาความถี่ของคลื่นสะท้อนเมื่อวัตถุเคลื่อนที่เข้าหาสายอากาศรับของเรดาร์ได้จาก fo + fd และความถี่ของคลื่นสะท้อนเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ออกจากสายอากาศรับของเรดาร์ได้จาก fo – fd ในความเป็นจริงความถี่ดอปเปลอร์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความเร็วที่แท้จริงของวัตถุแต่ขึ้นอยู่กับความเร็วของวัตถุในทิศทางของสายอากาศเรดาร์ แสดงตามรูปที่ 2.5(ก) จะเห็นว่าวัตถุเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับสายอากาศเรดาร์สามารถคำนวณหาได้โดยตรงจากค่าความเร็วในแนวรัศมี (Radial velocity) มีค่าเท่ากับ 1 เนื่องจากวัตถุเคลื่อนที่ในทิศทางทำมุม $\theta = 0$ กับสายอากาศเรดาร์ ส่วนในรูปที่ 2.5(ข) วัตถุเคลื่อนที่ในทิศทางทำมุม θ กับสายอากาศเรดาร์ดังนั้นความเร็วที่ใช้ในการพิจารณาความถี่ดอปเปลอร์จะเป็นองค์ประกอบทางความเร็วของวัตถุในทิศทางของสายอากาศคือ ความเร็วในแนวรัศมีคูณ $\cos\theta$ ไม่ใช่ความเร็วที่แท้จริงของวัตถุ



รูปที่ 2.5 (ก) วัตถุเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับบีมของเรดาร์ (ข) วัตถุเคลื่อนที่ต่างทิศทางกับบีมของเรดาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) FM - CW radar เป็นการปรับปรุง CW radar ในเรื่องการวัดระยะทางโดยนำสัญญาณคลื่นพาหะของคลื่นต่อเนื่องมาทำ Timing mark เพื่อระบุเวลาในการส่งและเวลาของสัญญาณสะท้อนโดยปกติ Timing mark เป็นสเปกตรัม ซึ่งสเปกตรัมของคลื่นต่อเนื่องสามารถนำมามอดูเลททางแอมปลิจูด ความถี่ หรือเฟสได้ ตัวอย่างของการมอดูเลททางแอมปลิจูดคือ Pulsed radar ซึ่งเมื่อพัลส์ยิ่งแคบพบว่าสเปคตรัมที่ส่งจะกว้างทำให้การวัดระยะทางถูกต้องมากขึ้น ในกรณีของ CW radar วิธีนี้นิยมทำให้สเปคตรัมที่ส่งกว้างโดยการมอดูเลททางความถี่ของคลื่นพาหะโดย Timing mark จะเปลี่ยนความถี่และเวลาที่ได้จะเกิดจากผลต่างทางความถี่ของสัญญาณสะท้อนกับสัญญาณที่ส่ง

4) Pulse Doppler radar หรือ MTI radar เป็นการนำหลักการของความถี่ดอปเปลอร์มาประยุกต์ใช้กับ Pulse radar เพื่อทำการตรวจวัดวัตถุที่เคลื่อนที่ซึ่งมีสัญญาณที่ไม่ต้องการปนมากับคลื่นสะท้อนเรียกว่า Clutter ดังนั้นสามารถเรียก Pulse Doppler radar ได้อีกอย่างหนึ่งว่า MTI (Moving target indication) radar หลักการคล้าย CW radar ซึ่งจำกัดในเรื่องของการวัดระยะทางแต่จะดีกว่าตรงที่ส่งสัญญาณเป็นพัลส์

2.1.5 ย่านความถี่ของเรดาร์

ระบบเรดาร์จะใช้ช่วงความถี่ประมาณ 300MHz ถึง 40GHz ซึ่งเรียกว่า Microwave Frequency แสดงตามตารางข้างล่างและมักนิยมใช้ตัวอักษรกำหนดแบนด์ของความถี่ด้วย

ตารางที่ 2.1 ความถี่ของเรดาร์กับการใช้งานต่างๆ

Band	Wavelength (cm)	Frequency range (MHz)	ใช้กับงานต่างๆ
P	300		Air Search radar
L	22.2 –3.13	960 – 1,350	Air Route Surveillance radar
S	11.1 – 9.1	2,7000 –3,300	Marine radar , Meterological radar Airport Meterological radar
C	5.7 – 3.06	5,255 –9,800	Marine radar , Meterological radar
X	3.33 – 3.06	9,000 – 9,800	Marine radar
K	1.3 –1.19	23,000 –22,250	Airport Surveillance radar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีของดอปเปลอร์เรดาร์ (DOPPLER RADAR)

ดอปเปลอร์เรดาร์ (DOPPLER RADAR) หรือ CW radar : Continuous wave radar เป็นเรดาร์ชนิดหนึ่งของระบบเรดาร์เป็นการส่งคลื่นวิทยุอย่างต่อเนื่องกันไปเป็นสายยาวโดยไม่มีการมอดูเลทคลื่นสัญญาณในการส่งคลื่นดังกล่าวออกไปนั้นจะได้ข้อมูลจากสัญญาณของวัตถุใดๆ ที่อยู่ในแนวบีมเรดาร์สะท้อนกลับไปยังสายอากาศ คลื่นที่สะท้อนกลับมาจะมีการชิปความถี่ของคลื่นที่สะท้อนนั้นเรียกว่า ความถี่ดอปเปลอร์ (Doppler shift frequency) ทิศทางของสายอากาศที่ทำมุมกับวัตถุในขณะที่สัญญาณสะท้อนมีค่ามากที่สุดจากนั้นเอาสัญญาณที่รับได้นำไปประมวลผลเพื่อใช้สำหรับการตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่และวัดความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่นำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในการวัดความเร็ว หลักการของดอปเปลอร์เรดาร์ (Doppler radar) ใช้สำหรับการตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่และวัดความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่นั่นเอง ส่วนรายละเอียดจะอยู่ในทฤษฎีของเรดาร์ ในที่นี้จะไม่ขอกล่าวถึง

2.3 สายอากาศไมโครสตริป

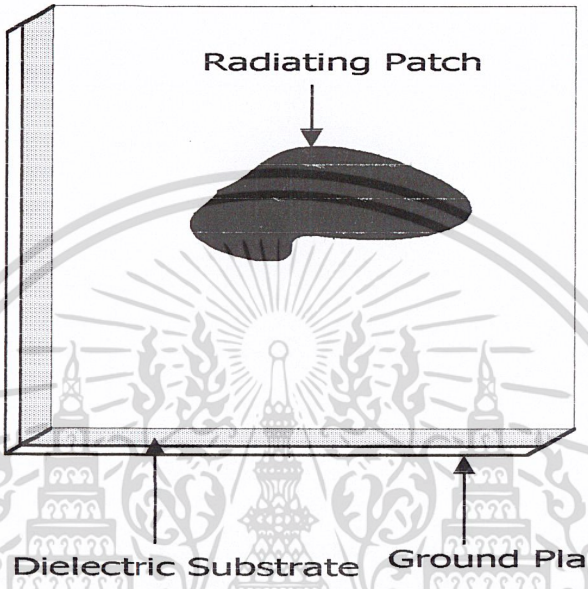
แนวความคิดในการใช้ไมโครสตริปซึ่งมีรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาดเล็ก ในการแพร่กระจายคลื่นได้ถูกนำมาเสนอครั้งแรกโดย Deschamps ค.ศ. 1953 และหลังจากนั้น 20 ปีจึงมีการสร้างเป็นสายอากาศใช้งานจริงโดยมีการพัฒนาแบบจำลองทางทฤษฎี และเทคนิค Photo-etch ของฐานรองที่เป็น Copper หรือ Gold-clad และมีคุณสมบัติทางอุณหภูมิและทางกลศาสตร์ที่ดีขึ้นมีค่า Loss tangent ที่ต่ำ สายอากาศไมโครสตริปถูกสร้างขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1970 โดย Howell , Munsun จากนั้นก็มีการวิจัยและพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วและกว้างขวางนำไปสู่การใช้งานที่แตกต่างกัน

2.3.1 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป

ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปจะประกอบด้วยแผ่นตัวนำสองแผ่นวางขนานกันอยู่โดยมีแผ่นตัวนำที่อยู่ด้านบนซึ่งจะมีรูปร่างต่างๆ เช่น รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular) รูปสี่เหลี่ยมจตุรัส (Sguare) วงกลม (Circle) วงรี (Ellipticle) เป็นต้น เรียกว่าตัวแพร่กระจายคลื่น (Radiating Patch) โดยทั่วไปมักจะเป็นแผ่นทองแดงหรือทองคำ แผ่นตัวนำที่อยู่ด้านล่างจะเป็นลักษณะแผ่นตัวนำทั้งแผ่น โดยอุดมคติจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าตัวแพร่กระจายคลื่นอย่างมากเรียกว่าแผ่นกราวด์ (Ground Plane) และมีวัสดุที่ไม่เป็นสื่อกลางทางไฟฟ้า (Dielectric) กั้นกลางระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสองขนาดของตัวแพร่กระจายคลื่นจะมีขนาดตามความเหมาะสมกับงานหรือความถี่ที่จะนำไปใช้งานซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบตัวแพร่กระจายคลื่นให้มีขนาดตามความต้องการ แผ่นกราวด์ตามทฤษฎีจะต้องมีขนาดที่ไม่จำกัด แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถที่จะให้แผ่นกราวด์มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดจนถึงอินฟินิตได้ ดังนั้นในการออกแบบจึงไม่มีข้อจำกัดของแผ่นกราวด์ว่าควรมีขนาดเท่าไหร่ เพียงแต่ว่าจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าตัวแพร่กระจายคลื่น ลักษณะโครงสร้างทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริปสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 รูปแบบโครงสร้างทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป

2.3.2 ข้อดีและข้อเสียของสายอากาศแผ่นไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริปจะมีข้อได้เปรียบหลายประการเมื่อเทียบกับสายอากาศที่ใช้ในย่านไมโครเวฟแบบอื่นๆ โดยสายอากาศไมโครสตริปสามารถใช้งานในย่านความถี่ตั้งแต่ 100 MHz ถึง 50 GHZ

2.3.2.1 ข้อได้เปรียบที่เห็นได้ชัดของสายอากาศไมโครสตริป

- น้ำหนักเบา (lightweight) , ขนาดเล็ก (low volume)
- ทำให้เป็นแผ่นบางๆ ได้เพราะไม่มีผลทางอากาศพลศาสตร์ (aerodynamics)
- พื้นที่หน้าตัดน้อย (low profile)
- สามารถผลิตได้ง่ายและราคาถูก (low fabrication cost)
- มีความสะดวกในการติดตั้งบนวัสดุที่เคลื่อนที่ได้ เช่น จรวด , ดาวเทียม , เป็นต้น
- มีการโพลาไรย์ทั้งแบบเชิงเส้นและแบบวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 ข้อเสียเปรียบที่เห็นได้ชัดของสายอากาศไมโครสตริป

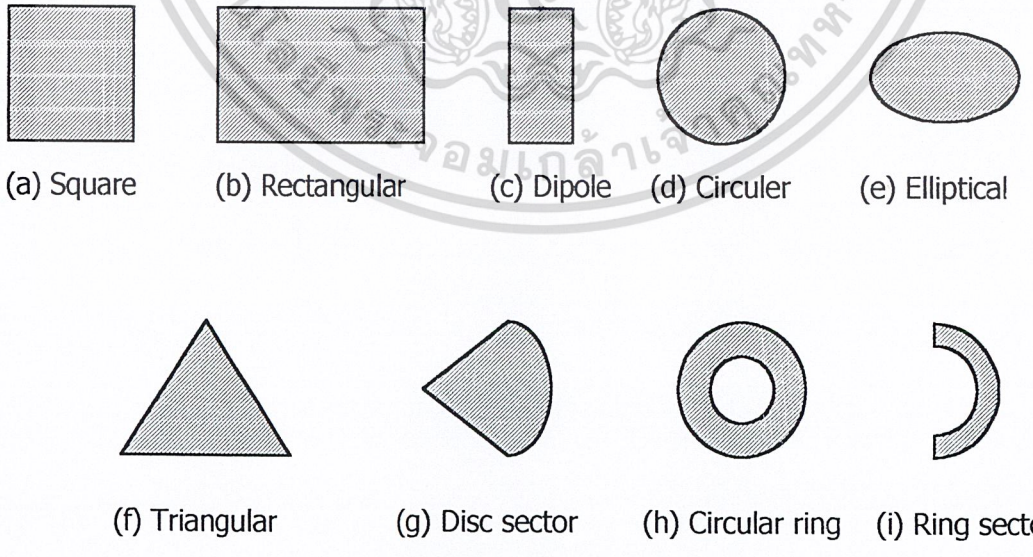
- มีช่วงความถี่ที่ใช้รับและส่งสัญญาณแคบเกินไป (narrow bandwidth)
- มีอัตราการสูญเสีย (loss)
- มีอัตราขยายค่อนข้างต่ำ
- ในทางปฏิบัติอัตราขยายสูงสุดจะถูกจำกัดประมาณ 20 dB
- มีการแพร่กระจายคลื่นต่ำ

2.3.3 รูปร่างลักษณะต่างๆ ของสายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริปจะมีพารามิเตอร์ต่างๆ ทางฟิสิกส์มากกว่าสายอากาศย่านไมโครเวฟทั่วๆ ไปที่เห็นได้ชัดคือ รูปร่างของสายอากาศไมโครสตริปแบบต่างๆ อย่างไรก็ตามสายอากาศไมโครสตริปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะดังนี้

2.3.3.1 สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบแพทซ์ (Microstip Patch Antenna ; MPA)

ประกอบด้วยแผ่นตัวนำบางมีรูปทรงทางเลขาคณิตอยู่บนแผ่นไดอิเลคตริค อีกด้านหนึ่งของไดอิเลคตริคจะเป็นพื้นกราวด์แผ่นตัวนำจะเป็นตัวกำหนดการแพร่กระจายคลื่นซึ่งหาได้จากการคำนวณรูปร่างลักษณะต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.7

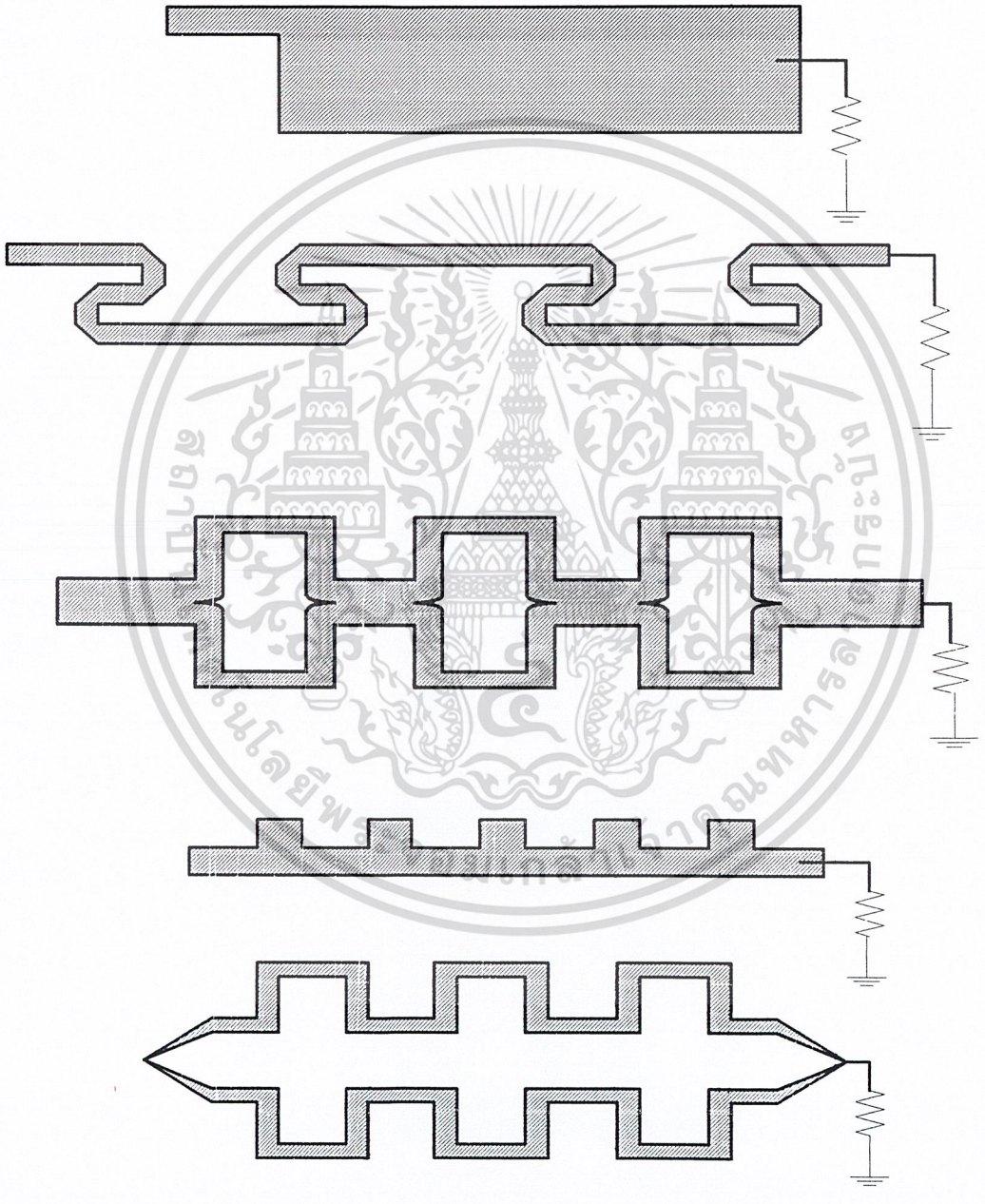


รูปที่ 2.7 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบ Patch (MPA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.2 สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบทราเวอริ่งเวฟ (Traveling–Wave ; MTA)

ประกอบด้วยตัวนำลักษณะเป็นคาบหรือมีความยาวตามเส้น TEM จะต่อกับความต้านทานที่เป็นภาระโดยมีรูปร่างดังรูปที่

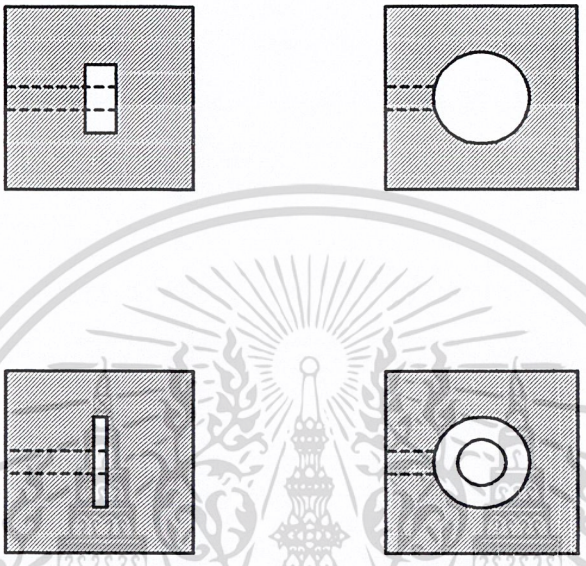


รูปที่ 2.8 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบ Traveling - Wave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.3 สายอากาศแผ่นไมโครสตริปแบบสล๊อต (Slot)

ประกอบด้วยช่องซึ่งต่อกับเส้นไมโครสตริปช่องนี้จะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า (กว้างหรือแคบก็ได้) , วงกลม หรือวงแหวนดังรูปที่



รูปที่ 2.9 ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบ Slot

2.3.4 พารามิเตอร์และสมการของสายอากาศ

2.3.4.1 กำลังงานที่กระจาย (Radiating Power)

หาได้โดยการอินทิเกรตส่วนจริงของ Poynting Vector รอบช่องเปิดที่กระจายคลื่น

$$P_r = \frac{1}{2} \iint_s \left| \overline{E} * \overline{H}^* \right| ds \qquad (2.1)$$

สำหรับสายอากาศไมโครสตริปที่มีสนามไฟฟ้าตั้งฉากและมีสนามแม่เหล็กที่สัมผัสกับแพ็ตช์ และมี $h << \lambda$

$$P_r = V^2{}_o \frac{I_L}{240\pi^2} \qquad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_t = \int_0^{\pi} \sin^2\left[\frac{K_0 W}{2}\cos\theta\right]\tan^2\theta\sin\theta d\theta \tag{2.3}$$

2.3.4.2 กำลังงานที่สูญเสียหาย (Dissipate Power)

จะประกอบไปด้วยการสูญเสียในตัวนำ (Conductor loss , P_c) และการสูญเสียในสารไดอิเลคตริค (Dielectric loss , P_d) P_c หาได้จาก I^2R ซึ่งสัมพันธ์กับการอินทิเกรตรอบพื้นที่ของแพ็ตช์และระนาบสร้างเงา

$$P_c = R_m \iint_s \left(\overline{J_m}, \overline{J^*}\right) ds \tag{2.4}$$

โดยที่ R_m เป็นส่วนจริงของอิมพีแดนซ์ที่ผิว

P_d หาได้จากการอินทิเกรตสนามไฟฟ้าภายในโพรง (cavity) ของสายอากาศไมโครสตริปรอบปริมาตร

$$P_d = \left(\frac{W\varepsilon''}{2}\right)\iiint_v |E|^2 dv \tag{2.5}$$

โดยที่ ε'' เป็นส่วนจินตภาพของสภาพยอม (permittivity)

2.3.4.3 พลังงานที่ถูกเก็บสะสม (Stored Energy)

ในช่วงเวลาเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าและแม่เหล็กที่ถูกเก็บในโพรง จะมีค่าเท่ากันที่ความถี่เรโซแนนซ์ (resonance)

$$W_t = W_s + W = \iiint_v \left(\varepsilon\overline{E}^2 + \mu\overline{H}^2\right) dv \tag{2.6}$$

ซึ่งมีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W_t = \left(\frac{1}{2}\right)\varepsilon h \iint_s \bar{E}^2 \, ds \tag{2.7}$$

2.3.4.4 อิมพีแดนซ์ด้านเข้าและแอดมิตแตนซ์ด้านเข้า

(Input Impedance and Input Admittance)

สายอากาศทุกชนิดจำเป็นต้องทำให้แมตช์ (Match) กับสายป้อนสัญญาณ จึงต้องคำนวณหาอิมพีแดนซ์ด้านเข้า สายอากาศไมโครสตริปสามารถป้อนสัญญาณโดยใช้สายโคแอคเชียลหรือใช้สายไมโครสตริป สำหรับการป้อนสัญญาณแบบสายโคแอคเชียล (coaxial) สามารถคำนวณหากำลังงานขาเข้าได้จาก

$$P_{in}^{c} = -\iiint_v \bar{E}.\bar{J}_s^{*} dV \tag{2.8}$$

โดยที่ c ใช้กำกับเพื่อแสดงให้รู้ว่าเป็นการป้อนสัญญาณโดยสายโคแอคเชียล

เมื่อสายอากาศไมโครสตริปมีขนาดบางมากๆ และกระแสในสายโคแอคเชียล อยู่ในทิศทาง Z สมการ (2.8) จะเป็น

$$P_{in}^{c} = -\int_0^h \bar{E}(x_0, y_0) I^{*}(Z') dZ' \tag{2.9}$$

โดยที่ (x_o, y_0) เป็นตำแหน่งป้อนสัญญาณ

ดังนั้นที่อิมพีแดนซ์ด้านเข้าสามารถหาได้จากความสัมพันธ์

$$P_{in}^{c} = \frac{|I_{in}|^2}{Z_{in}}$$

$$Z_{in} = \left(\frac{P_{in}^{c}}{I_{in}^2}\right) = \frac{V_{in}}{I_{in}} \tag{2.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

$$= h\bar{E}(x_0, y_0) I_{in} \tag{2.11}$$

ส่วนสายอากาศไมโครสตริปที่ใช้สายส่งสัญญาณไมโครสตริปเป็นตัวป้อนสัญญาณกำลังงานขาเข้าจะเป็น

$$P_{in}^{m} = \iiint_{v} \overline{H^{*}} I_m dV \tag{2.12}$$

โดยที่ I_m เป็นความหนาแน่นกระแสแม่เหล็ก

mใช้กำกับเพื่อแสดงให้รู้ว่าเป็นการป้อนสัญญาณไมโครสตริป

ดังนั้นอิมพีแดนซ์ด้านเข้าจะเป็น

$$Y_{in} = \left(\frac{1}{V_{in}}\right)^{w'} \int_0 \overline{H}(x_L, y_L)^2 Y(l) dl \tag{2.13}$$

โดยที่ W' เป็นความกว้างของตัวนำไมโครสตริป

V(I) เป็นแรงดันระหว่างแพตช์กับระนาบสร้างเงา

สำหรับไมโครสตริปที่มีขนาดแคบ V(I) มีค่าใกล้เคียงกับ Vin ถ้า h มีค่าน้อยๆ กระแสที่เข้าสายอากาศจะมีค่า

$$I_{in} = W\bar{H}(x_L, y_L)$$

ดังนั้นจะได้

$$Y_{in} = \left(\frac{I_{in}}{V_{in}}\right)^{*} \tag{2.14}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

46428

และสำหรับความต้านทานการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Resistance) สามารถหาค่าได้จาก (2.15) และ (2.18)

$$R_r = \frac{V_0^2}{2P_r} = \frac{120\pi^2}{I_L} \tag{2.15}$$

ที่ $$W \ll \lambda_0, R_r \cong \frac{90R^2}{W^2} \tag{2.16}$$

$$W \gg \lambda_0, R_r \cong \frac{120R^2}{W^2} \tag{2.17}$$

ในกรณีหลังความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นต่อหน่วยความยาวของแต่ละช่องเปิดมีค่าเป็น

$$R_r = 120\lambda_0 \Omega \tag{2.18}$$

เพื่อที่จะทำให้ง่ายขึ้นสำหรับสายอากาศที่มีความหนาน้อยๆ การคำนวณสามารถประมาณได้ดังนี้คือ

$$R_r = 120\lambda_0 \left[\frac{1-(kh)^2}{24} \right] \tag{2.19}$$

โดยมี Normalized Line Extension

$$\Delta l = 0.412h \left[\frac{(\varepsilon_0 + 0.3)(\frac{W}{h} + 0.264)}{(\varepsilon_0 + 0.25)(\frac{W}{h} + 0.8)} \right] \tag{2.20}$$

และค่าคงตัวไดอิเลคตริคประสิทธิผล (Effective Dielectric constant)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\varepsilon_0 = \frac{(\varepsilon_r + 1)}{2} + \frac{(\varepsilon_r - 1)}{2}\sqrt{1 + \frac{12h}{W}} \tag{2.21}$$

ค่าซัสเซปแตนซ์(Susceptance) ของแต่ละช่องเปิดซึ่งแทนด้วยค่าความจุ (Capacitance) มีค่าเป็น

$$C = \frac{\Delta l\sqrt{\varepsilon_0}}{cZ_0} \tag{2.22}$$

โดยที่ค่า c เป็นความเร็วแสง

Zo เป็นอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Characteristic Impedance) ของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป

แอดมิตแตนซ์ด้านเข้าของส่วนแพร่กระจายคลื่นเป็น

$$Y_{in} = G + jB + \left[\frac{Y_0\{G + j(B + Y_0 \tan \mu l)\}}{\{Y_0 + j(G + jB)\tan \beta l\}}\right] \tag{2.23}$$

โดยที่ $G = \frac{1}{R_r}$

$$B = \frac{k\Delta l\sqrt{\varepsilon_0}}{Z_0}$$

β เป็นค่าคงที่การแพร่กระจายคลื่น (Propagation Constant)

$$\beta = \frac{2\pi\sqrt{\varepsilon_0}}{\lambda}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศไมโครสตริปสามารถแทนได้ด้วยค่าแอดมิตแตนซ์ 2 ค่า ที่ต่อกันด้วยสายส่งที่ความถี่เรโซแนนซ์ส่วนจิตภาพของอิมพีแดนซ์ด้านเข้าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นความถี่เรโซแนนซ์ของส่วนแพร่กระจายคลื่นสามารถหาได้จาก

$$\tan(\beta l)=\frac{2Y_0B}{B^2+G^2-Y^2} \tag{2.24}$$

ส่วนแอดมิตแตนซ์ด้านเข้าที่ตำแหน่งป้อนใดๆมีค่าเป็น

$$Y_{in}(Z)=\frac{2G}{\left[\cos^2(\beta z)+\frac{(G^2+B^2)\sin^2(\beta z)}{Y_0^2}-\frac{B\sin(2\beta z)}{Y_0}\right]} \tag{2.25}$$

โดยที่ z เป็นระยะจากขอบของแพทซ์ไปยังตำแหน่งป้อนที่ $\frac{G}{Y_0}\ll 1$ และ $\frac{B}{Y_0}\ll 1$

$$Y_{in}(Z)=\frac{2G}{\cos^2(\beta l)} \tag{2.26}$$

ซึ่งสามารถหาค่าได้ทุกๆ ที่ยกเว้นที่ $\beta z=\frac{\pi}{2}$

2.3.4.5 สภาพเจาะจงทิศทาง และอัตราขยาย (Directivity and Gain)

เมื่อสภาพเจาะจงทิศทาง คือ อัตราส่วนของความหนาแน่นของพลังงานสูงสุดในลำหลักต่อความหนาแน่นพลังงานเฉลี่ยของสภาพเจาะจงทิศทางของช่องเปิดแสดงโดย

$$D=\frac{\frac{1}{2}\mathrm{Re}(\overline{E_\theta}\,\overline{H_\phi^{\cdot}}-\overline{E_\phi}\,\overline{H_\theta^{*}})\Big|_{\theta=\frac{\pi}{2}}}{\frac{P_r^2}{4\pi r^2}}=\frac{4W^2\pi^2}{I_L\lambda_0^2} \tag{2.27}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย l_L แสดงด้วยสมการ (2.3)

และในกรณีช่องสายอากาศไมโครสตริปที่ประกอบด้วย 2 ช่องเปิดอยู่ห่างกัน I สภาพเจาะจงทิศทางใน E – Plane จะเป็น

$$W \ll \lambda_0, D_w \cong 6.6 \tag{2.28}$$

$$W \ll \lambda_0, D_w \cong \frac{8W}{\lambda_0} \tag{2.29}$$

2.3.4.6 อัตราขยายประสิทธิผล (Effective Gain)

$$G_m = \eta D_w \tag{2.30}$$

โดยที่ η คือ ประสิทธิภาพของสายอากาศ

2.3.4.7 ตัวประกอบคุณภาพและการสูญเสีย (Quality Factor and Loss)

ตัวประกอบคุณภาพ (Q_F) ของสายอากาศมีความสัมพันธ์กับความต้านทานการกระจายคลื่นซึ่งจะสามารถหาได้จาก

$$Q_f = \frac{2\pi f_r W_t}{P_r} \tag{2.31}$$

$$W_t = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r E_x^2 hLW}{4} \tag{2.32}$$

$$Q_f = \frac{C\sqrt{\varepsilon_m}}{4 f_r h} \tag{2.33}$$

ความต้านทานสมมูลสำหรับการสูญเสียในตัวนำ (R_c) และในไดอิเลคตริค (R_d) จะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_c = \frac{0.00027 Q_f^2 \sqrt{f_r}}{W} \tag{2.34}$$

$$R_d = 30 \tan\sigma h Q_f^2 / W \varepsilon_r \tag{2.35}$$

โดยที่ tanσ เป็นแทนเจนต์การสูญเสีย (Loss Tangent)

f_r มีหน่วยเป็น GHz

Quality Factor รวม (Qt) มีค่าเป็น

$$Q_t = \frac{2 Q_f R_c}{R_r} \tag{2.36}$$

2.3.4.8 แบนด์วิดท์ (Bandwidth)

โดยปกติจะคิดแบนด์วิดท์ที่ค่า VSWR < 2 สามารถคำนวณได้จากสมาการ

$$BW = \frac{1}{Q_t \sqrt{2}} \tag{2.37}$$

จะเห็นว่าการเพิ่มแบนด์วิดท์สามารถทำได้โดยการเพิ่มความหนาของวัสดุฐานรองวิธีนี้มีข้อเสียหลายอย่างจึงไม่นิยมใช้

2.3.4.9 ความกว้างลำ (Beamwidth)

ความกว้างลำจะคิดระหว่างมุมที่พลังงานที่รับได้ลดลงครึ่งหนึ่ง (Half Power Beamwidth) หรือที่ค่าของสนามลดลงครึ่งหนึ่งของค่ามากที่สุดที่รับได้จะประเมินค่าได้จาก

$$\phi_{BH} = 2\cos^{-1}\left|\frac{1}{2+kW}\right|^{\frac{1}{2}} \tag{2.38}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\phi_{BE} = 2\cos^{-1}\left|\frac{7.03}{3k^2l^2 + k^2h^2}\right|^{\frac{1}{2}} \tag{2.39}$$

โดยที่ ϕ_{BH} และ ϕ_{BE} เป็นความกว้างลำที่พลังงานลดลงครึ่งหนึ่งในระนาบ H(H – Plane)และระนาบ E(E – Plane) ตามลำดับ จากสมการจะเห็นว่าความกว้างลำของสายอากาศไมโครสตริปแบบองค์ประกอบเดี่ยวจะแปรผกผันกับขนาดของสายอากาศ

2.3.4.10 ค่าประสิทธิภาพของสายอากาศ

ค่าประสิทธิภาพของสายอากาศคือค่าอัตราส่วนของกำลังคลื่นที่แพร่กระจายต่อกำลังด้านเข้าซึ่งอาจแสดงในสมการของความต้านทานสมมูลย์ได้คือ

$$\eta\% = \frac{R_r}{R_T} \times 100 \tag{2.40}$$

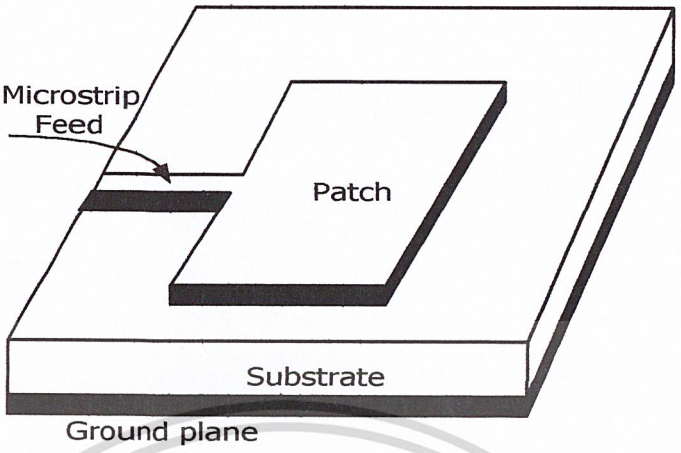
2.3.5 การป้อนสัญญาณสายอากาศไมโครสตริป

ในการป้อนสัญญาณจะต้องป้อนให้เกิดความสมดุลย์เสมอระหว่างสายป้อนสัญญาณกับตัวสายอากาศเพราะอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศกับสายป้อนสัญญาณจะต้องมีค่าเท่ากันประมาณ 50โอห์ม ซึ่งจะเกิดการสมดุลย์ (Matching) ได้นั้นจะต้องเลือกตำแหน่งของสายป้อนสัญญาณ (Feed Line) ด้วย การป้อนสัญญาณสายอากาศไมโครสตริปมีดังนี้

2.3.5.1 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป (Microstrip Feed)

วิธีที่ง่ายที่สุดที่จะป้อนสัญญาณให้กับแถบโลหะของไมโครสตริปทำได้โดยรวมสายป้อนสัญญาณแบบไมโครสตริปและแถบโลหะไมโครสตริปเข้าด้วยกันบนวัสดุฐานรองเดียวกัน ตามรูป อย่างไรก็ตามโครงสร้างนี้จะไม่ให้ผลดีกับทั้งสายอากาศหรือทั้งสายส่งเพราะสิ่งที่จำเป็นต่างๆ เฉพาะอย่างของทั้งคู่นั้นต่างกันตามความหมายนี้บางอย่างต้องยอมๆ กันระหว่างการรวมกันของทั้งสอง ซึ่งสายป้อนสัญญาณจะไม่แพร่กระจายมากที่ความไม่สม่ำเสมอต่างๆ การแพร่กระจายที่ไม่แท้เพิ่มที่ระดับพูข้าง (Side – lobe) และการโพลาไรเซชัน (Polarization) ตามขวางซึ่งจะลดคุณสมบัติของสายอากาศลง กล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่าสามารถพิจารณาผลกระทบของกำลังงานที่สะสมภายใต้แถบโลหะ (ผลกระทบแบบโพง)

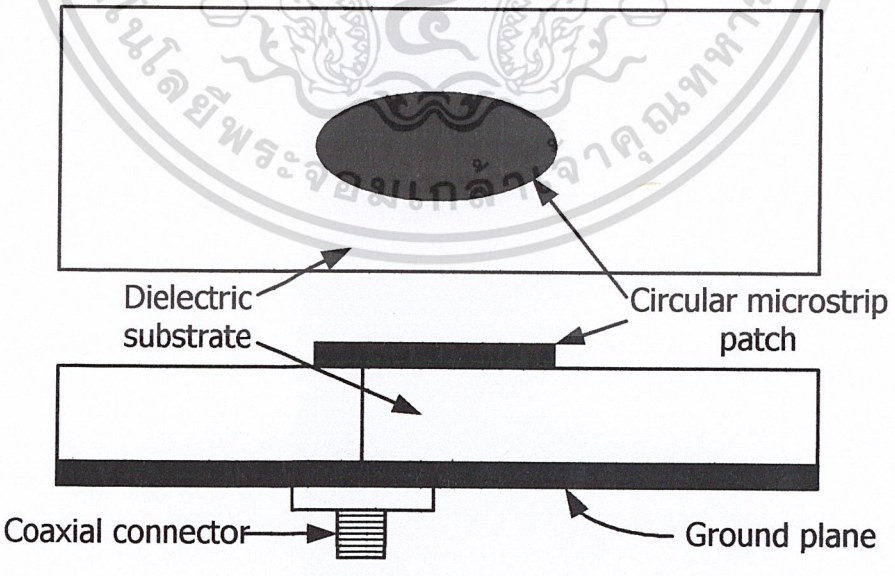
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งไมโครสตริป

2.3.5.2 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งโคแอคเชียล (Coaxial Feed)

การพัฒนาทางทฤษฎีต่างๆที่จำเป็นต่อการป้อนสัญญาณโดยใช้สายโคแอคเชียลกระทำกันอย่างใกล้ชิดโดยจะถูกวางให้ตั้งฉากกับแถบโลหะที่เป็นส่วนของสายอากาศ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติการป้อนสัญญาณด้วยวิธีนี้เป็นการยากที่จะทำได้จริงเพราะจะต้องมีการเจาะช่องและถูกเชื่อมกับแถบโลหะซึ่งต้องการการทำงานที่มีความระมัดระวัง

