สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โครงงานเครื่องควบคุมระยะไกลด้วยความถี่สูงกำลังส่ง 5 วัตต์

5 WATTS RADIO FREQUENCY REMOTE CONTROL

โดย

นาย ณัฐวุฒิ อนุสรณ์เสงี่ยม รหัส 39014164

นางสาว ถิราพร ทูลเศียร รหัส 39014185

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 36947
วัน, เดือน, ปี 29 ส.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2542

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องควบคุมระยะไกลด้วยความถี่สูงกำลังส่ง 5 วัตต์

ผู้จัดทำ

1. นาย ณัฐวุฒิ อนุสรณ์เสงี่ยม รหัส 39014164
2. นางสาว ถิราพร ทูลเศียร รหัส 39014185

อ. พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษา

(.....)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องควบคุมระยะไกลความถี่สูงกำลังส่ง 5 วัตต์

ณัฐวุฒิ อนุสรณ์เสงี่ยม รหัส 39014164
ถิราพร ทูลเศียร รหัส 39014185
อ. พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโครงงานเครื่องควบคุมระยะไกลความถี่สูงกำลังส่ง 5 วัตต์โดยใช้คลื่นความถี่สูงในย่านความถี่วิทยุเป็นตัวพาสัญญาณควบคุมซึ่งมีความถี่ต่ำไปควบคุมอุปกรณ์ปลายทางได้แก่ รถจำลอง โดยสัญญาณความถี่สูงซึ่งทำหน้าที่เป็นคลื่นพาหะความถี่ 50 เมกกะเฮิร์ซ และสัญญาณที่ใช้ไปควบคุมเป็นสัญญาณข้อมูล 4 บิตควบคุมให้รถจำลองเคลื่อนที่เดินหน้าถอยหลัง เลี้ยวซ้ายขวา ตามการควบคุมจากต้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 WATTS RADIO FREQUENCY REMOTE CONTROL

NATTAVUT ANUSORNSANGEAM
TIRAPORN TOONSIEN

POLLASAT LERDPRASERT Advisor
1999

ABSTRACT

This thesis present the RF REMOTE CONTROL using high radio frequency as a carrier for low frequency control signal to control an object at a remote distance. The carrier, with 50 MHz ,4 data bit is used to control a decocted car to remove forward, back, left and right that follow the control signal from a transmitter.

In conclusion, we successfully demonstrate the controller as design .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง			หน้า
บทที่1 เครื่องควบคุมระยะไกลความถี่สูงกำลังส่ง 5 วัตต์			1
บทที่2 ทฤษฎี			3
2.1	การมอดูเลต		3
2.2	ระบบวิทยุอย่างง่าย		4
2.3	การมอดูเลตทางความถี่		5
2.4	ไซด์แบนด์ FM		6
2.5	ระบบสื่อสาร		8
2.6	วงจรพื้นฐานของเครื่องส่งวิทยุ		13
2.7	ภาคเครื่องรับ		25
2.8	วงจรพื้นฐานของเครื่องรับส่งวิทยุ		28
2.9	ไมโครคอนโทรลเลอร์		41
2.10	มอเตอร์กระแสตรง		51
	2.10.1	วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง	59
บทที่3 การออกแบบในส่วนฮาร์ดแวร์			62
3.1	ภาคเครื่องส่ง		62
	3.1.1	สวิตซ์เดินหน้า-ถอยหลังและวงจรกำหนด ADDRESS ของ ENCODER	62
	3.1.2	ENCODER	64
	3.1.3	FM TRANSMIITER	67
	3.1.4	POWER AMPLIFIER	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ภาคเครื่องรับ 70
3.2.1 FM RECEIVER 70
3.2.2 COMPARATOR 72
3.2.3 DECODER 73
3.3 ส่วนควบคุม 75
3.3.1 MICROCONTROLLER 75
3.3.2 DRIVER MOTOR 75
บทที่ 4 การออกแบบในส่วนของซอฟต์แวร์ 77
4.1 บอร์ดที่ใช้ 77
4.2 FLOW CHART 80
4.3 SOFTWARE 84
บทที่ 5 การทดลอง 94
บทที่ 6 สรุปและวิเคราะห์โครงงาน 102
หนังสืออ้างอิง 104
กิตติกรรมประกาศ 105
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

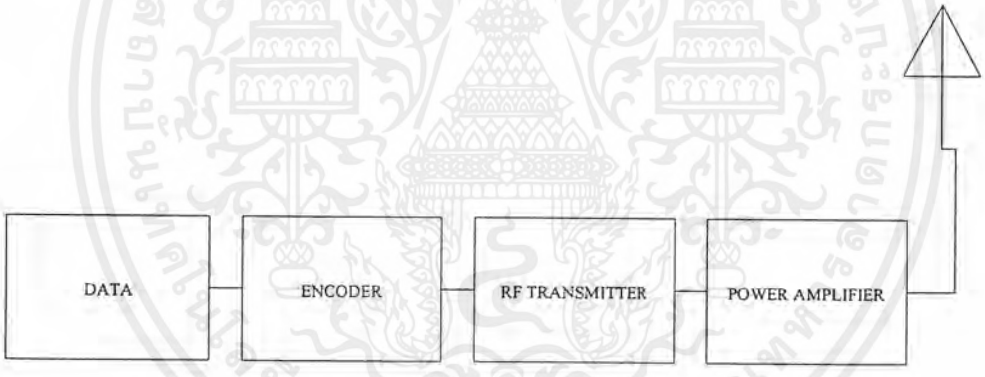
เครื่องควบคุมระยะไกลความถี่สูงกำลังส่ง 5 วัตต์

(RF REMOTE CONTROL)

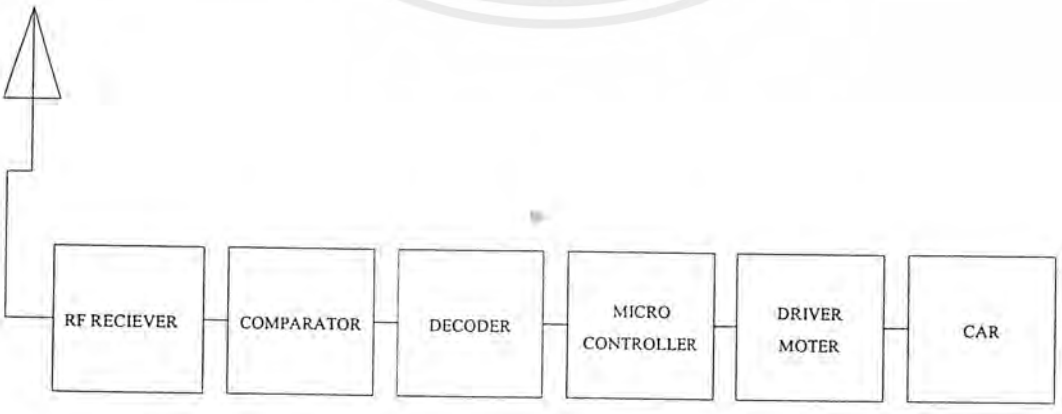
ปัจจุบันการสื่อสารแบบไร้สายเป็นที่นิยมใช้กันเป็นอย่างมาก ด้วยมูลเหตุที่ว่า ไม่ต้องสิ้นเปลืองในการใช้สายเชื่อมโยงถึงกัน และช่วยอำนวยความสะดวกได้มากขึ้น และเมื่อนำมาใช้ในระบบควบคุม ระบบควบคุมไร้สายย่อมเป็นทางเลือกที่ดีกว่าในการนำระบบไปควบคุมอุปกรณ์ปลายทางหากอยู่ในระยะทางไกล นอกจากจะลดค่าใช้จ่ายลงแล้ว ยังผลถึงประสิทธิภาพในการควบคุมในระยะไกลตามต้องการ โดยใช้หลักการของคลื่นความถี่สูงเป็นตัวกลางพาสัญญาณควบคุมซึ่งมีความถี่ต่ำเพื่อนำไปควบคุมอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งจะสามารถส่งไปได้ไกลเท่าใด ก็ขึ้นอยู่กับกำลังงานที่ส่ง

หลักการของระบบควบคุมความถี่วิทยุ

ภาคส่ง



ภาครับ



รูปที่ 1.1 Block Diagram ภาคส่ง และ ภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคส่ง

1. **DATA** เป็นการส่งข้อมูล 4 บิตจากสวิตซ์เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของรถและกำหนด ADDRESS ของ ENCODER
2. **ENCODER** นำข้อมูลที่ได้ไปเข้ารหัส
3. **RF TRANSMITTER** เป็นส่วนที่ใช้ในการรวมสัญญาณ(Modulate) ที่เข้ารหัสแล้วกับสัญญาณพาหะ ในการสร้างได้เลือกใช้ความถี่สัญญาณคือ 49.7 MHz
4. **POWER AMPLIFIER** เป็นส่วนที่ใช้ในการขยายกำลังของสัญญาณจากภาคส่งวิทยุเพื่อให้ได้กำลังขยายที่สูงสามารถส่งสัญญาณได้ไกล โดยตั้งเป้าหมายไว้ที่ 5 วัตต์

ภาครับ

1. **RF RECIEVER** นำสัญญาณที่รับมาจากเสาอากาศมาผ่านกระบวนการ demodulate เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ยังเข้ารหัสอยู่
2. **COMPARATOR** นำข้อมูลที่ได้จาก RF RECIEVER มาทำการปรับแต่งสัญญาณ
3. **DECODER** ถอดรหัสข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูล 4 บิตเดียวกับข้อมูลที่ส่งมาจากภาคส่ง
4. **MICROCONTROLLER** นำข้อมูล 4 บิตไปประมวลผลเพื่อไปควบคุมวงจร Drive Motor
5. **DRIVE MOTOR** ทำหน้าขับมอเตอร์ตามทิศทางที่ได้จากการประมวลผล
6. **CAR** รถเคลื่อนที่ตามทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ซึ่งเป็นไปตามการควบคุมจากภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 การมอดูเลต

ในขบวนการมอดูเลต เราใช้คลื่นรูปซายน์ที่มีความถี่สูงเป็นพาหะ แล้วเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางอย่างของพาหะด้วยสัญญาณข่าวสาร โดยทั่วไปสัญญาณข่าวสารได้แก่ สัญญาณออดิโอ(หรือเสียงพูด) สัญญาณภาพ หรือข่าวสารอื่น ๆ การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคลื่นพาหะนี้เราเรียกว่า การมอดูเลต

คลื่นรูปซายน์ที่เราใช้เป็นพาหะนั้น เราสามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์แทนได้ดังนี้

$$e = A\sin(wt+\phi)$$

ในที่นี้ e คือค่าแรงดัน (หรือกระแส) ของคลื่นพาหะใดๆ

A คือแอมพลิจูด (หรือขนาด) สูงสุดของคลื่นพาหะ

w คือความถี่เชิงมุม = $2\pi f$

t คือเวลา

ϕ คือเฟส หรือมุมทางไฟฟ้า

f คือความถี่

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่า คุณสมบัติประจำตัวของคลื่น (รูปซายน์) ที่สำคัญจะมีอยู่ 3 ประการ ซึ่งเราสามารถเปลี่ยนแปลงหรือแอดูเลตได้ คือ แอมพลิจูด (A) ความถี่เชิงมุม(w) หรือความถี่ (f) และเฟส(ϕ)