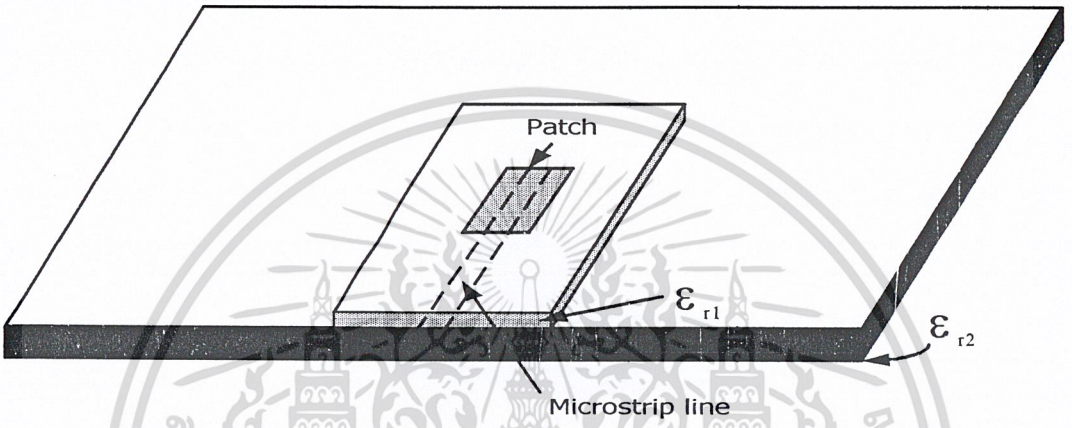


รูปที่ 2.11 การป้อนสัญญาณแบบสายส่งโคแอคเชียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5.3 การป้อนสัญญาณแบบฝัง (Buried)

วิธีการป้อนสัญญาณแบบนี้จะไม่เชื่อมต่อโดยตรงระหว่างสายอากาศและส่วนป้อนสัญญาณซึ่งทำได้โดยการวางแถบโลหะและส่วนที่ป้อนสัญญาณที่ระดับต่างกันการแพร่กระจายจากการป้อนสัญญาณสามารถลดทอนโดยการใช้วัสดุฐานรอง 2 ตัวที่วางอยู่ต่างระดับกันและมีค่า εr ที่ต่างกัน



รูปที่ 2.12 การป้อนสัญญาณแบบฝังให้กับสายอากาศ

2.4 การแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า(Frequency to Voltage Converter)

วงจรนี้จะทำหน้าที่แปลงความถี่จากดอปเปลอร์เรดาร์ (Doppler radar) โดยผ่านวงจร LNA (Low noise Amp) และวงจร AGC (Automatic Gain Control) ให้กลายเป็นแรงดันกระแสตรง ในโครงงานนี้ได้เลือกใช้ไอซีเบอร์ LM 2907

2.4.1 ข้อได้เปรียบของ IC กลุ่ม LM 2907

1) ค่าเอาท์พุทสามารถมีการเปลี่ยนแปลงได้ถึงศูนย์ สำหรับที่ความถี่อินพุทที่เขามาเป็นศูนย์
2) ใช้งานง่ายโดยค่าเอาท์พุทหาได้จากสมการ

$$V_{out} = F_{in} \times V_{cc} \times R_1 \times C_1 \qquad (2.41)$$

3) สำหรับไอซีเบอร์ LM 2907 ภายในชิพจะมีซีเนอร์ไดโอด ซึ่งเป็นตัวทำให้การแปลงความถี่เป็นแรงดัน หรือกระแสเป็นได้อย่างถูกต้องแน่นอน และมีเสถียรภาพ

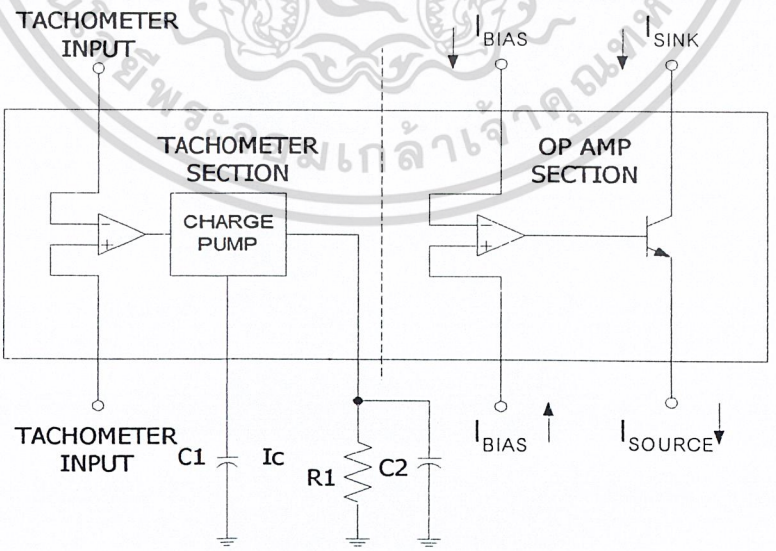
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากลุ่มไอซีเบอร์ LM 2907 จะใช้งานในการเปลี่ยนจากความถี่เป็นแรงดันแล้วไอซีกลุ่มนี้ยังใช้งานด้านอื่นได้อีกเช่น

- Over/Under Speed Sensing
- Speedometers
- Breaker point dwell meters
- Speed governors
- Hand-held tachometer
- Cruise control
- Automotive door lock control
- Clutch control
- Horn Control
- Touch or sound switches

2.4.2 ลักษณะทั่วไปของกลุ่มไอซีเบอร์ LM 2907

ไอซีเบอร์ LM 2907 นั้นจะออกแบบมาให้ใช้กับอุปกรณ์ภายนอกให้น้อยที่สุดแต่จะให้เกิดการใช้งานที่มีประสิทธิภาพและความแน่นอนที่น่าพอใจ ซึ่งเป็นลักษณะที่ได้เปรียบของไอซีกลุ่มนี้ ไอซีกลุ่มนี้จะมีส่วนประกอบของวงจรภายในซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆดังรูป



รูปที่ 2.13 วงภายในของไอซีเบอร์ LM 2907

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.1 ส่วนที่ 1 ส่วนอินพุทสเตท

ส่วนอินพุทสเตท มีขาอินพุท 2 ขาทำหน้าที่รับสัญญาณความถี่จากภายนอกเข้ามา โดยปกติจะมีอินพุทที่เป็นกราวอยู่ภายในอันหนึ่ง ดังดั้นสัญญาณอินพุทที่เข้ามาอีกขาหนึ่งนั้น จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงสูงกว่า หรือต่ำกว่ากราวน์ และจะต้องเกินค่าอินพุทซัพพลายที่จะให้เกิดเอาท์พุทออกมาซึ่งช่วงนี้เราถือว่าเป็นช่วงอินพุทสเตท ไอซีทั้ง 2 เบอร์นี้สามารถที่จะเลือกค่าระดับอินพุทสวิทชิ่งตามต้องการ โดยยังคงทำให้มีฮิสเตอรีสิส(Hyteresis) สำหรับในการกำจัดสัญญาณรบกวน ในการทำงานที่แตกต่างกัน สิ่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คืออินพุทกรณีที่มีค่าต่ำกว่ากราวด์จะต้องมีตัวต้านทานที่จะมาลิมิตกระแสที่จะไหลกลับเข้าไปในอีพิซับสเตทไดโอด(epi-substrate Diode)

2.4.2.2 ส่วนที่ 2 ส่วนชาร์จปั๊ม(Charge Pump)

ส่วนชาร์จปั๊ม(Charge Pump) อยู่หลังจากช่วงอินพุทที่ออกจาช่วงอินพุทสเตทจะมาเข้าที่ชาร์จปั๊ม ซึ่งเป็นที่ที่ความถี่เข้ามาจะถูกเปลี่ยนเป็นดีซีโวลท์เตจในช่วงนี้จะต้องมีการต่อกับอุปกรณ์ภายนอก อันได้แก่ไทม์มิ่งคาปาซิเตอร์(timig capacitor, C1) โหลดรีซิสเตอร์(load resister, R1) และฟิลเตอร์คาปาซิเตอร์(filter capacitor, C2) เมื่อค่าอินพุทสเตทเปลี่ยนระดับไทมิ่งคาปาซิเตอร์จะทำหน้าที่ ชดเชยผลของชาร์จปั๊มโดยทำการชาร์จและดิสชาร์จอย่างคงที่ระหว่างค่าระดับโวลท์เตจที่เปลี่ยนแปลง ค่าความแตกต่างของมันคือค่า $V_{cc}/2$ เมื่อเราใช้ครึ่งไซเคิลของความถี่อินพุทที่เข้ามาหรือเป็นเวลาเท่ากับ $1/(2F_{IN})$ ประจุที่เข้าไปในไทม์มิ่งคาปาซิเตอร์ เท่ากับ $(V_{cc}/2)*C1$ ดังนั้นเราได้ค่าเฉลี่ยของกระแสจากการชาร์จปั๊มที่จะเข้า หรือออกจา C1 หรือ I_c คือ

$$\frac{\Delta Q}{T} = i_c(AVG) = C1 \times \frac{V_{cc}}{2} \times (2f_{IN}) = V_{cc} \times f_{IN} \times C1 \qquad (2.42)$$

ค่ากระแสที่ออกมาจะค่อนข้างคงที่ และจะไหลไปที่โหลดรีซิสเตอร์(ซึ่งต่อลงกราวด์)เกิดโวลท์เตจตกคร่อมขึ้น ซึ่งนำออกมาใช้เป็นเอาพุทหรือ $V_o = I_c * R1$ ดังนั้นสมการที่แสดงการเปลี่ยนความถี่เป็นโวลท์เตจคือ

$$V_o = V_{cc} \times f_{IN} \times C1 \times R1 \times K \qquad (2.43)$$

เมื่อ K คือค่าคงที่ของอัตราขยายโดยทั่วไปจะใช้เท่ากับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับฟิลเตอร์คาปาซิเตอร์นั้น ขนาดจะมีค่าขึ้นอยู่กับค่าแรงดันริปเปิล (Ripple voltage) ที่เราจะยอมให้เกิดขึ้นในช่วงเวลาการตอบสนอง

2.4.2.3 ส่วนที่ 3 ส่วนขยายสัญญาณ

ส่วนขยายสัญญาณ จะดึงสัญญาณออกจากชาร์จปั๊มมาขยายสูงขึ้น

2.4.3 การเลือกค่า R1 และ C1

มีข้อจำกัดในการเลือกค่า R1 และ C1 ซึ่งต้องพิจารณาลักษณะที่เหมาะสมโดยตัว C1 (timig capacitor) จะเป็นตัวชดเชยภายในชาร์จปั๊ม ซึ่งต้องมีค่ามากกว่า 100 pF เพื่อความเที่ยงตรงในการทำงานและค่า R1 ไม่ควรจะใหญ่เกินไปเพราะถ้าคามากเกินไปแล้วทำให้โวล์เตจที่เกิดถูกดรอปไปทำให้ค่าเป็นเชิงเส้นลดลง

สำหรับขนาดแรงดันริปเปิลจะต้องมีการพิจารณาซึ่งค่าแรงดันริปเปิลจะหาได้จากสมการ

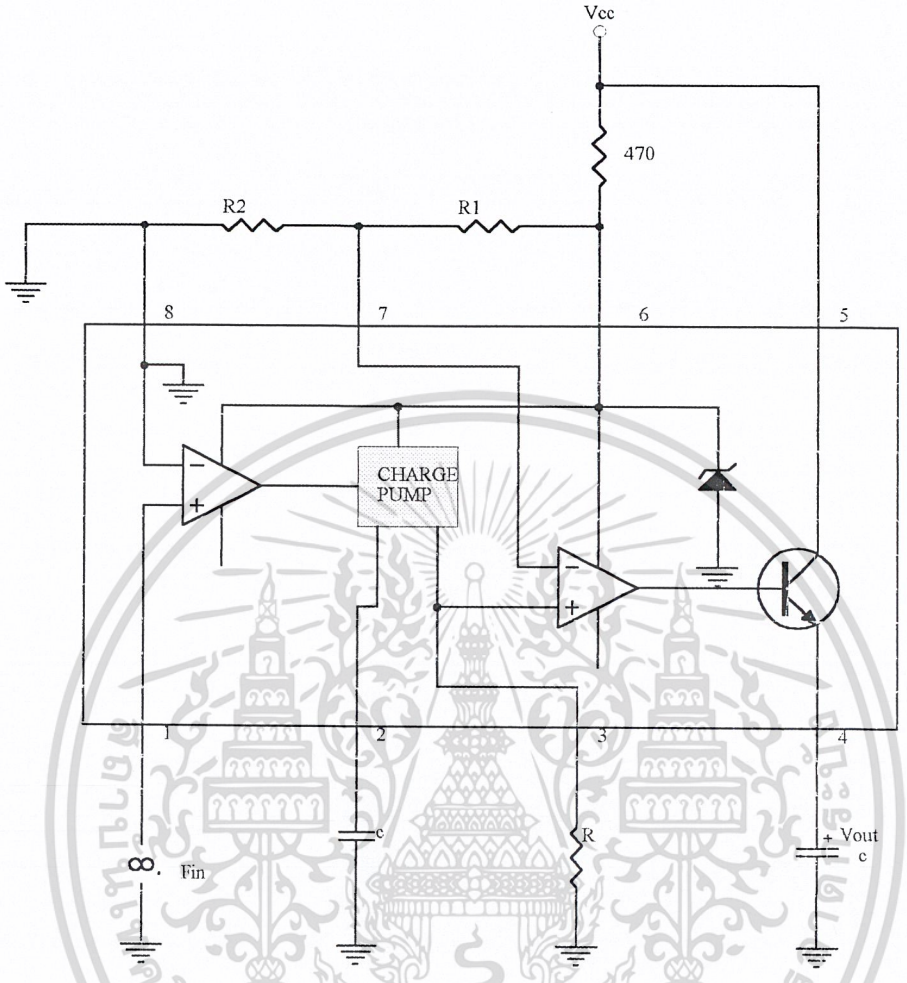
$$V_{RIPPLE} = \frac{V_{cc}}{2} \times \frac{C1}{C2} \times \left(1 - \frac{V_{cc} \times f_{IN} \times C1}{I_2} \right)_{pk-pk} \tag{2.44}$$

ข้อสุดทายที่เราจะต้องพิจารณาถึง ก็คือ ค่าความถี่อินพุทสูงสุดที่รับเข้ามาจะพิจารณาได้จาก

$$f_{MAX} = \frac{I_2}{C1 \times V_{cc}} \tag{2.45}$$

สำหรับวงจรที่นำมาใช้งานจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 วงจรที่เลือกใช้

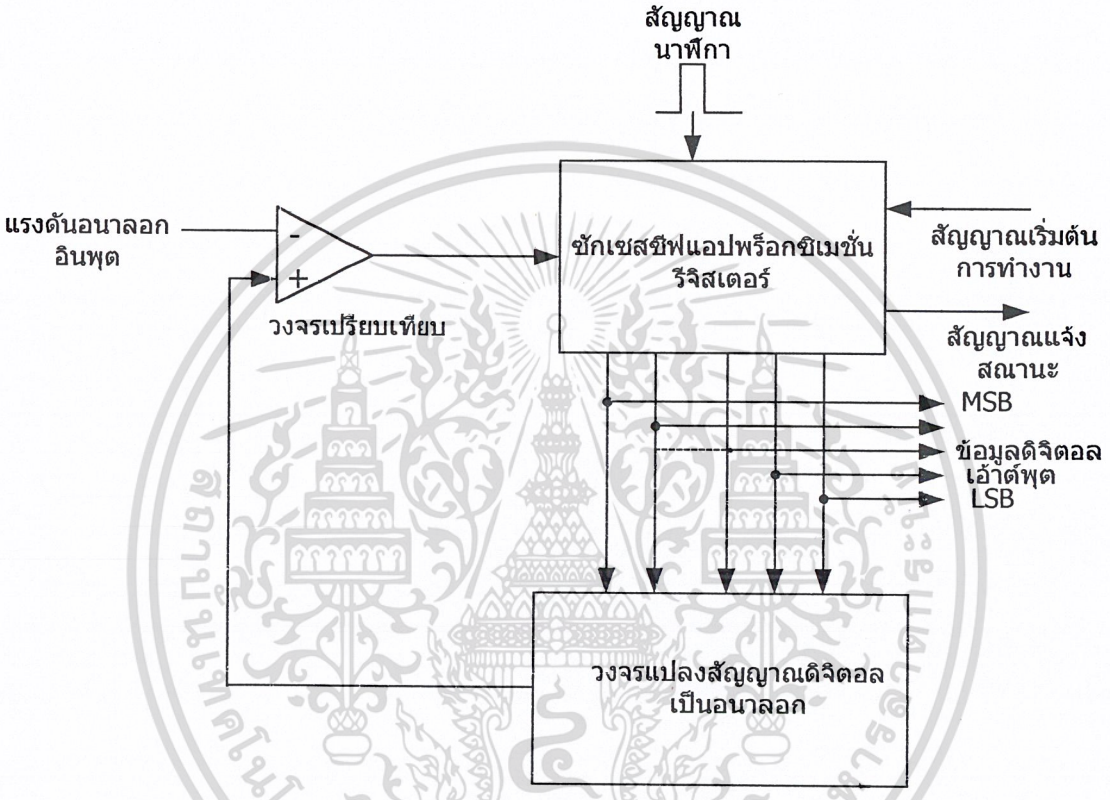
2.5 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น (Successive Approximation ADC)

การแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล(ADC) ที่ได้รับนิยมสูงและมีประสิทธิภาพดี คือ การแปลงแบบซักเซสซีฟแอพร็อกซิเมชั่น ไอซี ADC ที่เลือกมาทำการทดลองนี้ก็ใช้วงจร ADC แบบเดียวกันนี้ จึงต้องทำความเข้าใจพื้นฐานการทำงานของวงจร ADC แบบนี้ก่อน

ถ้าจะแปลเป็นไทยอาจเรียกกระบวนการ ADC แบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่นนี้ว่า เป็นการแปลงแบบประมาณค่าใกล้เคียง ไดอะแกรมการทำงานแสดงในรูปที่ 2.15 ส่วนสำคัญหลักคือ วงจรเปรียบเทียบแรงดัน วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอกหรือ DAC, สัญญาณนาฬิกา และส่วนควบคุมลอจิก วงจร ADC แบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชันนี้ จะใช้รีจิสเตอร์เลขฐานสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือไบนารีรีจิสเตอร์ในการส่งข้อมูลดิจิตอลของวงจร ADC ภายใน แต่ละบิตของรีจิสเตอร์จะเซต และรีเซตโดยการควบคุมจากวงจรควบคุม "พร้อมทำงาน" อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจะต้องใช้จำนวนสัญญาณนาฬิกาเท่ากับ พัลส์ โดย n เท่ากับจำนวนบิตของรีจิสเตอร์



รูปที่ 2.15 ไดอะแกรมการทำงานของวงจร ADC แบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น

2.5.1 ความเที่ยงตรงของวงจร ADC

เป็นการเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอกของวงจร ADC กับแรงดันที่ควรจะเกิดขึ้นจริง ยกตัวอย่างที่ข้อมูลดิจิตอลของวงจรสูงสุดของวงจร ADC ขนาด 12 บิตเมื่อเทียบเป็นแรงดันอะนาลอกควรมีค่าเท่ากับ 5.0000 V แต่จากการคำนวณในตัวอย่างก่อนหน้านี้ได้ค่าแรงดัน นั่นคือเกิดความผิดพลาดไปหรือแต่จะบอกค่าความเที่ยงตรงของวงจร ADC มักระบุเป็นจำนวนที่เทียบกับ VLSB ดังนั้นวงจร ADC ขนาด 12 บิต ที่ยกเป็นตัวอย่างนี้ จะมีค่าความเที่ยงตรง (หรือบางทีเรียกเป็นค่าความผิดพลาด) เป็น $\pm$ 1/2LSB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ค่าเวลาในการแปลงสัญญาณ (Conversion time)

เป็นค่าของเวลาทั้งหมดที่วงจร ADC แบบวงจรนับ แรม และแบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น ใช้ในการแปลงสัญญาณอะนาลอเป็นดิจิตอลจนเสร็จสิ้น พารามิเตอร์ตัวนี้จะปรากฏในคุณสมบัติของไอซี ที่ทำงานเป็นวงจร ADC เมื่อไอซีแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นลงจะส่งสัญญาณที่เรียกว่า EOC (End of conversion) ออกมา

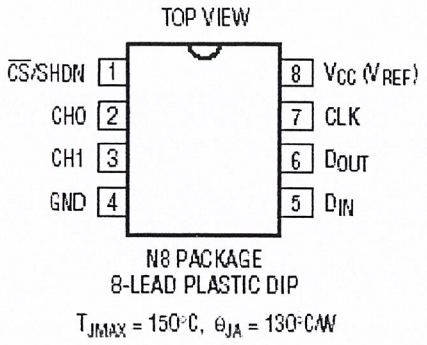
ค่าเวลาในการแปลงสัญญาณวงจร ADC จะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตของวงจร, ค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณและขนาดของสัญญาณอะนาลอกอินพุต

2.5.3 ข้อมูลเบื้องต้นของ LTC 1298

ในการทดลองนี้จะใช้ไอซี ADC เบอร์LTC12 เนื่องจากในตัวมีวงจร ADC แบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น ขนาด 12 บิต 2 ช่องด้วยระบบการเชื่อมต่อเป็นแบบ 3 เส้น ทำให้สายสัญญาณเพียงสามเส้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง มีรายละเอียดคุณสมบัติทางเทคนิคดังนี้

- ทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว
- ทำงานที่แรงดัน 0V ถึง 5V
- กินกระแสขณะอยู่ในสภาวะสแตนบายด์ต่ำ 250 ไมโครแอมป์
- ติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านระบบบัส 3 สาย (Three wire)
- อัตราการสุ่มข้อมูล (Sampling) 11.1 Kbps
- วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ADC สามารถรับสัญญาณอนาลอกได้ 2 ช่อง ทั้งยังเลือกได้ว่าให้ทำงานแบบแยกช่องหรือทำงานเป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชียล
- สัญญาณอนาลอกมีระดับแรงดันตั้งแต่ 0 ไปจนถึง V_{DD}
- วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลเป็นแบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่นขนาด 12 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

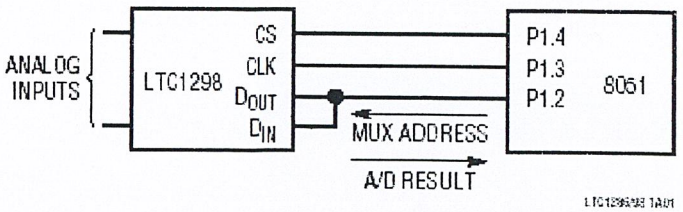


รูปที่ 2.16 การจัดขาของไอซี ADC ขนาด 12 บิต เบอร์ LTC1298

LTC1298 สามารถทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 12 บิต 2 ช่อง ด้วยการควบคุมผ่านระบบบัส 3 เส้น(Three bus) การจัดขาของ LTC 1298 แสดงในรูปที่ 3 ส่วนรายละเอียดขาต่าง ๆ มีดังนี้

- ขา CH0 (ขา 2) เป็นขาอินพุตสำหรับป้อนสัญญาณอนาลอกที่ต้องการแปลงค่าช่องที่ 1
- ขา CH1 (ขา 3) เป็นขาอินพุตสำหรับป้อนสัญญาณอนาลอกที่ต้องการแปลงค่าช่องที่ 2
- ขา Vss (ขา 4) เป็นขาต่อกราวด์
- ขา CLK (ขา 7) เป็นขาสำหรับต่อกับสัญญาณนาฬิกา
- ขา DIN (ขา 5)เป็นขาอินพุตของวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก
- ขา DOUT (ขา 6) เป็นขาเอาต์พุตของวงจร แปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก
- ขา V_{DD} (ขา 8) เป็นขาต่อไฟเลี้ยงจ่ายได้ตั้งแต่ +2 ถึง +6V ปกติใช้ +5V

การเชื่อมต่อ LTC1298 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แสดงดังรูป 2.17



รูปที่ 2.17 การเชื่อมต่อ LTC1298 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 สถาปัตยกรรมของ AT89S8252

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89S8252 เป็นส่วนที่ใช้ประมวลผลที่รับคำสั่งมาจากชุดสวิตช์ เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้สามารถประยุกต์ใช้งานได้ง่าย และครอบคลุมการใช้งานได้ อย่างกว้างขวาง ซึ่งภายในประกอบด้วย หน่วยประมวลผล หน่วยความจำ พอร์ตอินพุและเอาท์พุต โดยใช้อุปกรณ์ภายนอกร่วมน้อยมาก ทำให้ประหยัดและสะดวกในการใช้งาน โดยโครงงานนี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89S8252

2.6.1 ทฤษฎีไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ในการออกแบบการควบคุมนั้น เราใช้ IC ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในตระกูล MCS-51 เป็นหัวใจในการควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้สามารถประยุกต์ใช้งานได้ง่ายและครอบคลุมการนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ซึ่งภายในประกอบด้วย หน่วยการทำงานหลักของระบบคอมพิวเตอร์อย่างครบถ้วน เช่นหน่วยประมวลผล CPU หน่วยความจำ พอร์ตอินพุต และพอร์ตเอาท์พุต โดยใช้อุปกรณ์ภายนอกมาต่อร่วมน้อยมาก ทำให้ประหยัดและสะดวกในการใช้งานโดยที่ชุดควบคุมนี้ใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89S8252 ของบริษัท ATMEL

2.6.2 คุณสมบัติไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89S8252

- มีโครงสร้างและชุดคำสั่งเหมือนกันกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51
- มีหน่วยความจำโปรแกรมชนิด Flash Memory ขนาด 8 Kbytes สามารถโปรแกรมซ้ำได้มากกว่าพันครั้ง
- สามารถต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ถึง 64 Kbytes
- มีหน่วยความจำแบบแรม (RAM) 8 บิต ขนาด 256 Byte (Internal RAM)
- ทำงานที่แรงดัน 2.7 – 6 โวลท์
- รันความเร็วที่สัญญาณนาฬิกา 0 – 24 MHz
- มีพอร์ต I/O 4 พอร์ต (P0-P4)
- มีพอร์ตสื่อสารจ่ายอนุกรม 1 แชลแนล (UART)
- มีวงจรไทม์เมอร์และวงจรเคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต 3 ชุด เลือกการทำงานได้ 4 โหมด
- มีสัญญาณอินเตอร์รัปต์ 6 แหล่ง แบ่งลำดับความสำคัญได้ 2 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

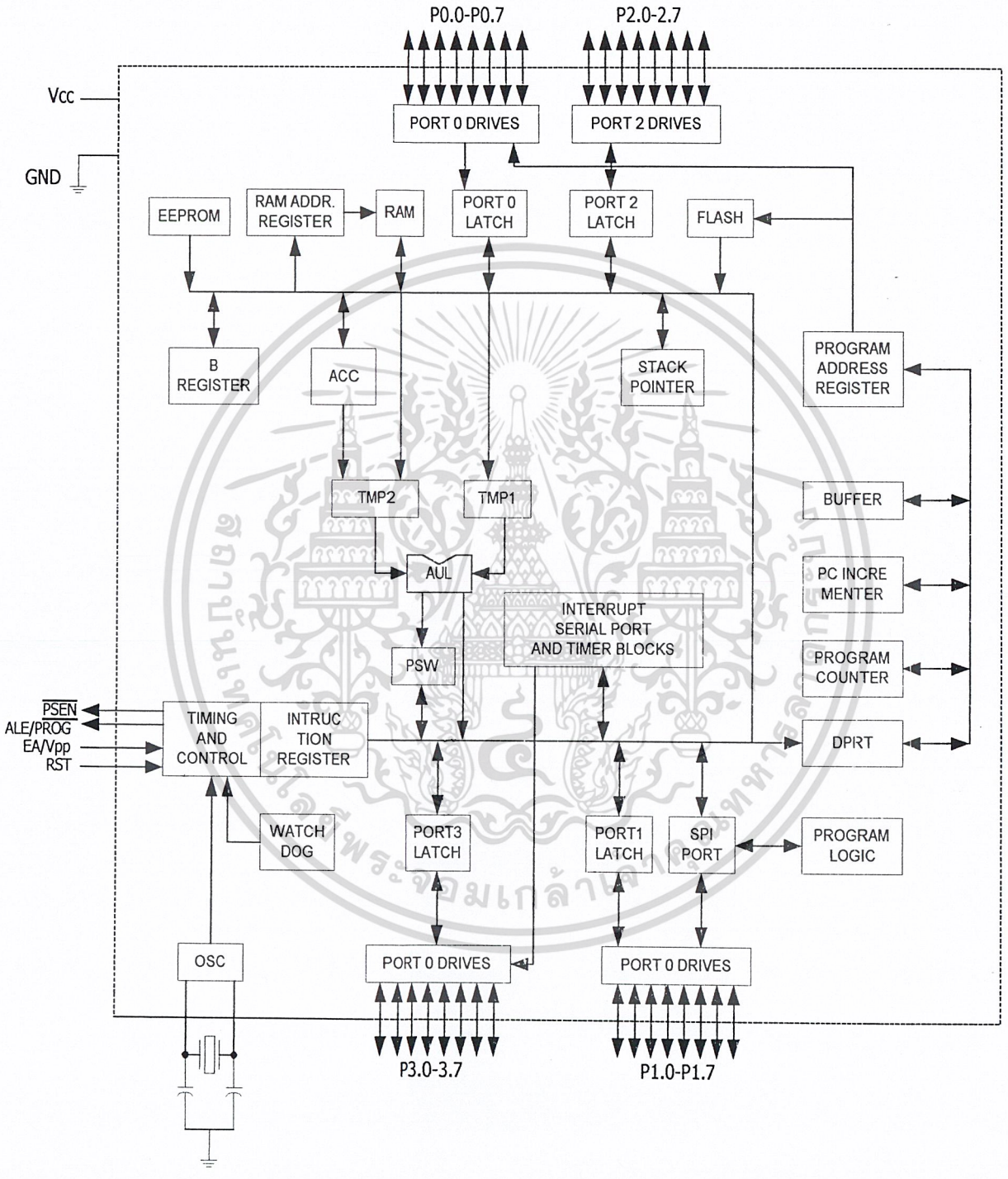
2.6.3 หน่วยความจำของ AT89S8252

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89S8252 ประกอบด้วยหน่วยความจำ 2 ส่วน คือ หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) และหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) หน่วยความจำทั้งสองนี้หน้าที่แตกต่างกัน และใช้วิธีกาอ้างแอดเดรสสัญญาณการติดต่อแยกออกจากกัน

1)หน่วยความจำโปรแกรม เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บคำสั่งในรูปแบบภาษาเครื่อง (Machine Language) ซึ่งต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำงานเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานก็จะอ่านข้อมูลที่เก็บในหน่วยความจำประเภทนี้เข้าไปถอดรหัสแล้วสร้างสัญญาณควบคุมส่วนอื่นๆ ตามการทำงานของแต่ละคำสั่งนั้น หน่วยความจำนี้เป็นแบบ Read Only Memory (ROM) และผู้ใช้ต้องเขียนข้อมูลในแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำเป็นรหัสภาษาเครื่องของ MCS-51 ตามลำดับการทำงานที่ต้องการแล้วทำการโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยเครื่องมือพิเศษซึ่งในระหว่างการใช้งานของ MCS-51 ผู้ใช้จะไม่สามารถเขียนโปรแกรมลงในหน่วยความจำได้ จำนวนตำแหน่งสูงสุดของหน่วยความจำแบบนี้ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89S8252 จะใช้งานได้คือ 64 Kbytes ค่าของตำแหน่ง (Address) จะเขียนเป็นเลขฐาน 16 ได้ตั้งแต่ 0000H ถึง FFFFH หน่วยความจำตำแหน่ง 0000H ถึง 0FFFH จำนวน 8 Kbytes นั้น ผู้ใช้จะเลือกได้ว่าเป็นตำแหน่งของ ROM ที่อยู่ภายในหรือภายนอก ถ้าต้องการที่ให้ทำงานใน ROM ภายในก็ป้อน Logic “1” เข้าที่ขา EA แต่ถ้าต้องการให้ทำงานในโปแกรมที่เก็บไว้ใน ROM ภายนอกก็ให้ต่อ Logic “0” เข้าที่ขา EA ส่วนหน่วยความจำที่ตำแหน่ง 2FFFH ถึง FFFFH ต่ออยู่ภายนอกเสมอ

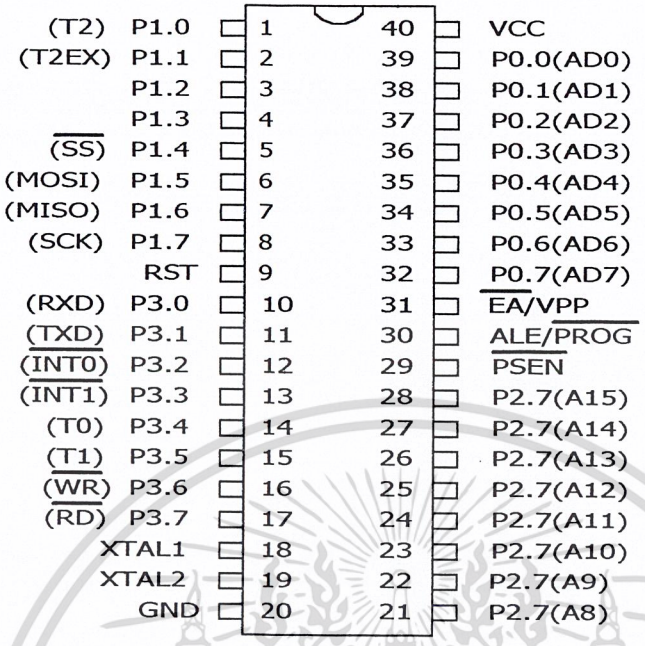
2) หน่วยความจำข้อมูล เป็นหน่วยความจำที่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถเขียนหรืออ่านข้อมูลได้ ใช้สำหรับเก็บข้อมูลตัวแปรที่เกิดขึ้นในขณะที่กำลังประมวลผลชั่วคราว ซึ่งโดยพื้นฐานแล้วจะเป็นแบบสแตติกแรม การอ่านหรือเขียนข้อมูลจากหน่วยความจำจะกระทำโดยคำสั่งที่เก็บไว้ใน Program Memory หน่วยความจำแบบนี้เป็นประเภท Random Access Memory (RAM) ถ้ามีไฟเลี้ยงอยู่ข้อมูลที่เก็บไว้จะไม่สูญหาย แต่ถ้าปิดเครื่องหรือไม่จ่ายไฟให้แก่ RAM แล้วข้อมูล RAM จะสูญหายไป การสูญหายของข้อมูลไม่ได้หมายความว่าไม่มีอะไรอยู่เลยแต่เป็นการที่มีข้อมูลใหม่ซึ่งไม่ใช่ข้อมูลเดิมมาแทนที่หน่วยความจำ แบบ Data Memory ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89S8252 จะมีอยู่2ชุดชุดหนึ่งอยู่ภายในจำนวน 256 ไบท์อยู่ในตำแหน่ง 00H ถึง FFH ที่ตำแหน่ง 80H ถึง FFH ยังเป็นตำแหน่งของรีจิสเตอร์พิเศษด้วย (SFR) และอีกชุดหนึ่งจะต้องต่ออยู่ภายนอกของวงจรรวมแล้วมีได้สูงสุด 64 Kbytes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 สถาปัตยกรรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 ไดอะแกรมขาของ AT89S8252

2.6.4 หน้าที่ของขาต่างๆ ของ AT89S8252 มีดังนี้

Vcc: ขา 40 เป็นขาที่ต้องป้อนไฟเลี้ยง +5 โวลท์เข้าไปเพื่อให้วงจรรวมทำงานได้ ระดับโวลท์เตจของลอจิก 0 และ 1 จึงต่อเข้ากับอุปกรณ์ได้โดยตรง

Vss: ขา 20 เป็นขาที่ต้องต่อกับกราวด์ (Ground) ของแหล่งจ่ายไฟ การต่ออุปกรณ์ทั้งหมดต้องมีกราวด์ของอุปกรณ์ต่อเข้าด้วยกัน

Port 0: เป็นพอร์ตขนานขนาด 8 บิต อยู่ที่ขา 39 – 32 เริ่มจากบิต 0- 7 ตามลำดับ พอร์ต 0 นี้ใช้ได้ทั้งการรับ – ส่งตำแหน่งและข้อมูลกับหน่วยความจำหรือใช้เป็นพอร์ตรับ- ส่งข้อมูลก็ได้

Port 1: เป็นพอร์ตขนาดขนาด 8 บิต อยู่ที่ขา 1-8 เริ่มจาก บิต 0 – 7 ตามลำดับพอร์ต 1 นี้ใช้เป็น พอร์ตรับ – ส่งข้อมูลเท่านั้น

Port 2: เป็นพอร์ตขนานขนาด 8 บิต อยู่ที่ขา 21 – 28 เริ่มจากบิต 0 – 7 ตามลำดับ พอร์ต 2 นี้ใช้เพียง 2 ลักษณะคือใช้ส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำภายนอกที่ต้องการติดต่อค่าตำแหน่งนี้ เป็น 8 บิตบนค่าตำแหน่งใช้เป็นพอร์ตรับและส่งข้อมูลกับภายนอก

Port 3: เป็นพอร์ตขนานขนาด 8 บิต อยู่ที่ขา 10 – 17 เริ่มจากบิต 0 – 7 ตามลำดับมีหน้าที่เป็นพอร์ตรับ- ส่งข้อมูล และแต่ละบิตของพอร์ต 3 จะมีฟังก์ชันอื่นอีกคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P.3/RXD (Serial Input Port) เป็นขาที่ใช้รับข้อมูลแบบอนุกรม

P3.1/TXD (Serial Output Port) เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรม

P3.3/Int0 (External Interrupt) ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก

P3.3/Int1 (External Interrupt) ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก

P3.4/t0 (Timer/counter External input) ขารับสัญญาณเข้าไปยังวงจร Timer/ Counter 0 ที่ทำหน้าที่นับจำนวนไซเกิลของสัญญาณ T0 นี้ หรือสัญญาณนาฬิกาได้

P3.5/T1 (Timer / Counter 1 external Input) ขารับสัญญาณเข้าไปยังวงจร Timer/ counter 1 ซึ่งมีการทำงานเหมือน กับ T0

P3.6 /WR (External Data Memory Write Stobe) ขาสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก AT89S8252

P3.7/RD (External Data Memory Read Stobe) ขาสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก

RST: ขารีเซ็ทนี้ จะใช้ทำการทำงานของ AT89S8252 ที่ขา RST ภายใน AT89S8252 จะมีตัวต้านทานต่อระหว่างขานี้กับกราวด์ (Ground) ถ้าป้อนสัญญาณที่มีสภาวะลอจิก 1 เข้าไปในที่ขานี้จะเป็นการ รีเซ็ทการทำงานของ AT89S8252