การมอดูเลตให้กับคลื่นพาหะแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ

1. มอดูเลตทางแอมพลิจูด (amplitude modulation เรียกชื่อย่อว่า AM)
2. มอดูเลตทางความถี่ (frequency modulation เรียกย่อว่า FM)
3. มอดูเลตทางเฟส (phase modulation เรียกย่อว่า PM หรือ ϕM)

ในทางปฏิบัติสัญญาณ FM กับสัญญาณ PM จะคล้ายคลึงกันมาก บางทีเราเรียกรวม ๆ ทั้ง FM และ PM ว่า การมอดูเลตเชิงมุม (angle modulation) กล่าวโดยสรุป การมอดูเลตแบ่งออกเป็น2 แบบใหญ่ ๆ คือ AM กับ FM (หรือ PM)

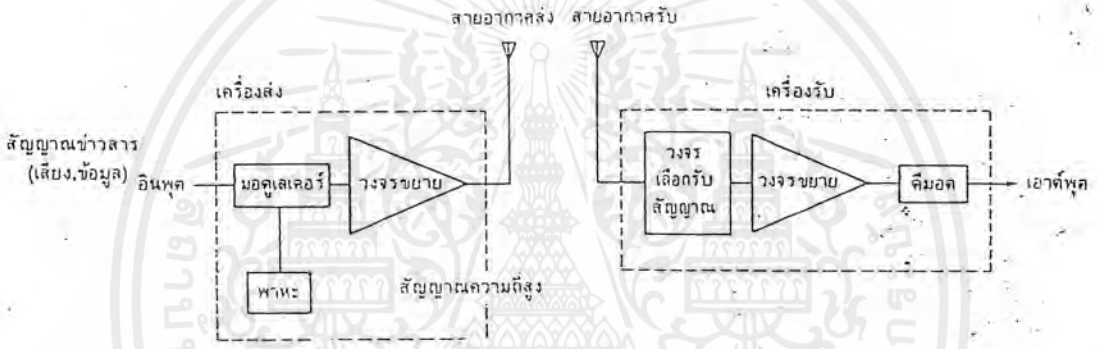
2.2 ระบบวิทยุอย่างง่าย

ระบบวิทยุโดยทั่วไปมักจะมีรูปแบบคล้ายคลึงกับรูปที่ 2.1 ในที่นี้เราแสดงไว้เฉพาะ การติดต่อทางเดียวจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับเท่านั้น จะเห็นว่าประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือเครื่องส่ง เครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับ สายอากาศ และสัญญาณข่าวสาร (เช่น จากเสียงพูดจากไมโครโฟน) ถูกป้อนเข้าที่อินพุตทำให้เกิดเอาต์พุตเป็นคลื่นที่ได้รับการมอดูเลต แล้วแผ่กระจายออกจากสายอากาศส่งไปยังเครื่องรับ คลื่นที่รับได้จากสายอากาศรับจะถูกแปลงโดยเครื่องรับ เพื่อให้สัญญาณข่าวสารกลับคืนออกมา (เช่น เป็นเสียงพูดออกทางลำโพง)

ที่เครื่องส่ง สัญญาณข่าวสาร และสัญญาณพาหะความถี่สูงจะถูกส่งไปยังวงจรมอดูเลตซึ่งทำหน้าที่มอดูเลตสัญญาณข่าวสารลงบนสัญญาณพาหะความถี่สูง สัญญาณพาหะที่ถูกมอดูเลตแล้วจะต้องไปผ่านการขยายให้มีกำลังมากขึ้น แล้วจึงป้อนแก่สายอากาศส่ง เพื่อให้สามารถส่งไปได้ไกลโดยที่เครื่องรับสามารถรับได้ชัดเจน คลื่นจากเครื่องส่งนี้จะแผ่กระจายออกจากสายอากาศส่งโดยมีทิศทางมุ่งไปยังเครื่องรับ



รูปที่ 2.1 แผนผังแสดงภาพเครื่องส่งและเครื่องรับ

ที่เครื่องรับ คลื่นที่ส่งมาจะรับได้โดยสายอากาศรับ เครื่องรับจะเลือกรับเฉพาะคลื่นที่ต้องการเท่านั้น แล้วขยายให้คลื่นนั้นมีกำลังแรงขึ้นเพื่อป้อนให้วงจรดีมอดูเลต(หรือดีมอด) ทำหน้าที่แปลงคลื่นพาหะที่ถูกมอดูเลตกลับมากขึ้นเพื่อให้สัญญาณข่าวสารที่ต้องการตามเดิม

ข้อสังเกตในระบบวิทยุก็คือ ถ้ามีเครื่องส่งหลายเครื่องอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน เราจะต้องใช้ความถี่คนละความถี่ มิฉะนั้นสัญญาณที่เครื่องรับจะสับสน (รับสัญญาณรบกวนหรือแซงกัน) เราสามารถใช้ความถี่เครื่องส่งซ้ำกันได้ก็ต่อเมื่อเครื่องส่งแต่ละเครื่องอยู่ห่างไกลกันและไม่ทำให้เกิดการรบกวน ทั้งนี้เพราะคลื่นวิทยุจะมีความแรงลดลงที่ระยะห่างไกลจากเครื่องส่งมากขึ้น

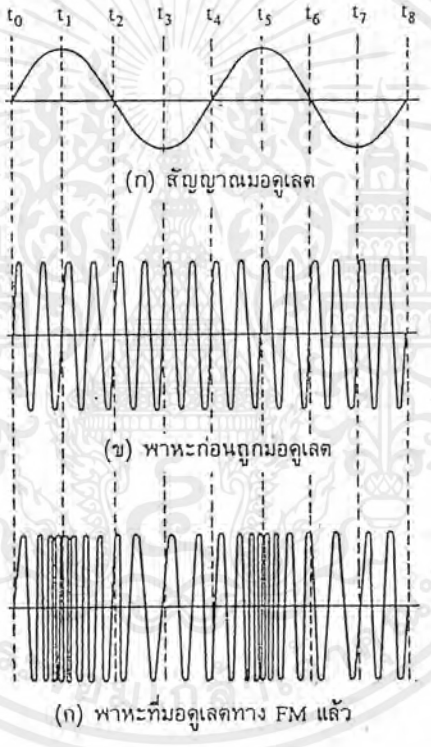
2.3 การมอดูเลตทางความถี่

รูปคลื่นของสัญญาณ FM เกิดจากสัญญาณมอดูเลต ดังรูปที่ 2.2(ก) เช่น สัญญาณเสียงซึ่งเป็นข่าวสารเข้าไปมอดูเลตบนสัญญาณพาหะดังรูปที่ 2.2(ข) สัญญาณพาหะหลังจากมอดูเลตแล้วในรูปที่ 2.2(ค) เป็นสัญญาณ FM จะเห็นว่าที่เวลา t_0 สัญญาณFM อยู่ที่ความถี่กลาง เมื่อสัญญาณที่เข้ามามอดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลตมีค่าทางบวกสูงสุด ความถี่ของพาหะจะเพิ่มขึ้นสูงสุด นั่นคือสัญญาณมอดูเลตถึงจุดยอดสุด (สัญญาณมอดูเลตมีขนาดสูงสุดนั่นเอง) ที่เวลา t_1

ที่เวลา t_2 สัญญาณมอดูเลตลดลงเป็นศูนย์ ความถี่ของพาหะก็จะลดลงมาที่ความความถี่กลางดังเดิม หลังจากเวลาสัญญาณมอดูเลตมีค่าตกลงต่ำกว่าศูนย์กลางเป็นลบ พาหะจะมีความถี่ลดลงต่ำกว่าความถี่กลางและเมื่อเวลาสัญญาณมอดูเลตกลับเป็นศูนย์อีกครั้งหนึ่ง ความถี่ของพาหะก็จะกลับมายังความถี่กลางดังเดิม เช่นกัน ในช่วงเวลา t_4 ถึง t_8 ก็จะซ้ำแบบเดิมเรื่อยๆ ไป สรุปแล้วความถี่ของพาหะจะเปลี่ยนแปลงไปตามแอมพลิจูดของสัญญาณมอดูเลต และพาหะยังคงอยู่ที่ความถี่กลางเมื่อสัญญาณแอดูเลตเป็นศูนย์



รูปที่ 2.2 การมอดูเลตความถี่

ช่วงความถี่ที่พาหะเบี่ยงเบนไปจากความถี่กลางเรียกว่า ความถี่เบี่ยงเบน (frequency deviation) หรือ ดีวิเอชั่น ตัวอย่างเช่น พาหะมีความถี่ 100 เมกะเฮิรตซ์ ลดลงต่ำสุดเป็น 99.9 เมกะเฮิรตซ์ และเพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 100.1 เมกะเฮิรตซ์ สลับไปมาเช่นนี้ หมายความนี้ช่วงความถี่เบี่ยงเบนเท่ากับ ± 0.1 เมกะเฮิรตซ์ หรือ ± 100 กิโลเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณ FM ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดูเลต ตัวอย่างเช่น ถ้าสัญญาณที่เข้ามอดูเลตเป็นโทน(สัญญาณเสียง) ความถี่ 1000 เฮิรตซ์ อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณ FM จะเท่ากับ 1000 ครั้งต่อวินาที ถ้าสัญญาณที่เข้ามอดูเลตเพิ่มความถี่เป็น 10 กิโลเฮิรตซ์ โดยคงค่าแอมพลิจูดเท่าเดิม ช่วงความถี่เบี่ยงเบนก็ยังเท่าเดิม คือเท่ากับ±100 กิโลเฮิรตซ์ แต่อัตราการเบี่ยงเบนจะเพิ่มเป็น 10,000 ครั้งต่อวินาที นั่นคือ ความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดูเลตเป็นตัวอัตราการเบี่ยงเบนความถี่

สำหรับแอมพลิจูดของสัญญาณมอดูเลตจะเป็นตัวกำหนดช่วงความถี่เบี่ยงเบน ตัวอย่างเช่น สัญญาณโทนที่มีแอมพลิจูดสูงจะทำให้ความถี่เบี่ยงเบนไป ±100 กิโลเฮิรตซ์ สัญญาณโทนที่มีแอมพลิจูดน้อยลงจะทำให้ความถี่เบี่ยงเบนไป ±50 กิโลเฮิรตซ์

กล่าวโดยสรุป สัญญาณ FM มีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

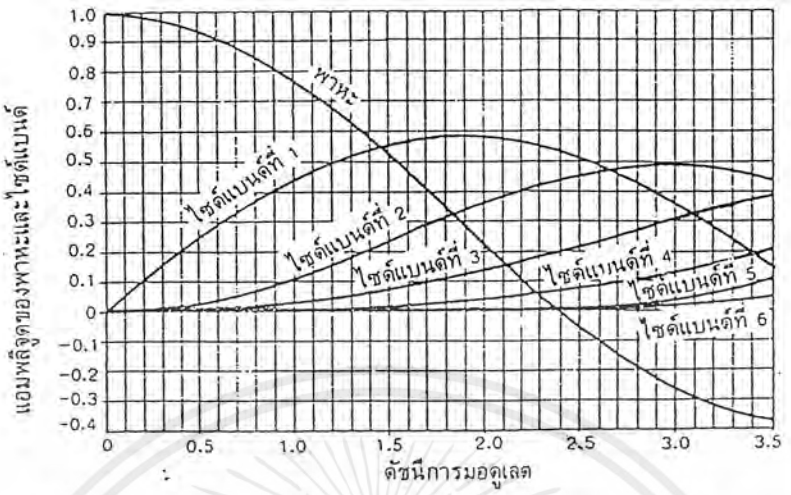
1. มีแอมพลิจูดคงที่ตลอด แต่ความถี่เปลี่ยนตามสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต
2. อัตราการเบี่ยงเบนความถี่จองสัญญาณพาหะมีค่าเท่ากับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดูเลต
3. ช่วงความถี่เบี่ยงเบน (หรือดีวิเอชั่น) เป็นสัดส่วนกับแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามอดูเลต

2.4 ไซด์แบนด์ FM

ความแตกต่างระหว่างระบบ AM กับ FM ที่เห็นได้ชัดก็คือไซด์แบนด์ ในระบบ AM ถ้าเรามอดูเลตด้วยสัญญาณรูปซายน์จะเกิดไซด์แบนด์จำนวน 2 ตัวคือ USB กับ LSB แต่ในระบบ FM ถ้าเรามอดูเลตด้วยสัญญาณรูปซายน์จะเกิดไซด์แบนด์จำนวนนับอนันต์ เนื่องจากการเบี่ยงเบนความถี่ของพาหะ ทำให้เกิดความถี่เพิ่มขึ้นอีกมากมาย ความจริงแล้วไซด์แบนด์ที่อยู่ห่างจากความถี่กลางมากๆ มักมีแอมพลิจูดเล็กมากจนไม่ต้องคำนึงถึง

ในระบบ AM ไซด์แบนด์อาจเสริมหรือหักล้างจากพาหะที่มีแอมพลิจูดคงที่ ซึ่งมีผลให้กรอบคลื่นของพาหะเปลี่ยนแปลง แต่ในระบบ FM สัญญาณ FM จะรักษาแอมพลิจูดไว้คงที่เสมอซึ่งหมายความว่า กำลังของคลื่นพาหะย่อมกระจายไปอยู่ในไซด์แบนด์ ความสัมพันธ์ของพาหะกับไซด์แบนด์ในระบบ FM ขึ้นอยู่กับดัชนีการมอดูเลต เนื่องจากดัชนีการมอดูเลตเป็นตัวกำหนดจำนวนของไซด์แบนด์ที่สำคัญ และแอมพลิจูดของพาหะกับไซด์แบนด์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงแอมพลิจูดของพาหะและไซด์แบนด์ในระบบ FM

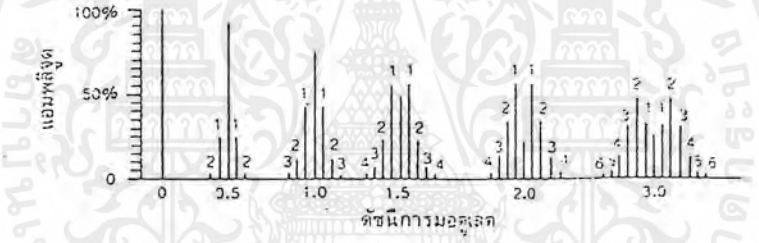
ในรูปที่ 2.3 แสดงกราฟแอมพลิจูดของคลื่นพาหะกับไซด์แบนด์ที่ดัชนีการมอดูเลตค่าต่างๆ จะเห็นว่าเมื่อดัชนีการมอดูเลตเป็นศูนย์จะมีแต่คลื่นพาหะอย่างเดียว(เท่ากับ 1 หน่วย) คลื่นไซด์แบนด์เป็นศูนย์ เมื่อดัชนีการมอดูเลตเพิ่มขึ้นจำนวนไซด์แบนด์จะเพิ่มขึ้น แอมพลิจูดของไซด์แบนด์ก็จะใหญ่ขึ้น แต่แอมพลิจูดของพาหะกลับเล็กลงจนกระทั่งดัชนีการมอดูเลตเท่ากับ 2.4 คลื่นพาหะจะเป็นศูนย์ ตอนนี้กำลังของคลื่น FM จะไปอยู่ในไซด์แบนด์ทั้งสิ้น เมื่อดัชนีการแอดูเลตเพิ่มขึ้นอีก คลื่นพาหะก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นอีก (เป็นค่าลบ แสดงว่าเฟสตรงกันข้ามกับตอนแรก เช่น เมื่อดัชนีการมอดูเลตเป็น 3.1 แอมพลิจูดของพาหะจะเท่ากับ –0.3 หน่วย) สังเกตว่าจุดที่คลื่นพาหะเป็นศูนย์นั้นมีอยู่หลายจุด

กราฟในรูปที่ 2.3 เขียนได้เป็นตารางดังแสดงในตารางที่ 2.1 เพื่อให้ดูง่ายขึ้น ในที่นี้เราตัดไซด์แบนด์ที่มีแอมพลิจูดน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ของพาหะเดิม (ก่อนมอดูเลต) ออกไปโดยไม่คำนึงถึง เช่น เมื่อดัชนีการมอดูเลตเท่ากับ 0.5 แอมพลิจูดของพาหะจะเท่ากับ 0.64 หน่วย ไซด์แบนด์คู่แรกมีแอมพลิจูดเท่ากับ 2.4 หน่วย ไซด์แบนด์คู่ที่ส่องถัดไปมีแอมพลิจูดเท่ากับ 0.03 หน่วย ไซด์แบนด์อื่นนอกจากนี้มีแอมพลิจูดน้อยจนสามารถตัดทิ้งไปได้ เมื่อดัชนีการมอดูเลตสูงขึ้น การกระจายคลื่นไซด์แบนด์จะเป็นดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงการกระจายคลื่นพาหะและไซด์แบนด์ที่ดัชนีการมอดูเลตค่าต่างๆ

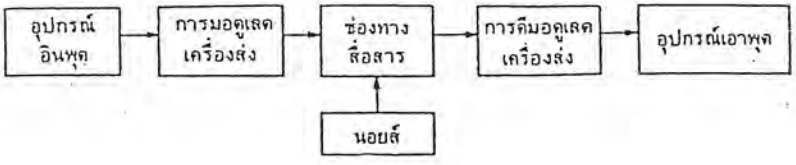
ดัชนีการมอดูเลต	พาหะ	ไซด์แบนด์คู่ที่															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0.00	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.25	0.98	0.12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.5	0.94	0.24	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.0	0.77	0.44	0.11	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.0	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.5	-0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3.0	-0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.0	-0.40	-0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.0	-0.18	-0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—
6.0	0.15	0.28	-0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02	—	—	—	—	—	—	—
7.0	0.30	0.00	-0.30	-0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02	—	—	—	—	—	—
8.0	0.17	0.23	-0.11	-0.29	-0.10	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03	—	—	—	—	—
9.0	-0.09	0.24	0.14	-0.18	-0.27	-0.06	0.20	0.33	0.30	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01	—	—	—
10.0	-0.25	0.04	0.25	0.06	-0.22	-0.23	-0.01	0.22	0.31	0.29	0.20	0.12	0.06	0.03	0.01	—.	—
12.0	-0.05	-0.22	-0.08	0.20	0.18	-0.07	-0.24	-0.17	0.05	0.23	0.30	0.27	0.20	0.12	0.07	0.03	0.01
15.0	-0.01	0.21	0.04	0.19	-0.12	0.13	0.21	0.03	-0.17	-0.22	-0.09	0.10	0.24	0.28	0.25	0.18	0.12



รูปที่ 2.4 รูปคลื่น FM ในเชิงความถี่ที่ค่าดัชนีการมอดูเลตเท่ากับ 0, 0.5, 1, 1.5, 2.0, 3.0 ตามลำดับ

2.5 ระบบสื่อสาร

ในระบบสื่อสารไม่จะเป็นระบบใดก็ตาม แผนผังพื้นฐานมักเหมือนกับรูปที่ 2.5 ระบบสื่อสารโดยพื้นฐานประกอบด้วย อุปกรณ์อินพุต(input device) เครื่องส่ง ช่องทางสื่อสาร (communication channel) หรือแชนแนล ซึ่งมักจะมีนอยส์มารบกวนเครื่องรับและอุปกรณ์เอาต์พุต(output device)



รูปที่ 2.5 ระบบสื่อสารพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต ความจริงอุปกรณ์อินพุตก็คือ อุปกรณ์ที่แปลงข่าวสารเป็นสัญญาณไฟฟ้า ส่วนอุปกรณ์เอาต์พุตก็คือ อุปกรณ์ที่แปลงสัญญาณไฟฟ้ากลับมาเป็นข่าวสารนั่นเอง มีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปแล้วแต่การใช้งาน เช่น ในระบบวิทยุกระจายเสียง อุปกรณ์อินพุตอาจเป็นไมโครโฟน และอุปกรณ์เอาต์พุตจะเป็นลำโพง สำหรับไมโครโฟนทำหน้าที่แปลงคลื่นเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และส่วนลำโพงทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้ากลับเป็นคลื่นเสียง

ทำนองเดียวกัน ในระบบแพร่ภาพทางโทรทัศน์ อุปกรณ์อินพุตก็คือกล้องถ่ายโทรทัศน์ซึ่งเปลี่ยนพลังงานแสง(จากภาพ) ไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า และอุปกรณ์เอาต์พุตก็คือหลอดภาพโทรทัศน์ซึ่งเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้ากลับคือเป็นพลังงานแสง

อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตของระบบสื่อสารยังมีอีกมากมาย เช่น คันเคาะโทรเลข เครื่องโทรพิมพ์ เครื่องโทรสาร เครื่องโทรมาตร(telemetry) ฯลฯ อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตจะต่อเข้ากับเครื่องส่งและเครื่องรับเสมอ

ข่าวสารที่รับหรือส่งระหว่างกัน แบ่งออกไปเป็น 3 พวกใหญ่ๆ คือ

1. **เสียงหรือออดิโอ (audio)** ได้แก่ เสียงพูดในระบบโทรศัพท์ เสียงพูด เสียงเพลง หรือเสียงดนตรี ซึ่งต้องการคุณภาพเสียงดีในระบบวิทยุกระจายเสียง
2. **ภาพ (picture)** ได้แก่ ภาพนิ่งในระบบโทรสาร (facsimile) และระบบส่งภาพระยะไกล (telephoto) ภาพยนตร์ในระบบโทรทัศน์
3. **ข้อมูล (data)** ส่วนใหญ่ส่งมาเป็นรหัสให้แก่เครื่องยนต์ เครื่องจักร เครื่องคอมพิวเตอร์ ฯลฯ ได้แก่ ข้อมูลและคำสั่งในระบบโทรมาตร ตัวอักษรในระบบโทรพิมพ์ หรือโทรเลข ข้อมูลคอมพิวเตอร์ในระบบสื่อสารคอมพิวเตอร์