ALE: Address Latch Enable ขานี้จะส่งสัญญาณที่มีความถี่ 1/6 เท่าของสัญญาณนาฬิกาจากออสซิลเลเตอร์ สัญญาณนี้จะส่งออกมาตลอดเวลายกเว้นบางครั้งของการติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก AT89S8252 สัญญาณนี้จะบอกกับอุปกรณ์ภายนอก AT89S8252 ว่าขณะนี้สัญญาณนี้ Active (เป็นลอจิก 1) จะมีการส่งข้อมูลที่เป็น 8 บิตล่างของตำแหนงหน่วยความจำภายนอก AT89S8252 ที่ต้องการติดต่อออกไปทางพอร์ต 0 อุปกรณ์ภายนอกจะใช้สัญญาณนี้ในการ Latch ข้อมูลไว้เพราะ พอร์ต 0 จะส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำออกมาเพียงชั่วขณะเท่านั้น ซึ่งในเวลาต่อมาพอร์ต 0 จะใช้รับ- ส่งข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอก สัญญาณ ALE จะสามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์ TTL ชนิด LS ได้ถึง 8 อินพุต

PSEN: Program Store Enable เป็นขาที่ 29 ขานี้ปกติจะให้ลอจิก 1 แต่จะส่งลอจิก 0 เมื่อต้องการอ่านคำสั่ง (Fetch Instruction) ที่จะนำไปทำงานมาจากหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมภายนอก AT89S8252 ในกรณีที่อ่านคำสั่งซึ่งเก็บอยู่ในหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมภายใน AT89S8252 แล้วสัญญาณนี้จะไม่เปลี่ยนลอจิกเป็น 0 ขา PSEN นี้สามารถต่อไปยังขาอินพุตของ TTL ชนิด LS ได้ถึง 8 อินพุต

EA: External Access ขา 31 ขานี้เป็นขาอินพุตที่ต่อเข้าไปยังวงจร Timing and Control เพื่อควบคุมการสร้างสัญญาณ PSEN ถ้าป้อนสัญญาณ ลอจิก 0 เข้าไปที่ขา EA นี้แสดงว่าโปรแกรมใน

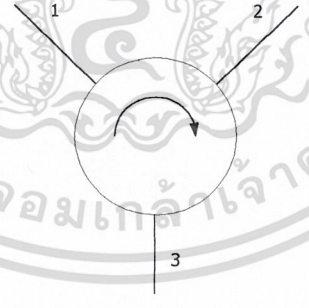
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่ง 0000H ถึง 0FFFH ที่ต้องการให้ทำงานถูกเก็บไว้ภายนอก AT89S8252 จะต้องสร้างสัญญาณ PSEN ออกไปยังภายนอก เพื่อทำการ FETCH คำสั่งเข้ามาทำงาน แต่ถ้าสัญญาณที่ป้อนให้ขา EA เป็น 1 หมายความว่าโปรแกรมในตำแหน่ง 0000H ถึง 0FFFH ถูกเก็บไว้ภายใน AT89S8252 การทำงานในตำแหน่งหน่วยความจำช่วงนี้จะอ่านคำสั่งต่างๆจาก ROM ภายใน AT89S8252

XTAL1, XTAL2: ขาที่ 19-20 2 ขานี้จะต่อเข้ากับวงจรออสซิลเลเตอร์ ที่ประกอบไปด้วย CRYSTAL และ CAPACITOR

2.7 เซอร์คิวเลเตอร์

เซอร์คิวเลเตอร์เป็นชิ้นส่วนวงจรแบบ 3 พอร์ตหรือ 4 พอร์ตที่ทำหน้าที่ส่งผ่านสัญญาณวนไปในทางเดียว รูปที่ 2.20 แสดงสัญลักษณ์ของเซอร์คิวเลเตอร์แบบ 3 พอร์ต การทำงานของเซอร์คิวเลเตอร์นี้จะเป็นดังนี้คือ คลื่นที่เข้ามาทางพอร์ตที่ 1 จะส่งผ่านไปออกที่พอร์ตที่ 2 โดยมีการสูญเสียน้อย และจะส่งผ่านไปออกพอร์ตที่ 3 โดยมีการสูญเสียสูงมาก นั่นคือกำลังคลื่นเกือบทั้งหมดจะไปออกที่พอร์ตที่ 2 เซอร์คิวเลเตอร์ในเชิงอุดมคตินั้นหมายถึงเซอร์คิวเลเตอร์ที่มีการเวียนสัญญานในทิศทางเดียวอย่างสมบูรณ์แบบคือ ค่าการลดทอนสัญญาณในทิศส่งผ่านจะเป็น 0 และค่าไอโซเลชันระหว่างพอร์ตที่อยู่ตรงกันข้ามจะเป็น ∞



รูปที่ 2.20 สัญลักษณ์ของเซอร์คิวเลเตอร์แบบ 3 พอร์ต

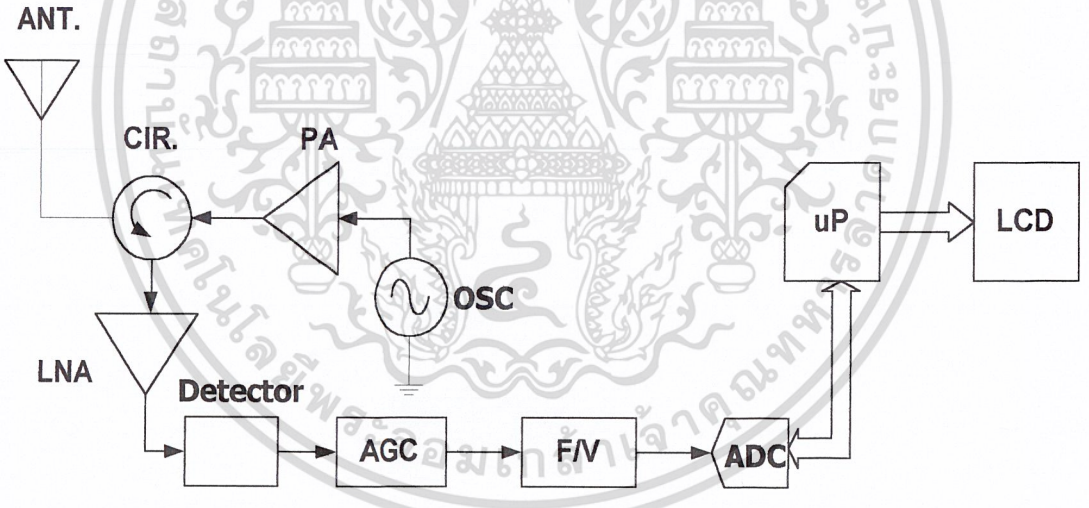
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3

การออกแบบ

เนื่องจากโครงงานดอปเปลอร์เรดาร์และการประยุกต์ใช้งานสำหรับการตรวจจับความเร็วของวัตถุ (Doppler radar and its application for object speed detection) นี้มีทั้งส่วนที่เป็นโครงสร้างฮาร์ดแวร์ (Hardware) และส่วนที่เป็นโปรแกรม (Software) ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็นส่วนๆ ดังนี้

3.1 โครงสร้างโดยรวมของโครงงานดอปเปลอร์เรดาร์และการประยุกต์ใช้งานสำหรับการตรวจจับความเร็วของวัตถุ (Doppler radar and its application for object speed detection)



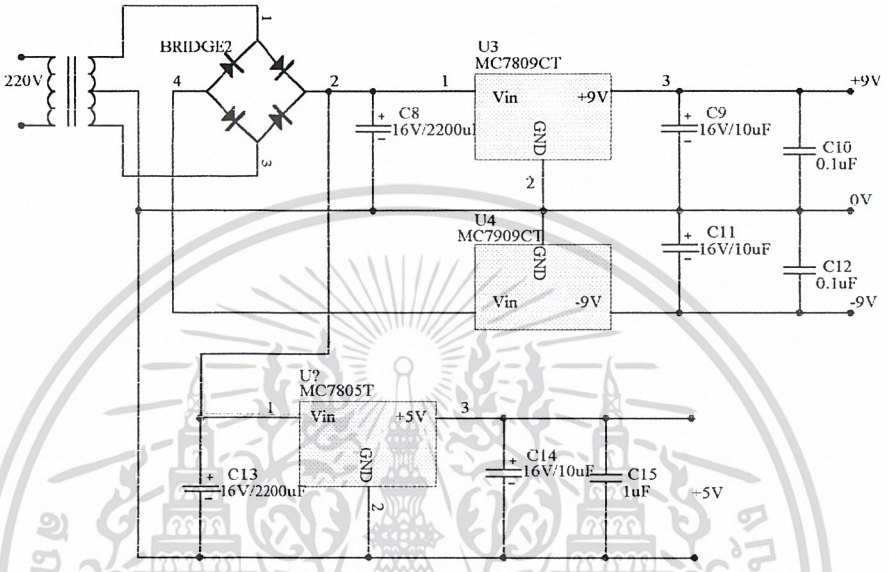
รูปที่ 3.1 โครงสร้างโดยรวมของโครงงาน

3.2 การออกแบบวงจรจ่ายไฟ

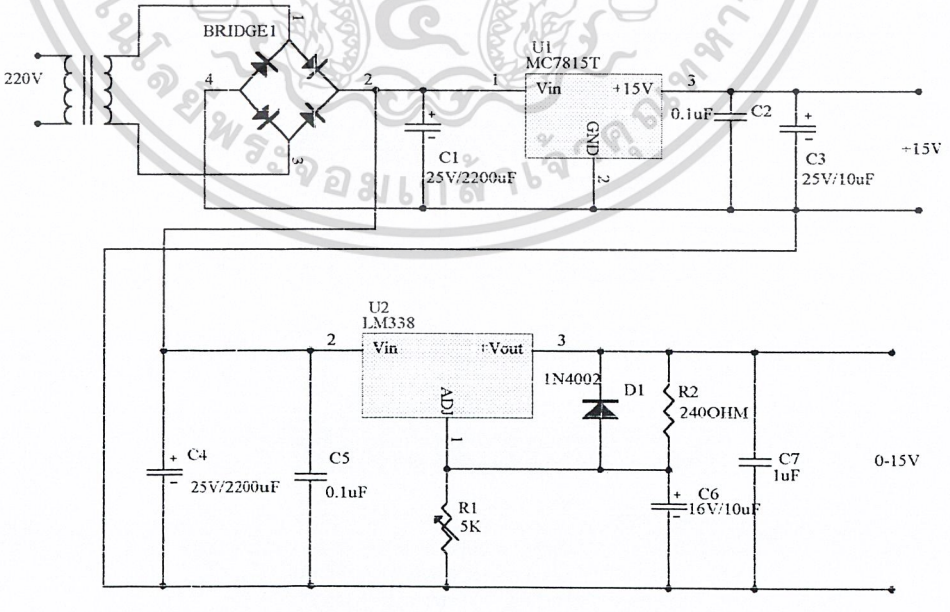
วงจรจ่ายไฟที่ใช้ในโครงงานนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 วงจรจ่ายไฟ ± 9 โวลท์ และ +5 โวลท์ ทำหน้าที่จ่ายไฟให้แก่วงจรขยายและวงจรชุดของไมโครคอลโทรลเลอร์ตามลำดับ วงจรส่วนที่ 1 นี้แสดงการออกแบบตามรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 วงจรจ่ายไฟ 15 โวลท์ ปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-15 โวลท์ ทำหน้าที่จ่ายไฟให้แก่วงจร VCO (Voltage Control Oscillator)และวงจรจ่ายไฟ 15 โวลท์ ทำหน้าที่จ่ายไฟให้แก่วงจร LNA (Low noise Amp) วงจรส่วนนี้แสดงการออกแบบตามรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 วงจรจ่ายไฟส่วนที่ 1

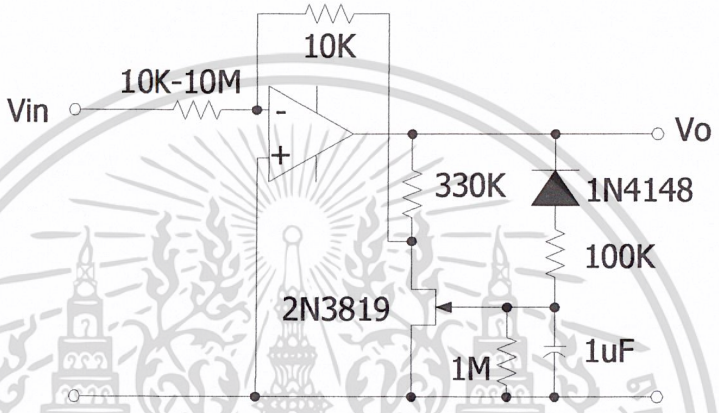


รูปที่ 3.3 วงจรจ่ายไฟส่วนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ออกแบบวงจร AGC (Automatic Gain Control)

การออกแบบวงจร AGC เริ่มจากเรามองภาพรวมของวงจรส่วนที่จะต่อร่วมกับวงจร AGC ว่าเราจะนำเอาไปใช้งานในลักษณะไหนเราจะได้ออกแบบได้ถูกต้อง ซึ่งได้แสดงรูปวงที่ทำการออกแบบไว้ดังรูปวงจรข้างล่าง



รูปที่ 3.4 วงจร AGC ที่ออกแบบ

จากรูปวงจรที่ 3.4 ถ้าค่าVo ต่ำจะทำให้ความต้านทานของ JFET ลดลง จากลักษณะการต่อของ JFET เมื่อค่าความต้านทานของ JFET ลดลง ทำให้เป็นการเพิ่มค่าความต้านทาน RF ทำให้เกนของวงจรเพิ่มขึ้น และเมื่อ Vo มากขึ้นค่าความต้านของ JFET ก็จะมากขึ้นด้วยทำให้ค่าความต้านทาน RF ลดลง ทำให้ เกนของวงจรลดลงด้วยซึ่งถือได้ว่าวงจรได้ทำงานตามที่ต้องการ

3.4 ออกแบบวงจร F/V (Frequency to Voltage Converter)

การออกแบบวงจรส่วนนี้ได้ใช้ IC เบอร์ LM 2907 ซึ่งเป็นไอซีสำเร็จรูปที่ใช้สำหรับแปลงความถี่เป็นแรงดัน มาออกแบบวงจร ซึ่งจะได้วงจรที่ออกแบบดังรูปข้างล่าง

การออกแบบ IC # LM 2907 โดยอาศัยสมการแสดง DC Output Voltage

$$V_o = V_{cc} \times F_{IN} \times C1 \times R1 \times K \qquad (3.1)$$

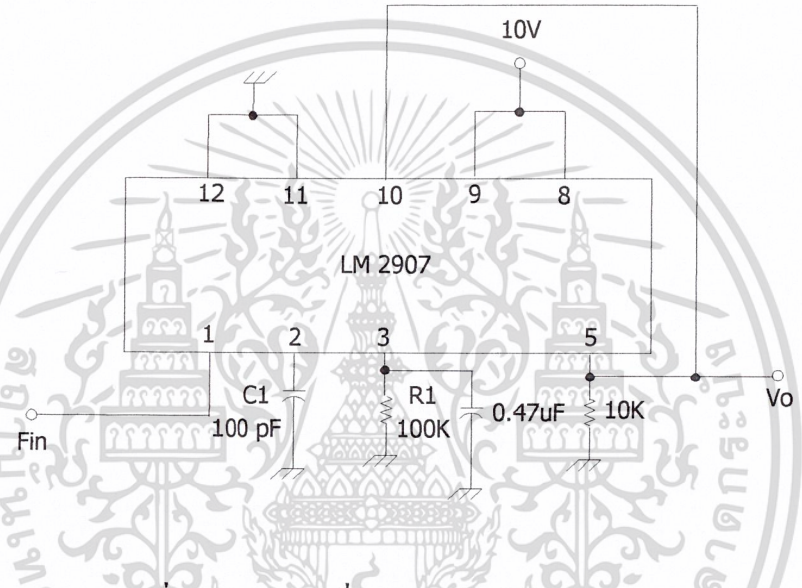
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้ ถ้า F_{IN} = 10KHz, V_{cc} = 5V, R1 = 100K, C1 = 47pF,K=1

จะได้ Vo = $5(47E^{-12}*100E^{+3})\ 10E^{+3}$

= 0.27V

ซึ่งจะได้วงจรที่ออกแบบดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจร F/V ที่ออกแบบโดยใช้ IC LM 2907

3.4.1 การเลือกค่า R1 และ C1

มีข้อจำกัดในการเลือกค่า R1 และ C1 ซึ่งต้องพิจารณาลักษณะที่เหมาะสมโดยตัว C1 (timig capacitor) จะเป็นตัวชดเชยภายในชาร์จปั๊ม ซึ่งต้องมีค่ามากกว่า 100 pF เพื่อความเที่ยงตรงในการทำงานและค่า R1 ไม่ควรจะใหญ่เกินไปเพราะถ้าคามากเกินไปแล้วทำให้โวล์เตจที่เกิดถูกดรอปไปทำให้ค่าเป็นเชิงเส้นลดลง

สำหรับขนาดแรงดันริปเปิลจะต้องมีการพิจารณาซึ่งค่าแรงดันริปเปิลจะหาได้จากสมการ

$$V_{RIPPLE} = \frac{V_{cc}}{2} \times \frac{C1}{C2} \times \left(1 - \frac{V_{cc} \times f_{IN} \times C1}{I_2} \right)_{pk-pk} \qquad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

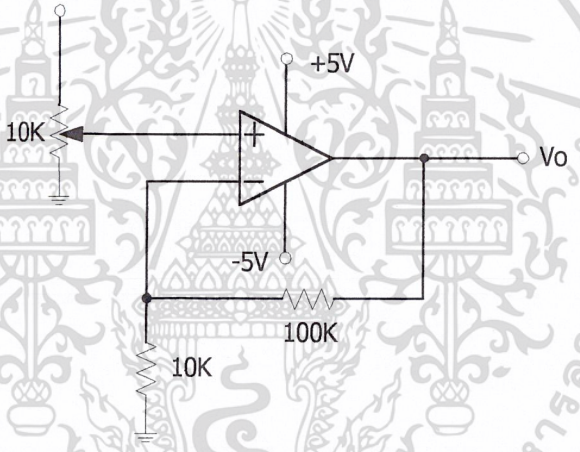
ข้อสุดท้ายที่เราจะต้องพิจารณาถึง ก็คือ ค่าความถี่อินพุทสูงสุดที่รับเข้ามาจะพิจารณาได้จาก

$$f_{MAX} = \frac{I_2}{C1 \times V_{cc}} \tag{3.3}$$

3.5 การออกแบบวงจรขยายโดยใช้ออปแอมป์

วงจรนี้จะใช้เป็นตัวขยายแรงดันที่ได้จากวงจรเปลี่ยนความถี่เป็นแรงดัน ให้สูงขึ้นเพื่อป้อนให้กับวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล

การออกแบบวงจร ใช้วงจรเป็นแบบ Noninverting ซึ่งมีลักษณะดังรูป



รูปที่ 3.6 วงจรขยาย

$$V_o = V_{IN} \times A \tag{3.4}$$

$$A = 1 + \left(\frac{R_F}{R_{in}} \right) \tag{3.5}$$

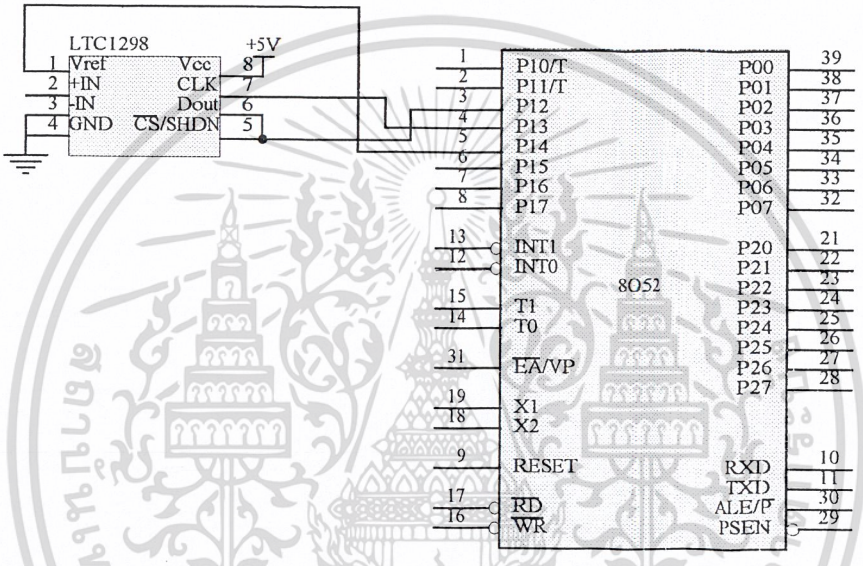
โดย A คือGain ของวงจร

จากวงจรจะได้เกนของวงจรคือ $A = 1 + \left(\frac{100K}{10K} \right) = 11$ เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การออกแบบวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล

วงจรนี้ใช้ไอซีสำเร็จรูปเบอร์ LTC1298 เป็นไอซีที่ใช้แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล สามารถรับอินพุตได้ 2 ช่อง เป็นแบบอนุกรม 12 บิต การใช้งานของไอซีตัวนี้สามารถทำได้ง่ายมาก คือ ไม่ใช้อุปกรณ์ภายนอกต่อร่วมเลย สามารถติดต่อกับคอนโทรลเลอร์ได้โดยตรง โดยใช้การติดต่อแบบบัส 3 เส้น (Three wire bus) ดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 3.7 การเชื่อมต่อ LTC1298 กับMCS-51

3.7 การออกแบบโปรแกรม

ความถี่ที่ใช้งานของดอปเปลอร์เรดาร์ คือ 3 GHz ทำให้ได้ค่า λ คือ 0.1 เมตร และสามารถคำนวณเพื่อให้ได้ความเร็วออกมาในทางฟิสิกส์ โดยใช้สูตรดังนี้

$$V \times \cos\theta = Fd \times \lambda \qquad ; \cos\theta = 0 \tag{3.6}$$

เมื่อ Fd = ความถี่ที่ได้จากผลต่างของความถี่ที่ส่งกับความถี่ที่รับเข้า ซึ่งจะได้ความถี่อยู่ในช่วง ประมาณ 0-1 KHz ดังสมการข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Fd = \frac{v}{\lambda} \times \cos\theta \qquad (3.7)$$

ตัวอย่างการคำนวณ เช่น

1. $Fd = 10Hz$

$$V = 10 \times 0.1$$
$$= 1m/s$$
$$= 3.6Km/Hr$$

2. $Fd = 1000Hz$

$$V = 1000 \times 0.1$$
$$= 100m/s$$
$$= 360Km/Hr$$

เพื่อให้ได้ค่าความเร็วตามที่คำนวณจึงใช้สูตรดังนี้คือ

1) แสดงในหน่วย กิโลเมตรต่อชั่วโมง(Km / Hr)

สูตรในการคำนวณเขียนได้ ดังนี้

$$V_{max} = \frac{Fd_{max} \times ความเร็ว}{stepA/DMaximum} \text{ Km/Hr} \qquad (3.8)$$

เมื่อ Fd_{max} = ความถี่ Doppler ที่รับเข้ามาสูงสุด

= 1000 Hz = 0FFFH

V_{max} = 360 Km/Hr

Step A/D maximum = 0FFFH = 4096

ค่าความเร็วสูงสุด = 360 Km/Hr = 03E8H

เพราะฉะนั้นจะได้สูตรทั่วไป ในการคำนวณหาความเร็ว คือ

$$V_{max} = \frac{Fd \times ความเร็ว}{stepA/DMaximum} \text{ Km/Hr} \qquad (3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Fd = ความถี่ดอปเปลอร์ (Doppler Frequency) ที่รับเข้ามาอยู่ในช่วง 0 - 1000Hz แปลงเป็นเลขฐาน 16 แล้วนำมาคำนวณในสูตรที่ (3.9)

2) การแสดงในหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

สูตรในการคำนวณเขียนได้ ดังนี้

$$V_{max} = \frac{Fd_{max} \times ค่าความเร็ว}{10 \times stepA/DMaximum} \quad m/s \qquad (3.10)$$

เมื่อ Fd_{max} = ความถี่ Doppler ที่รับเข้ามาสูงสุด

= 0FFFH = 1000 Hz

V_{max} = ค่าความเร็วสูงสุด = 100 m/s = 064H

Step A/D maximum = 0FFFH = 4096

เพราะฉะนั้นจะได้สูตรทั่วไป ในการคำนวณหาความเร็ว คือ

$$V_{max} = \frac{Fd \times ค่าความเร็ว}{10 \times stepA/DMaximum} \quad m/s \qquad (3.11)$$

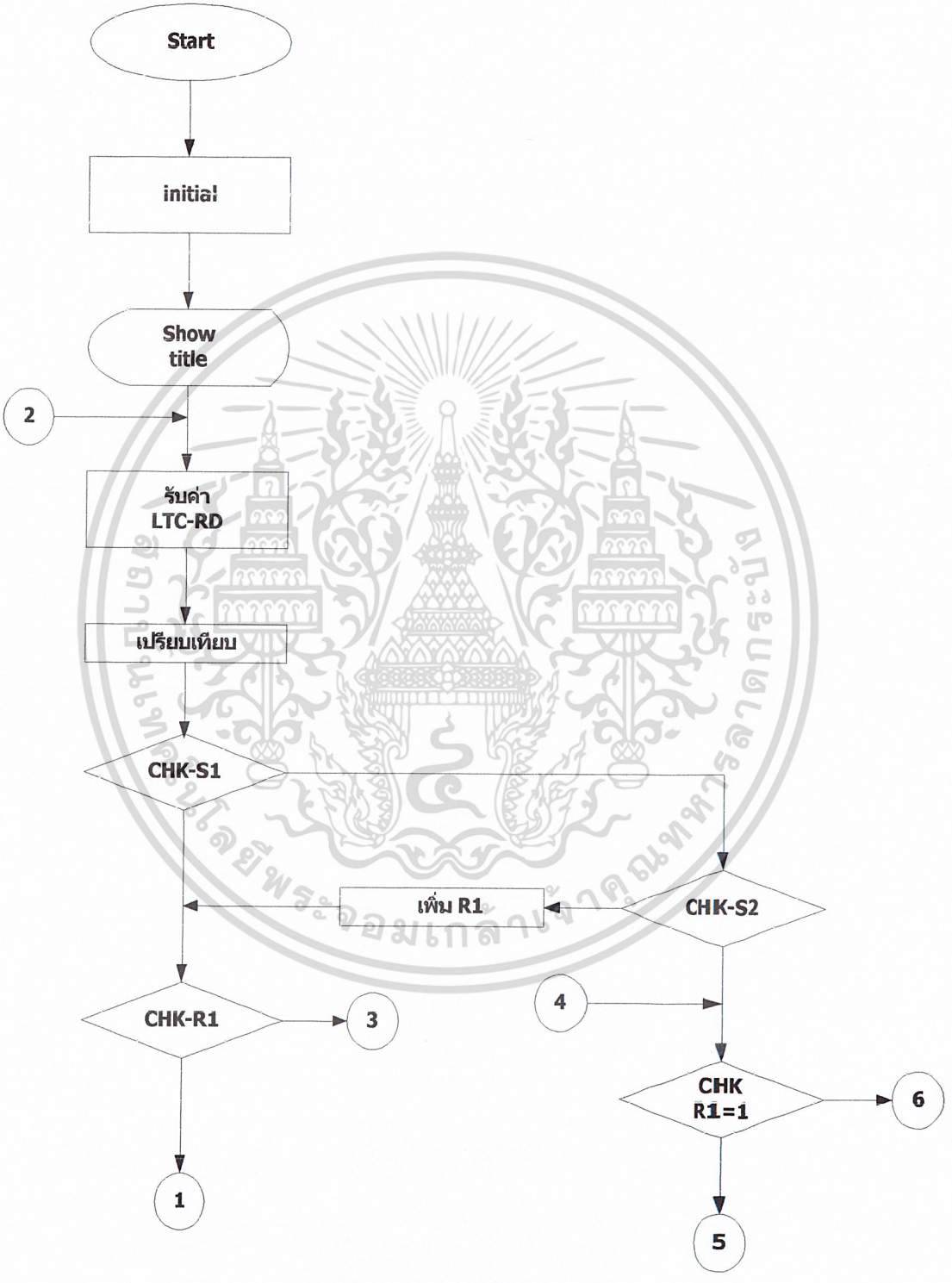
เมื่อ Fd = ความถี่ดอปเปลอร์ (Doppler Frequency) ที่รับเข้ามาอยู่ในช่วง 0 - 1000Hz แปลงเป็นเลขฐาน 16 แล้วนำมาคำนวณในสูตรที่ (3.11)

3) การโฮลค่า(Hold)

เป็นการนำเอาเฉพาะค่าสูงสุดที่รับเข้ามา มาแสดงผลที่หน้าจอ ซึ่งค่าสูงสุดได้จากการรับค่าเข้ามาแล้วทำการเปรียบเทียบ และทำการเก็บค่านี้ไว้ เมื่อมีการกดปุ่ม Hold ก็จะมีการนำค่าที่เก็บไว้มาแสดง โดยจะยังมีการรับค่าเข้ามาเปรียบเทียบอยู่เรื่อย ๆ แต่จะแสดงเฉพาะค่าที่สูงกว่าเท่านั้น ซึ่งมีการทำงานดังแผนผัง(Flow Chart)รูปที่ 3.10 ซึ่งจะมีการแสดงทั้งสองแบบคือ กิโลเมตรต่อชั่วโมง และเมตรต่อวินาที

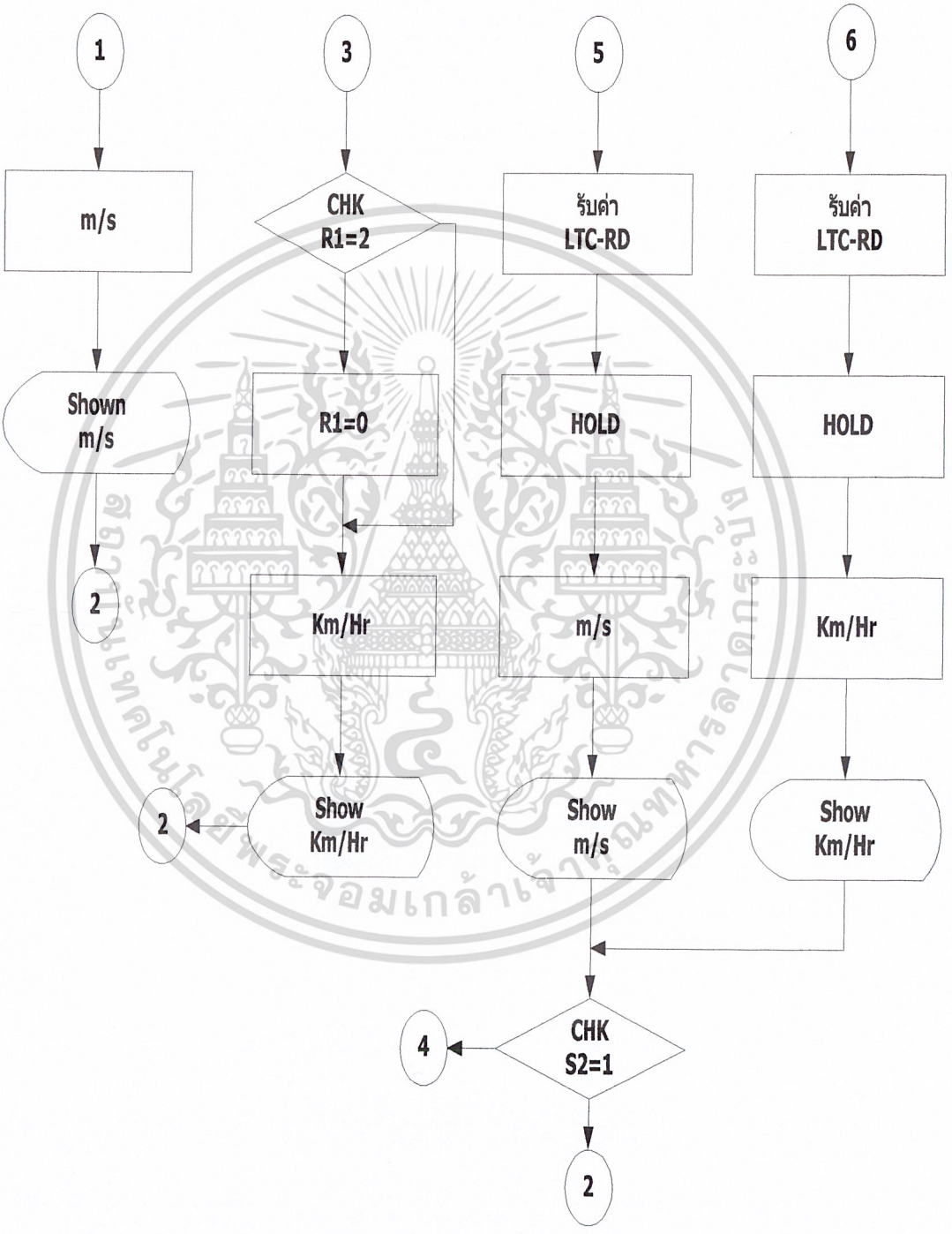
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 ขั้นตอนการทำงาน (FLOW CHART)



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

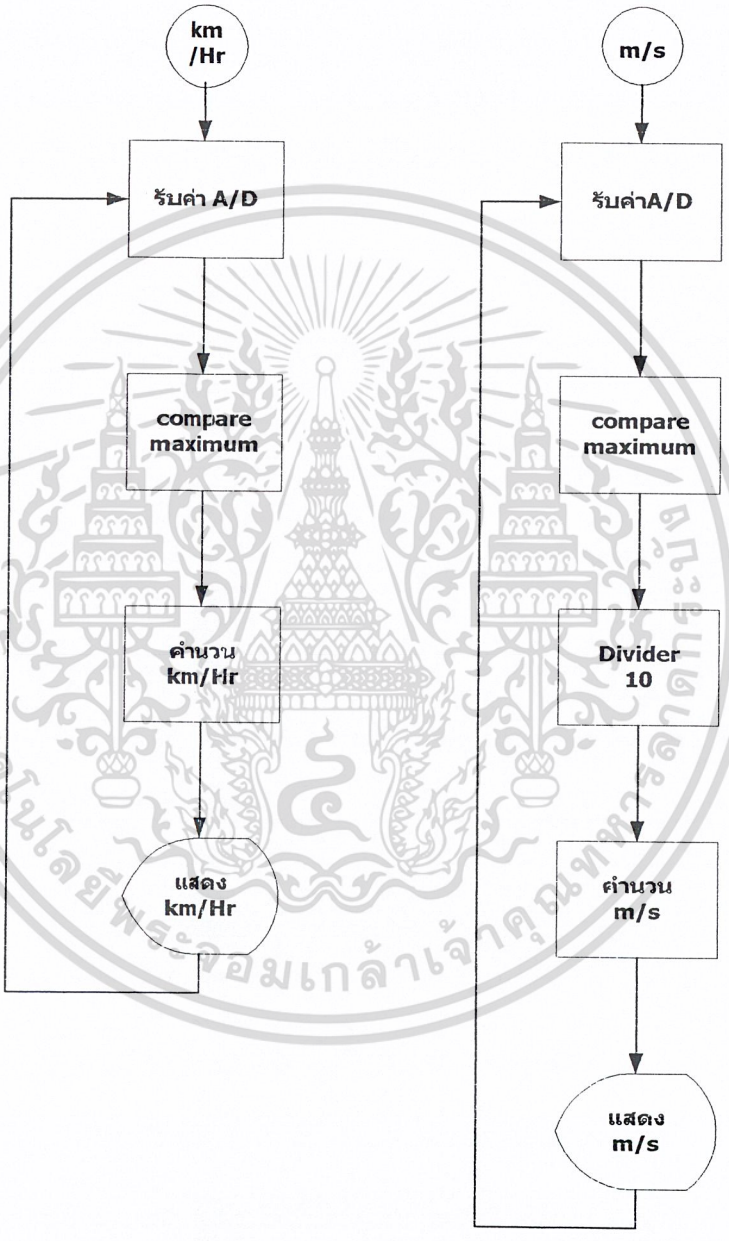
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 (ต่อ) ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.1 FLOW CHART การทำงานในโหมด Km/Hr และ m/s

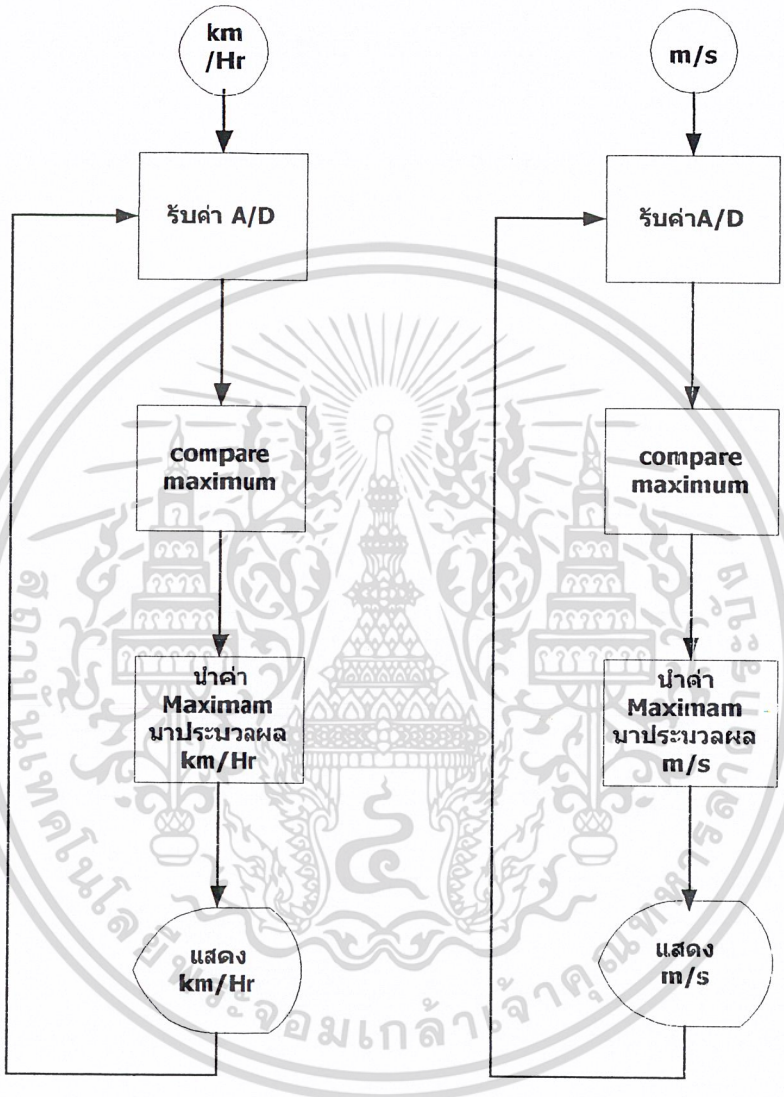


รูปที่ 3.9(ก) รูป 3.9(ข)