2. เครื่องส่ง เครื่องส่งทำหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้าจากอุปกรณ์อินพุต แล้วทำการมอดูเลตลงบนคลื่นพาหะความถี่สูง เครื่องส่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดสัญญาณความถี่สูง(เรียกว่า ออสซิลเลเตอร์) กับมอดูเลต เครื่องส่งส่วนใหญ่มักมีภาคขยายอีกเพื่อให้สัญญาณที่ส่งออกอากาศมีกำลังแรงทำให้สื่อสารกันได้ไกลขึ้น

3.ช่องทางสื่อสาร ช่องทางสื่อสารในที่นี้ ได้แก่ บรรยากาศ อวกาศว่าง (free space) หรือสาย ฯลฯ แต่ในที่นี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะระบบวิทยุเท่านั้น ช่องทางสื่อสารของระบบวิทยุอาศัยการแผ่คลื่นวิทยุออกไป โดยผ่ายบรรยากาศซึ่งเป็นตัวกลาง(medium) ซึ่งคลื่นเดินทางจากเครื่องส่งผ่านไปยังเครื่องรับ

4.ความถี่และความยาวคลื่น เรานิยมแบ่งคลื่นวิทยุออกเป็นย่านความถี่ต่าง ๆ โดยมีหน่วยเฮิรซ์ (Hertz) ในประวัติศาสตร์การวิทยุ เราแบ่งคลื่นวิทยุตามความยาวคลื่น (wavelength) ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความยาวคลื่นเป็นไปตามสูตรดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v = \lambda f$$

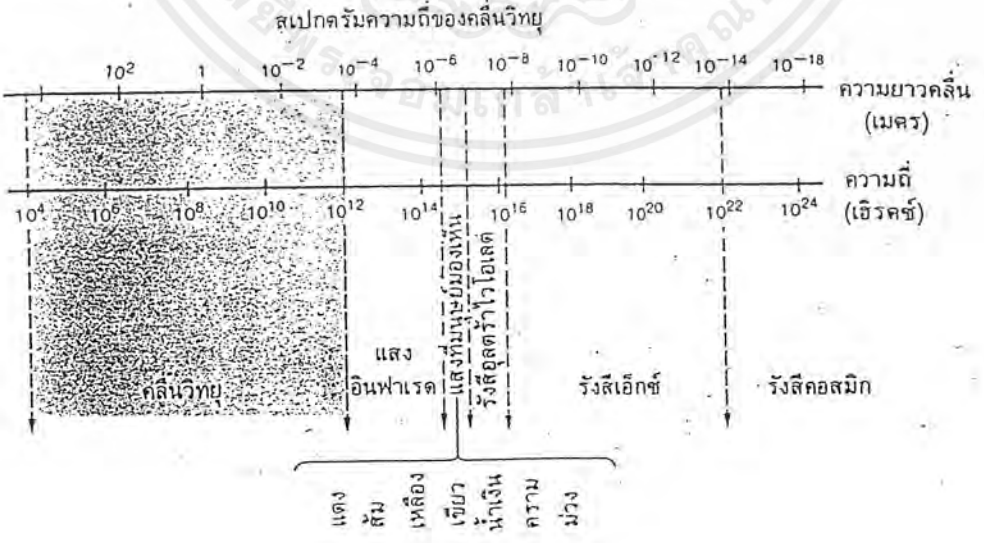
ในที่นี้ λ คือความยาวคลื่น มีหน่วยเป็นเมตร

v คือความเร็วของคลื่นวิทยุในอากาศ เท่ากับความเร็วของแสง = 3×10^{8} เมตรต่อวินาที

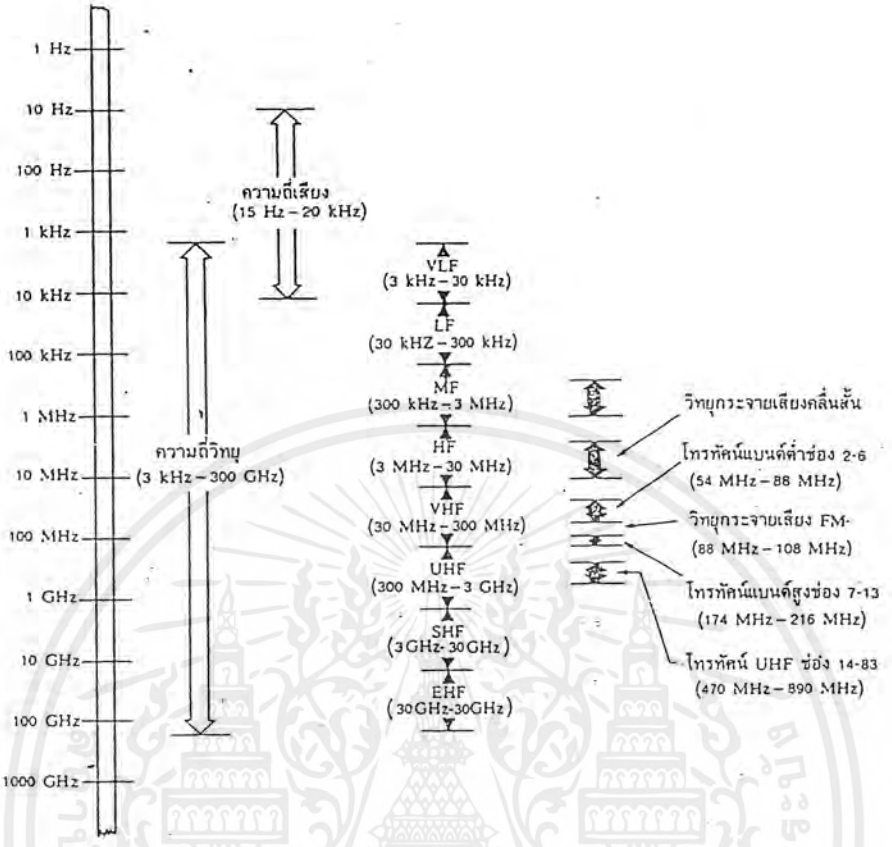
f คือความถี่มีหน่วยเป็นเฮิรซ์(Hz)

ตารางที่ 2.2 แสดงย่านความถี่ ความถี่ และความยาวคลื่น

ย่านความถี่	ความถี่	ความยาวคลื่น
Very low frequency(VLF)	ต่ำกว่า 3. KHz	ยาวกว่า 10 km
Low frequency(LF)	30-300 KHz	10-1 km
Medium frequency(MF)	300-3000 KHz	1000-100 km
High frequency(HF)	3-30 MHz	100-10 m
Very High frequency(VHF)	30-300 MHz	10-1 m
Ultra High frequency(UHF)	300-3000 MHz	100-10 cm
Super High frequency(SHF)	3-30 GHz	10-1 cm
Extremely High frequenc(EHF)	30-300 GHz	10-1 mm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การแบ่งสเปกตรัมความถี่ของคลื่นวิทยุ

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างการใช้งานความถี่ในกิจการสื่อสารต่างๆ

ย่านความถี่	ตัวอย่างการใช้งานในกิจการสื่อสาร
VLF	โทรเลข โซนาร์
LF	วิทยุนำร่อง โทรพิมพ์ โทรเลข
MF	วิทยุกระจายเสียง การสื่อสารระยะปานกลาง
HF	การสื่อสารระยะไกล วิทยุกระจายเสียง
VHF	วิทยุกระจายเสียง การแพร่ภาพโทรทัศน์ การสื่อสารระยะใกล้
UHF	การสื่อสารการบิน การสื่อสารระยะใกล้
SHF	เรดาร์ การสื่อสารไมโครเวฟ ดาวเทียม
EHF	การสื่อสารทางแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่วิทยุมีความย่านความถี่อยู่ประมาณ 3 กิโลเฮิรซ์ขึ้นไปจนถึง 300 กิกะเฮิรตซ์ รูปที่ 2.6 แสดงสเปกตรัมความถี่ (frequency spectrum) ซึ่งแบ่งออกได้เป็นหลายย่าน ตั้งแต่ย่านความถี่ VLF 3 กิโลเฮิรตซ์ – 30 กิโลเฮิรตซ์ ถึงย่านความถี่ EHF 30 กิกะเฮิรตซ์ – 300 กิกะเฮิรตซ์ แต่ละย่านความถี่ก็มีคุณสมบัติเฉพาะตัว เช่น ย่านความถี่ MF ใช้งานเกี่ยวกับการติดต่อสื่อสารภายในประเทศได้ในเวลากลางวัน ส่วนเวลากลางคืนติดต่อได้ไกลมากขึ้น วิทยุกระจายเสียง AM มีความถี่อยู่ในย่าน MF นี้ การกระจายเสียงคลื่นสั้น (short wave) มีความถี่อยู่ในย่าน HF 3 เมกะเฮิรตซ์ ย่านความถี่ HF นี้สามารถใช้ติดต่อสื่อสารได้ทั่วโลกเหมาะสมกับกิจการกระจายเสียงสากลข้ามประเทศ ย่านความถี่ที่ใช้แพร่ภาพโทรทัศน์อยู่ในย่าน VHF และ UHF

5.นอยส์ (noise) เป็นสัญญาณที่เข้ามาแทรกแซงหรือรบกวน (interfere) นอยส์ที่รับเข้ามาได้แบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

5.1 นอยส์บรรยากาศ (atmospheric noise) เกิดขึ้นจากความแปรปรวนของบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก เช่น ฟ้าแลบ ฟ้าผ่า ก่อให้เกิดคลื่นวิทยุแผ่กระจายออกไปรอบโลก นอยส์บรรยากาศเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา แม้จะไม่มีพายุฝนฟ้าคะนองก็ตาม

5.2 นอยส์จากอวกาศ (space noise) เกิดจากดวงอาทิตย์และดวงดาวนับล้านๆ ดวงในจักรวาล ดวงอาทิตย์เป็นวัตถุที่มีขนาดมหึมาและมีความร้อนสูงถึง 6,000 องศาเซลเซียสที่ผิวดวงอาทิตย์ ฉะนั้นดวงอาทิตย์จะแผ่พลังงานออกมามีสเปกตรัมความถี่กว้างมาก พลังงานนี้ปรากฏออกเป็นนอยส์คงที่ อย่างไรก็ตามที่ผิวดวงอาทิตย์ยังมีความแปรปรวน อื่น ๆ อีก เช่น จุดบนดวงอาทิตย์(sun spot) การลุกโชติช่วง(solar flare) ซึ่งก่อให้เกิดนอยส์เพิ่มขึ้นอีก นอกจากนี้ดวงอาทิตย์บางดวงที่ไกลออกไปจากระบบสุริยจักรวาล ก็มีคุณสมบัติเหมือนดวงอาทิตย์ คือ มีความร้อนสูงและสามารถกำเนิดนอยส์มายังโลกได้

5.3 นอยส์ที่เกิดขึ้นจากสิ่งประดิษฐ์ที่มนุษย์สร้างขึ้น (man-made noise) ได้แก่ นอยส์จากมอเตอร์ไฟฟ้า เช่น พัดลมที่เป่าผม เครื่องดูดฝุ่น นอกจากนี้ก็ยังมีนอยส์จากระบบจุดระเบิดของรถยนต์ การรั่วของสายไฟแรงสูง หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ฯลฯ

5.4 นอยส์ภายในตัวอุปกรณ์ในเครื่องรับ(internal noise) แยกเป็น 2 ประเภท คือ นอยส์อุณหภูมิ (thermal noise) และช็อตนอยส์ (shot noise) นอยส์อุณหภูมิเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในตัวอุปกรณ์ บางครั้งเรียกว่า จอห์นสันนอยส์ (Johnson noise) ส่วนช็อตนอยส์เกิดขึ้นในอุปกรณ์แอกตีฟ(active device) ทุกชนิด เนื่องจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนกับโฮล(hole) เช่น ในทรานซิสเตอร์ ซึ่งไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ

6. เครื่องรับ เมื่อรับสัญญาณจากเครื่องส่งมาถึงเครื่องรับ สัญญาณจะมีกำลังอ่อนลงและยังมีนอยส์เข้ามาแทรกแซงสัญญาณที่ต้องการจะรับอีกด้วย ดังนั้นการรับสัญญาณอ่อน ๆ เช่นนี้ เครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงต้องมีความสามารถพิเศษในการเลือกรับและขยายเอาเฉพาะสัญญาณความถี่ที่ต้องการ พร้อมทั้งต้องมีกรรมวิธีในการกำจัดนอยส์หรือต่อสู้เอาชนะนอยส์ที่รบกวน สัญญาณที่รับได้จะผ่านการดีมอดเพื่อแปลงสัญญาณข่าวสารที่เข้ามอดูเลตกลับมา กรรมวิธีค่อนข้างสลับซับซ้อนพอสมควร

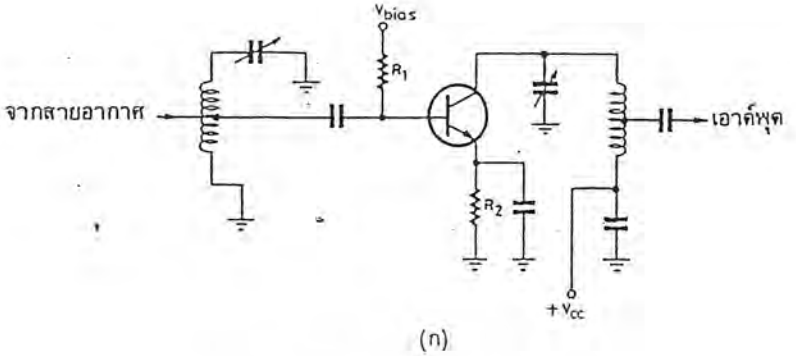
2.6 วงจรพื้นฐานของเครื่องรับส่งวิทยุ

ถึงแม้ว่าภายในแผนผังของเครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุจะมีความแตกต่างกัน แต่ความจริงแล้วก็มีวงจรพื้นฐานเหมือน ๆ กัน วงจรต่าง ๆ ที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นตัวอย่างที่ใช้ในเครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุ แต่ละวงจรก็มีข้อดีข้อเสียประจำตัวของมันเอง ซึ่งไม่ได้หมายความว่า วงจรหนึ่งจะดีกว่าอีกวงจรหนึ่งเสมอไป นอกจากวงจรมอดูเลเตอร์และวงจรดีมอดูเลเตอร์แล้ว วงจรหลัก ๆ ก็มีวงจรขยาย ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณในช่วงความถี่ที่ต้องการ เช่น วงจรขยาย RF วงจรขยาย IF เป็นต้น วงจรมิกเซอร์ทำหน้าที่ผสมคลื่น 2 คลื่น (คือคลื่นที่ต้องการจะผสมและคลื่นออสซิลเลเตอร์) วงจรออสซิลเลเตอร์ ทำหน้าที่กำเนิดคลื่นที่ความถี่พอเหมาะในการผสมคลื่น วงจรมิลติพลายทำหน้าที่คูณความถี่ RF วงจรขยายกำลังสัญญาณความถี่สูง ซึ่งนิยมเรียกว่า PA(ย่อมาจาก power amplifier) วงจรจ่ายไฟ และวงจรนำด้านอื่นๆ เช่น วงจร AGC วงจรนอยส์ลิมิตเตอร์ ฯลฯ

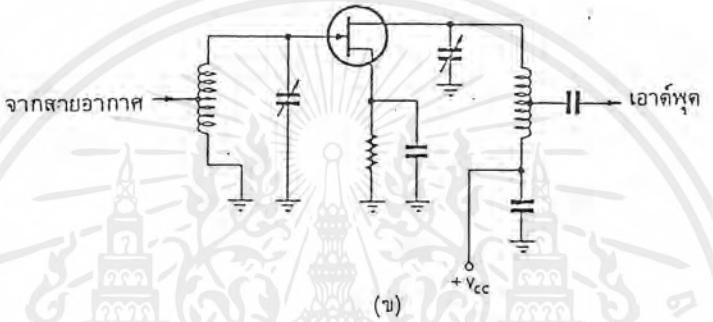
2.6.1 วงจรขยาย RF ที่นิยมใช้มีอยู่ 3 แบบ คือ วงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วม วงจรขยายเบสร่วม และ วงจรขยายคาสโคด (cascode) แต่ในกรณีของวงจรที่ใช้ FET แทนทรานซิสเตอร์ วงจรอิมิตเตอร์ร่วมก็จะเปลี่ยนเป็นซอสร่วม(common source) และเบสร่วมก็จะเป็นเกตร่วม(common gate)ในรูปที่ 2.7 แสดงวงจรขยายอิมิตเตอร์ร่วมหรือซอสร่วม รูปที่ 2.7(ก) เป็นวงจรที่ใช้ทรานซิสเตอร์ซึ่งไบแอสให้ทำงานอยู่ในคลาส A โดยตัวต้านทาน R_1 และ R_2 มีวงจรจูนทั้งด้านอินพุนและเอาต์พุตเพื่อขยายสัญญาณที่มีความถี่ในย่านความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรจูน (วงจรแทงค์) วงจรขยาย RF ประเภทนี้ต้องมี การสะเทิน (neutralize) เพื่อมิให้วงจรขยายเกิดการออสซิลเลต(แทนที่จะทำงานเป็นวงจรขยายกลับทำงานเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์) การออสซิลเลตในที่นี้เกิดขึ้นเพราะว่ามีการป้อนกลับแบบบวกระหว่างขาอุปกรณ์(หรืออื่นๆ ที่เราไม่ต้องการ) ทำให้วงจรขยายเกิดการออสซิลเลตที่ความถี่สูงได้ วิธีการสะเทินวงจรทำได้โดยการป้อนกลับแบบลบ (เพื่อไปหักล้างกับการป้อนกลับแบบบวก)

ในกรณีของวงจรขยาย RF (ดังรูปที่ 2.7(ข)) ที่ใช้ JFET ก็คล้ายคลึงกัน แต่ FET นั้นมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงกว่ามาก ส่วนวงจรขยายที่ใช้ MOSFET เกตคู่(dual gate) ดังรูปที่ 2.7(ค) นั้นให้คุณสมบัติเหมือน JFET ในรูปที่ 2.7(ข) แต่ขาเกตอีกขาหนึ่งสามารถใช้ในการควบคุมอัตราขยายของวงจรได้

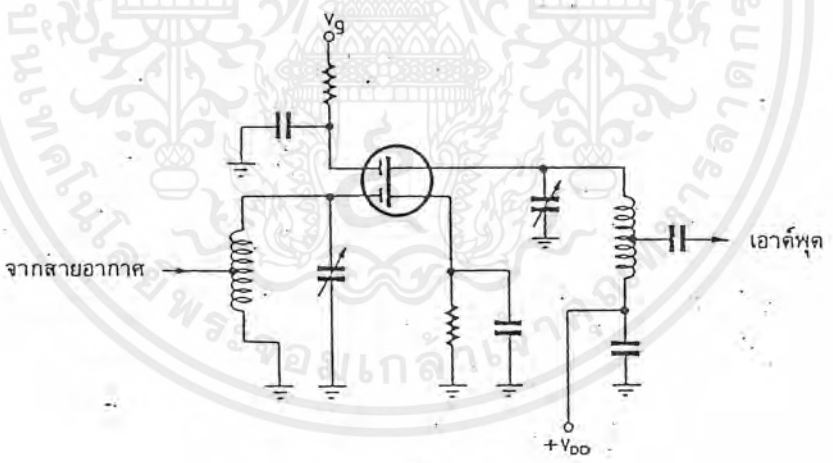
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

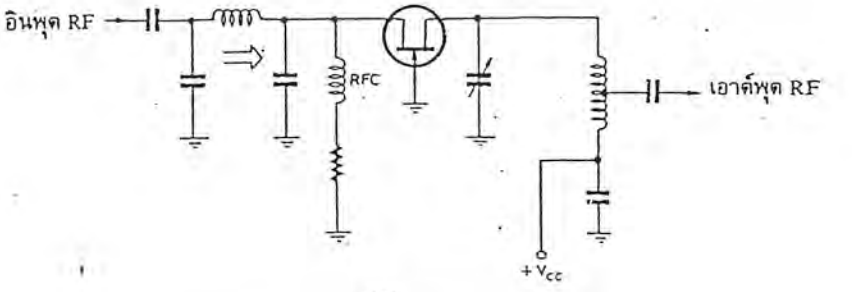


(ค)

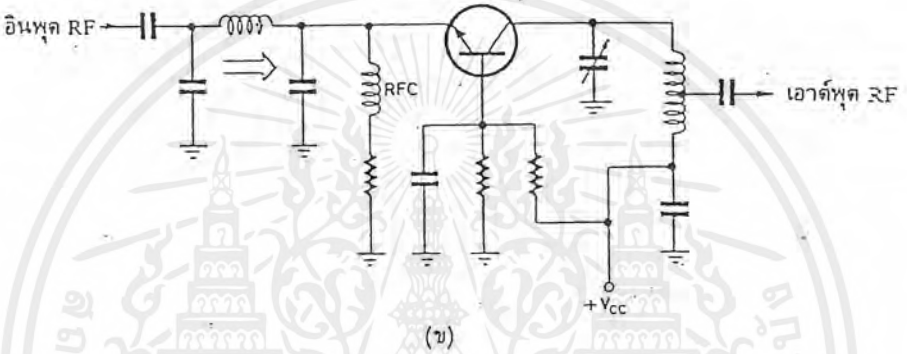
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างวงจรขยาย RF ชนิดลิมิตเตอร์ (ซอสร่วม)