รูปที่ 3.9 (ก) ขั้นตอนการทำงานของ Km/Hr (ข) ขั้นตอนการทำงานของ m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.2 FLOW CHART แสดงการโฮลด์(Hold) Km/Hr, m/s



รูปที่ 3.10(ก) รูป 3.10(ข)

รูปที่ 3.10 (ก) ขั้นตอนการทำงานของ Hold Km/Hr (ข) ขั้นตอนการทำงานของ Hold m/s

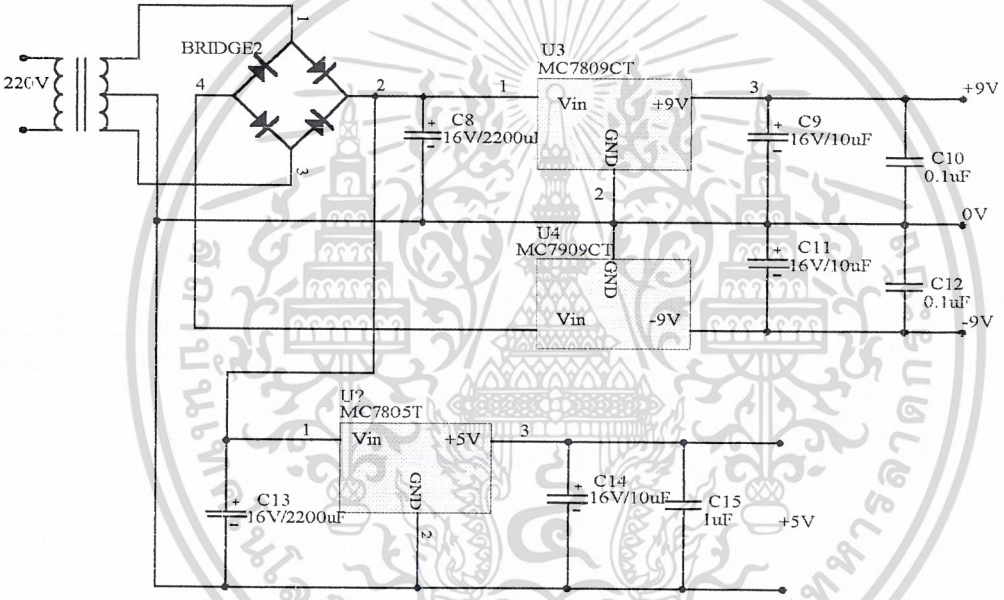
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 วงจรจ่ายไฟ

วงจรจ่ายไฟส่วนที่1 ป้อนให้กับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้แรงดันไฟ 5โวลท์ และวงจรขยายใช้แรงดันไฟ ±9 โวลท์ การทดสอบวงจรจ่ายไฟส่วนนี้ต่อวงจรดังรูป 4.1และบันทึกค่าที่ได้ของเอาท์พุตลงในตารางที่ 4.1



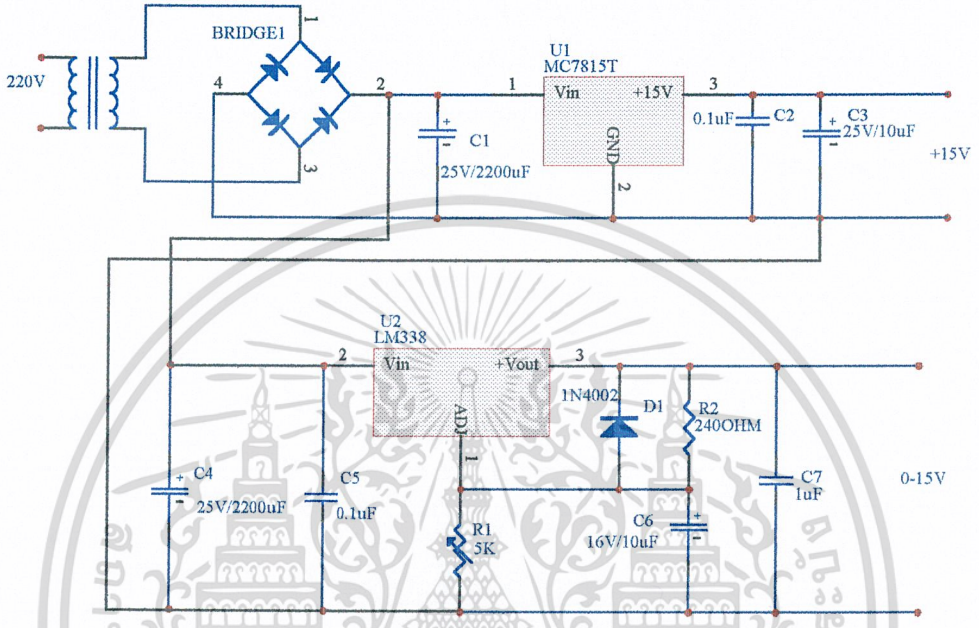
รูปที่ 4.1 วงจรจ่ายไฟส่วนที่ 1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวงจรจ่ายไฟส่วนที่ 1

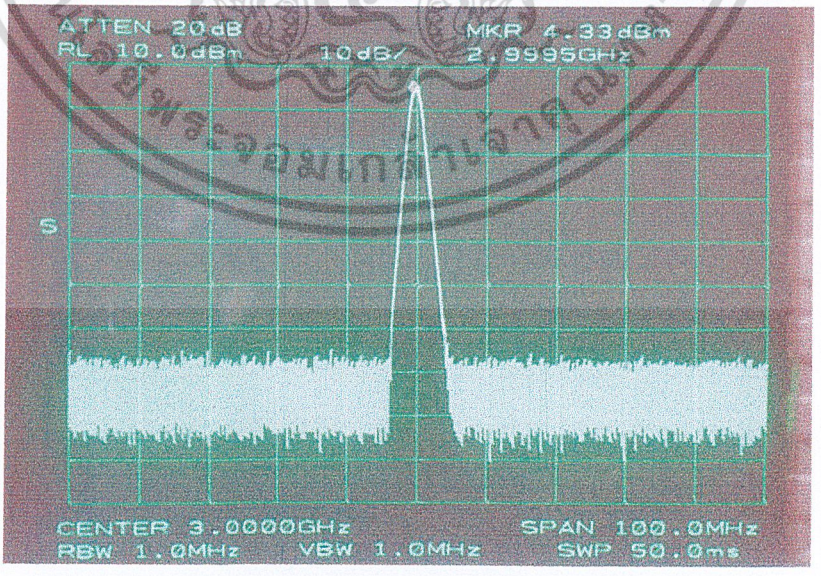
ตำแหน่งที่ทำการวัด	เอาท์พุตทางทฤษฎี	เอาท์พุตที่วัดได้
+ 9 โวลท์	+ 9 โวลท์	+ 9 โวลท์
- 9 โวลท์	- 9 โวลท์	- 9 โวลท์
5 โวลท์	5โวลท์	5โวลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรจ่ายไฟส่วนที่2 ป้อนให้กับ VCO (Voltage Control Oscillator) ใช้แรงดันไฟ 15 โวลท์ ปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-15 โวลท์และ วงจรLNA (Low noise Amp) ใช้แรงดันไฟ 15 โวลท์ การทดสอบวงจรจ่ายไฟส่วนนี้ต่อวงจรดังรูป 4.2 และผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 วงจรจ่ายไฟส่วนที่ 2

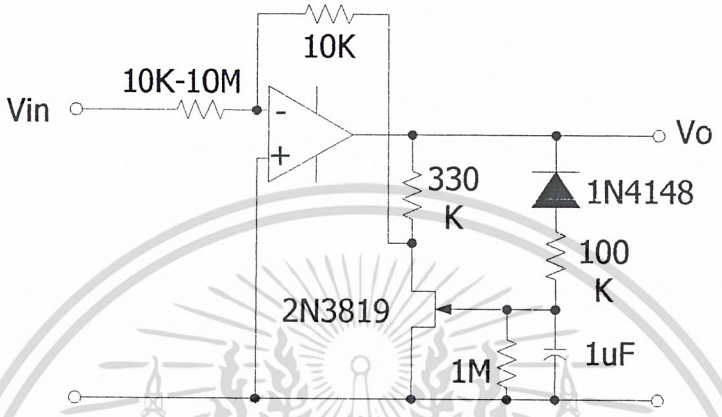


รูปที่ 4.3 ผลการทดลองวงจรจ่ายไฟให้กับ VCO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วงจร AGC

ทำการต่อวงจรตามรูปข้างล่าง

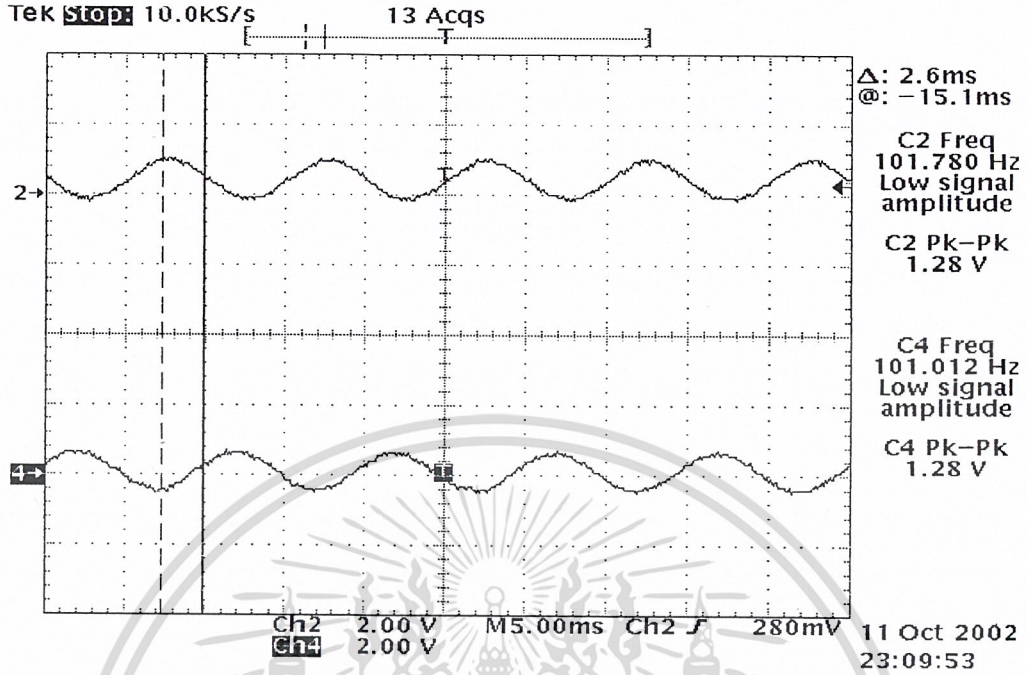


รูปที่ 4.4 วงจร AGC

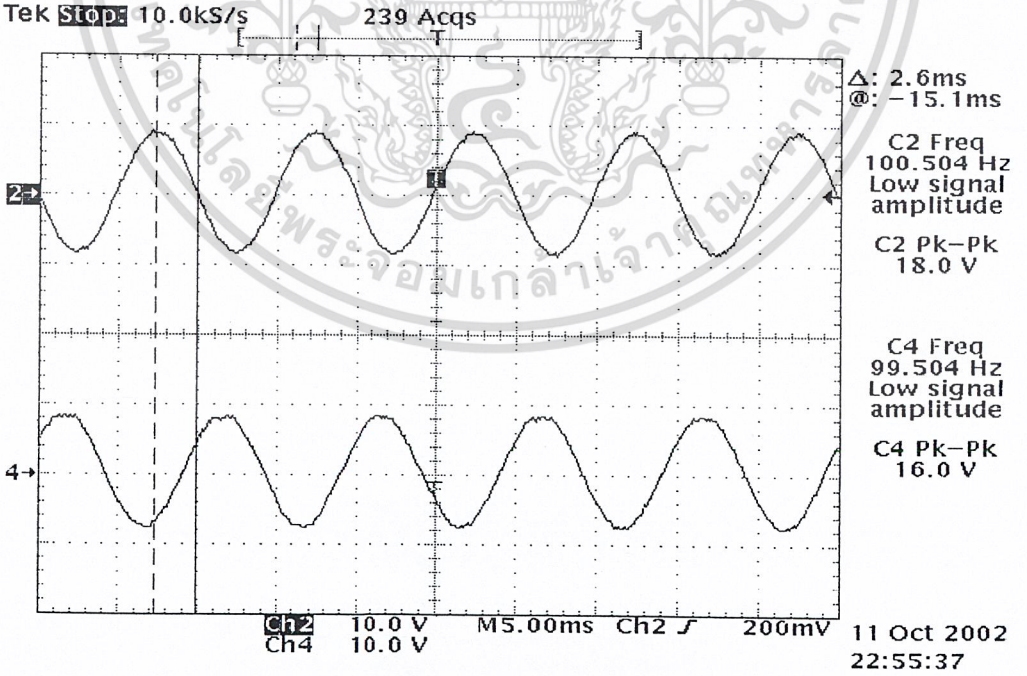
ผลการทดลอง เมื่อป้อนความถี่จาก Function Generator ค่าหนึ่งเข้าไป แล้วทดลองปรับ Amplitude ของสัญญาณจะได้ผลการทดลองทาง output คือ แรงดันทาง output จะถูกขลิบสัญญาณที่ขนาดของแรงดันอินพุตประมาณ 18.0 โวลท์พีคทูพีค(Vpk-pk) ดังรูปที่ 4.6 แต่ที่เห็นได้ชัดเจนคือ 20.8 โวลท์พีคทูพีค(Vpk-pk) ดังรูปที่ 4.7

จากรูปที่ 4.2 (บน)เป็นสัญญาณอินพุตขนาด 1.28 โวลท์พีคทูพีค (Vpk-pk) ความถี่ 101เฮิร์ต (Hz) จะได้สัญญาณเอาต์พุตดังรูปที่ 4.5(ล่าง) จะเห็นว่าสัญญาณจะมีการกลับเฟส 90 องศา เพราะจากรูปที่ 4.4 วงจรมีลักษณะเป็นวงจรขยายแบบกลับ(Inverting Amp) จากรูปที่ 4.5 นี้สัญญาณยังคงมีขนาดคงที่ แต่ถ้าขนาดของสัญญาณสูงขึ้นถึงประมาณ 16โวลท์พีคทูพีค(Vpk-pk) วงจรก็จะทำการขลิบสัญญาณให้สูงสุดที่ ประมาณ 16.0โวลท์พีคทูพีค(Vpk-pk)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

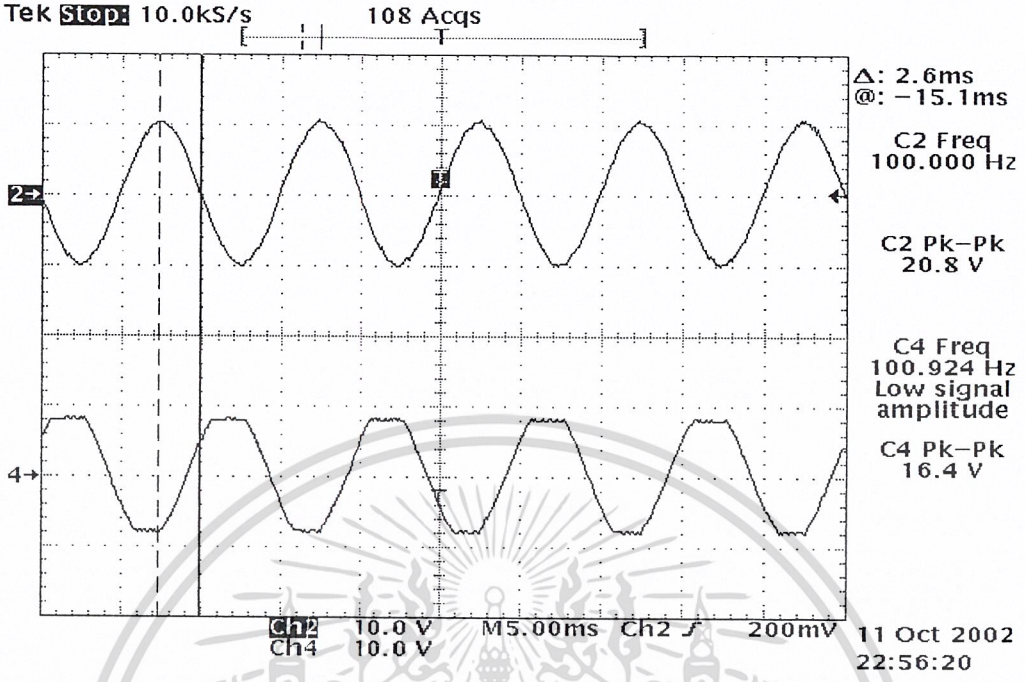


รูปที่ 4.5 สัญญาณอินพุตขนาด 1.28โวลท์พีคทูพีค (Vpk-pk)



รูปที่ 4.6 สัญญาณอินพุตขนาด 18 โวลท์พีคทูพีค(Vpk-pk)

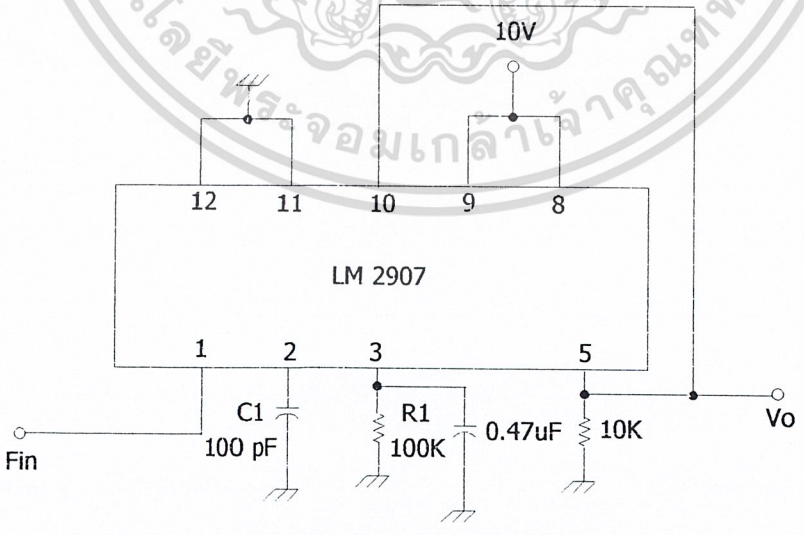
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 สัญญาณอินพุตขนาด 20.8 โวลท์พีคทูพีค(Vpk-pk)

4.3 วงจร F/V (Frequency to Voltage Converter)

ทำการต่อวงจรตามรูปข้างล่าง



รูปที่ 4.8 วงจร F/V ที่ใช้ IC LM 2907

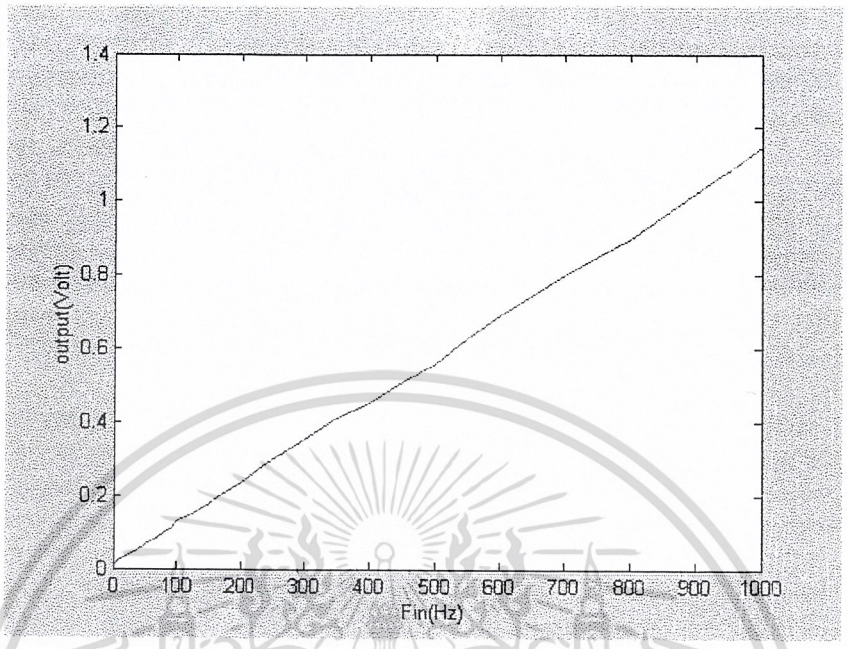
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง โดยทำการทดลองวงจร F/V (Frequency to Voltage)ดังรูป LM 2907 เพราะจากการทดลอง IC ตัวนี้จะตอบสนองที่ความถี่ในย่านต่ำๆได้ ตั้งแต่ประมาณ 8Hz ขึ้นไป ผลจากการทดลองสามารถทดลองได้ผลตามที่ต้องการแต่แรงดันออกมาต่ำมาก ในการใช้งานจึงต้องใช้ Op- Amp เข้ามาช่วยเพิ่มเกนให้อีก

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวงจร F/V (Frequency to Voltage Converter)

Input frequency (Hz)	Output (v)
10	0.026
20	0.034
30	0.045
40	0.056
50	0.068
60	0.080
70	0.090
80	0.100
90	0.110
100	0.130
150	0.180
200	0.235
250	0.296
300	0.355
350	0.410
400	0.451
450	0.510
500	0.560
550	0.630
600	0.690
700	0.800
800	0.900
900	1.020
1000	1.150

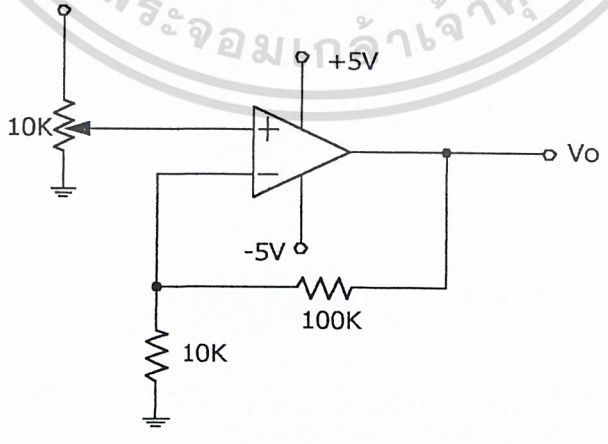
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ผลการทดลองวงจร F/V (Frequency to Voltage Converter)

4.4 วงจรขยาย

ทำการต่อวงจรตามรูปข้างล่าง



รูปที่ 4.10 วงจรขยาย

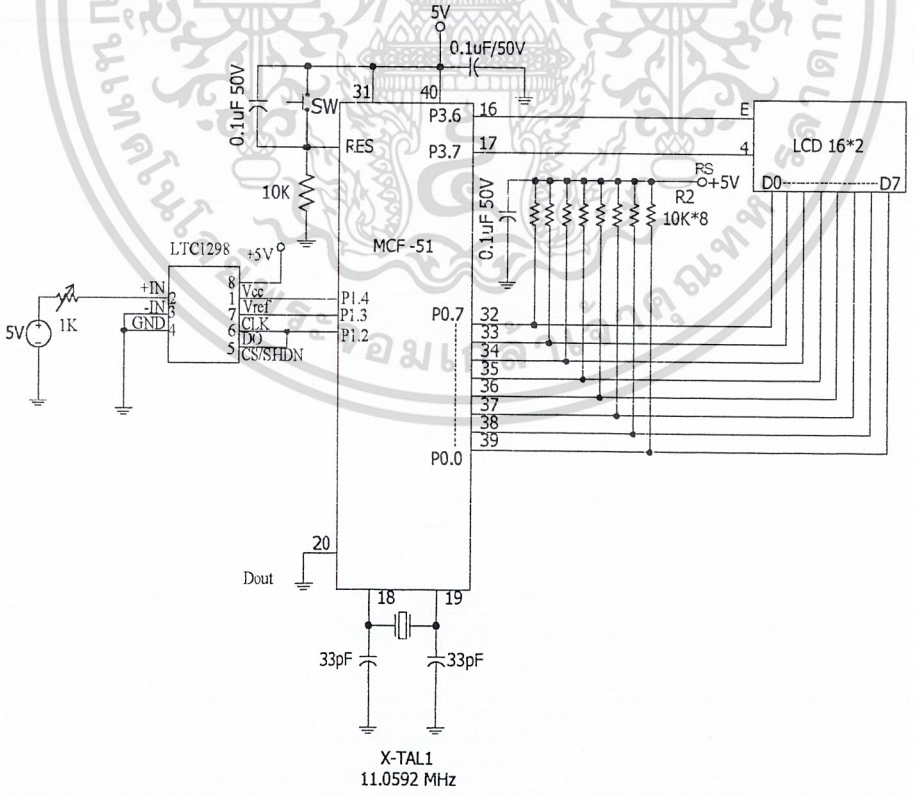
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองวงจรขยาย

Vin (V)	Vo (V)
0	0.0008
0.01	0.12
0.02	0.26
0.03	0.35
0.04	0.5
0.05	0.6
0.5	5.1

4.5 วงจรADC (Analog to Digital Converter)

ต่อวงจรตามรูปข้างล่าง



รูปที่ 4.11 การเชื่อมต่อ LTC1298

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

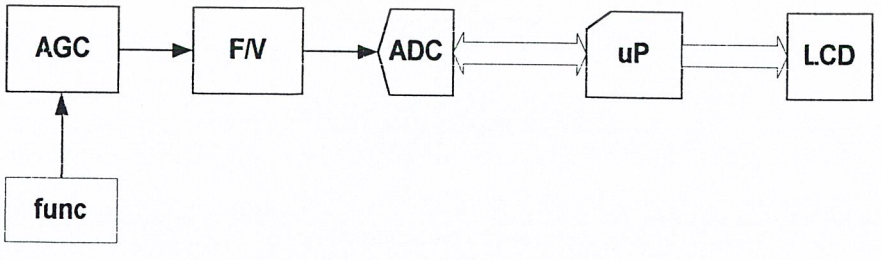
ทำการทดลองวงจรตามรูปที่ 4.11โดยป้อนอินพุทเป็นแรงดัน 0-5 โวลท์ ได้ผลดังตารางข้างล่าง

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล

Vin (V)	Vo (HEX)
0	0000H
0.12	0005H
0.5	01ADH
1.0	034BH
1.5	04F4H
2.0	068DH
2.5	0842H
3.0	09DAH
3.5	0BD5H
4.0	0D1DH
4.5	0F25H
5.0	0FFFH

4.6 วงจรทั้งหมดใช้ฟังก์ชันเจเนเรเตอร์ป้อนความถี่

ทำการทดลองวงจรทั้งหมดโดยใช้ฟังก์ชันเจเนเรเตอร์ป้อนความถี่ ดังรูป



รูปที่ 4.12 บล็อกไดอะแกรมวงจรทั้งหมดโดยใช้ฟังก์ชันเจเนเรเตอร์ป้อนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองวงจรทั้งหมดโดยใช้ฟังก์ชันเจเนเรเตอร์ป้อนความถี่

Input frequency (Hz)	ความเร็ว (m / s)
0	00
10	01
20	02
30	03
40	04
50	05
60	06
70	07
80	08
90	09
100	10
150	15
200	19
250	25
300	30
350	35
400	40
450	45
500	50
550	54
600	59
700	69
800	79
900	89
1000	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) ผลการทดลองวงจรทั้งหมดโดยใช้ฟังก์ชันเจเนเรเตอร์ป้อนความถี่

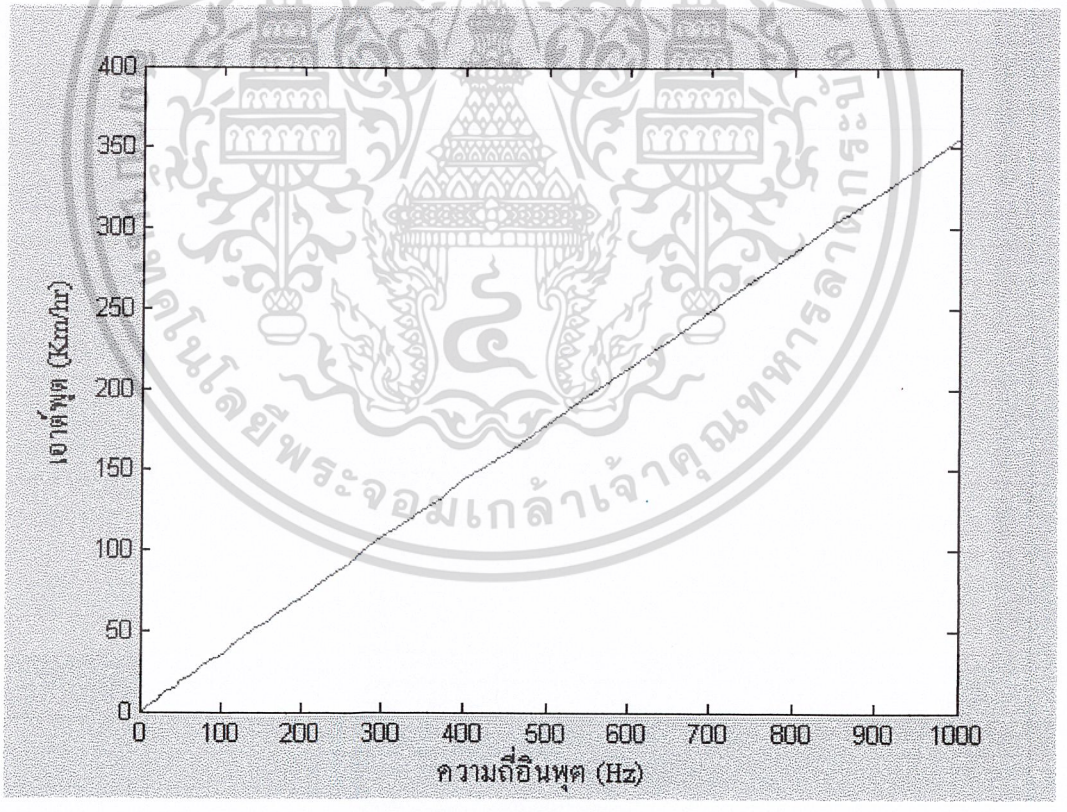
Input frequency (Hz)	ความเร็ว (Km / hr)
0	1
10	3
20	7
30	11
40	14
50	17
60	21
70	24
80	29
90	32
100	35
150	53
200	71
250	89
300	106
350	125
400	142
450	160
500	178
550	196
600	214
700	249
800	285
900	322
1000	360

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.5 อาจสรุปค่าอย่างคร่าว ๆ ได้ดังตารางที่ 4.6

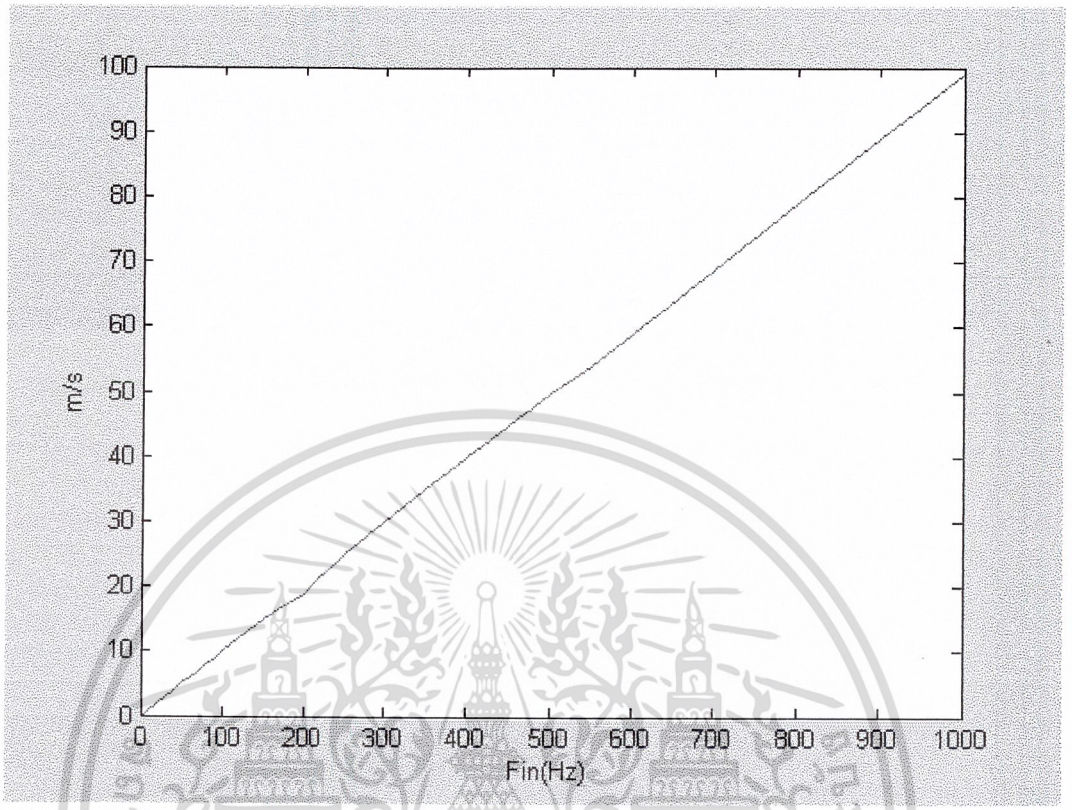
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองสรุปค่าอย่างคร่าว ๆ

ความถี่(เฮิร์ต)	เอาต์พุต(กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
0	0
10	3,4
100	36,37
1000	360



รูป ก

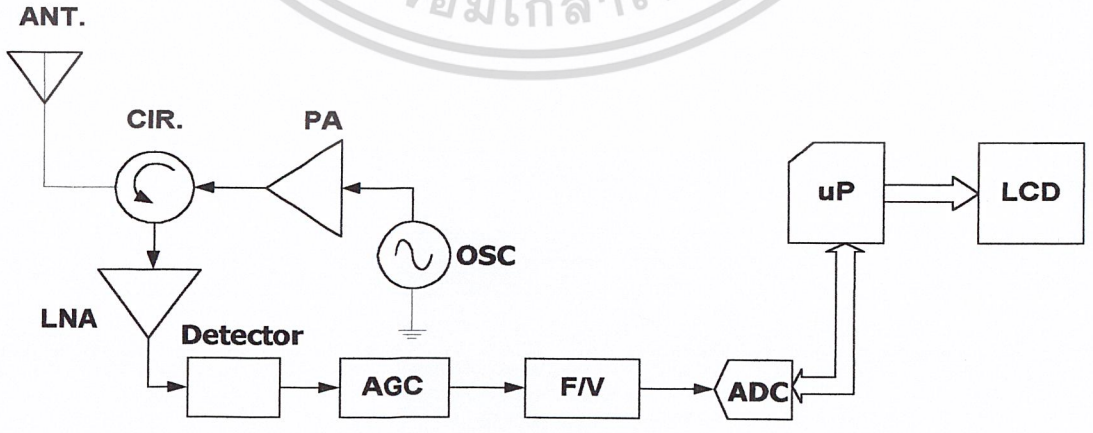
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ข

รูปที่ 4.13 (ก) (ข) ผลการทดลองวงจรตามรูปที่ 4.12

4.7 การทดลองวงจรทั้งหมดตามบล็อกไดอะแกรม



รูปที่ 4.14 บล็อกไดอะแกรมวงจรทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ผลการทดลองจะเป็นการทดสอบให้เห็นว่ามีการเคลื่อนที่ของวัตถุ จากการทดลองโดยใช้พัดลมเป็นตัวทดสอบ แล้วกดโฮลด์ไว้ ระยะทางที่ทดสอบประมาณ 1 เมตร หรือใกล้กว่านั้น(ในกรณีที่วัตถุสะท้อนคลื่นได้ไม่ดี)ก็จะเห็นเป็นความเร็วปรากฏที่จอแสดงผล ส่วนการทดสอบแบบอื่นก็สามารถทำได้โดยใช้วัตถุที่มีการสะท้อนคลื่นได้ดี เช่น แผ่นทองแดง หรือใช้มือโบกผ่านบริเวณสายอากาศ ในลักษณะมุมเก้าสิบองศากับสายอากาศ ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงที่จอแสดงผลเป็นความเร็วที่เกิดขึ้น ผลของความเร็วที่ได้อาจเรียกว่า ความเร็วสัมพัทธ์

จากการทดลองจะพบว่าความไวในการตอบสนองของวงจรต่ำทำให้ในบางครั้งวัดได้ บางครั้งวัดไม่ได้ และที่ได้ระยะทางใกล้ ๆ เพราะกำลังส่งต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์

จากการที่ได้ทำโครงงานเรื่องดอปเปลอร์เรดาร์และการประยุกต์ใช้งานสำหรับการตรวจจับความเร็วของวัตถุนั้นได้ออกแบบให้ความถี่ดอปเปลอร์อยู่ในช่วง 0 - 1KHz โดยความถี่ดังกล่าวจะถูกนำไปประมวลผลเป็นความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้นๆ ซึ่งสามารถแสดงผลการตรวจจับความเร็วได้สองหน่วยคือ 0 - 360 Km / Hr หรือ 0 - 100 m / s และสามารถ Hold ค่า Maximum ของความเร็วได้

สำหรับผลที่ได้จากการวัดความเร็วนั้นจะมีการผิดพลาดเนื่องจากในการเขียนโปรแกรมนั้นจะคิดแต่ส่วนของจำนวนเต็มเท่านั้น เพราะภาษาแอสเซมบลี้จะเขียนคำนวณทศนิยมได้ยาก

ในส่วนของฮาร์ดแวร์ปัญหาที่เจอจะเป็นในเรื่องของเสถียรภาพของวงจร

-ภาคจ่ายไฟที่ใช้ในการจูนด์ VCO เพื่อผลิตความถี่ 3 GHz ควรมีสัญญาณรบกวนน้อยที่สุดเพราะถ้ามีมากจะทำให้ได้ความถี่ไม่นิ่ง กระโดดไปมา(สังเกตจากสเปคตรัม) ทำให้วงจรไม่สามารถทำงานได้เลย

-วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันที่ใช้ในโครงงานนี้จะไม่สามารถตอบสนองความถี่ต่ำได้ดีทำให้ช่วงความถี่ต่ำ ๆ ผลที่จอแสดงผลจะไม่เป็นศูนย์ จะวิ่งไปมาไม่ใช่ค่าเดิมตลอด