วงจรขยาย RF แบบเบสร่วม (เกต) ร่วม แสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งให้อัตราขยายต่ำกว่าแบบอิมิตเตอร์(ซอส) ร่วม แต่มีข้อดีตรงที่ไม่จำเป็นต้องสะเทินวงจร ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ต่ำกว่า (อยู่ในช่วง 50 ถึง 75 โอห์ม) ข้อเสียของวงจรแบบนี้ก็คือควบคุมอัตราขยายได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



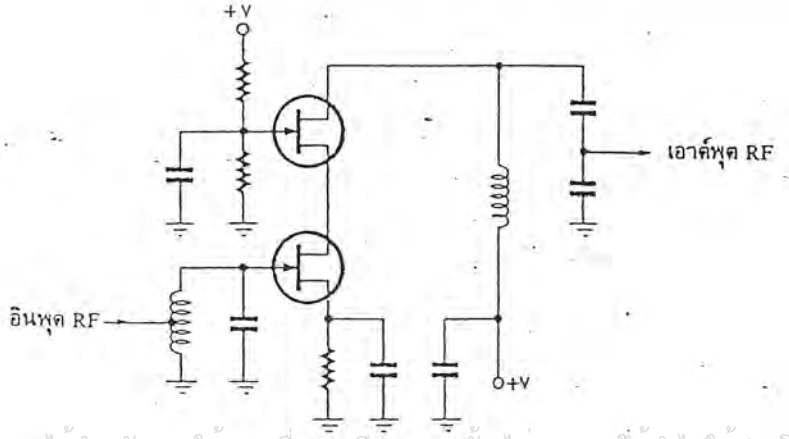
(ก)



(ข)

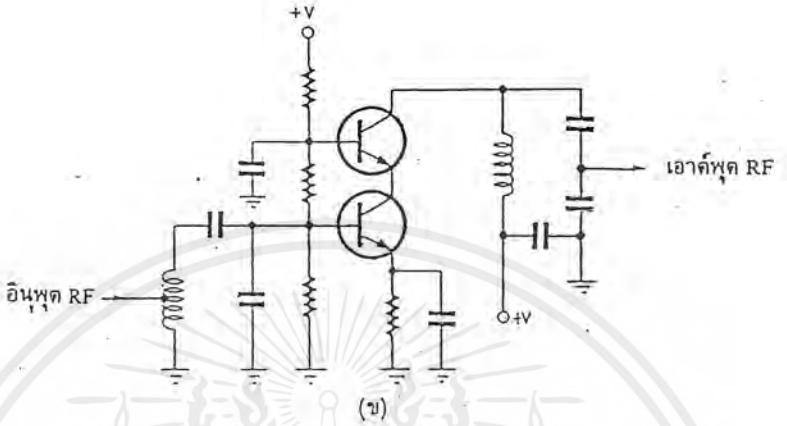
รูปที่ 2.8 วงจรขยาย RF แบบเบส (เกต) ร่วม

วงจรขยาย RF แบบคาสโคดนั้นที่จริงก็คือ วงจรขยายแบบอิมิตเตอร์(ซอส) ร่วม ต่อไปขับวงจรขยายแบบเบส(เกต) ร่วมอีกทอดหนึ่ง วงจรนี้ให้อัตราขยายสูงได้โดยไม่ต้องสะเทินวงจร การควบคุมอัตราขยายทำได้ในส่วนของวงจรอิมิตเตอร์ร่วม (โดยปรับไบแอส) วงจรคาสโคดนี้ จำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายไฟสูงเพราะต้องการแรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์ (FET) ทั้งคู่ ฉะนั้นจึงเป็นปัญหาเมื่อจะนำมาใช้กับเครื่องรับวิทยุติดรถยนต์หรือใช้แบตเตอรี่แรงดันต่ำ 12 โวลต์



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

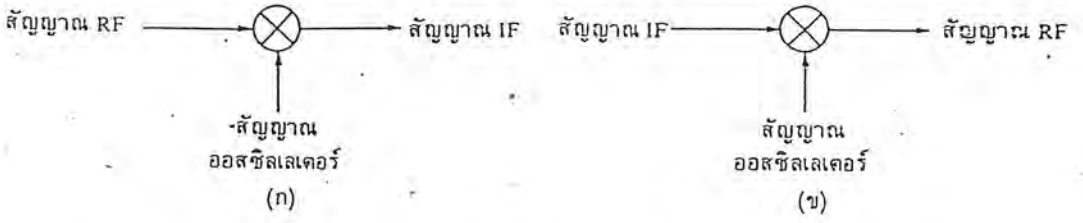
รูปที่ 2.9 วงจรขยาย RF แบบคาสโคด

2.6.2 วงจรมิกเซอร์ แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทแอกตีฟ(active) ใช้ทรานซิสเตอร์ หรือไอซีรวมทั้งอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ให้อัตราการขยาย (ในการผสมคลื่น) และประเภทพาสซีฟ (passive) ใช้ไดโอด ซึ่งไม่มีการขยายสัญญาณ

นอกจากนี้ เราอาจแบ่งวงจรมิกเซอร์ได้เป็น 2 ประเภทคือ แบบสมดุลหรือบาลานซ์ กับแบบไม่สมดุลหรืออันบาลานซ์ วงจรมิกเซอร์แบบสมดุลนี้ เราต่อวงจรให้ขั้วอินพุทหรือเอาต์พุตของวงจรมิกเซอร์ ไม่เกิดปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน (สัญญาณไม่เล็ดลอดระหว่างขั้ว) คุณสมบัตินี้เราเรียกว่า การแยกระหว่างขั้ว หรือไอโซเลชั่น (isolation) คงจำได้ว่าขั้วอินพุตของวงจรมิกเซอร์มี 2 ขั้วคือ สัญญาณ RF (หรือ IF) กับสัญญาณออสซิลเลเตอร์ และมีขั้วเอาต์พุท 1 ขั้ว คือสัญญาณ IF (หรือ RF) ดูรูปที่ 2.10 ลองพิจารณาในกรณีของภาคเครื่องรับจะเห็นว่าการแยกระหว่างขั้ว RF และขั้วออสซิลเลเตอร์ จะช่วยมิให้สัญญาณออสซิลเลเตอร์ย้อนกลับออกสู่สายอากาศแผ่กระจายคลื่นออกไปได้ และการแยกระหว่างขั้ว RF กับขั้ว IF จะช่วยมิให้สัญญาณที่มีความถี่พอดีตรงกับความถี่ IF เล็ดลอดเข้าไปสู่วงจรขยาย IF ในกรณีของภาคส่งก็พิจารณาทำนองเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

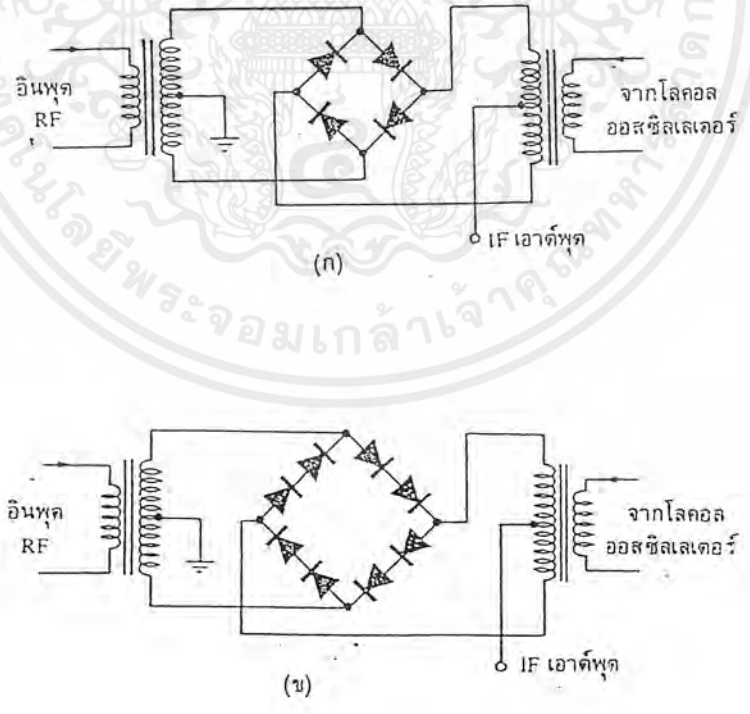
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างมิกเซอร์ของภาคเครื่องรับ (ก.) และ มิกเซอร์ของภาคเครื่องส่ง (ข.)

สำหรับวงจรมิกเซอร์แบบไม่สมดุลนั้น มีคุณสมบัติการแยกระหว่างขั้วไม่ดีเหมือนกับแบบสมดุล ถ้าต้องการให้มีการแยกสัญญาณดีต้องใช้ฟิวเตอร์ช่วงในการกรองสัญญาณต่างหากอีก

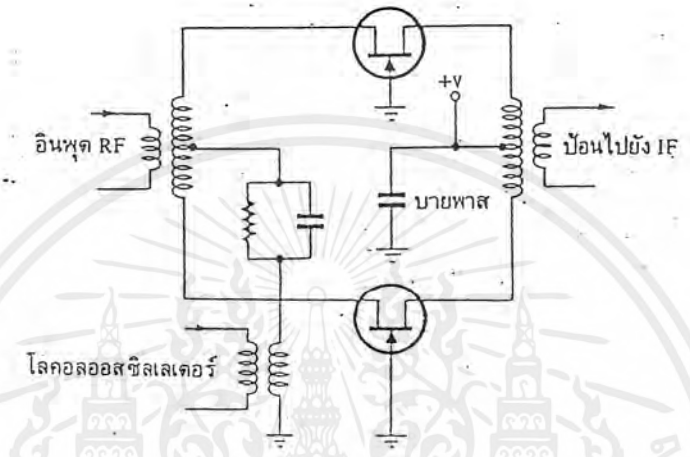
ดูตัวอย่างวงจรบาลานซ์มิกเซอร์ รูปที่ 2.11 ซึ่งใช้ในภาคเครื่องรับ ไดโอดที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติเหมือนกัน และหม้อแปลงก็ต้องสมมาตรกับจุดกลาง วงจรในรูปที่ 2.11 (ข) จะแตกต่างจากรูปที่ 2.11(ก) ตรงที่ใช้จำนวนไดโอดเพิ่มอีก 4 ตัว เพื่อให้เหมาะกับการผสมสัญญาณที่มีความแรงมากกว่า (เช่นมิกเซอร์ ในภาคเครื่องส่ง)