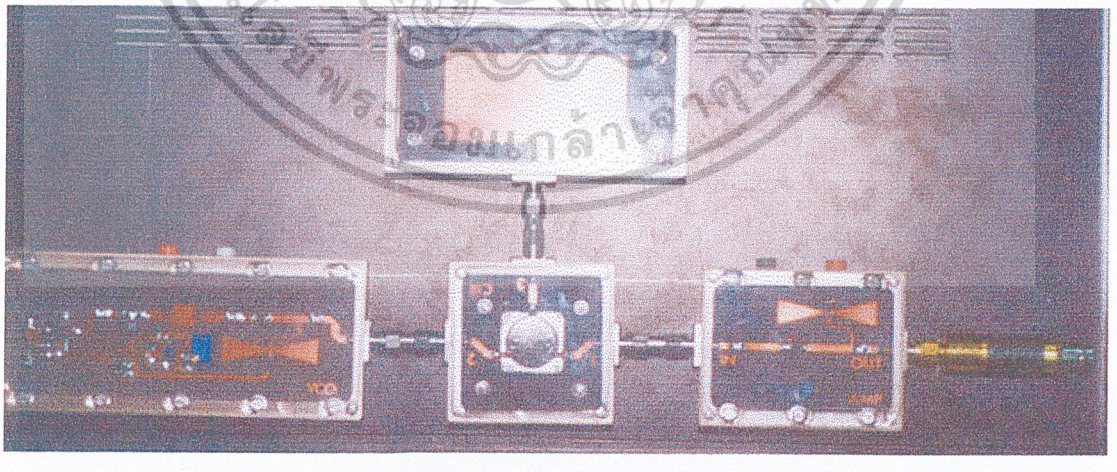
-วงจร AGC ในโครงงานนี้ วงจรที่ใช้จะไม่ตรงกับคุณสมบัติของวงจร AGC เพราะดูเหมือนว่าเป็นแค่วงจรลิมิตเตอร์ เท่านั้น ดังนั้นควรปรับปรุงเลือกใช้วงจรให้ตรงกับวัตถุประสงค์จริง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

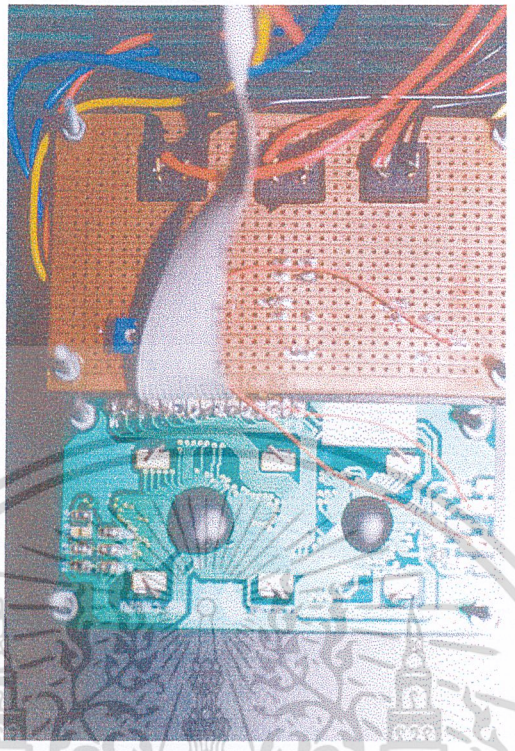
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาค **Base Band**

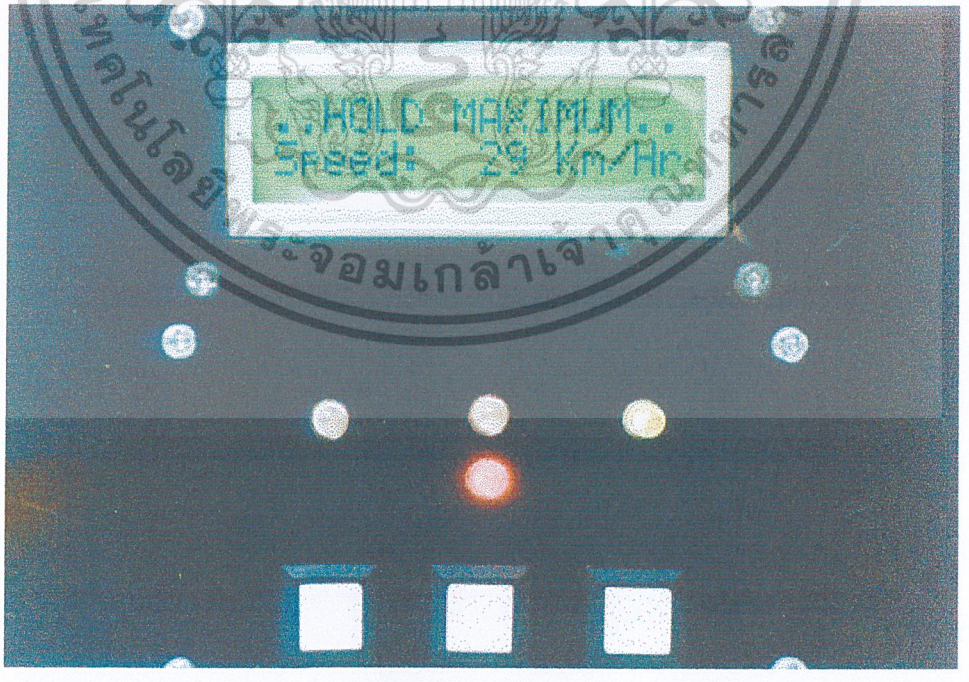


รูปภาค **RF**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

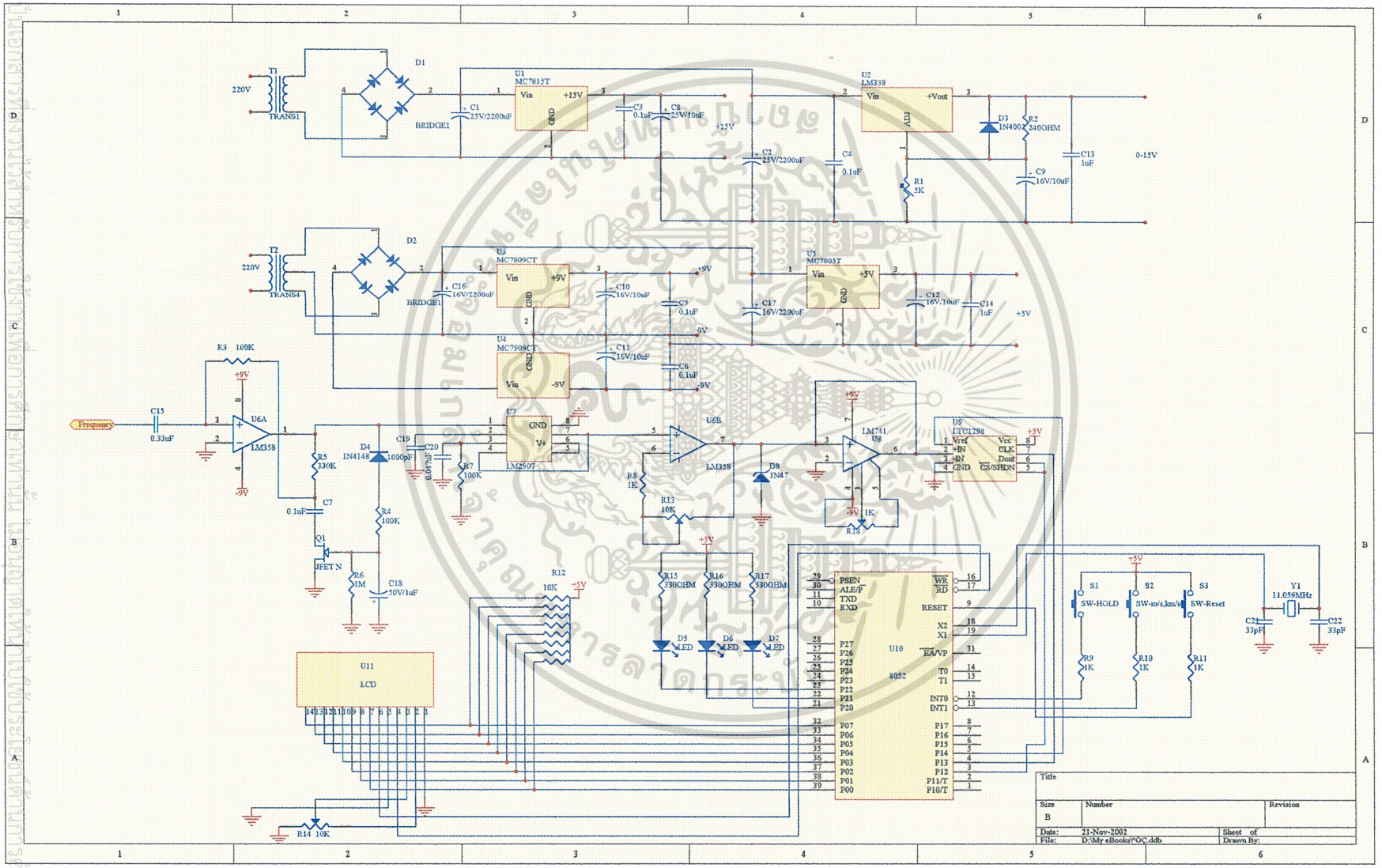


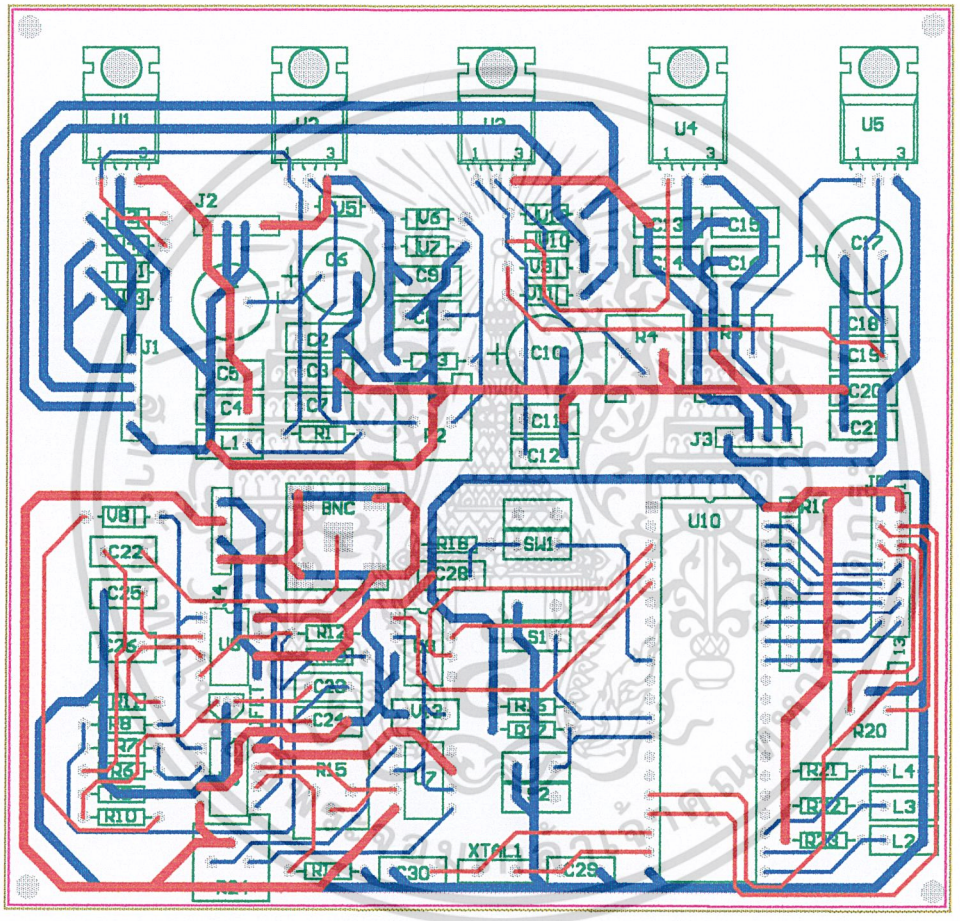
รูปการติดตั้งจอ LCD และสวิตช์ต่างๆ



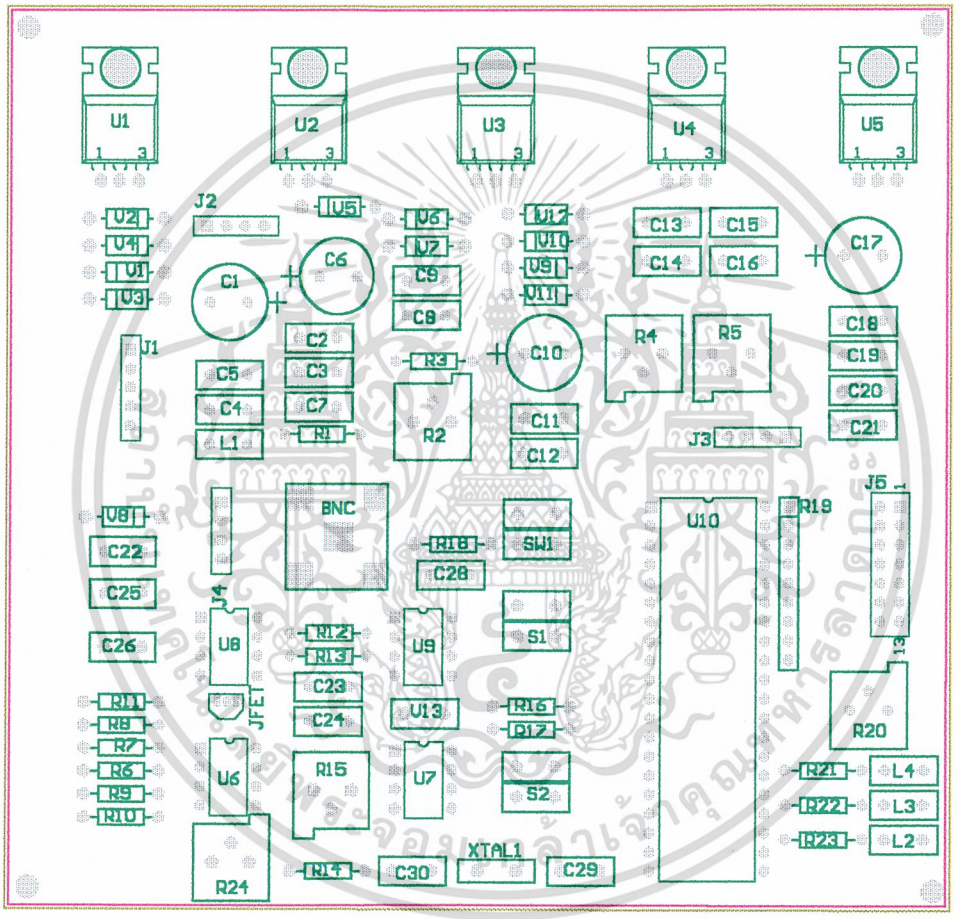
รูปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

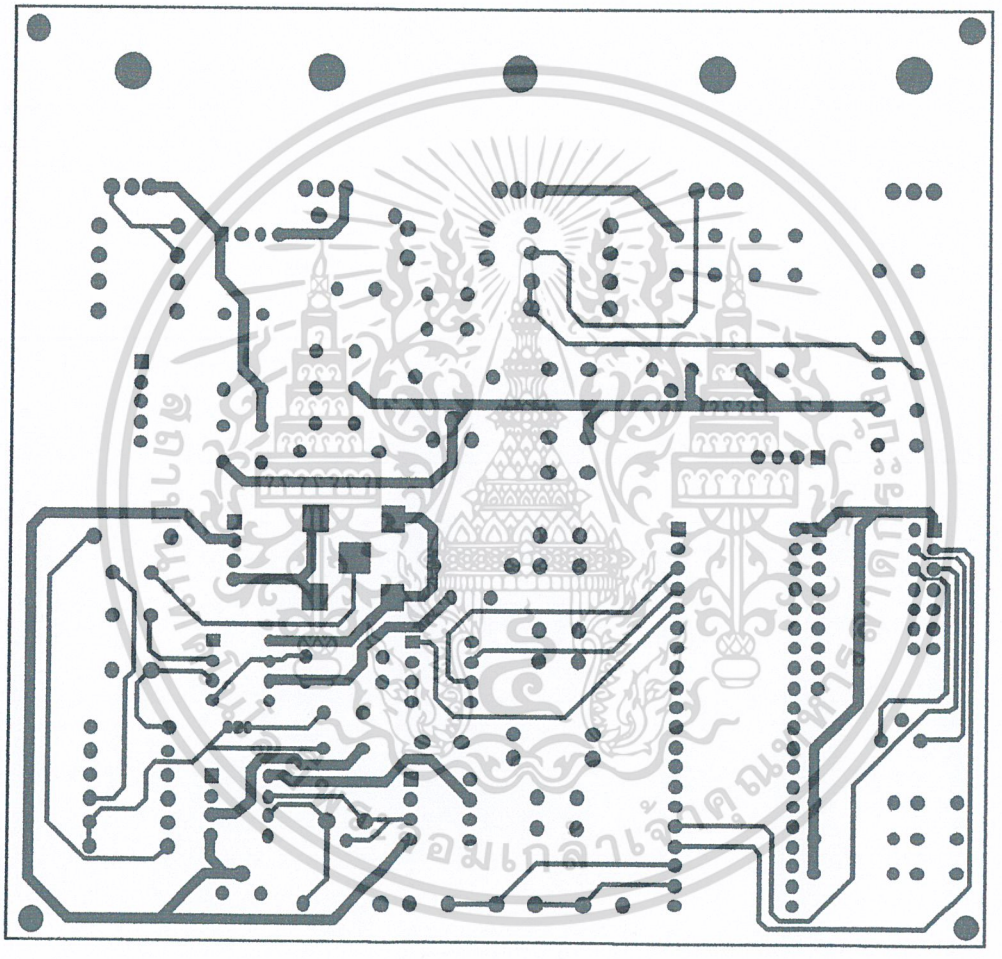

T1
220V
TRANS1
D1
BRIDGE1
C1
2200uF
U1
MC7815T
Vin
+15V
GND
C3
0.1uF
C8
10uF
+15V
C2
2200uF
U2
LM338
Vin
+Vout
ADJ
C4
0.1uF
R1
5K
D3
1N400
R2
240OHM
C13
1uF
C9
10uF
0-15V
T2
220V
TRANS4
D2
BRIDGE1
C16
2200uF
U3
MC7809CT
Vin
+9V
GND
C10
10uF
C5
0.1uF
+9V
U4
MC7909CT
GND
Vin
-9V
C11
10uF
C6
0.1uF
-9V
U5
MC7805T
Vin
+5V
GND
C17
2200uF
C12
10uF
C14
1uF
+5V
R3 100K
+9V
C15
0.33uF
Frequency
U6A
LM358
-9V
R5
330K
C7
0.1uF
Q1
JFET N
R6
1M
C18
50V/1uF
D4
1N4148
C19
1000pF
C20
0.047uF
R7
100K
U7
GND
V+
LM2907
R4
100K
U6B
LM358
R8
1K
R13
10K
D8
1N47
U8
LM741
R18
1K
U9
LTC1298
Vref
+IN
-IN
GND
Vcc
CLK
Dout
CS/SHDN
R12
10K
+5V
R15
330OHM
R16
330OHM
R17
330OHM
D5
LED
D6
LED
D7
LED
U10
8052
PSEN
ALE/P
TXD
RXD
RESET
X2
X1
EA/VP
P27
P26
P25
P24
P23
P22
P21
P20
P07
P06
P05
P04
P03
P02
P01
P00
WR
RD
T0
T1
INT0
INT1
P17
P16
P15
P14
P13
P12
P11/T
P10/T
U11
LCD
S1
SW-HOLD
S2
SW-m/s,km/h
S3
SW-Reset
R9
1K
R10
1K
R11
1K
Y1
11.059MHz
C21
33pF
C22
33pF
Title
Size
B
Number
Revision
Date:
21-Nov-2002
Sheet of
File:
D:\My eBooks*OC.ddb
Drawn By:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

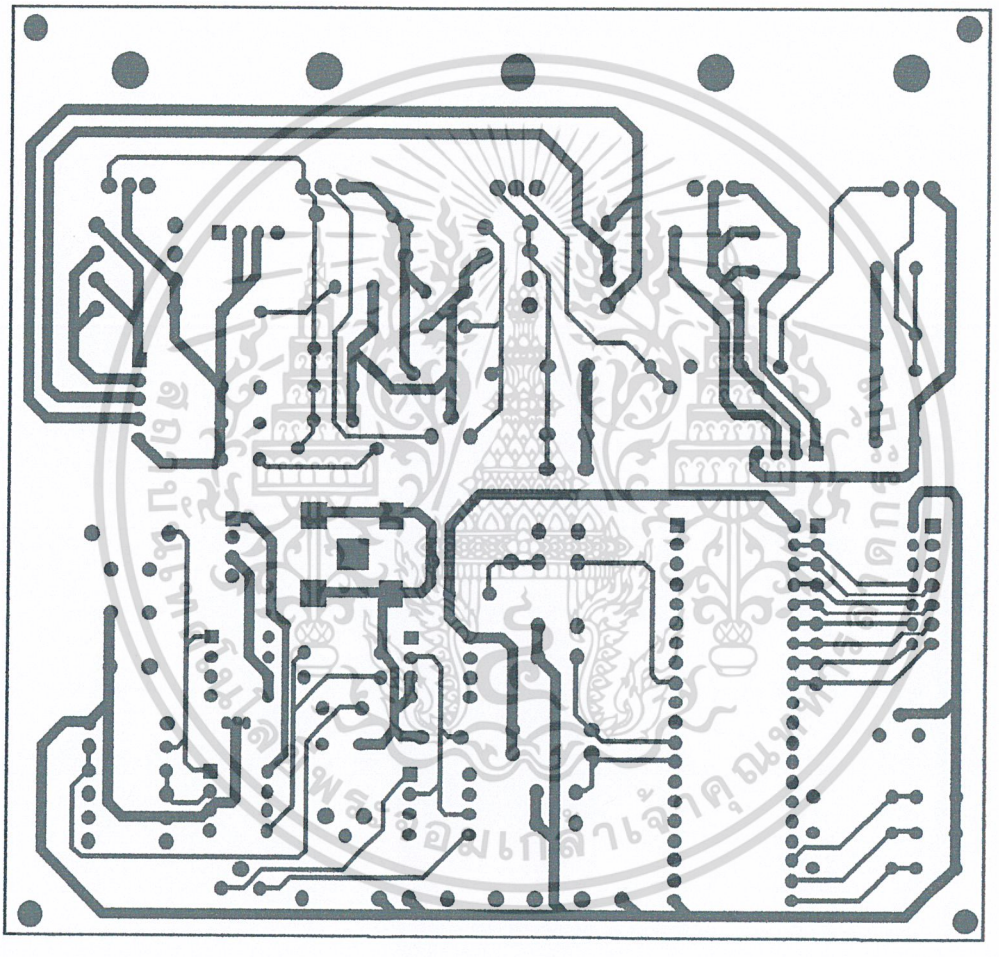


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Toplayer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



BottomLayer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LTC1286/LTC1298

Micropower Sampling 12-Bit A/D Converters In SO-8 Packages

FEATURES

- **12-Bit Resolution**
- **8-Pin SOIC Plastic Package**
- **Low Cost**
- **Low Supply Current: 250µA Typ.**
- Auto Shutdown to 1nA Typ.
- Guaranteed ±3/4LSB Max DNL
- Single Supply 5V to 9V Operation
- On-Chip Sample-and-Hold
- 60µs Conversion Time
- Sampling Rates:
  - 12.5 ksps (LTC1286)
  - 11.1 ksps (LTC1298)
- I/O Compatible with SPI, Microwire, etc.
- Differential Inputs (LTC1286)
- 2-Channel MUX (LTC1298)
- 3V Versions Available: LTC1285/LTC1288

APPLICATIONS

- Battery-Operated Systems
- Remote Data Acquisition
- Battery Monitoring
- Handheld Terminal Interface
- Temperature Measurement
- Isolated Data Acquisition

DESCRIPTION

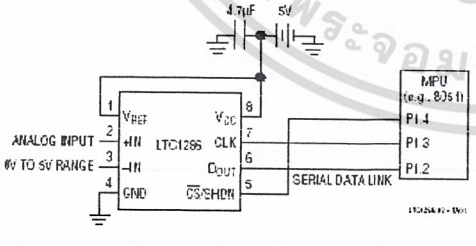
The LTC1286/LTC1298 are micropower, 12-bit, successive approximation sampling A/D converters. They typically draw only 250µA of supply current when converting and automatically power down to a typical supply current of 1nA whenever they are not performing conversions. They are packaged in 8-pin SO packages and operate on 5V to 9V supplies. These 12-bit, switched-capacitor, successive approximation ADCs include sample-and-holds. The LTC1286 has a single differential analog input. The LTC1298 offers a software selectable 2-channel MUX.

On-chip serial ports allow efficient data transfer to a wide range of microprocessors and microcontrollers over three wires. This, coupled with micropower consumption, makes remote location possible and facilitates transmitting data through isolation barriers.

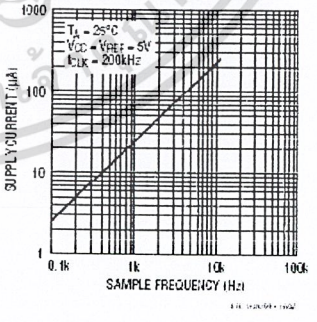
These circuits can be used in ratiometric applications or with an external reference. The high impedance analog inputs and the ability to operate with reduced spans (to 1.5V full scale) allow direct connection to sensors and transducers in many applications, eliminating the need for gain stages.

TYPICAL APPLICATIONS

25µW, SO-8 Package, 12-Bit ADC Samples at 200Hz and Runs Off a 5V Supply



Supply Current vs Sample Rate



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

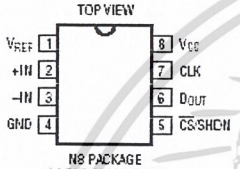
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Notes 1 and 2)

Supply Voltage (V_{CC}) to GND 12V
Voltage
- Analog and Reference ..... −0.3V to V_{CC} + 0.3V
- Digital Inputs ..... −0.3V to 12V
- Digital Output ..... −0.3V to V_{CC} + 0.3V

Power Dissipation 500mW
Operating Temperature Range
- LTC1286C/LTC1298C ..... 0°C to 70°C
- LTC1286I/LTC1298I ..... −40°C to 85°C

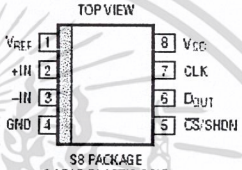
Storage Temperature Range ..... −65°C to 150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.) ..... 300°C

PACKAGE/ORDER INFORMATION



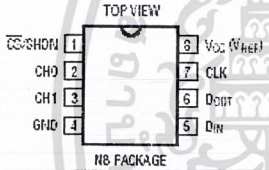
N8 PACKAGE
8-LEAD PLASTIC DIP
T_{JMAX} = 150°C, θ_{JA} = 130°C/W

ORDER PART NUMBER
LTC1286CN8
LTC1286IN8



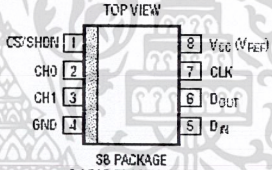
S8 PACKAGE
8-LEAD PLASTIC SOIC
T_{JMAX} = 150°C, θ_{JA} = 175°C/W

ORDER PART NUMBER
LTC1286CS8
LTC1286IS8
PART MARKING
1286C
1286I



N8 PACKAGE
8-LEAD PLASTIC DIP
T_{JMAX} = 150°C, θ_{JA} = 130°C/W

ORDER PART NUMBER
LTC1298CN8
LTC1298IN8



S8 PACKAGE
8-LEAD PLASTIC SOIC
T_{JMAX} = 150°C, θ_{JA} = 175°C/W

ORDER PART NUMBER
LTC1298CS8
LTC1298IS8
PART MARKING
1298C
1298I

Consult factory for military grade parts.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
V_{CC}	Supply Voltage (Note 3)	LTC1286 LTC1298	4.5 4.5		9.0 5.5	V V
f_{CLK}	Clock Frequency	V_{CC} = 5V	(Note 4)		200	kHz
t_{CYC}	Total Cycle Time	LTC1286, f_{CLK} = 200kHz LTC1298, f_{CLK} = 200kHz	80 90			µs µs
t_{hDI}	Hold Time, D_{IN} After CLK↑	V_{CC} = 5V	150			ns
$t_{su\overline{CS}}$	Setup Time $\overline{CS}$↓ Before First CLK↑ (See Operating Sequence)	LTC1286, V_{CC} = 5V LTC1298, V_{CC} = 5V	2 2			µs µs
t_{suDI}	Setup Time, D_{IN} Stable Before CLK↑	V_{CC} = 5V	400			ns
t_{WHCLK}	CLK High Time	V_{CC} = 5V	2			µs
t_{WLCLK}	CLK Low Time	V_{CC} = 5V	2			µs
$t_{WH\overline{CS}}$	$\overline{CS}$ High Time Between Data Transfer Cycles	V_{CC} = 5V	2			µs
$t_{WL\overline{CS}}$	$\overline{CS}$ Low Time During Data Transfer	LTC1286, f_{CLK} = 200kHz LTC1298, f_{CLK} = 200kHz	75 85			µs µs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONVERTER AND MULTIPLEXER CHARACTERISTICS (Note 5)

PARAMETER	CONDITIONS		LTC1286 MIN	LTC1286 TYP	LTC1286 MAX	LTC1298 MIN	LTC1298 TYP	LTC1298 MAX	UNITS
Resolution (No Missing Codes)		•	12			12			Bits
Integral Linearity Error	(Note 6)	•		±3/4	±2		±3/4	±2	LSB
Differential Linearity Error		•		±1/4	±3/4		±1/4	±3/4	LSB
Offset Error		•		3/4	±3		3/4	±3	LSB
Gain Error		•		±2	±8		±2	±8	LSB
Analog Input Range	(Note 7 and 8)	•		−0.05V to V_{CC} + 0.05V					V
REF Input Range (LTC1286) (Notes 7, 8, and 9)	$4.5 \le V_{CC} \le 5.5V$ $5.5V < V_{CC} \le 9V$			1.5V to V_{CC} + 0.05V 1.5V to 5.55V					V V
Analog Input Leakage Current (Note 10)		•		±1				±1	µA

DIGITAL AND DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Note 5)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
V_{IH}	High Level Input Voltage	V_{CC} = 5.25V	•	2			V
V_{IL}	Low Level Input Voltage	V_{CC} = 4.75V	•			0.8	V
I_{IH}	High Level Input Current	$V_{IN} = V_{CC}$	•			2.5	µA
I_{IL}	Low Level Input Current	V_{IN} = 0V	•			−2.5	µA
V_{OH}	High Level Output Voltage	V_{CC} = 4.75V, I_O = 10µA V_{CC} = 4.75V, I_O = 360µA	• •	4.0 2.4	4.64 4.62		V V
V_{OL}	Low Level Output Voltage	V_{CC} = 4.75V, I_O = 1.6mA	•			0.4	V
I_{OZ}	Hi-Z Output Leakage	$\overline{CS}$ = High	•			±3	µA
I_{SOURCE}	Output Source Current	V_{OUT} = 0V			−25		mA
I_{SINK}	Output Sink Current	$V_{OUT} = V_{CC}$			45		mA
R_{REF}	Reference Input Resistance (LTC1286)	$\overline{CS} = V_{CC}$ $\overline{CS}$ = GND			5000 55		MΩ kΩ
I_{REF}	Reference Current (LTC1286)	$\overline{CS} = V_{CC}$ $t_{CYC} \ge 640\mu s$, $f_{CLK} \le 25kHz$ $t_{CYC} = 80\mu s$, $f_{CLK} = 200kHz$	• • •		0.001 90 90	2.5 140 140	µA µA µA
I_{CC}	Supply Current	$\overline{CS} = V_{CC}$	•		0.001	±3.0	µA
		LTC1286, $t_{CYC} \ge 640\mu s$, $f_{CLK} \le 25kHz$ LTC1286, $t_{CYC} = 80\mu s$, $f_{CLK} = 200kHz$	• •		200 250	400 500	µA µA
		LTC1298, $t_{CYC} \ge 720\mu s$, $f_{CLK} \le 25kHz$ LTC1298, $t_{CYC} = 90\mu s$, $f_{CLK} = 200kHz$	• •		290 340	490 640	µA µA

DYNAMIC ACCURACY f_{SMPL} = 12.5kHz (LTC1286), f_{SMPL} = 11.1kHz (LTC1298) (Note 5)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
S/(N+D)	Signal-to-Noise Plus Distortion Ratio	1kHz/7kHz Input Signal		71/68		dB
THD	Total Harmonic Distortion (Up to 5th Harmonic)	1kHz/7kHz Input Signal		−84/−80		dB
SFDR	Spurious-Free Dynamic Range	1kHz/7kHz Input Signal		90/86		dB
	Peak Harmonic or Spurious Noise	1kHz/7kHz Input Signal		−90/−86		dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC CHARACTERISTICS (Note 5)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
t_{SMPL}	Analog Input Sample Time	See Operating Sequence			1.5		CLK Cycles
$f_{SMPL(MAX)}$	Maximum Sampling Frequency	LTC1286 LTC1298	● ●	12.5 11.1			kHz kHz
t_{CONV}	Conversion Time	See Operating Sequence			12		CLK Cycles
t_{dDO}	Delay Time, CLK↓ to D_{OUT} Data Valid	See Test Circuits	●		250	600	ns
t_{dis}	Delay Time, $\overline{CS}$↑ to D_{OUT} Hi-Z	See Test Circuits	●		135	300	ns
t_{en}	Delay Time, CLK↓ to D_{OUT} Enable	See Test Circuits	●		75	200	ns
t_{hDO}	Time Output Data Remains Valid After CLK↓	C_{LOAD} = 100pF			230		ns
t_f	D_{OUT} Fall Time	See Test Circuits	●		20	75	ns
t_r	D_{OUT} Rise Time	See Test Circuits	●		20	75	ns
C_{IN}	Input Capacitance	Analog Inputs, On Channel Analog Inputs, Off Channel Digital Input			20 5 5		pF pF pF

The ● denotes specifications which apply over the full operating temperature range.

Note 1: Absolute maximum ratings are those values beyond which the life of a device may be impaired.

Note 2: All voltage values are with respect to GND.

Note 3: These devices are specified at 5V. For 3V specified devices, see LTC1285 and LTC1288.

Note 4: Increased leakage currents at elevated temperatures cause the S/H to droop, therefore it is recommended that $f_{CLK} \geq 120kHz$ at 85°C. $f_{CLK} \geq 75kHz$ at 70° and $f_{CLK} \geq 1kHz$ at 25°C.

Note 5: V_{CC} = 5V, V_{REF} = 5V and CLK = 200kHz unless otherwise specified.

Note 6: Linearity error is specified between the actual end points of the A/D transfer curve.

Note 7: Two on-chip diodes are tied to each reference and analog input which will conduct for reference or analog input voltages one diode drop below GND or one diode drop above V_{CC}. This spec allows 50mV forward bias of either diode for $4.5V \leq V_{CC} \leq 5.5V$. This means that as long as the reference or analog input does not exceed the supply voltage by more than 50mV the output code will be correct. To achieve an absolute 0V to 5V input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of 4.950V over initial tolerance, temperature variations and loading. For $5.5V < V_{CC} \leq 9V$, reference and analog input range cannot exceed 5.55V. If reference and analog input range are greater than 5.55V, the output code will not be guaranteed to be correct.

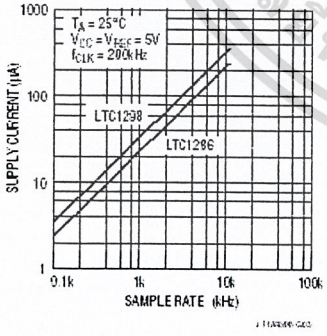
Note 8: The supply voltage range for the LTC1286 is from 4.5V to 9V, but the supply voltage range for the LTC1298 is only from 4.5V to 5.5V.

Note 9: Recommended operating conditions

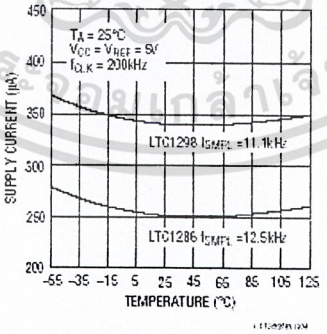
Note 10: Channel leakage current is measured after the channel selection.

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

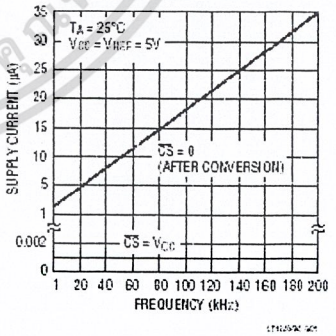
Supply Current vs Sample Rate



Supply Current vs Temperature



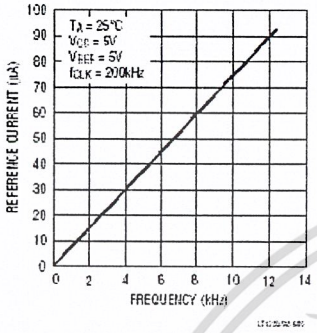
Shutdown Supply Current vs Clock Rate with $\overline{CS}$ High and $\overline{CS}$ Low



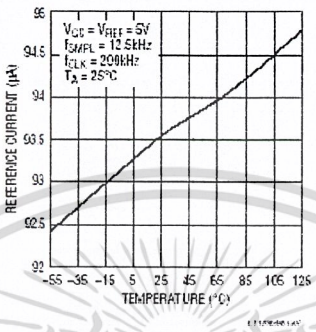
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

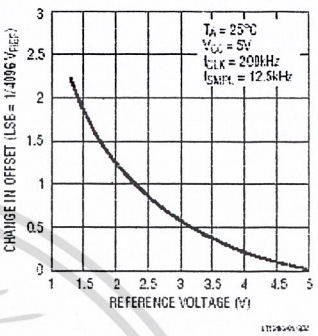
Reference Current vs Sample Rate (LTC1286)



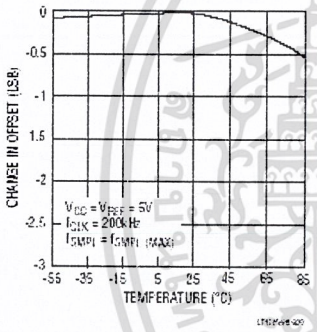
Reference Current vs Temperature



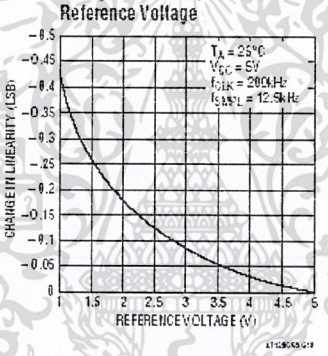
Change in Offset vs Reference Voltage



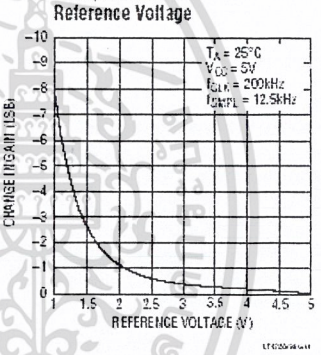
Change in Offset vs Temperature



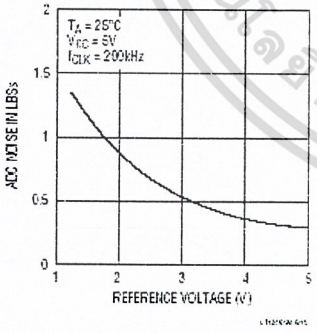
Change in Linearity vs Reference Voltage



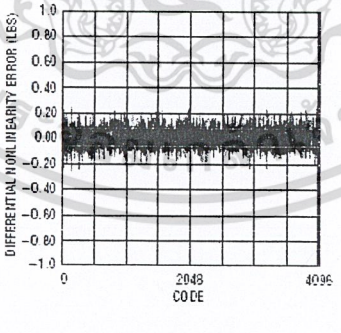
Change in Gain vs Reference Voltage



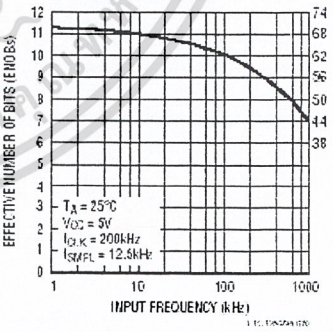
Peak-to-Peak ADC Noise vs Reference Voltage



Differential Nonlinearity vs Code



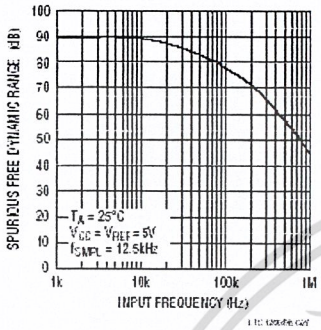
Effective Bits and S/(N + D) vs Input Frequency



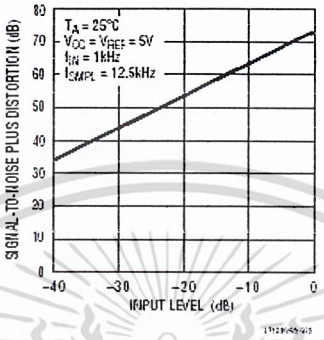
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

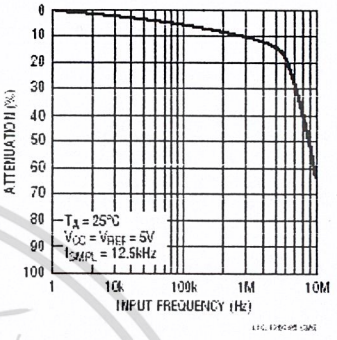
Spurious Free Dynamic Range vs Frequency



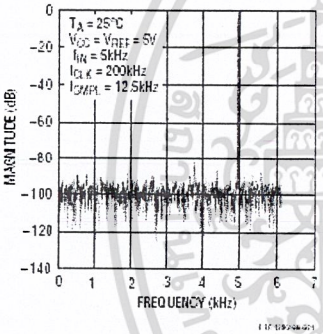
S/(N+D) vs Input Level



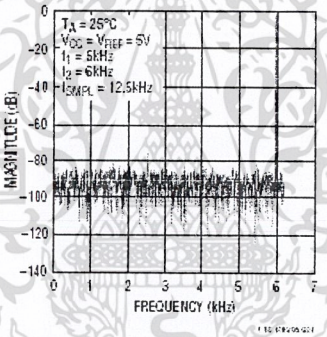
Attenuation vs Input Frequency



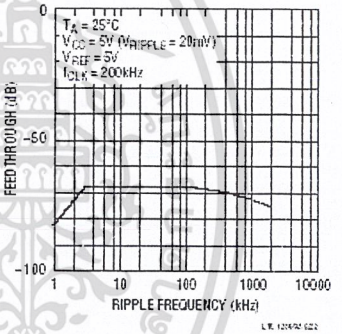
4096 Point FFT Plot



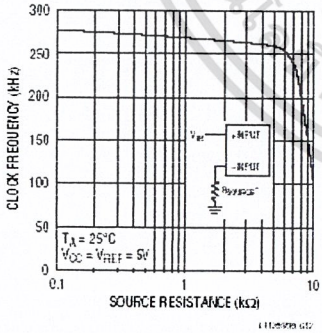
Intermodulation Distortion



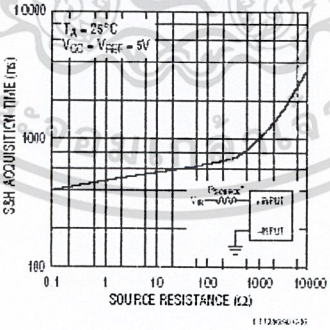
Power Supply Feedthrough vs Ripple Frequency



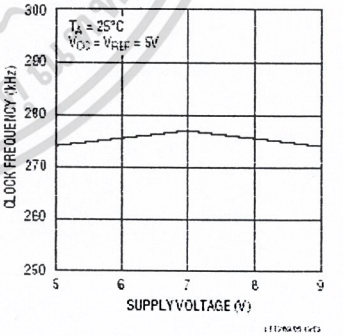
Maximum Clock Frequency vs Source Resistance



Sample and Hold Aquisition Time vs Source Resistance



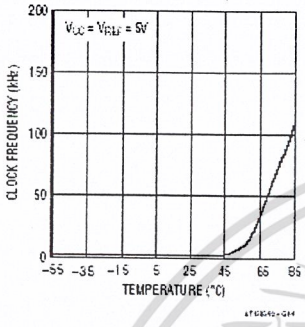
Maximum Clock Frequency vs Supply Voltage



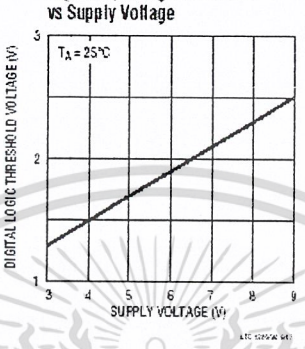
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

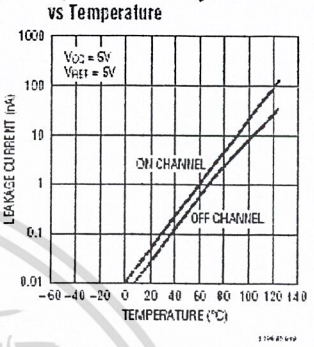
Minimum Clock Frequency for 0.1 LSB Error vs Temperature



Digital Input Logic Threshold vs Supply Voltage



Input Channel Leakage Current vs Temperature



PIN FUNCTIONS

LTC1286

V_{REF} (Pin 1): Reference Input. The reference input defines the span of the A/D converter.

IN^+ (Pin 2): Positive Analog Input.

IN^- (Pin 3): Negative Analog Input.

GND (Pin 4): Analog Ground. GND should be tied directly to an analog ground plane.

$\overline{CS}$/SHDN (Pin 5): Chip Select Input. A logic low on this input enables the LTC1286. A logic high on this input disables and powers down the LTC1286.

D_{OUT} (Pin 6): Digital Data Output. The A/D conversion result is shifted out of this output.

CLK (Pin 7): Shift Clock. This clock synchronizes the serial data transfer and determines conversion speed.

V_{CC} (Pin 8): Power Supply Voltage. This pin provides power to the A/D converter. It must be kept free of noise and ripple by bypassing directly to the analog ground plane.

LTC1298

$\overline{CS}$/SHDN (Pin 1): Chip Select Input. A logic low on this input enables the LTC1298. A logic high on this input disables and powers down the LTC1298.

CH0 (Pin 2): Analog Input.

CH1 (Pin 3): Analog Input.

GND (Pin 4): Analog Ground. GND should be tied directly to an analog ground plane.

D_{IN} (Pin 5): Digital Data Input. The multiplexer address is shifted into this input.

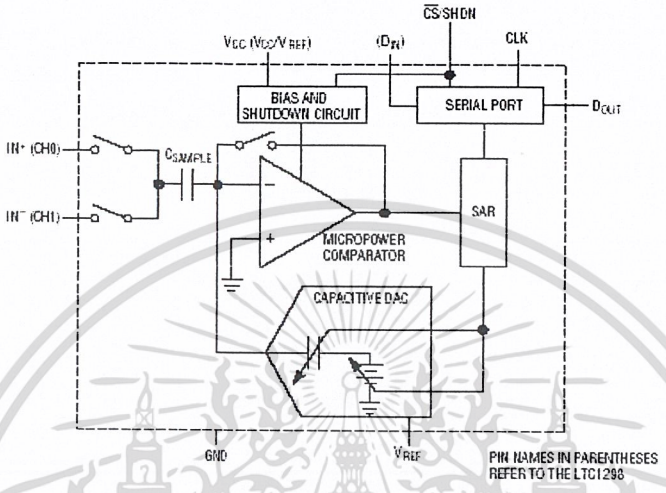
D_{OUT} (Pin 6): Digital Data Output. The A/D conversion result is shifted out of this output.

CLK (Pin 7): Shift Clock. This clock synchronizes the serial data transfer and determines conversion speed.

V_{CC}/V_{REF} (Pin 8): Power Supply and Reference Voltage. This pin provides power and defines the span of the A/D converter. It must be kept free of noise and ripple by bypassing directly to the analog ground plane.

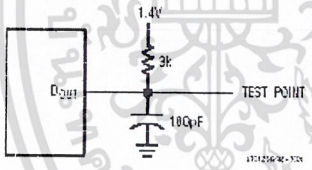
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BLOCK DIAGRAM

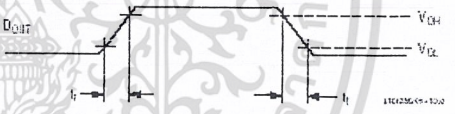


TEST CIRCUITS

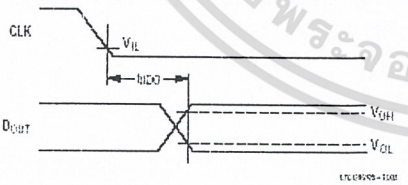
Load Circuit for t_{dDO}, t_r and t_f



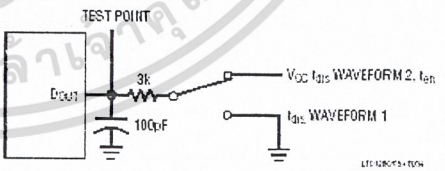
Voltage Waveforms for D_{OUT} Rise and Fall Times, t_r, t_f



Voltage Waveforms for D_{OUT} Delay Times, t_{dDO}



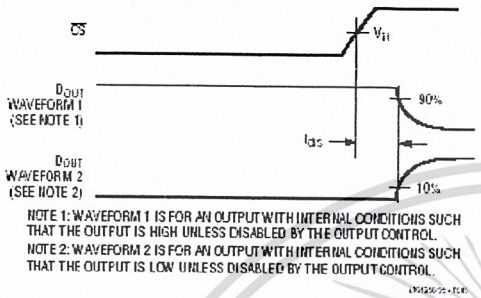
Load Circuit for t_{dis} and t_{en}



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

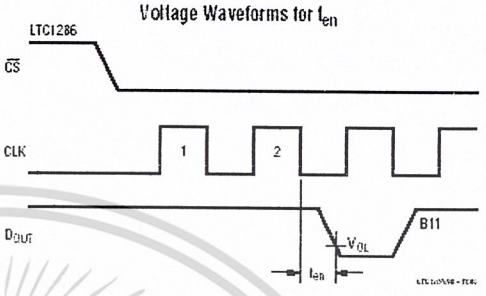
TEST CIRCUITS

Voltage Waveforms for t_{dis}

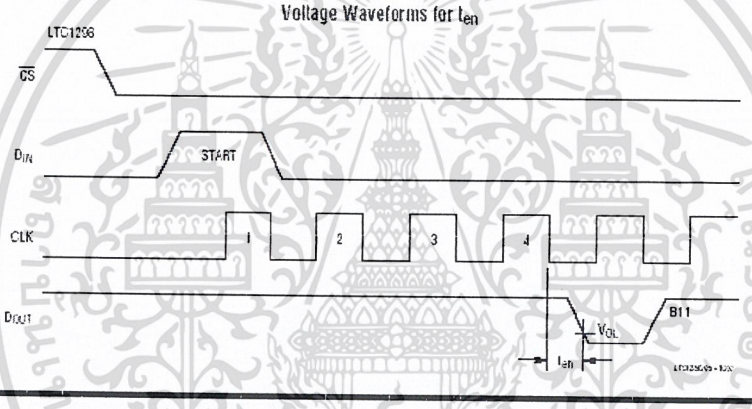


NOTE 1: WAVEFORM 1 IS FOR AN OUTPUT WITH INTERNAL CONDITIONS SUCH THAT THE OUTPUT IS HIGH UNLESS DISABLED BY THE OUTPUT CONTROL.
NOTE 2: WAVEFORM 2 IS FOR AN OUTPUT WITH INTERNAL CONDITIONS SUCH THAT THE OUTPUT IS LOW UNLESS DISABLED BY THE OUTPUT CONTROL.

Voltage Waveforms for t_{en}



Voltage Waveforms for t_{en}



APPLICATION INFORMATION

OVERVIEW

The LTC1286 and LTC1298 are micropower, 12-bit, successive approximation sampling A/D converters. The LTC1286 typically draws 250µA of supply current when sampling at 12.5kHz while the LTC1298 nominally consumes 350µA of supply current when sampling at 11.1 kHz. The extra 100µA of supply current on the LTC1298 comes from the reference input which is intentionally tied to the supply. Supply current drops linearly as the sample rate is reduced (see Supply Current vs Sample Rate). The ADCs automatically power down when not performing conversions, drawing only leakage current. They are packaged in 8-pin SO and DIP packages. The LTC1286 operates on a single supply from 4.5V to 9V, while the LTC1298 operates from a 4.5V to 5.5V supply.

Both the LTC1286 and the LTC1298 contain a 12-bit, switched-capacitor ADC, a sample-and-hold, and a serial port (see Block Diagram). Although they share the same basic design, the LTC1286 and LTC1298 differ in some respects. The LTC1286 has a differential input and has an external reference input pin. It can measure signals floating on a DC common-mode voltage and can operate with reduced spans to 1V. Reducing the spans allows it to achieve 244uV resolution. The LTC1298 has a two-channel input multiplexer and can convert either channel with respect to ground or the difference between the two. The reference input is tied to the supply pin.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

SERIAL INTERFACE

The 2-channel LTC1298 communicates with microprocessors and other external circuitry via a synchronous, half duplex, 4-wire serial interface. The single channel LTC1286 uses a 3-wire interface (see Operating Sequence in Figures 1 and 2).

Data Transfer

The CLK synchronizes the data transfer with each bit being transmitted on the falling CLK edge and captured on the rising CLK edge in both transmitting and receiving systems.

The LTC1286 does not require a configuration input word and has no D_{IN} pin. A falling $\overline{CS}$ initiates data transfer as shown in the LTC1286 operating sequence. After $\overline{CS}$ falls the second CLK pulse enables D_{OUT}. After one null bit the A/D conversion result is output on the D_{OUT} line. Bringing $\overline{CS}$ high resets the LTC1286 for the next data exchange.

The LTC1298 first receives input data and then transmits back the A/D conversion result (half duplex). Because of the half duplex operation, D_{IN} and D_{OUT} may be tied together allowing transmission over just 3 wires: $\overline{CS}$, CLK and DATA (D_{IN}/D_{OUT}).

Data transfer is initiated by a falling chip select ($\overline{CS}$) signal. After $\overline{CS}$ falls the LTC1298 looks for a start bit. After the start bit is received, the 3-bit input word is shifted into the D_{IN} input which configures the LTC1298 and starts the conversion. After one null bit, the result of the conversion is output on the D_{OUT} line. At the end of the data exchange $\overline{CS}$ should be brought high. This resets the LTC1298 in preparation for the next data exchange.

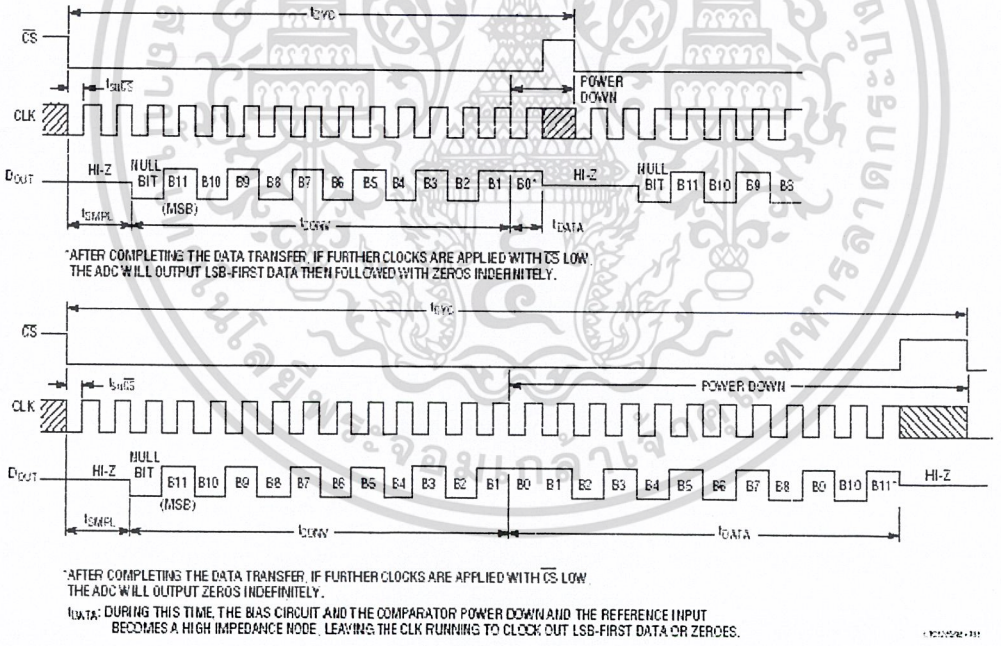
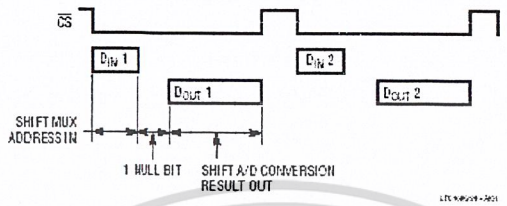


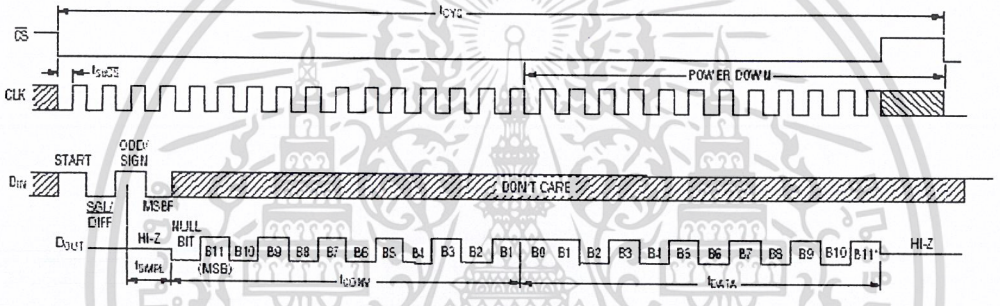
Figure 1. LTC1286 Operating Sequence

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

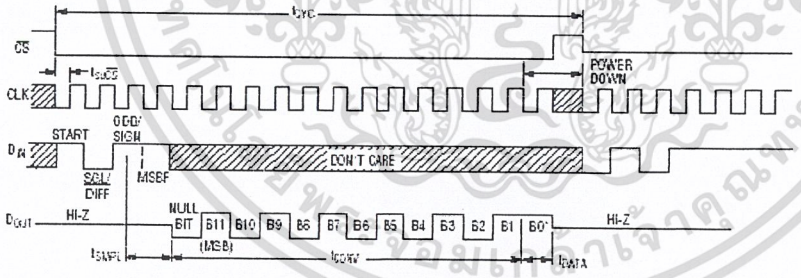
APPLICATION INFORMATION



MSB-First Data (MSBF = 0)



MSB-First Data (MSBF = 1)



*AFTER COMPLETING THE DATA TRANSFER, IF FURTHER CLOCKS ARE APPLIED WITH $\overline{CS}$ LOW, THE ADC WILL OUTPUT ZEROS INDEFINITELY.

t_{DATA}: DURING THIS TIME, THE BIAS CIRCUIT AND THE COMPARATOR POWER DOWN AND THE REFERENCE INPUT BECOMES A HIGH IMPEDANCE NODE, LEAVING THE CLK RUNNING TO CLOCK OUT LSB-FIRST DATA OR ZEROES.

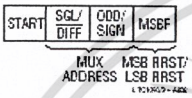
Figure 2. LTC1298 Operating Sequence Example: Differential Inputs (CH+, CH–)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

Input Data Word

The LTC1286 requires no D_{IN} word. It is permanently configured to have a single differential input. The conversion result appears on the D_{OUT} line. The data format is MSB first followed by the LSB sequence. This provides easy interface to MSB or LSB first serial ports. For MSB first data the $\overline{CS}$ signal can be taken high after B0 (see Figure 1). The LTC1298 clocks data into the D_{IN} input on the rising edge of the clock. The input data words are defined as follows:



Start Bit

The first "logical one" clocked into the D_{IN} input after $\overline{CS}$ goes low is the start bit. The start bit initiates the data transfer. The LTC1298 will ignore all leading zeros which precede this logical one. After the start bit is received, the remaining bits of the input word will be clocked in. Further inputs on the D_{IN} pin are then ignored until the next $\overline{CS}$ cycle.

Multiplexer (MUX) Address

The bits of the input word following the START bit assign the MUX configuration for the requested conversion. For a given channel selection, the converter will measure the voltage between the two channels indicated by the + and – signs in the selected row of the following tables. In single-ended mode, all input channels are measured with respect to GND.

LTC1298 Channel Selection

	MUX ADDRESS SGL/DIFF	MUX ADDRESS ODD/SIGN	CHANNEL # 0	CHANNEL # 1	GND
SINGLE-ENDED MUX MODE	1	0	+	–	
	1	1	–	+	
DIFFERENTIAL MUX MODE	0	0	+	–	
	0	1	–	+	

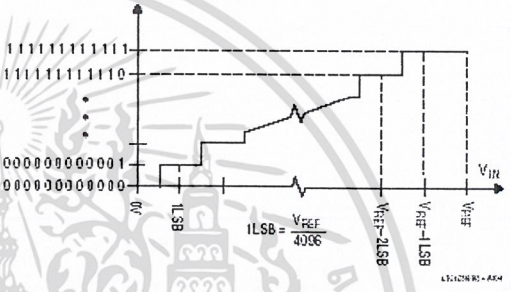
MSB First/LSB First (MSBF)

The output data of the LTC1298 is programmed for MSB first or LSB first sequence using the MSBF bit. When the MSBF bit is a logical one, data will appear on the D_{OUT} line in MSB first format. Logical zeros will be filled in indefinitely following the last data bit. When the MSBF bit is a logical zero LSB first data will follow the normal MSB first data on the D_{OUT} line. (see Operating Sequence)

Transfer Curve

The LTC1286/LTC1298 are permanently configured for unipolar only. The input span and code assignment for this conversion type are shown in the following figures.

Transfer Curve



Output Code

OUTPUT CODE	INPUT VOLTAGE	INPUT VOLTAGE (V_{REF} = 5.000V)
1111111111111	V_{REF} – 1LSB	4.99878V
1111111111110	V_{REF} – 2LSB	4.99756V
•	•	•
•	•	•
•	•	•
0000000000001	1LSB	0.00122V
0000000000000	0V	0V

Operation with D_{IN} and D_{OUT} Tied Together

The LTC1298 can be operated with D_{IN} and D_{OUT} tied together. This eliminates one of the lines required to communicate to the microprocessor (MPU). Data is transmitted in both directions on a single wire. The processor pin connected to this data line should be configurable as either an input or an output. The LTC1298 will take control of the data line and drive it low on the 4th falling CLK edge after the start bit is received (see Figure 3). Therefore the processor port line must be switched to an input before this happens to avoid a conflict.

In the Typical Applications section, there is an example of interfacing the LTC1298 with D_{IN} and D_{OUT} tied together to the Intel 8051 MPU.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

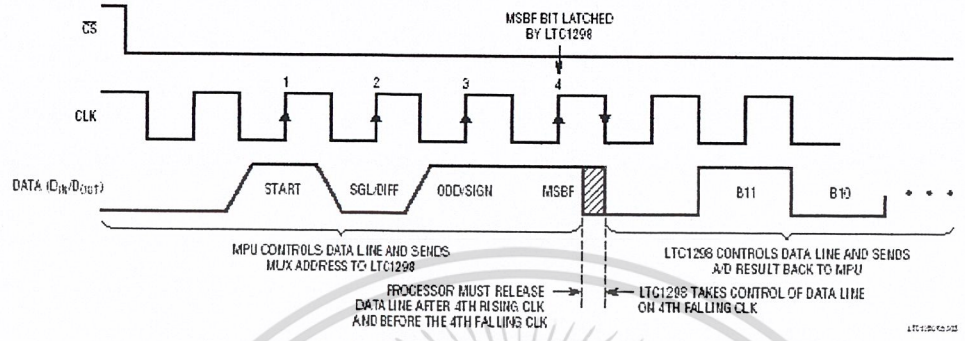


Figure 3. LTC1298 Operation with D_{IN} and D_{OUT} Tied Together

ACHIEVING MICROPOWER PERFORMANCE

With typical operating currents of 250µA and automatic shutdown between conversions, the LTC1286/LTC1298 achieves extremely low power consumption over a wide range of sample rates (see Figure 4). The auto-shutdown allows the supply curve to drop with reduced sample rate. Several things must be taken into account to achieve such a low power consumption.

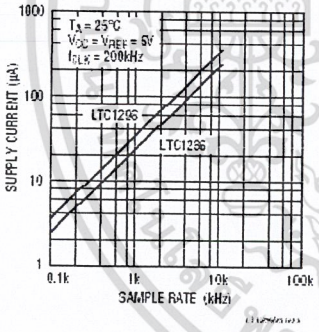


Figure 4. Automatic Power Shutdown Between Conversions Allows Power Consumption to Drop with Sample Rate.

Shutdown

The LTC1286/LTC1298 are equipped with automatic shutdown features. They draw power when the $\overline{CS}$ pin is low and shut down completely when that pin is high. The bias circuit and comparator powers down and the reference input becomes high impedance at the end of each conversion leaving the CLK running to clock out the LSB first data or zeroes (see Figures 1 and 2). If the $\overline{CS}$ is not running rail-to-rail, the input logic buffer will draw current. This current may be large compared to the typical supply current. To obtain the lowest supply current, bring the $\overline{CS}$ pin to ground when it is low and to supply voltage when it is high.

When the $\overline{CS}$ pin is high (= supply voltage), the converter is in shutdown mode and draws only leakage current. The status of the D_{IN} and CLK input have no effect on supply current during this time. There is no need to stop D_{IN} and CLK with $\overline{CS}$ = high; they can continue to run without drawing current.

Minimize $\overline{CS}$ Low Time

In systems that have significant time between conversions, lowest power drain will occur with the minimum $\overline{CS}$ low time. Bringing $\overline{CS}$ low, transferring data as quickly as possible, and then bringing it back high will result in the lowest current drain. This minimizes the amount of time the device draws power. After a conversion the ADC automatically shuts down even if $\overline{CS}$ is held low (see Figures 1 and 2). If the clock is left running to clock out LSB-data or zero, the logic will draw a small current. Figure 5 shows that the typical supply current with $\overline{CS}$ = ground varies from 1µA at 1kHz to 35µA at 200kHz. When $\overline{CS}$ = V_{CC}, the logic is gated off and no supply current is drawn regardless of the clock frequency.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

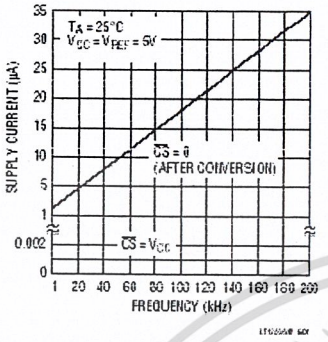


Figure 5. Shutdown current with $\overline{CS}$ high is 1nA typically, regardless of the clock. Shutdown current with $\overline{CS}$ = ground varies from 1µA at 1kHz to 35µA at 200kHz.

D_{OUT} Loading

Capacitive loading on the digital output can increase power consumption. A 100pF capacitor on the D_{OUT} pin can add more than 50µA to the supply current at a 200kHz clock frequency. An extra 50µA or so of current goes into charging and discharging the load capacitor. The same goes for digital lines driven at a high frequency by any logic. The C × V × f currents must be evaluated and the troublesome ones minimized.

OPERATING ON OTHER THAN 5V SUPPLIES (LTC1286)

The LTC1286 operates from 4.5V to 9V supplies and the LTC1298 operates from a 5V supply. To operate the LTC1286 on other than 5V supplies a few things must be kept in mind.

Input Logic Levels

The input logic levels of $\overline{CS}$, CLK and D_{IN} are made to meet TTL on a 5V supply. When the supply voltage varies, the input logic levels also change. For the LTC1286 to sample and convert correctly, the digital inputs have to be in the proper logical low and high levels relative to the operating supply voltage (see typical curve of Digital Input Logic Threshold vs Supply Voltage). If achieving micropower consumption is desirable, the digital inputs must go rail-to-rail between supply voltage and ground (see ACHIEVING MICROPOWER PERFORMANCE section).

Clock Frequency

The maximum recommended clock frequency is 200kHz for the LTC1286/LTC1298 running off a 5V supply. With the supply voltage changing, the maximum clock frequency for the devices also changes (see the typical curve of Maximum Clock Rate vs Supply Voltage). If the maximum clock frequency is used, care must be taken to ensure that the device converts correctly.

Mixed Supplies

It is possible to have a microprocessor running off a 5V supply and communicate with the LTC1286 operating on a 9V supply. The requirement to achieve this is that the outputs of $\overline{CS}$ and CLK from the MPU have to be able to trip the equivalent inputs of the LTC1286 and the output of D_{OUT} from the LTC1286 must be able to toggle the equivalent input of the MPU (see typical curve of Digital Input Logic Threshold vs Supply Voltage). With the LTC1286 operating on a 9V supply, the output of D_{OUT} may go between 0V and 9V. The 9V output may damage the MPU running off a 5V supply. The way to get around this possibility is to have a resistor divider on D_{OUT} (Figure 6) and connect the center point to the MPU input. It should be noted that to get full shutdown, the $\overline{CS}$ input of the LTC1286 must be driven to the V_{CC} voltage to keep the $\overline{CS}$ input buffer from drawing current. An alternative is to leave $\overline{CS}$ low after a conversion, clock data until D_{OUT} outputs zeros, and then stop the clock low.

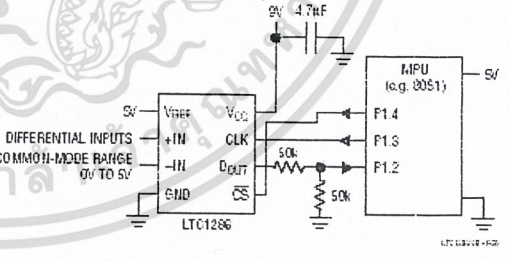


Figure 6. Interfacing a 9V Powered LTC1286 to a 5V System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

BOARD LAYOUT CONSIDERATIONS

Grounding and Bypassing

The LTC1286/LTC1298 are easy to use if some care is taken. They should be used with an analog ground plane and single point grounding techniques. The GND pin should be tied directly to the ground plane.

The V_{CC} pin should be bypassed to the ground plane with a 10µF tantalum capacitor with leads as short as possible. If the power supply is clean, the LTC1286/LTC1298 can also operate with smaller 1µF or less surface mount or ceramic bypass capacitors. All analog inputs should be referenced directly to the single point ground. Digital inputs and outputs should be shielded from and/or routed away from the reference and analog circuitry.

SAMPLE-AND-HOLD

Both the LTC1286 and the LTC1298 provide a built-in sample-and-hold (S&H) function to acquire signals. The S&H of the LTC1286 acquires input signals from "+" input relative to "–" input during the t_{SMPL} time (see Figure 1). However, the S&H of the LTC1298 can sample input signals in the single-ended mode or in the differential inputs during the t_{SMPL} time (see Figure 7).

Single-Ended Inputs

The sample-and-hold of the LTC1298 allows conversion of rapidly varying signals. The input voltage is sampled during the t_{SMPL} time as shown in Figure 7. The sampling interval begins as the bit preceding the MSBF bit is shifted in and continues until the falling CLK edge after the MSBF bit is received. On this falling edge, the S&H goes into hold mode and the conversion begins.

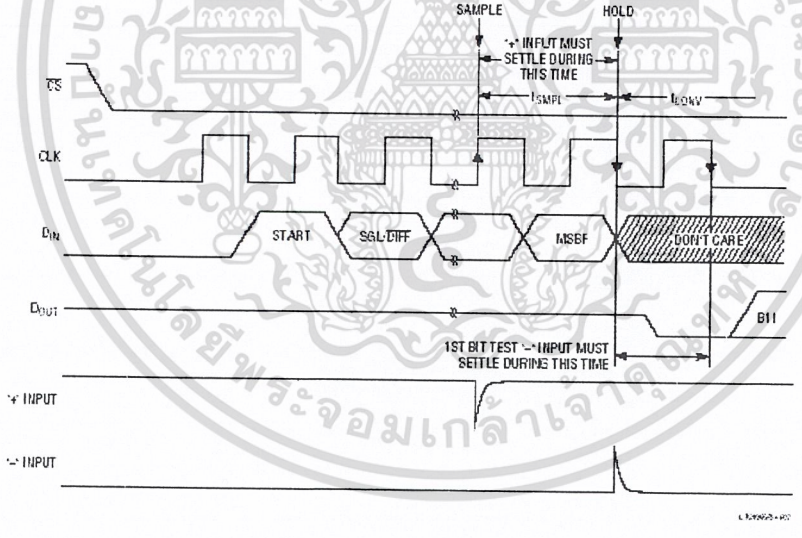


Figure 7. LTC1298 "+" and "–" Input Settling Windows

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

Differential Inputs

With differential inputs, the ADC no longer converts just a single voltage but rather the difference between two voltages. In this case, the voltage on the selected "+" input is still sampled and held and therefore may be rapidly time varying just as in single-ended mode. However, the voltage on the selected "–" input must remain constant and be free of noise and ripple throughout the conversion time. Otherwise, the differencing operation may not be performed accurately. The conversion time is 12 CLK cycles. Therefore, a change in the "–" input voltage during this interval can cause conversion errors. For a sinusoidal voltage on the "–" input this error would be:

$$V_{ERROR\,(MAX)} = V_{PEAK} \times 2 \times \pi \times f("-") \times 12/f_{CLK}$$

Where f("–") is the frequency of the "–" input voltage, V_{PEAK} is its peak amplitude and f_{CLK} is the frequency of the CLK. In most cases V_{ERROR} will not be significant. For a 60Hz signal on the "–" input to generate a 1/4LSB error (305μV) with the converter running at CLK = 200kHz, its peak value would have to be 13.48mV.

ANALOG INPUTS

Because of the capacitive redistribution A/D conversion techniques used, the analog inputs of the LTC1286/LTC1298 have capacitive switching input current spikes. These current spikes settle quickly and do not cause a problem. However, if large source resistances are used or if slow settling op amps drive the inputs, care must be taken to insure that the transients caused by the current spikes settle completely before the conversion begins.

"+" Input Settling

The input capacitor of the LTC1286 is switched onto "+" input during the t_{SMPL} time (see Figure 1) and samples the input signal within that time. However, the input capacitor of the LTC1298 is switched onto "+" input during the sample phase (t_{SMPL}, see Figure 7). The sample phase is 1 1/2 CLK cycles before conversion starts. The voltage on the "+" input must settle completely within t_{SMPLE} for the LTC1286 and the LTC1298 respectively. Minimizing R_{SOURCE}+ and C1 will improve the input settling time. If a large "+" input source resistance must be used, the sample time can be increased by using a slower CLK frequency.

"–" Input Settling

At the end of the t_{SMPL}, the input capacitor switches to the "–" input and conversion starts (see Figures 1 and 7). During the conversion, the "+" input voltage is effectively "held" by the sample-and-hold and will not affect the conversion result. However, it is critical that the "–" input voltage settles completely during the first CLK cycle of the conversion time and be free of noise. Minimizing R_{SOURCE}– and C2 will improve settling time. If a large "–" input source resistance must be used, the time allowed for settling can be extended by using a slower CLK frequency.

Input Op Amps

When driving the analog inputs with an op amp it is important that the op amp settle within the allowed time (see Figure 7). Again, the "+" and "–" input sampling times can be extended as described above to accommodate slower op amps. Most op amps, including the LT1006 and LT1413 single supply op amps, can be made to settle well even with the minimum settling windows of 6μs ("+" input) which occur at the maximum clock rate of 200kHz.

Source Resistance

The analog inputs of the LTC1286/LTC1298 look like a 20pF capacitor (C_{IN}) in series with a 500Ω resistor (R_{ON}) as shown in Figure 8. C_{IN} gets switched between the selected "+" and "–" inputs once during each conversion cycle. Large external source resistors and capacitances

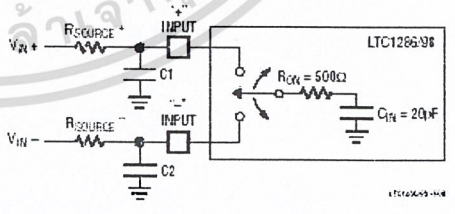


Figure 8. Analog Input Equivalent Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

will slow the settling of the inputs. It is important that the overall RC time constants be short enough to allow the analog inputs to completely settle within the allowed time.

RC Input Filtering

It is possible to filter the inputs with an RC network as shown in Figure 9. For large values of C_F (e.g., 1µF), the capacitive input switching currents are averaged into a net DC current. Therefore, a filter should be chosen with a small resistor and large capacitor to prevent DC drops across the resistor. The magnitude of the DC current is approximately $I_{DC} = 20pF \times V_{IN}/t_{CYC}$ and is roughly proportional to V_{IN}. When running at the minimum cycle time of 64µs, the input current equals 1.56µA at $V_{IN} = 5V$. In this case, a filter resistor of 75Ω will cause 0.1LSB of full-scale error. If a larger filter resistor must be used, errors can be eliminated by increasing the cycle time.

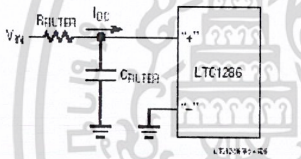


Figure 9. RC Input Filtering

Input Leakage Current

Input leakage currents can also create errors if the source resistance gets too large. For instance, the maximum input leakage specification of 1µA (at 125°C) flowing through a source resistance of 240Ω will cause a voltage drop of 240µV or 0.2LSB. This error will be much reduced at lower temperatures because leakage drops rapidly (see typical curve of Input Channel Leakage Current vs Temperature).

REFERENCE INPUTS

The reference input of the LTC1286 is effectively a 50kΩ resistor from the time $\overline{CS}$ goes low to the end of the conversion. The reference input becomes a high impedence node at any other time (see Figure 10). Since the voltage on the reference input defines the voltage span of the A/D converter, the reference input should be driven by a reference with low R_{OUT} (ex. LT1004, LT1019 and LT1021) or a voltage source with low R_{OUT}.