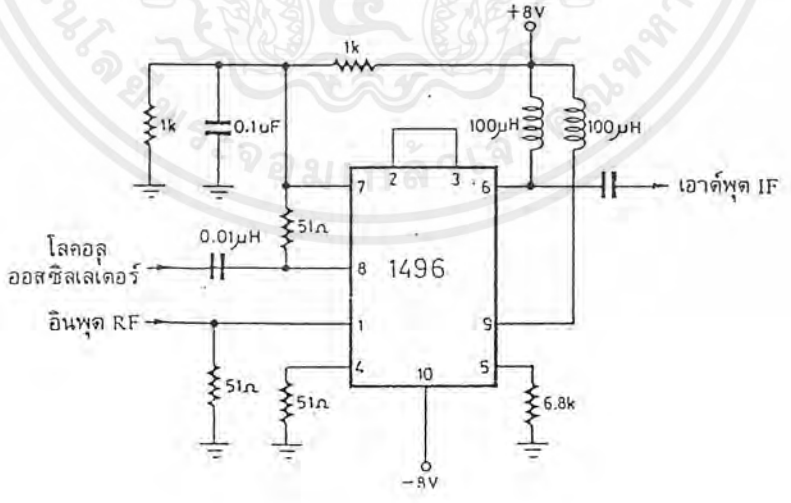
รูปที่ 2.11 วงจรบาลานซ์มิกเซอร์ชนิดพาสซีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
36947

ในรูปที่ 2.12 แสดงวงจรบาลานซ์มิกเซอร์แบบแอกตีฟ ซึ่งให้อัตราขยายในการผสมคลื่น (แทนที่จะให้อัตราสูญเสียในการผสมคลื่นเหมือนกับแบบพาสซีฟ) และรูปที่ 2.13 เป็นวงจรบาลานซ์มิกเซอร์อีกแบบหนึ่งที่ใช้ไอซี



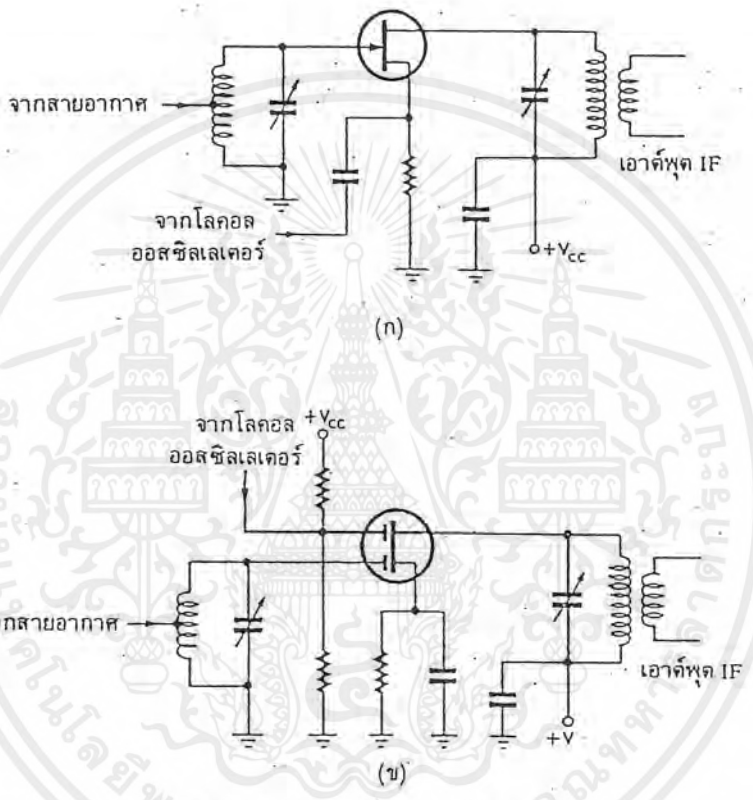
รูปที่ 2.12 วงจรบาลานซ์มิกเซอร์ชนิดแอกตีฟ แบบใช้ FET



รูปที่ 2.13 วงจรบาลานซ์มิกเซอร์ชนิดแอกตีฟ แบบใช้ IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรมิกเซอร์แบบไม่สมดุลแสดงไว้ในรูปที่ 2.14(ข) ซึ่งใช้ MOSFET คุณสมบัติของวงจรคือมีการแยกระหว่างขั้วออสซิลเลเตอร์กับสายอากาศค่อนข้างดี แต่ระหว่างขั้ว RF และขั้ว IF ไม่ค่อยดี เราจำเป็นต้องใช้ฟิวเตอร์ช่วยกรองความถี่เพื่อกำจัดสัญญาณ RF มิให้เล็ดลอดเข้าสู่ขั้ว IF ได้ ในรูปที่ 2.14 (ก) เราใช้ JFET โดยป้อนสัญญาณออสซิลเลเตอร์เข้าทางซอส และสัญญาณ RF เข้าทางเกตซึ่งคุณสมบัติการแยกระหว่างขั้ว RF กับขั้วออสซิลเลเตอร์จะไม่ค่อยดี



รูปที่ 2.14 วงจรมิกเซอร์แบบไม่สมดุล

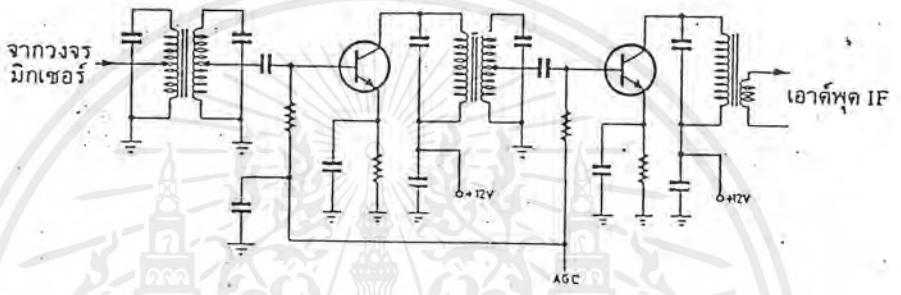
2.6.3 วงจรขยาย IF (ของภาคเครื่องรับ) ก็เหมือนกับวงจรขยาย RF เพียงแต่มีหน้าที่การทำงานแตกต่างกัน กล่าวคือ วงจรขยาย RF ทำหน้าที่ขยายสัญญาณโดยให้มีนอยส์ (noise figure)ต่ำ ความเพี้ยน(intermodulation distortion) ต่ำและขยายสัญญาณที่มีความแรงมากหรือน้อยได้ (มีช่วงไดนามิกกว้าง) แต่วงจรขยาย IF ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ โดยคำนึงถึงการเลือกรับสัญญาณ(selectivity) เป็นหลัก และคุณสมบัตินอยส์ต่ำ ความเพี้ยนต่ำเป็นรอง ส่วนใหญ่อัตราขยายของวงจรขยาย RF จะมีค่า 10 ถึง 15 เดซิเบล ส่วนอัตราขยายของวงจร IF จะมีค่ามากกว่า 60 เดซิเบล

วงจรขยาย IF แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือประเภทที่ใช้วงจรขยายหลายสเตจร่วมกันเพื่อเสริมกันให้ได้อัตราขยายและซีเลกติวิตี้ตามที่ต้องการ เราเรียกวงจรประเภทนี้ว่าประเภทอัตราขยาย

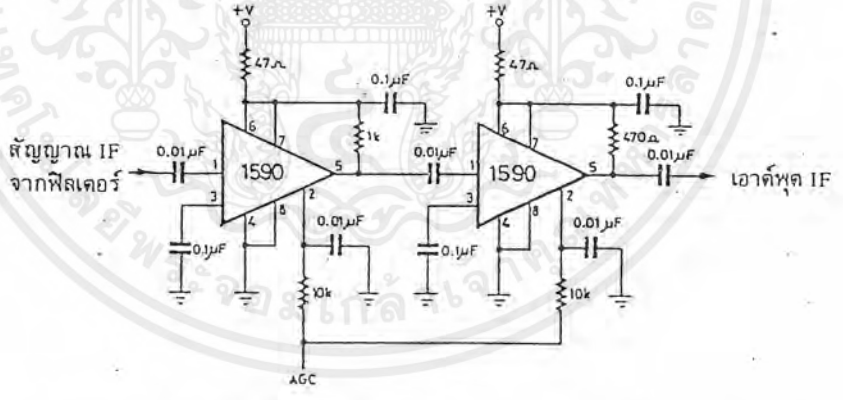
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบ่งเฉลี่ย (distributed gain) อีกประเภทหนึ่งคือใช้วงจรชุดเดียว ทำหน้าที่ขยาย และวงจรอีกชุดควบคุมซีเลกติวิตี้โดยเฉพาะ เช่น ฟิลเตอร์ ไม่ต้องอาศัยการเสริมกันของซีเลกติวิตี้ เราเรียกวงจรประเภทนี้ว่า ประเภทอัตราขยายเป็นก้อน (lumped gain)

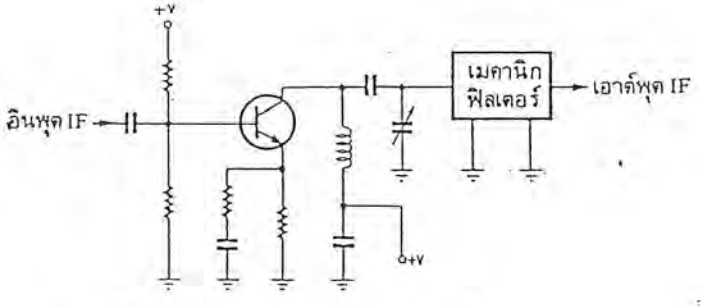
ในรูปที่ 2.15 แสดงวงจรขยาย IF ประเภทแบ่งเฉลี่ยจะเห็นว่า เราใช้หม้อแปลงดับเบิลจูน (จูน 2 ด้านด้านไพรมารี่และเซคันดารี่) ต่อเชื่อมระหว่างสเตจ คุณสมบัติซีเลกติวิตี้จึงขึ้นอยู่กับวงจรจูนทั้ง 3 ชุด วงจรประเภทนี้ ถ้าทำงานในย่านความถี่ต่ำ ๆ จะมีคุณสมบัติซีเลกติวิตี้ด้อยกว่าประเภทที่ใช้คริสตอลฟิวเตอร์ หรือเมคานิกฟิลเตอร์



รูปที่ 2.15 วงจรขยาย IF ที่ใช้หม้อแปลงจูนระหว่างสถานะ



รูปที่ 2.16 วงจรขยาย IF แบบที่ใช้คริสตอลฟิลเตอร์ ควบคุมคุณสมบัติ Selectivity



รูปที่ 2.17 วงจรขยาย IF ของภาคเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

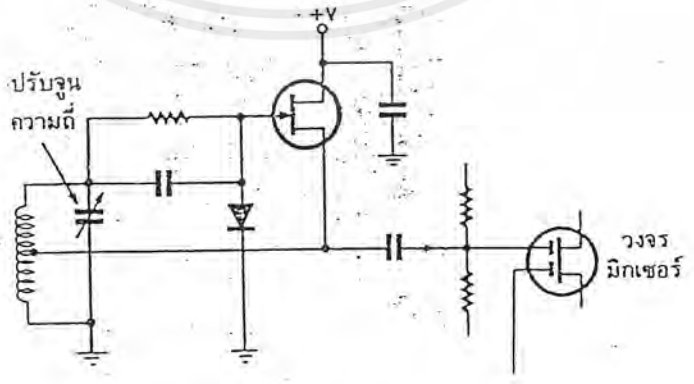
ในรูปที่ 2.16 แสดงวงจรขยาย IF ประเภทอัตราขยายเป็นก้อน ซึ่งไม่ต้องมีการปรับจูนในวงจรเพราะคุณสมบัติการเลือกได้ออกแบบนำขั้วในตัวฟิวเตอร์ที่อยู่ภายในวงจรแล้ว