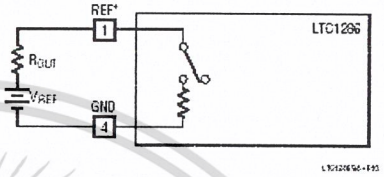


Figure 10. Reference Input Equivalent Circuit

Reduced Reference Operation

The minimum reference voltage of the LTC1298 is limited to 4.5V because the V_{CC} supply and reference are internally tied together. However, the LTC1286 can operate with reference voltages below 1V.

The effective resolution of the LTC1286 can be increased by reducing the input span of the converter. The LTC1286 exhibits good linearity and gain over a wide range of reference voltages (see typical curves of Change in Linearity vs Reference Voltage and Change in Gain vs Reference Voltage). However, care must be taken when operating at low values of V_{REF} because of the reduced LSB step size and the resulting higher accuracy requirement placed on the converter. The following factors must be considered when operating at low V_{REF} values:

1. Offset
2. Noise
3. Conversion speed (CLK frequency)

Offset with Reduced V_{REF}

The offset of the LTC1286 has a larger effect on the output code. When the ADC is operated with reduced reference voltage, the offset (which is typically a fixed voltage) becomes a larger fraction of an LSB as the size of the LSB is reduced. The typical curve of Change in Offset vs Reference Voltage shows how offset in LSBs is related to reference voltage for a typical value of V_{OS}. For example, a V_{OS} of 122µV which is 0.1LSB with a 5V reference becomes 0.5LSB with a 1V reference and 2.5LSBs with a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

0.2V reference. If this offset is unacceptable, it can be corrected digitally by the receiving system or by offsetting the "–" input of the LTC1286.

Noise with Reduced V_{REF}

The total input referred noise of the LTC1286 can be reduced to approximately 400μV peak-to-peak using a ground plane, good bypassing, good layout techniques and minimizing noise on the reference inputs. This noise is insignificant with a 5V reference but will become a larger fraction of an LSB as the size of the LSB is reduced.

For operation with a 5V reference, the 400μV noise is only 0.33LSB peak-to-peak. In this case, the LTC1286 noise will contribute virtually no uncertainty to the output code. However, for reduced references the noise may become a significant fraction of an LSB and cause undesirable jitter in the output code. For example, with a 2.5V reference this same 400μV noise is 0.66LSB peak-to-peak. This will reduce the range of input voltages over which a stable output code can be achieved by 1LSB. If the reference is further reduced to 1V, the 400μV noise becomes equal to 1.65LSBs and a stable code may be difficult to achieve. In this case averaging multiple readings may be necessary.

This noise data was taken in a very clean setup. Any setup induced noise (noise or ripple on V_{CC}, V_{REF} or V_{IN}) will add to the internal noise. The lower the reference voltage to be used the more critical it becomes to have a clean, noise free setup.

Conversion Speed with Reduced V_{REF}

With reduced reference voltages, the LSB step size is reduced and the LTC1286 internal comparator overdrive is reduced. Therefore, it may be necessary to reduce the maximum CLK frequency when low values of V_{REF} are used.

DYNAMIC PERFORMANCE

The LTC1286/LTC1298 have exceptional sampling capability. Fast Fourier Transform (FFT) test techniques are used to characterize the ADC's frequency response, distortion and noise at the rated throughput. By applying a low distortion sine wave and analyzing the digital output using an FFT algorithm, the ADC's spectral content can be examined for frequencies outside the fundamental. Figure 11 shows a typical LTC1286 plot.

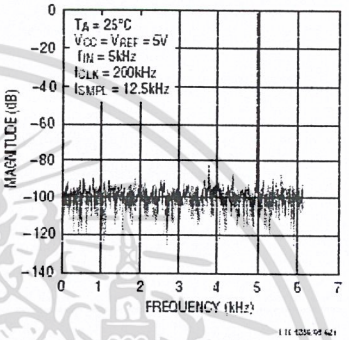


Figure 11. LTC1286 Non-Averaged, 4096 Point FFT Plot

Signal-to-Noise Ratio

The Signal-to-Noise plus Distortion Ratio (S/N + D) is the ratio between the RMS amplitude of the fundamental input frequency to the RMS amplitude of all other frequency components at the ADC's output. The output is band limited to frequencies above DC and below one half the sampling frequency. Figure 12 shows a typical spectral content with a 12.5kHz sampling rate.

Effective Number of Bits

The Effective Number of Bits (ENOBs) is a measurement of the resolution of an ADC and is directly related to S/(N+D) by the equation:

$$ENOB = [S/(N + D) – 1.76]/6.02$$

where S/(N + D) is expressed in dB. At the maximum sampling rate of 12.5kHz with a 5V supply, the LTC1286 maintains above 11 ENOBs at 10kHz input frequency. Above 10kHz the ENOBs gradually decline, as shown in Figure 12, due to increasing second harmonic distortion. The noise floor remains low.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

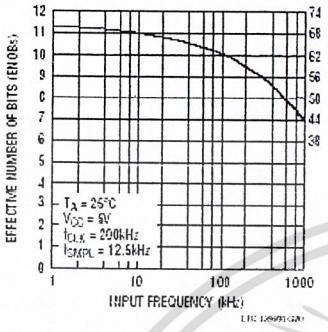


Figure 12. Effective Bits and S/(N + D) vs Input Frequency

Total Harmonic Distortion

Total Harmonic Distortion (THD) is the ratio of the RMS sum of all harmonics of the input signal to the fundamental itself. The out-of-band harmonics alias into the frequency band between DC and half of the sampling frequency. THD is defined as:

$$THD = 20\log\frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + ... + V_N^2}}{V_1}$$

where V_1 is the RMS amplitude of the fundamental frequency and V_2 through V_N are the amplitudes of the second through the N^{th} harmonics. The typical THD specification in the Dynamic Accuracy table includes the 2nd through 5th harmonics. With a 7kHz input signal, the LTC1286/LTC1298 have typical THD of 80dB with V_{CC} = 5V.

Intermodulation Distortion

If the ADC input signal consists of more than one spectral component, the ADC transfer function nonlinearity can produce intermodulation distortion (IMD) in addition to THD. IMD is the change in one sinusoidal input caused by the presence of another sinusoidal input at a different frequency.

If two pure sine waves of frequencies f_a and f_b are applied to the ADC input, nonlinearities in the ADC transfer function can create distortion products at sum and difference frequencies of $mf_a \pm nf_b$, where m and n = 0, 1, 2, 3, etc. For example, the 2nd order IMD terms include $(f_a + f_b)$ and $(f_a - f_b)$ while 3rd order IMD terms include $(2f_a + f_b)$, $(2f_a - f_b)$, $(f_a + 2f_b)$, and $(f_a - 2f_b)$. If the two input sine waves are equal in magnitudes, the value (in dB) of the 2nd order IMD products can be expressed by the following formula:

$$IMD(f_a \pm f_b) = 20\log\left[\frac{\text{amplitude}\,(f_a \pm f_b)}{\text{amplitude at } f_a}\right]$$

For input frequencies of 5kHz and 6kHz, the IMD of the LTC1286/LTC1298 is 73dB with a 5V supply.

Peak Harmonic or Spurious Noise

The peak harmonic or spurious noise is the largest spectral component excluding the input signal and DC. This value is expressed in dBs relative to the RMS value of a full-scale input signal.

Full-Power and Full-Linear Bandwidth

The full-power bandwidth is that input frequency at which the amplitude of the reconstructed fundamental is reduced by 3dB for a full-scale input.

The full-linear bandwidth is the input frequency at which the effective bits rating of the ADC falls to 11 bits. Beyond this frequency, distortion of the sampled input signal increases. The LTC1286/LTC1298 have been designed to optimize input bandwidth, allowing the ADCs to undersample input signals with frequencies above the converters' Nyquist Frequency.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL APPLICATIONS

MICROPROCESSOR INTERFACES

The LTC1286/LTC1298 can interface directly without external hardware to most popular microprocessor (MPU) synchronous serial formats (see Table 1). If an MPU without a dedicated serial port is used, then 3 or 4 of the MPU's parallel port lines can be programmed to form the serial link to the LTC1286/LTC1298. Included here is one serial interface example and one example showing a parallel port programmed to form the serial interface.

Motorola SPI (MC68HC11)

The MC68HC11 has been chosen as an example of an MPU with a dedicated serial port. This MPU transfers data MSB-first and in 8-bit increments. The D_{IN} word sent to the data register starts with the SPI process. With three 8-bit transfers, the A/D result is read into the MPU. The second 8-bit transfer clocks B11 through B8 of the A/D conversion result into the processor. The third 8-bit transfer clocks the remaining bits, B7 through B0, into the MPU. The data is right justified into two memory locations. ANDing the second byte with $0F_{HEX}$ clears the four most significant bits. This operation was not included in the code. It can be inserted in the data gathering loop or outside the loop when the data is processed.

MC68HC11 Code

In this example the D_{IN} word configures the input MUX for a single-ended input to be applied to CH0. The conversion result is output MSB-first.

Table 1. Microprocessor with Hardware Serial Interfaces Compatible with the LTC1286/LTC1298

PART NUMBER	TYPE OF INTERFACE
Motorola	
MC6805S2,S3	SPI
MC68HC11	SPI
MC68HC05	SPI
RCA	
CDP68HC05	SPI
Hitachi	
HD6305	SCI Synchronous
HD63705	SCI Synchronous
HD6301	SCI Synchronous
HD63701	SCI Synchronous
HD6303	SCI Synchronous
HD64180	CSI/O
National Semiconductor	
COP400 Family	MICROWIRE†
COP800 Family	MICROWIRE/PLUS†
NS8050U	MICROWIRE/PLUS†
HPC16000 Family	MICROWIRE/PLUS†
Texas Instruments	
TMS7002	Serial Port
TMS7042	Serial Port
TMS70C02	Serial Port
TMS70C42	Serial Port
TMS32011*	Serial Port
TMS32020	Serial Port
Intel	
8051	Bit Manipulation on Parallel Port

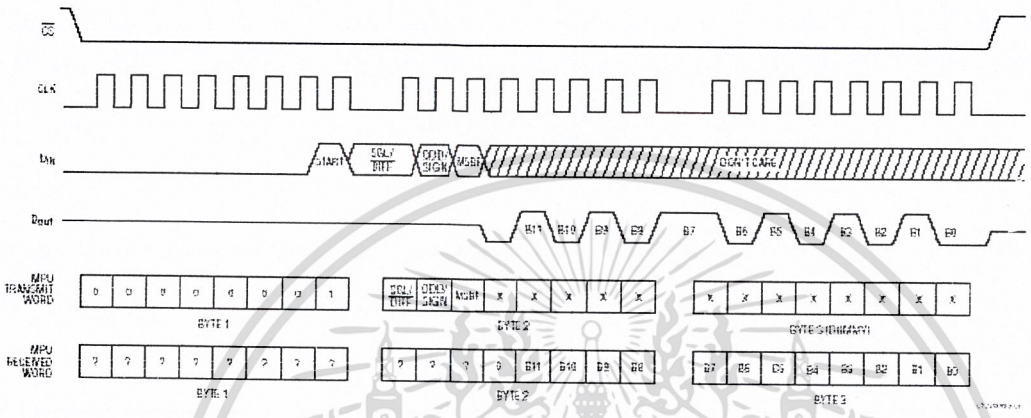
* Requires external hardware

† MICROWIRE and MICROWIRE/PLUS are trademarks of National Semiconductor Corp.

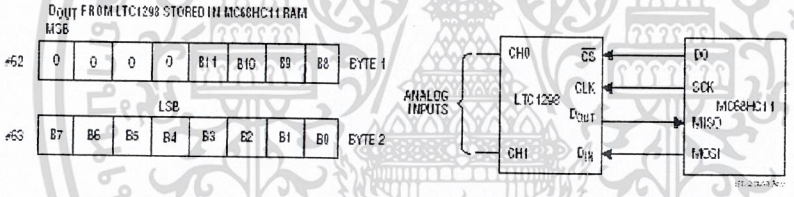
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL APPLICATIONS

Timing Diagram for Interface to the MC68HC11



Hardware and Software Interface to the MC68HC11



LABEL	MNEMONIC	OPERAND	COMMENTS
	LDAA	#$50	CONFIGURATION DATA FOR SPCR
	STAA	$1028	LOAD DATA INTO SPCR ($1028)
	LDAA	#$1B	CONFIG. DATA FOR PORT D DDR
	STAA	$1009	LOAD DATA INTO PORT D DDR
	LDAA	#$01	LOAD DIN WORD INTO ACC A
	STAA	$50	LOAD DIN DATA INTO $50
	LDAA	#$A0	LOAD DIN WORD INTO ACC A
	STAA	$51	LOAD DIN DATA INTO $51
	LDAA	#$00	LOAD DUMMY DIN WORD INTO ACC A
	STAA	$52	LOAD DUMMY DIN DATA INTO $52
	LDX	#$1000	LOAD INDEX REGISTER X WITH $1000
LOOP	BCLR	$08,X,#$01	D0 GOES LOW (CS GOES LOW)
	LDAA	$50	LOAD DIN INTO ACC A FROM $50
	STAA	$102A	LOAD DIN INTO SPI, START SCK
	LDAA	$1029	CHECK SPI STATUS REG
WAIT1	BPL	WAIT1	CHECK IF TRANSFER IS DONE
	LDAA	$51	LOAD DIN INTO ACC A FROM $51
	STAA	$102A	LOAD DIN INTO SPI, START SCK
WAIT2	LDAA	$1029	CHECK SPI STATUS REG
	BPL	WAIT2	CHECK IF TRANSFER IS DONE
	LDAA	$102A	LOAD LTC1291 MSBs INTO ACC A
	STAA	$62	STORE MSBs IN $62
	LDAA	$52	LOAD DUMMY INTO ACC A FROM $52
	STAA	$102A	LOAD DUMMY DIN INTO SPI, START SCK
WAIT3	LDAA	$1029	CHECK SPI STATUS REG
	BPL	WAIT3	CHECK IF TRANSFER IS DONE
	BSET	$08,X,#$01	D0 GOES HIGH (CS GOES HIGH)
	LDAA	$102A	LOAD LTC1291 LSBs IN ACC
	STAA	$63	STORE LSBs IN $63
	JMP	LOOP	START NEXT CONVERSION

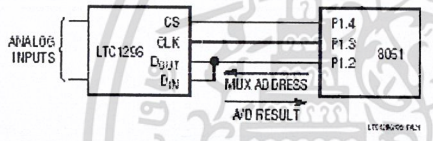
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL APPLICATIONS

Interfacing to the Parallel Port of the INTEL 8051 Family

The Intel 8051 has been chosen to demonstrate the interface between the LTC1298 and parallel port microprocessors. Normally the $\overline{CS}$, CLK and D_{IN} signals would be generated on 3 port lines and the D_{OUT} signal read on a 4th port line. This works very well. However, we will demonstrate here an interface with the D_{IN} and D_{OUT} of the LTC1298 tied together as described in the SERIAL INTERFACE section. This saves one wire.

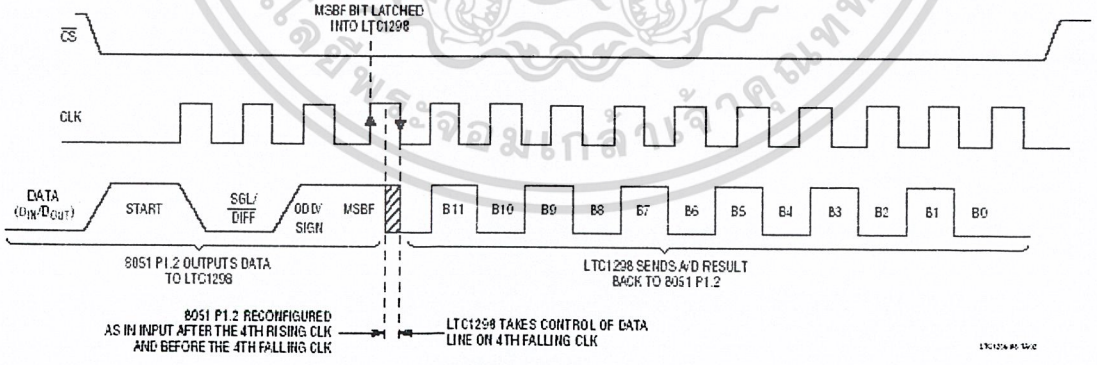
The 8051 first sends the start bit and MUX address to the LTC1298 over the data line connected to P1.2. Then P1.2 is reconfigured as an input (by writing to it a one) and the 8051 reads back the 12-bit A/D result over the same data line.



LABEL	MNEMONIC	OPERAND	COMMENTS
	MOV	A, #FFH	D_{IN} word for LTC1298
	SETB	P1.4	Make sure $\overline{CS}$ is high
	CLR	P1.4	$\overline{CS}$ goes low
	MOV	R4, #04	Load counter
LOOP 1	RLC	A	Rotate D_{IN} bit into Carry
	CLR	P1.3	SCLK goes low
	MOV	P1.2, C	Output D_{IN} bit to LTC1298
	SETB	P1.3	SCLK goes high
	DJNZ	R4, LOOP 1	Next bit
	MOV	P1, #04	Bit 2 becomes an input
	CLR	P1.3	SCLK goes low
	MOV	R4, #09	Load counter
LOOP 2	MOV	C, P1.2	Read data bit into Carry
	RLC	A	Rotate data bit into Acc.
	SETB	P1.3	SCLK goes high
	CLR	P1.3	SCLK goes low
	DJNZ	R4, LOOP 2	Next bit
	MOV	R2, A	Store MSBs in R2
	CLR	A	Clear Acc.
	MOV	R4, #04	Load counter
LOOP 3	MOV	C, P1.2	Read data bit into Carry
	RLC	A	Rotate data bit into Acc.
	SETB	P1.3	SCLK goes high
	CLR	P1.3	SCLK goes low
	DJNZ	R4, LOOP 3	Next bit
	MOV	R4, #04	Load counter
LOOP 4	RRC	A	Rotate right into Acc.
	DJNZ	R4, LOOP 4	Next Rotate
	MOV	R3, A	Store LSBs in R3
	SETB	P1.4	$\overline{CS}$ goes high

D_{OUT} FROM 1298 STORED IN 8501 RAM

	MSB							
R2	B11	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4
	LSB							
R3	B3	B2	B1	B0	0	0	0	0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL APPLICATIONS

A "Quick Look" Circuit for the LTC1286

Users can get a quick look at the function and timing of the LT1286 by using the following simple circuit (Figure 13). V_{REF} is tied to V_{CC}. V_{IN} is applied to the +IN input and the –IN input is tied to the ground. $\overline{CS}$ is driven at 1/16 the clock rate by the 74C161 and D_{OUT} outputs the data. The output data from the D_{OUT} pin can be viewed on an oscilloscope that is set up to trigger on the falling edge of $\overline{CS}$ (Figure 14). Note the LSB data is partially clocked out before $\overline{CS}$ goes high.

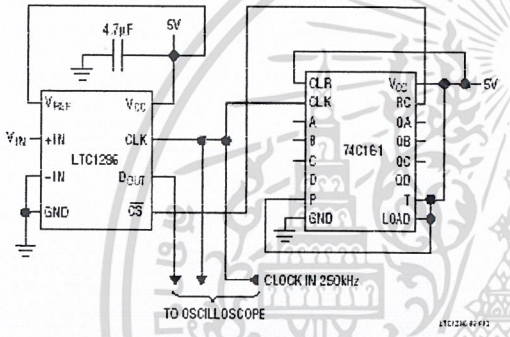


Figure 13. "Quick Look" Circuit for the LTC1286

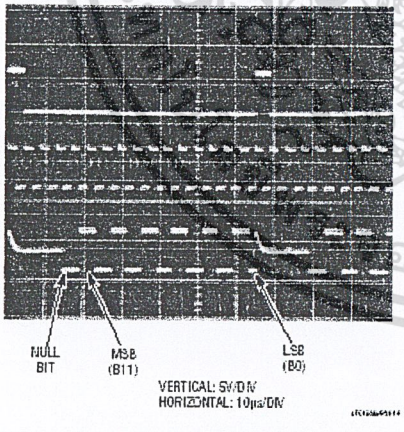


Figure 14. Scope Trace the LTC1286 "Quick Look" Circuit Showing A/D Output 101010101010 (AAA_{HEX})

Micropower Battery Voltage Monitor

A common problem in battery systems is battery voltage monitoring. This circuit monitors the 10 cell stack of NiCad or NiMH batteries found in laptop computers. It draws only 67µA from the 5V supply at f_{SMPL} = 0.1kHz and 25µA to 55µA from the battery. The 12-bits of resolution of the LTC1286 are positioned over the desired range of 8V to 16V. This is easily accomplished by using the ADC's differential inputs. Tying the –input to the reference gives an ADC input span of V_{REF} to $2V_{REF}$ (2.5V to 5V). The resistor divider then scales the input voltage for 8V to 16V.

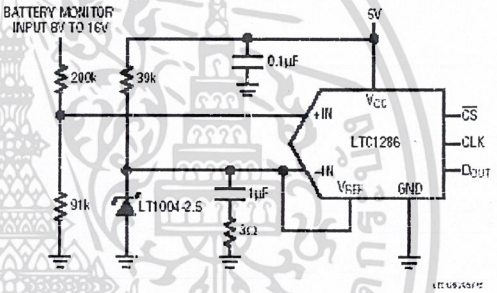


Figure 15. Micropower Battery Voltage Monitor

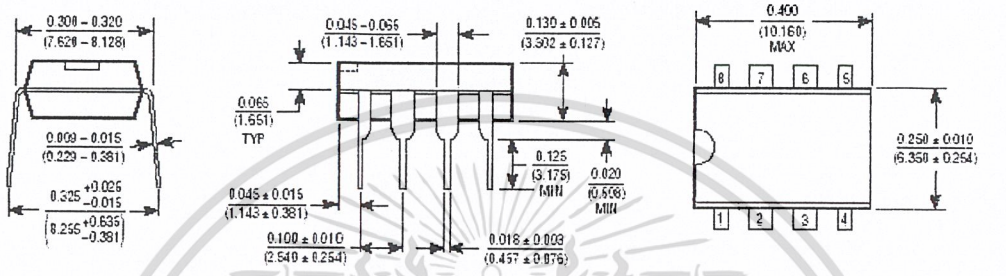
Information furnished by Linear Technology Corporation is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed for its use. Linear Technology Corporation makes no representation that the interconnection of circuits as described herein will not infringe on existing patent rights.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

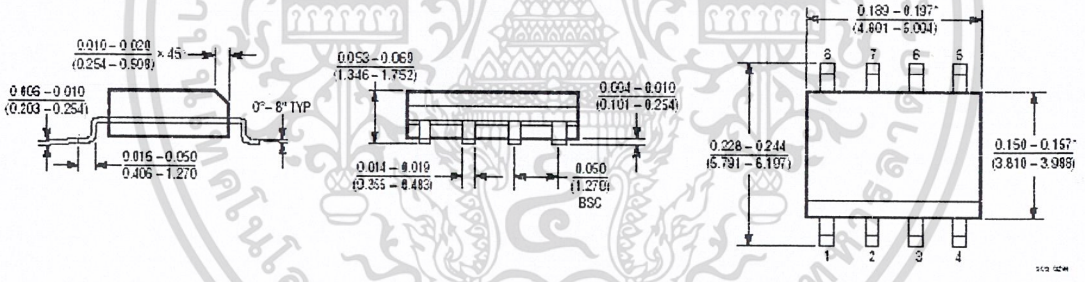
PACKAGE DESCRIPTION

Dimensions in inches (millimeters) unless otherwise noted.

N8 Package
8-Lead Plastic DIP



S8 Package
8-Lead Plastic SOIC



*THESE DIMENSIONS DO NOT INCLUDE MOLD FLASH OR PROTRUSIONS
MOLD FLASH OR PROTRUSIONS SHALL NOT EXCEED 0.006 INCH (0.15mm).

Linear Technology Corporation
1630 McCarthy Blvd., Milpitas, CA 95035-7487
(408) 432-1900 • FAX: (408) 434-0507 • TELEX: 499-3977

LT/GP 0394 10K • PRINTED IN USA
© LINEAR TECHNOLOGY CORPORATION 1994

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

June 2000

LM2907/LM2917
Frequency to Voltage Converter

General Description

The LM2907, LM2917 series are monolithic frequency to voltage converters with a high gain op amp/comparator designed to operate a relay, lamp, or other load when the input frequency reaches or exceeds a selected rate. The tachometer uses a charge pump technique and offers frequency doubling for low ripple, full input protection in two versions (LM2907-8, LM2917-8) and its output swings to ground for a zero frequency input.

The op amp/comparator is fully compatible with the tachometer and has a floating transistor as its output. This feature allows either a ground or supply referred load of up to 50 mA. The collector may be taken above V_{CC} up to a maximum V_{CE} of 28V.

The two basic configurations offered include an 8-pin device with a *ground referenced tachometer* input and an internal connection between the tachometer output and the op amp non-inverting input. This version is well suited for single speed or frequency switching or fully buffered frequency to voltage conversion applications.

The more versatile configurations provide differential tachometer input and uncommitted op amp inputs. With this version the tachometer input may be floated and the op amp becomes suitable for active filter conditioning of the tachometer output.

Both of these configurations are available with an active shunt regulator connected across the power leads. The regulator clamps the supply such that stable frequency to voltage and frequency to current operations are possible with any supply voltage and a suitable resistor.

Advantages

- Output swings to ground for zero frequency input
- Easy to use: $V_{OUT} = f_{IN} \times V_{CC} \times R1 \times C1$
- Only one RC network provides frequency doubling
- Zener regulator on chip allows accurate and stable frequency to voltage or current conversion (LM2917)

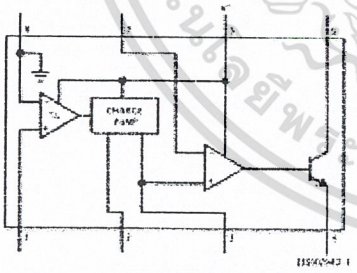
Features

- Ground referenced tachometer input interfaces directly with variable reluctance magnetic pickups
- Op amp/comparator has floating transistor output
- 50 mA sink or source to operate relays, solenoids, meters, or LEDs
- Frequency doubling for low ripple
- Tachometer has built-in hysteresis with either differential input or ground referenced input
- Built-in zener on LM2917
- ±0.3% linearity typical
- Ground referenced tachometer is fully protected from damage due to swings above V_{CC} and below ground

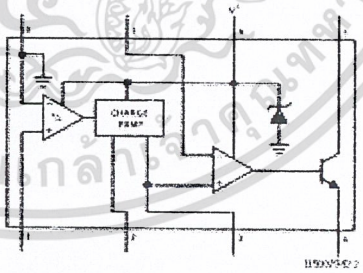
Applications

- Over/under speed sensing
- Frequency to voltage conversion (tachometer)
- Speedometers
- Breaker point dwell meters
- Hand-held tachometer
- Speed governors
- Cruise control
- Automotive door lock control
- Clutch control
- Horn control
- Touch or sound switches

Block and Connection Diagrams Dual-In-Line and Small Outline Packages, Top Views



Order Number LM2907M-8 or LM2907N-8
See NS Package Number M08A or N08E

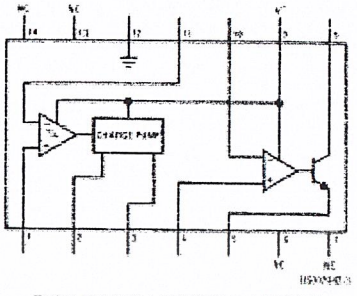


Order Number LM2917M-8 or LM2917N-8
See NS Package Number M08A or N08E

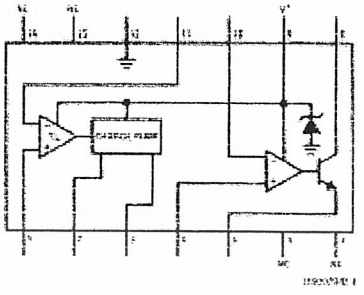
© 2001 National Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block and Connection Diagrams Dual-In-Line and Small Outline Packages, Top Views (Continued)



Order Number LM2907M or LM2907N
See NS Package Number M14A or N14A



Order Number LM2917M or LM2917N
See NS Package Number M14A or N14A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

Supply Voltage	28V
Supply Current (Zener Options)	25 mA
Collector Voltage	28V
Differential Input Voltage	
Tachometer	28V
Op Amp/Comparator	28V
Input Voltage Range	
Tachometer	
LM2907-8, LM2917-8	±28V
LM2907, LM2917	0.0V to +28V
Op Amp/Comparator	0.0V to +28V
Power Dissipation	
LM2907-8, LM2917-8	1200 mW
LM2907-14, LM2917-14	1580 mW
See (Note 1)	
Operating Temperature Range	−40°C to +85°C
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C
Soldering Information	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 seconds)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

Electrical Characteristics

V_{CC} = 12 V_{DC}, T_A = 25°C, see test circuit

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
TACHOMETER						
	Input Thresholds	V_{IN} = 250 mVp-p @ 1 kHz (Note 2)	±10	±25	±40	mV
	Hysteresis	V_{IN} = 250 mVp-p @ 1 kHz (Note 2)		30		mV
	Offset Voltage	V_{IN} = 250 mVp-p @ 1 kHz (Note 2)				
	LM2907/LM2917			3.5	10	mV
	LM2907-8/LM2917-8			5	15	mV
	Input Bias Current	V_{IN} = ±50 mV_{DC}		0.1	1	µA
V_{OH}	Pin 2	V_{IN} = +125 mV_{DC} (Note 3)		8.3		V
V_{OL}	Pin 2	V_{IN} = −125 mV_{DC} (Note 3)		2.3		V
I_2, I_3	Output Current	V2 = V3 = 6.0V (Note 4)	140	180	240	µA
I_3	Leakage Current	I2 = 0, V3 = 0			0.1	µA
K	Gain Constant	(Note 3)	0.9	1.0	1.1	
	Linearity	f_{IN} = 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz (Note 5)	−1.0	0.3	+1.0	%
OP/AMP COMPARATOR						
V_{OS}		V_{IN} = 6.0V		3	10	mV
I_{BIAS}		V_{IN} = 6.0V		50	500	nA
	Input Common-Mode Voltage		0		V_{CC}−1.5V	V
	Voltage Gain			200		V/mV
	Output Sink Current	V_O = 1.0	40	50		mA
	Output Source Current	V_S = V_{CC} −2.0		10		mA
	Saturation Voltage	I_{SINK} = 5 mA		0.1	0.5	V
		I_{SINK} = 20 mA			1.0	V
		I_{SINK} = 50 mA		1.0	1.5	V
ZENER REGULATOR						
	Regulator Voltage	R_{DROP} = 470Ω		7.56		V
	Series Resistance			10.5	15	Ω
	Temperature Stability			+1		mV/°C
	TOTAL SUPPLY CURRENT			3.8	6	mA

Note 1: For operation in ambient temperatures above 25°C, the device must be derated based on a 150°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 101°C/W junction to ambient for LM2907-8 and LM2917-8, and 79°C/W junction to ambient for LM2907-14 and LM2917-14.

Note 2: Hysteresis is the sum $+V_{TH} + (-V_{TH})$; offset voltage is their difference. See test circuit.

Note 3: V_{OH} is equal to ¾ x V_{CC} − 1 V_{BE}; V_{OL} is equal to ½ x V_{CC} − 1 V_{BE} therefore $V_{OH} - V_{OL} = V_{CC}/2$. The difference, $V_{OH} - V_{OL}$, and the mirror gain, I_2/I_3, are the two factors that cause the tachometer gain constant to vary from 1.0.

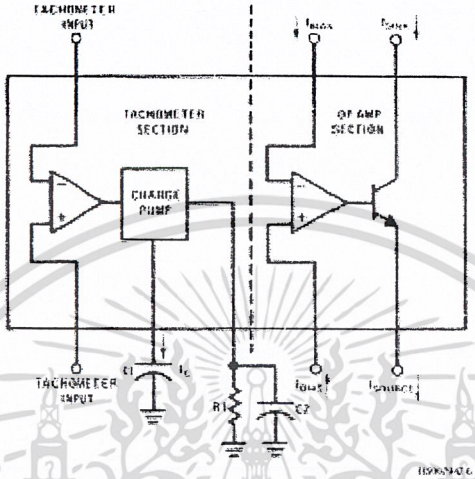
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)

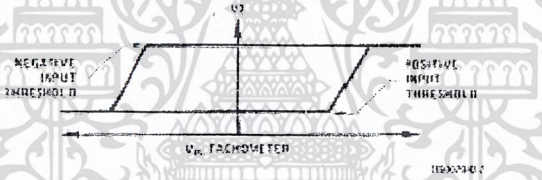
Note 4: Be sure when choosing the time constant R1 x C1 that R1 is such that the maximum anticipated output voltage at pin 3 can be reached with I_2 x R1. The maximum value for R1 is limited by the output resistance of pin 3 which is greater than 10 MΩ typically.

Note 5: Nonlinearity is defined as the deviation of V_{OUT} (@ pin 3) for f_H = 5 kHz from a straight line defined by the V_{OUT} @ 1 kHz and V_{OUT} @ 10 kHz. (C1 = 1000 pF, R1 = 68k and C2 = 0.22 mFd.

Test Circuit and Waveform



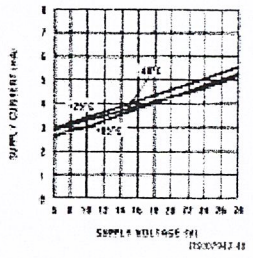
Tachometer Input Threshold Measurement



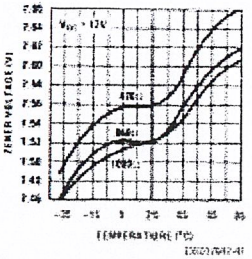
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

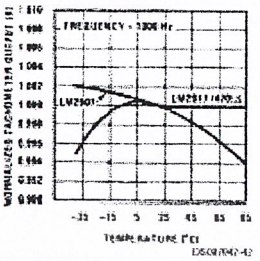
Total Supply Current



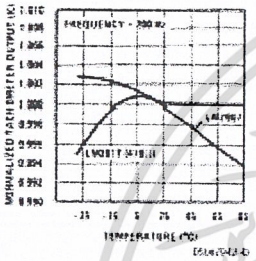
Zener Voltage vs Temperature



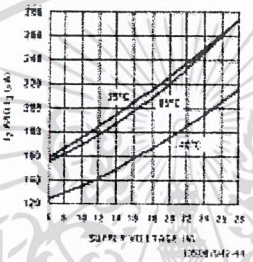
Normalized Tachometer Output vs Temperature



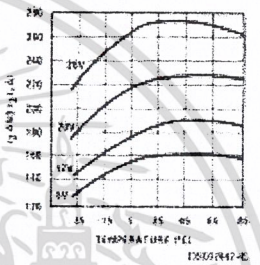
Normalized Tachometer Output vs Temperature



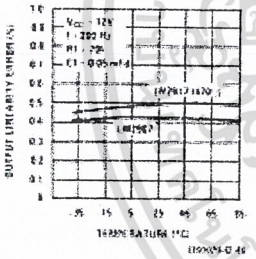
Tachometer Currents I_2 and I_3 vs Supply Voltage



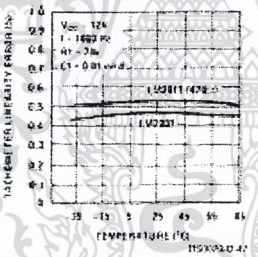
Tachometer Currents I_2 and I_3 vs Temperature



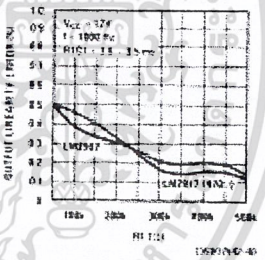
Tachometer Linearity vs Temperature



Tachometer Linearity vs Temperature



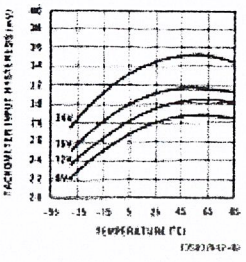
Tachometer Linearity vs R1



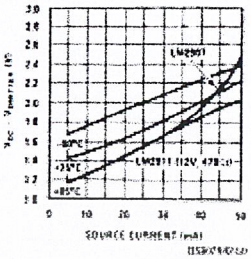
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

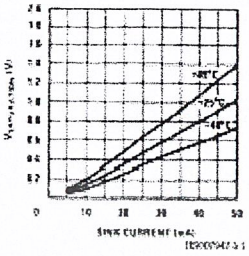
Tachometer Input Hysteresis vs Temperature



Op Amp Output Transistor Characteristics



Op Amp Output Transistor Characteristics



Applications Information

The LM2907 series of tachometer circuits is designed for minimum external part count applications and maximum versatility. In order to fully exploit its features and advantages let's examine its theory of operation. The first stage of operation is a differential amplifier driving a positive feedback flip-flop circuit. The input threshold voltage is the amount of differential input voltage at which the output of this stage changes state. Two options (LM2907-8, LM2917-8) have one input internally grounded so that an input signal must swing above and below ground and exceed the input thresholds to produce an output. This is offered specifically for magnetic variable reluctance pickups which typically provide a single-ended ac output. This single input is also fully protected against voltage swings to ±28V, which are easily attained with these types of pickups.

The differential input options (LM2907, LM2917) give the user the option of setting his own input switching level and still have the hysteresis around that level for excellent noise rejection in any application. Of course in order to allow the inputs to attain common-mode voltages above ground, input protection is removed and neither input should be taken outside the limits of the supply voltage being used. It is very important that an input not go below ground without some resistance in its lead to limit the current that will then flow in the epi-substrate diode.

Following the input stage is the charge-pump where the input frequency is converted to a dc voltage. To do this requires one timing capacitor, one output resistor, and an integrating or filter capacitor. When the input stage changes state (due to a suitable zero crossing or differential voltage on the input) the timing capacitor is either charged or discharged linearly between two voltages whose difference is $V_{CC}/2$. Then in one half-cycle of the input frequency or a time equal to $1/2\ f_{IN}$ the change in charge on the timing capacitor is equal to $V_{CC}/2 \times C1$. The average amount of current pumped into or out of the capacitor then is:

$$\frac{\Delta Q}{t} = i_{C(AVG)} = C1 \times \frac{V_{CC}}{2} \times (2f_{IN}) = V_{CC} \times f_{IN} \times C1$$

The output circuit mirrors this current very accurately into the load resistor R1, connected to ground, such that if the pulses of current are integrated with a filter capacitor, then $V_O = I_C \times R1$, and the total conversion equation becomes:

$$V_O = V_{CC} \times f_{IN} \times C1 \times R1 \times K$$

Where K is the gain constant — typically 1.0.

The size of C2 is dependent only on the amount of ripple voltage allowable and the required response time.

CHOOSING R1 AND C1

There are some limitations on the choice of R1 and C1 which should be considered for optimum performance. The timing capacitor also provides internal compensation for the charge pump and should be kept larger than 500 pF for very accurate operation. Smaller values can cause an error current on R1, especially at low temperatures. Several considerations must be met when choosing R1. The output current at pin 3 is internally fixed and therefore $V_O/R1$ must be less than or equal to this value. If R1 is too large, it can become a significant fraction of the output impedance at pin 3 which degrades linearity. Also output ripple voltage must be considered and the size of C2 is affected by R1. An expression that describes the ripple content on pin 3 for a single R1C2 combination is:

$$V_{RIPPLE} = \frac{V_{CC}}{2} \times \frac{C1}{C2} \times \left(1 - \frac{V_{CC} \times f_{IN} \times C1}{I_2}\right) \text{ pk-pk}$$

It appears R1 can be chosen independent of ripple, however response time, or the time it takes V_{OUT} to stabilize at a new voltage increases as the size of C2 increases, so a compromise between ripple, response time, and linearity must be chosen carefully.

As a final consideration, the maximum attainable input frequency is determined by V_{CC}, C1 and I_2:

$$f_{MAX} = \frac{I_2}{C1 \times V_{CC}}$$

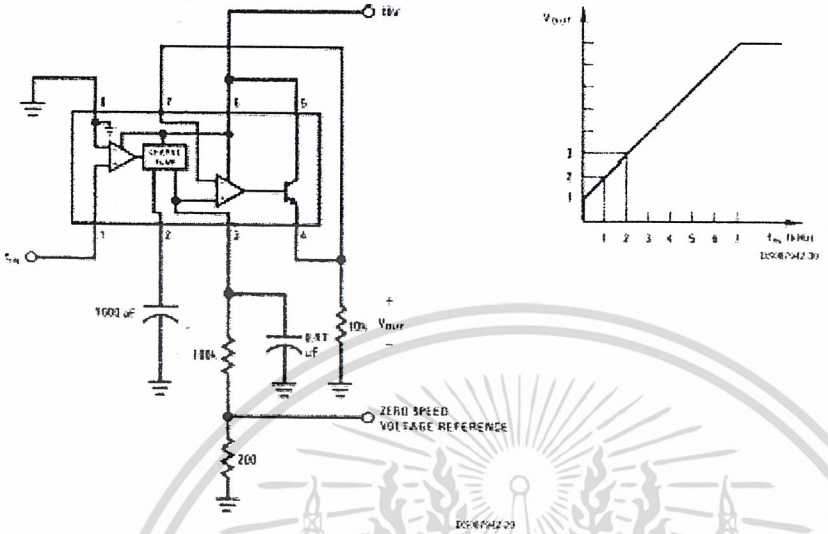
USING ZENER REGULATED OPTIONS (LM2917)

For those applications where an output voltage or current must be obtained independent of supply voltage variations, the LM2917 is offered. The most important consideration in choosing a dropping resistor from the unregulated supply to the device is that the tachometer and op amp circuitry alone require about 3 mA at the voltage level provided by the zener. At low supply voltages there must be some current flowing in the resistor above the 3 mA circuit current to operate the regulator. As an example, if the raw supply varies from 9V to 16V, a resistance of 470Ω will minimize the zener voltage variation to 160 mV. If the resistance goes under 400Ω or over 600Ω the zener variation quickly rises above 200 mV for the same input variation.

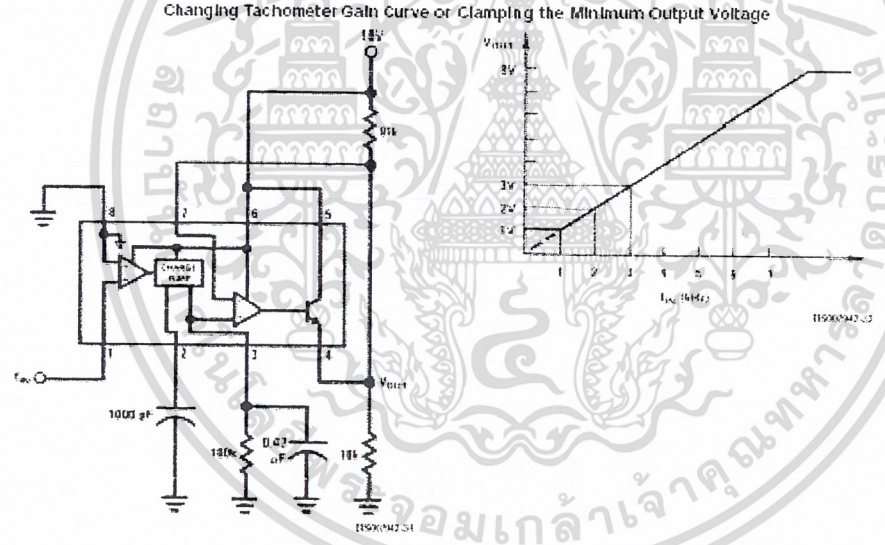
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

Changing the Output Voltage for an Input Frequency of Zero

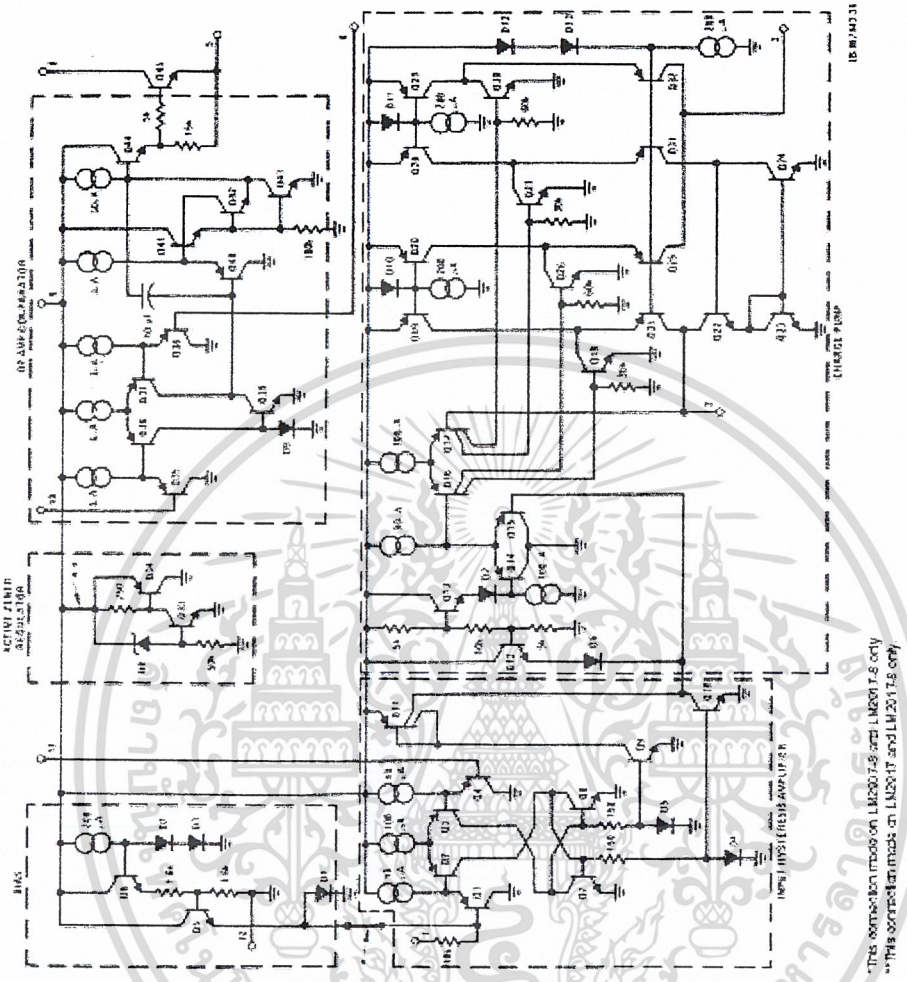


Changing Tachometer Gain Curve or Clamping the Minimum Output Voltage



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Equivalent Schematic Diagram

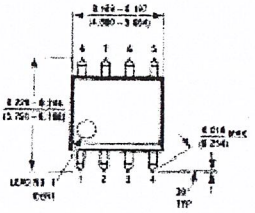


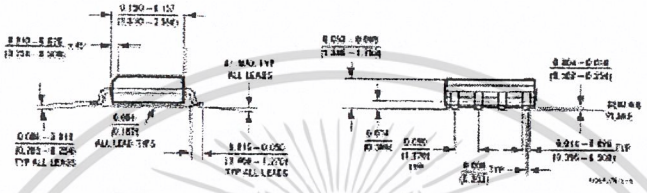
*This connection is made on LM2907-8 and LM2917-8 only

**This connection is made on LM2907-8 and LM2917-8 only

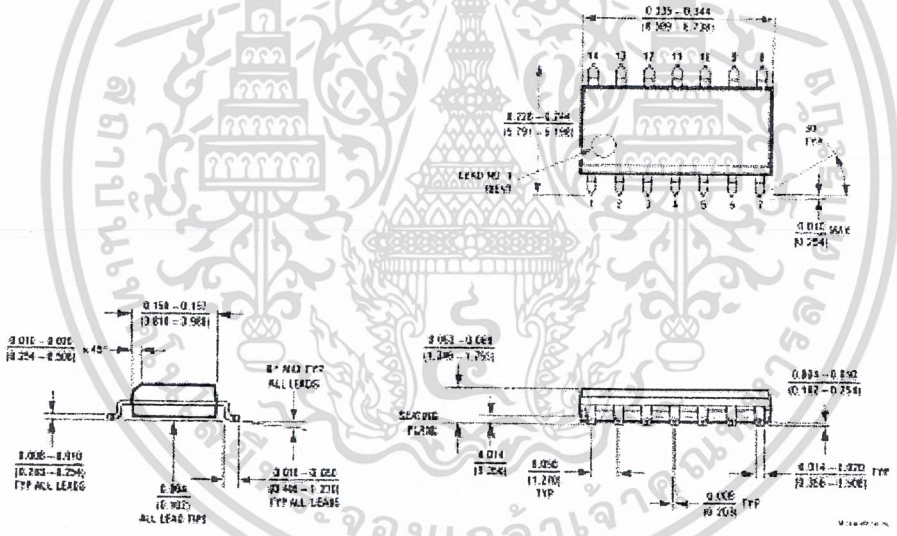
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted





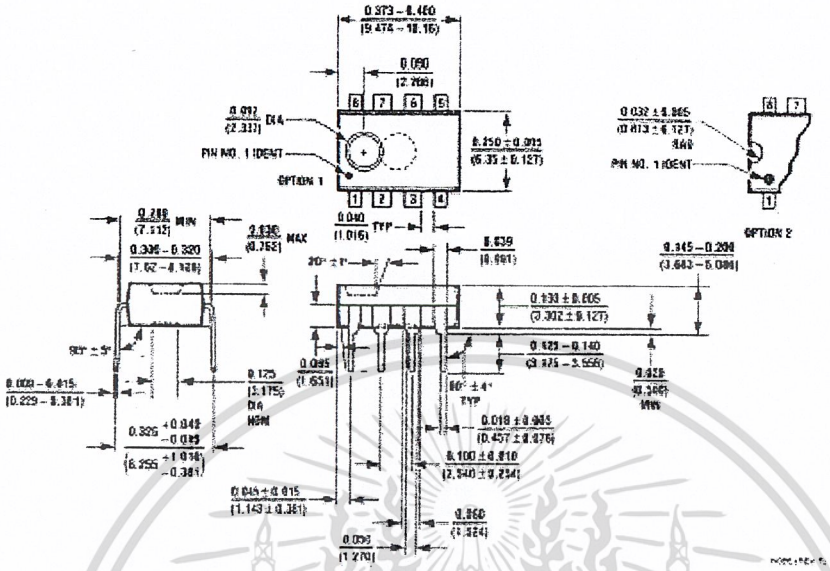
8-Lead (0.150" Wide) Molded Small Outline Package, JEDEC
Order Number LM2907M-8 or LM2917M-8
NS Package Number M08A



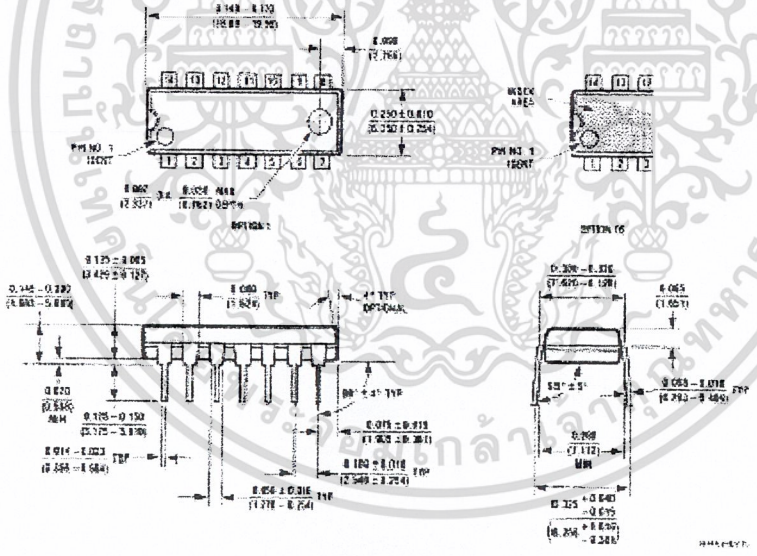
Molded SO Package (M)
Order Number LM2907M or LM2917M
NS Package Number M14A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number LM2907N-8 or LM2917N-8
NS Package Number N08E



Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number LM2907N or LM2917N
NS Package Number N14A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Notes

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.

2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

National Semiconductor Corporation
Americas
Email: support@nsc.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europi.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

www.national.com

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;***********************************************
;PROGRAME DOPPLER.ASM FOR PROJECT 2.
;FOR    MCS 51(P89C51RD2)
;ASSAMBLER WINISP(PHILIPS)
;***********************************************
;***********************************************
;*              Define User Register           *
;***********************************************
LCD_ADDR    EQU     030H    ; For keep LCD Address
LCD_DATA    EQU     031H    ; For keep LCD Data
CHANNEL     EQU     037H    ; For keep Channel
DATA_BUF    EQU     032H    ; For keep A/D Data
BUFFER      EQU     039H    ; Buffer
            ORG     040H
DATA        DS      8       ; For keep A/D Data
            ORG     050H
CON         DS      8
;*********************************
;*          Define Prot&Pin Name     *
;*********************************
CS          BIT     P1.4    ;Chip Select
CLK         BIT     P1.3    ;Clock
DIO         BIT     P1.2    ;Input and Output pin
SW0_PIN     BIT     P3.2    ;Interrup 0
SW1_PIN     BIT     P3.3    ;Interrup 1
LCD_EN      BIT     P3.6     ; LCD Module Enable
LCD_RS      BIT     P3.7     ; LCD Module Register Select
ZOV         BIT     P2.5
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;**************************
;       DEFINE PORT
;**************************
                ORG  020H
X0              DS     1      ;Hold dividend
X1              DS     1      ;
X2              DS     1      ;
X3              DS     1      ;
Y0              DS     1      ;high divisor
Y1              DS     1      ;low  divisor
Y2              DS     1
Y3              DS     1
Z0              DS     1      ;Low remainder
Z1              DS     1      ;High remainder
Z2              DS     1      ; quotient
Z3              DS     1      ;quotient
Z4              DS     1      ;quotient
Z5              DS     1      ;High quotient
PR0             DS     1      ;Store the pratial remainder
PR1             DS     1      ;
PR2             DS     1      ;
PR3             DS     1      ;
;******************************
;*      MAIN PROGRAME       *
;******************************
                ORG         0000H
                MOV         P0,#00H         ; Clear Data bus
                MOV         P3,#01FH        ; Clear status LCD ,P3.2-3
                MOV         P2,#00H         ; Clear Data bus
                MOV         CON+0,#00
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     CON+1,#00
                MOV     CON+2,#00
                MOV     CON+3,#00
                MOV     CON+4,#00
                MOV     CON+5,#00
                CLR     A
                SETB    SW1_PIN
                MOV     R1,#0
MAIN:           ACALL   INIT_LCD        ; Call LCD Initial subroutine
                MOV     LCD_ADDR,#000H  ; Set Address 00H
                ACALL   SET_ADDR_LCD    ;
                MOV     DPTR,#TITLE_1
                ACALL   WRLINE_LCD      ; 00H-07H,40H-47H
                MOV     LCD_ADDR,#040H
                ACALL   SET_ADDR_LCD
                MOV     DPTR,#TITLE_2
                ACALL   WRLINE_LCD
                ACALL   DELAY_1s
MAIN_LOOP:      MOV     LCD_ADDR,#000H  ; Set Address 00H
                ACALL   SET_ADDR_LCD
                MOV     DPTR,#TITLE_1   ; Index Pointer ROM to
                ACALL   WRLINE_LCD
                ACALL   DELAY_1s
                ACALL   LTC_RD          ; Read data from LTC1298
                MOV     CON+0,#00
                MOV     CON+1,#00
                JNB     SW1_PIN,HOLD    ; Check SW1
                JB      SW0_PIN,NEXT    ; Check SW0
                INC     R1
NEXT:           CJNE    R1,#1,NEXT1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                SETB    P2.2
                SETB    P2.0
                CLR     P2.1
                ACALL   Km
                MOV     LCD_ADDR,#040H      ; Set Address 00H
                ACALL   SET_ADDR_LCD        ;
                MOV     DPTR,#TITLE_5       ; Index Pointer ROM to
                ACALL   WRLINE_LCD          ; 00H-07H,40H-47H
                ACALL   SHOWKM
                ACALL   DELAY_1s
                AJMP    MAIN_LOOP
NEXT1:          CJNE    R1,#2,NEXT2
                MOV     R1,#0
NEXT2:          SETB    P2.2
                SETB    P2.1
                CLR     P2.0
                ACALL   Ms
                MOV     LCD_ADDR,#040H
                ACALL   SET_ADDR_LCD
                MOV     DPTR,#SCR_AD01
                ACALL   WRLINE_LCD
                ACALL   SHOWMs
                ACALL   DELAY_1s
                AJMP    MAIN_LOOP
;***************************
;**********HOLD***********
;***************************
HOLD:           SETB    P2.1
                SETB    P2.0
                CLR     P2.2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CJNE    R1,#1,MS
HOLD_LOOP:      ACALL   LTC_RD
                ACALL   COMP
                MOV     DATA+2,CON+1
                MOV     DATA+1,CON+0
                ACALL   Km
                MOV     LCD_ADDR,#000H
                ACALL   SET_ADDR_LCD
                MOV     DPTR,#TITLE_6
                ACALL   WRLINE_LCD
                MOV     LCD_ADDR,#040H
                ACALL   SET_ADDR_LCD
                MOV     DPTR,#TITLE_5
                ACALL   WRLINE_LCD
                ACALL   SHOWKM
                ACALL   DELAY_1s
                JNB     SW1_PIN,L1
                AJMP    HOLD_LOOP
L1:             LJMP    MAIN_LOOP
;*************************************
MS:             CJNE    R1,#2,K
K:              ACALL   LTC_RD
                ACALL   COMP
                MOV     DATA+2,CON+1
                MOV     DATA+1,CON+0
                ACALL   Ms
                MOV     LCD_ADDR,#000H
                ACALL   SET_ADDR_LCD
                MOV     DPTR,#TITLE_6
                ACALL   WRLINE_LCD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     LCD_ADDR,#040H
                ACALL   SET_ADDR_LCD
                MOV     DPTR,#SCR_AD01
                ACALL   WRLINE_LCD
                ACALL   SHOWMs
                ACALL   DELAY_1s
                JNB     SW1_PIN,M
                AJMP    K
M:              AJMP    MAIN_LOOP
;*************************
;*      SHOW     *
;*************************
SHOWMs:         MOV     LCD_ADDR,#047H    ; Set Address
                ACALL   SET_ADDR_LCD      ;
                MOV     LCD_DATA,Z2  ;E8H
                ACALL   HEX2LCD
                RET
SHOWKM:         MOV     LCD_ADDR,#046H    ; Set Address
                ACALL   SET_ADDR_LCD      ;
                MOV     LCD_DATA,Z2 ;03D
                ACALL   THRIED1
                MOV     LCD_DATA,Z0 ;60D
                ACALL   THRIED
                RET
;*******************************
;*      Km/H       *
;*******************************
Km:             ACALL   Ms1       ;Process Km/Hr
                MOV     DATA+2,Z2
                MOV     DATA+1,Z3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                ACALL   MUL168
                MOV     X0,DATA+2
                MOV     X1,DATA+1
                MOV     X2,DATA+0
                MOV     X3,#00
                MOV     Y0,#0E8H
                MOV     Y1,#03H
;
                ACALL   DIV32
;
                MOV     X0,Z2
                MOV     X1,Z3
                MOV     X2,#00
                MOV     X3,#00
                MOV     Y0,#064H
                MOV     Y1,#00
                ACALL   DIV32
                RET
Ms1:            ACALL   MUL3E8
                MOV     X0,DATA+2
                MOV     X1,DATA+1
                MOV     X2,DATA+0
                MOV     X3,#00
                MOV     Y0,#0FFH
                MOV     Y1,#0FH
                ACALL   DIV32
                RET
;*********************************
;*              m/s              *
;*********************************
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Ms:         ACALL    MUL3E8     ;Process m/s
            MOV      X0,DATA+2
            MOV      X1,DATA+1
            MOV      X2,DATA+0
            MOV      X3,#00
            MOV      Y0,#0FFH
            MOV      Y1,#0FH
;
            ACALL    DIV32
;
            MOV      X0,Z2
            MOV      X1,Z3
            MOV      X2,#00
            MOV      X3,#00
            MOV      Y0,#0AH
            MOV      Y1,#00
            ACALL    DIV32
            RET
;*********************************
;*          LTC_RD                *
;*********************************
LTC_RD:     MOV      CHANNEL,#11111111B   ;start word to LTC1298
            SETB     CS                   ;init CS
            CLR      CS                   ;start CS
            MOV      A,CHANNEL            ;ch0/ch1
            CPL      ACC.5
            MOV      CHANNEL,A
            MOV      R2,#04H              ;4 bit input data word
LOOP1:      RLC      A
            CLR      CLK                  ;clock low
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     DIO,C       ;data out
                SETB    CLK         ;clock high
                DJNZ    R2,LOOP1        ;loop until 4 bit complete
                SETB    DIO         ;define DIO as input
                CLR     CLK
                MOV     R2,#09H
LOOP2:          MOV     C,DIO
                RLC     A
                SETB    CLK
                CLR     CLK
                DJNZ    R2,LOOP2
                MOV     DATA_BUF+0,A
                CLR     A
                MOV     R2,#04H
LOOP3:          MOV     C,DIO
                RLC     A
                SETB    CLK
                CLR     CLK
                DJNZ    R2,LOOP3
                MOV     R2,#05H
LOOP4:          RRC     A
                DJNZ    R2,LOOP4
                MOV     DATA_BUF+1,A
                SETB    CS
;
                MOV     A,DATA_BUF+0    ;keep data but in Data+1,2
                SWAP    A
                ANL     A,#0FH
                MOV     DATA+1,A
;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV         A,DATA_BUF+0
                ANL         A,#0FH
                SWAP        A
                MOV         DATA+2,A
;
                MOV         A,DATA_BUF+1
                SWAP        A
                ANL         A,#0FH
                ORL     DATA+2,A
                RET
;*********************************
;****    HOLD MAXIMUM    ****
;*********************************
COMP:           MOV         CON+3,R3  ; Reference
                MOV         CON+2,R2  ; Reference
                MOV         R3,DATA+2
                MOV         R2,DATA+1
                MOV         DPH,CON+0
                MOV         DPL,CON+1
                ACALL       DPSUB
                JC          KEEP
                RET
KEEP:           MOV         CON+0,R2
                MOV         CON+1,R3
                RET
;***********************
;*  SUB 16 BIT DPTR   *
;***********************
; ADDRESS = 011AH
; DPTR = DPTR - R2,R3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
; I/P  = DPTR,R2,R3
; O/P  = DPTR, CY
; REG  = DPTR
;
DPSUB:      CLR     C
DPSUB1:     PUSH    ACC
            MOV     A,DPL
            SUBB    A,R3
            MOV     DPL,A
            MOV     A,DPH
            SUBB    A,R2
            MOV     DPH,A
            POP     ACC
            RET
;
;***********************
;*  MULTIPLIER 16 BIT  *
;***********************
; I/P = DPTR,R2,R3
; O/P = DATA+0,DATA+1,DATA+2
; REG = B,R2,R3,R4,R5,R6,R7
MUL3E8:     MOV     DPH,DATA+1
            MOV     DPL,DATA+2
            MOV     R2,#003H
            MOV     R3,#0E8H
            ACALL   MUL16
            RET
MUL168:     MOV     DPH,DATA+1
            MOV     DPL,DATA+2
            MOV     R2,#001H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     R3,#068H
                ACALL   MUL16
                RET
;
MUL:            MOV     DPH,DATA+1
                MOV     DPL,DATA+2
                MOV     R2,#003H
                MOV     R3,#0E8H
;
MUL16:          MOV     A,R3
                MOV     B,DPL
                MUL     AB
                MOV     DATA+1,B
                MOV     DATA+2,A
;
                MOV     A,R3
                MOV     B,DPH
                MUL     AB
                ADD     A,DATA+1
                MOV     DATA+1,A
                MOV     A,B
                ADDC    A,#00
                MOV     DATA+0,A
                MOV     A,#00
;
                MOV     A,R2
                MOV     B,DPL
                MUL     AB
                ADD     A,DATA+1
                MOV     DATA+1,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     A,B
                ADDC    A,DATA+0
                MOV     DATA+0,A
                MOV     A,#00
;
                MOV     A,R2
                MOV     B,DPH
                MUL     AB
                ADD     A,DATA+0
                MOV     DATA+0,A
                RET
;***************************************************
; SUBROUTINE SUB32
; 32-Bit Unsigned subtraction
;
; INPUT :Internal registers X3, X2, X1, X0, and Y3, Y2, Y1, and Y0
;       hold the 32-bit unsigned integers
; OUTPUT:   internal registers Z3, Z2, Z1, and Z0 hold the result
;       Z=X-Y.  addressible bit ZOV is set if the result (Z) is
;       out of range (if an external barrow is produced)
; DESTROYS: A, FLAGS
;===================================================================
SUB32:
                MOV     A, X0     ; load X low byte into accumulator
                CLR     C         ; clear carry flag
                SUBB    A, Y0     ; subract Y low byte
                MOV     Z0, A     ; put result in Z low byte
                MOV     A, X1     ; repeat with other bytes...
                SUBB    A, Y1
                MOV     Z1, A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     A, X2
                SUBB    A, Y2
                MOV     Z2, A
                MOV     A, X3
                SUBB    A, Y3
                MOV     Z3, A
                MOV     ZOV, C          ; set ZOV if an external barrow is
                RET                     ; done
;
;=============================================================
; subroutine DIV32
; 32-Bit Unsigned Division
;
; input:  internal registers X3, X2, X1, and X0 hold the 32-bit
;         unsigned dividend. similarly, internal registers Y1 and
;         Y0 hold the high and low bytes of the unsigned divisor.
;
; output: internal registers Z5, Z4, Z3, and Z2 hold the 32-bit
;         quotient of Z=X÷Y. internal registers Z1 and Z0 hold
;         the high and low bytes of the remainder. addressible bit
;         ZOV is set if Y=0, i.e., the result is out of range.
;
;         internal registers PR3, PR2, PR1, and PR0 store the
;         partial remainder. r5, r4, r3, and r2 hold the partially
;         computed quotient.
;
; calls:  SUB16
; destroys: A, R2, R3, R4, R5, R7, FLAGS
;=============================================================
DIV32:  MOV             A,Y1        ; get divisor high byte
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                ORL     A,Y0        ; OR with low byte
                JNZ     DIV32_OK    ; divisor OK if not 0
                SETB    ZOV         ; else, overflow
                RET
DIV32_OK:       MOV     Y2, #0      ; high 16 bits of Y is 0
                MOV     Y3, #0
                MOV     PR3,X3      ; store dividend
                MOV     PR2,X2
                MOV     PR1,X1
                MOV     PR0,X0
                MOV     X3, #0      ; clear partial remainder
                MOV     X2, #0
                MOV     X1, #0
                MOV     X0, #0
                MOV     R6, #0
                MOV     R5, #0
                MOV     R4, #0      ; clear partial quotient
                MOV     R3, #0
                MOV     R7, #32     ; set loop count
;
DIV32_LOOP:     CLR     C           ; clear carry flag
                MOV     A, PR0      ; shift the highest bit of the dividend...
                RLC     A           ; ... into...
                MOV     PR0,A
                MOV     A, PR1
                RLC     A
                MOV     PR1,A
                MOV     A, PR2
                RLC     A
                MOV     PR2,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     A, PR3
                RLC     A
                MOV     PR3,A
;
                MOV     A, X0       ; ... the lowest bit of the partial ...
                RLC     A           ; ... remainder
                MOV     X0,A
                MOV     A, X1
                RLC     A
                MOV     X1,A
                MOV     A, X2
                RLC     A
                MOV     X2,A
                MOV     A, X3
                RLC     A
                MOV     X3,A
;
                LCALL   SUB32       ; attempt to subtract to see if the...
;                                   ; ... partial remainder is as large or...
;                                   ; ... larger than the divisor.
;
                MOV     C, ZOV      ; get subtraction external barrow
                CPL     C           ; complement external barrow
                JNC     DIV32_1     ; do not update partial remainder if no barrow
;
                MOV     X3, Z3      ; update partial quotient
                MOV     X2, Z2
                MOV     X1, Z1
                MOV     X0, Z0
DIV32_1:        MOV     A, R3       ; add result bit to partial quotient
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                RLC     A
                MOV     R3,A
;
                MOV     A, R4
                RLC     A
                MOV     R4,A
                MOV     A, R5
                RLC     A
                MOV     R5,A
;
                MOV     A, R6
                RLC     A
                MOV     R6,A
;
                DJNZ    R7,DIV32_LOOP
;
                MOV     Z5, R6      ; put quotient in Z3, and Z2
                MOV     Z4, R5
                MOV     Z3, R4
                MOV     Z2, R3
                MOV     Z1, X1      ; get remainder, saved before the...
                MOV     Z0, X0      ; last subtraction
                CLR     ZOV         ; divisor is not 0
                RET                 ; done
;*****************************
;**THRIED COLUME
;*****************************
THRIED:         PUSH    ACC
                MOV     A,LCD_DATA
                MOV     B,#10
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        DIV     AB
        ADD     A,#030H
NX:     MOV     LCD_DATA,A
        ACALL   WRCHAR_LCD
        MOV     A,B
        ADD     A,#030H
        MOV     LCD_DATA,A
        ACALL   WRCHAR_LCD
        POP     ACC
        RET
THRIED1: PUSH   ACC
        MOV     A,LCD_DATA
        MOV     B,#10
        DIV     AB
        ADD     A,#030H
        CJNE    A,#030H,NX0
        MOV     A,#' '
NX0:    MOV     LCD_DATA,A
        ACALL   WRCHAR_LCD
        MOV     A,B
        ADD     A,#030H
        CJNE    A,#030H,N
        MOV     A,#' '
N:      MOV     LCD_DATA,A
        ACALL   WRCHAR_LCD
        POP     ACC
        RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;*****************************
;* HEX Code to show LCD      *
;* I/P:          LCD_DATA    *
;*****************************
HEX2LCD:        PUSH    ACC                     ; Push ACC.
                MOV     A,LCD_DATA      ; Get Data
                MOV     B,#100          ;
                DIV     AB              ; Divide by 100
                ADD     A,#030H         ; Convert to ASCII
                CJNE    A,#030H,HEX2_LCD_NX ; Check x100 = 0 ?
                MOV     A,#' '          ; 0 => Write Space
HEX2_LCD_NX:    MOV     LCD_DATA,A      ;
                ACALL   WRCHAR_LCD      ; Write x100
                MOV     A,B             ;
                MOV     B,#10           ;
                DIV     AB              ; Divide by 10
                ADD     A,#030H         ; Convert to ASCII
NX1:            MOV     LCD_DATA,A      ;
                ACALL   WRCHAR_LCD      ; Write Lower HEX Code
                MOV     A,B             ; Get Remainder x1
                ADD     A,#030H         ; Convert to ASCII
                MOV     LCD_DATA,A      ;
                ACALL   WRCHAR_LCD      ; Write Lower HEX Code
                POP     ACC             ; Pop ACC.
                RET                     ; Return
;
;*************************************
;*    LCD Initialize         *
;*************************************
INIT_LCD:       ACALL   DELAY_100ms     ; Delay
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CLR     LCD_RS          ; Clear LCD_RS Pin
                MOV     P0,#00111000B   ; 8bit Mode
                ACALL   LCD_CLK         ; Pulse LCD Clock
                ACALL   DELAY_10ms      ; Delay
                MOV     P0,#00111000B   ; 8bit Mode
                ACALL   LCD_CLK         ; Pulse LCD Clock
                ACALL   LCD_OFF         ; Display Off
                ACALL   LCD_CLR         ; Clear Display
                MOV     P0,#00000110B   ; Entry Mode
                ACALL   LCD_CLK         ; Pulse LCD Clock
                ACALL   LCD_HOME        ; Return Home Display
;*******************************
;*   LCD Clear Display     *
;*******************************
LCD_CLR:        CLR     LCD_RS          ; Clear LCD_RS Pin
                MOV     P0,#00000001B   ; Display Clear
                ACALL   LCD_CLK         ; Pulse LCD Clock
                RET
;*******************************
;*    LCD Return Home      *
;*******************************
LCD_HOME:       CLR     LCD_RS          ; Clear LCD_RS Pin
                MOV     P0,#00000010B   ; Return Home
                ACALL   LCD_CLK         ; Pulse LCD Clock
                RET
;*******************************
;*   LCD Display Off       *
;*******************************
LCD_OFF:        CLR     LCD_RS          ; Clear LCD_RS Pin
                MOV     P0,#00001000B   ; Display Off
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                ACALL   LCD_CLK         ; Pulse LCD Clock
                RET

;*********************************
;*    LCD Clk          *
;*********************************
LCD_CLK:        SETB    LCD_EN          ; Pulse Clock to LCD_EN
                ACALL   LCD_DELAY
                CLR     LCD_EN
                ACALL   LCD_DELAY
                RET
;*********************************
;*    LCD Display On   *
;*********************************
LCD_ON:         CLR     LCD_RS          ; Clear LCD_RS Pin
                MOV     P0,#00001100B   ; Display On
                ACALL   LCD_CLK
                RET
;*********************************
;*    Set LCD Address  *
;*    I/P:LCD_ADDR     *
;*********************************
SET_ADDR_LCD:   CLR     LCD_RS          ; Clear LCD_RS Pin
                MOV     A,LCD_ADDR      ; Move LCD_ADDR to ACC.
                SETB    ACC.7           ; Set bit ACC.7
                MOV     P0,A            ; Move to DATABUS
                ACALL   LCD_CLK         ; Pulse LCD Clock
                RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;*******************************
;* Write Character to show LCD *
;*  I/P:          LCD_DATA     *
;*******************************
WRCHAR_LCD:     SETB    LCD_RS      ; Set LCD_RS Pin
                MOV     P0,LCD_DATA ; Move LCD_DATA to DATABUS
                ACALL   LCD_CLK     ; Pulse LCD Clock
                ACALL   LCD_ON      ; Display On
                RET
;*************************************
;* Write Line of 16 Character from ROM *
;* I/P:        DPTR : Locate ROM Address *
;*************************************
WRLINE_LCD:     MOV     R0,#0       ; Clear loop counter
WRLINE_LCD_1:   SETB    LCD_RS      ; Set LCD_RS Pin
                CLR     A           ; Clear ACC.
                MOVC    A,@A+DPTR   ; Move data from @DPTR to ACC.
                MOV     P0,A        ; Move ACC. to DATABUS
                ACALL   LCD_CLK     ; Pulse LCD Clock
                INC     DPTR        ; Increase Pointer
                INC     R0          ; Increase loop counter
                CJNE    R0,#16,WRLINE_LCD_1 ; Do until 16 times
                ACALL   LCD_ON      ; Display On
                RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;*********************************************************
;*  Dummy Delay time I2C_DELAY, LCD_DELAY, 10ms, 100m, 1s  *
;*********************************************************
LCD_DELAY:      MOV     R7,#002         ; Do 2 times
LCD_DELAY_1:    MOV     R6,#0E6H        ; Each loop = 1 ms
LCD_DELAY_2:    NOP
                NOP
                DJNZ    R6,LCD_DELAY_2
                DJNZ    R7,LCD_DELAY_1
                RET
DELAY_10ms:     MOV     R7,#010         ; Do 10 times
DELAY_10ms_1:   MOV     R6,#0E6H        ; Each loop = 1 ms
DELAY_10ms_2:   NOP
                NOP
                DJNZ    R6,DELAY_10ms_2
                DJNZ    R7,DELAY_10ms_1
                RET
DELAY_100ms:    MOV     R7,#100         ; Do 100 times
DELAY_100ms_1:  MOV     R6,#0E6H        ; Each loop = 1 ms
DELAY_100ms_2:  NOP
                NOP
                DJNZ    R6,DELAY_100ms_2
                DJNZ    R7,DELAY_100ms_1
                RET
DELAY_1s:       MOV     R5,#100         ; Do 100 times
DELAY_1s_1:     ACALL   DELAY_10ms
                DJNZ    R5,DELAY_1s_1
                RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;************************************************************
;* Define Constant < Store in Flash EEPROM Program Memory > *
;************************************************************
;                              0123456789ABCDEF
SCR_AD01:    DB              'Speed:    m/s  '
TITLE_1:     DB              ' Doppler  Radar '
TITLE_2:     DB              'And  Application'
TITLE_4:     DB              ' SPEED DETECTOR '
TITLE_5:     DB              'Speed:    Km/Hr'
TITLE_6:     DB              '..HOLD MAXIMUM..'
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. โมไนย ไกรฤกษ์ และวิวัฒน์ กิรานนท์. 2536. **ทฤษฎีสายอากาศ.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ
2. วิวัฒน์ กิรานนท์. 2542. **วิศวกรรมการสื่อสาร.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : อักษรสยามการพิมพ์.
3. พรพรรณ์ ดุลยกาญจน์. 2541. **"การวิเคราะห์ข้อมูลของระบบเรดาร์สำรวจชั้นบรรยากาศ".** วิทยานิพนวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
4. มงคล ตันยลักษณ์ และคณะ. 2531. **"เครื่องส่งเรดาร์".** คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
5. ประเสริฐ เหล่าพัชรกุล และคณะ. ปริญญานิพนธ์ปี2539. **"ระบบเตือนภัยด้วยเรดาร์".** คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
6. นิกสัน โชติกวณิชย์ และวิชิต จงวัฒนานุกูล. ปริญญานิพนธ์ปี 2539. **"สายอากาศไมโครสตริป".** คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
7. ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตวิลัย และวรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล. 2543. **เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์.** กรุงเทพฯ: บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอร์ริเมนต์ จำกัด.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้