ในกรณีของวงจรขยาย IF ในภาคเครื่องส่งก็มีลักษณะวงจรเป็นแบบเดียวกัน แต่ส่วนใหญ่ ระดับสัญญาณ (ในกรณีเครื่องส่ง) มักจะมีค่ามากแล้ว อัตราขยายจึงไม่จำเป็นต้องมากมายเหมือนกับวงจรขยาย IF ในภาคเครื่องรับ

ในรูปที่ 2.17 เป็นวงจรขยาย IF ในภาคเครื่องส่งซึ่งด้านเอาต์พุตต่อด้วยเมคานิกฟิวเตอร์

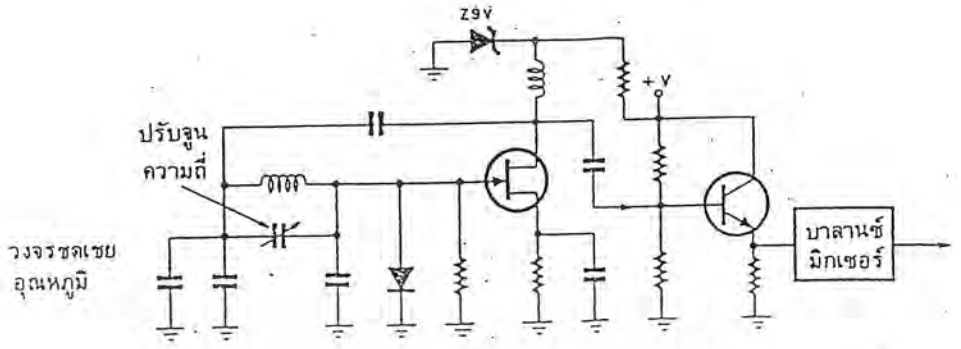
2.6.4 วงจรออสซิลเลเตอร์ ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณความถี่สูง เพื่อใช้ในการทำงานร่วมกับวงจรอื่น ๆ ภายในเครื่อง เช่น ในการมอดูเลต การผสมคลื่นหรือมิกซ์ รวมทั้งใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงออสซิเลเตอร์แต่ละวงจรต่างก็มีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปตามหน้าที่ในเครื่องวิทยุ การออสซิลเลตของวงจรออสซิลเลเตอร์อาศัยหลักการป้อนกลับแบบบวก วงจรที่เป็นตัวกำหนดความถี่ อาจเป็นวงจรจูน LC หรือใช้คริสตอลก็ได้ ค่า Q ของวงจรยิ่งมาก ความถี่ที่วงจรจะออสซิลเลตก็จะยิ่งคงที่ไม่เลื่อน (shift) ไปได้ง่าย สำหรับวงจร LC มีค่า Q น้อยกว่า คริสตอล ฉะนั้น เสถียรภาพทางความถี่ของวงจร คริสตอลออสซิลเลเตอร์ จึงดีกว่าวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ LC ธรรมดา

รูปที่ 2.18 แสดงตัวอย่างวงจรออสซิลเลเตอร์ที่นิยมใช้ในเครื่องวิทยุ จากรูปที่ 2.18(ก) เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์แบบฮาร์ตเล่ย์ ซึ่งใช้ FET เป็นเอาต์พุตของออสซิลเลเตอร์ ต่อ (tap) จากบางส่วนของคอยล์ป้อนไปยังวงจรมิกเซอร์ซึ่งใช้ MOSFET ส่วนรูปที่ 2.18(ข) แสดงออสซิลเลเตอร์แบบคอลล์ปีตต์ (colpitts) ซึ่งใช้ FET เอาต์พุตของวงจรนี้ต่อออกไปยังวงจรบัฟเฟอร์ซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์ แล้วจึงป้อนไปยังวงจรมิกเซอร์อีกทีหนึ่ง



(ก) วงจรฮาร์คเล่ย์ออสซิลเลเตอร์

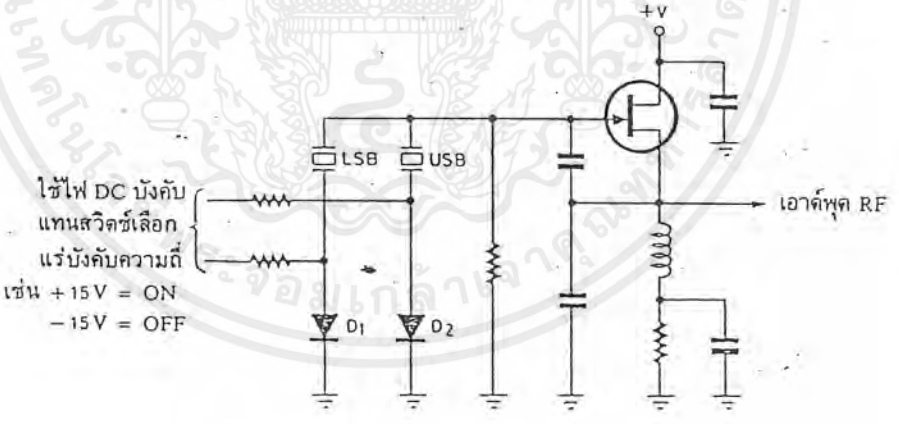
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) วงจรคอลล์ปิดด์ออสซิลเลเตอร์

รูปที่ 2.18 ตัวอย่างออสซิลเลเตอร์ที่นิยมใช้ในเครื่องวิทยุ

ในบางครั้ง เราจำเป็นต้องเลือกคริสตอลที่ใช้ในวงออสซิลเลเตอร์เพื่อให้วงจรออสซิลเลเตอร์สามารถเปลี่ยนความถี่ในการออสซิลเลตได้ ดูรูปที่ 2.19 เราใช้วิธีป้อนแรงดันเพื่อไบแอสแก่ไดโอดในการเลือกต่อคริสตอลให้แก่วงจรออสซิลเลเตอร์เราอาจใช้สวิตซ์ต่อกับแรงดันไบแอสธรรมดาหรือใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ก็ได้

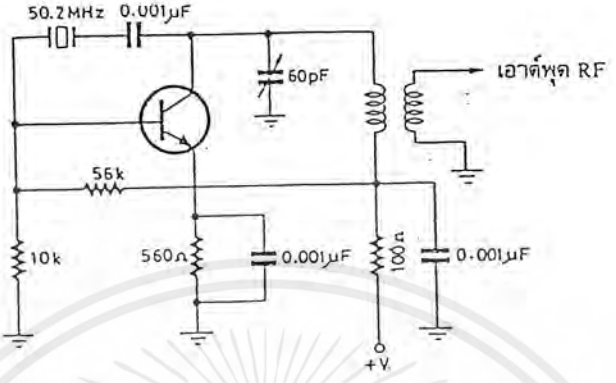


รูปที่ 2.19 การสวิตช์เลือกคริสตอลให้แก่ออสซิลเลเตอร์

คริสตอลออสซิลเลเตอร์ส่วนใหญ่ เรานิยมให้กำเนิดความถี่ในช่วง 2 ถึง 20 เมกะเฮิรตซ์ ถ้าต้องการความถี่สูงมากกว่านี้ จะต้องให้คริสตอลทำงานแบบโอเวอร์โทน(overtone) เช่น เราให้คริสตอลสั่นที่ความถี่ ฮาร์มอนิกคี่ วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้คริสตอลแบบโอเวอร์โทนนี้ สามารถทำงานได้ในช่วงความถี่ 100 ถึง 200 เมกะเฮิรตซ์ ถ้าหากเราต้องการความถี่สูงขึ้นไปกว่านี้ เราต้องใช้วิธีการคูณความถี่(multiplication) โดยใช้วงจรมัลติพลาย ตัวอย่างวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้คริสตอลแบบโอเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

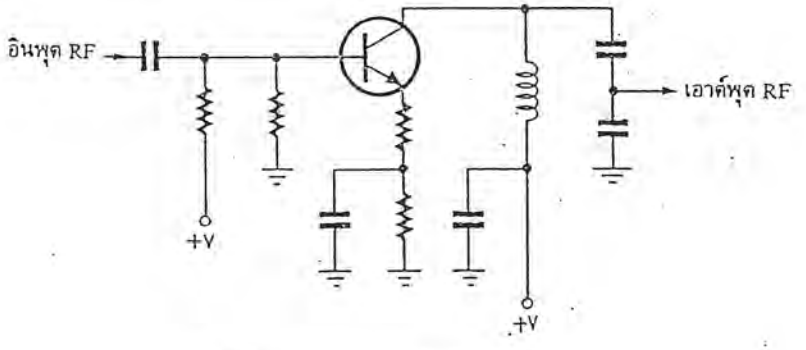
โทนแสดงไว้ในรูปที 2.20 วงจรเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์แบบเพียซ ซึ่งเป็นคร้สตอลทำงานที่ความถี่ฮาร์มอนิกที่สาม นิยมเรียกว่าโอเวอร์โทนที่สาม(3rd overtone)



รูปที่ 2.20 วงจรโอเวอร์โทนออสซิลเลเตอร์

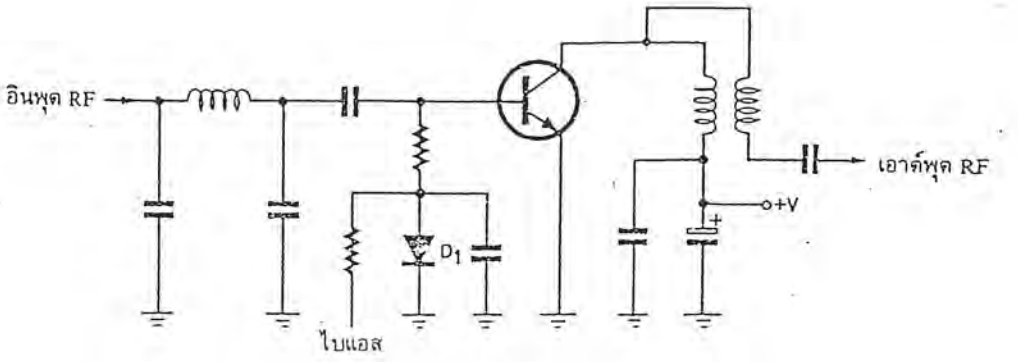
2.6.5 วงจรขยายกำลัง RF ทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้มีกำลัง(ส่ง) สูงเพื่อส่งออกอากาศ ในกรณีของสัญญาณ SSB การขยายสัญญาณจะต้องมีความเป็นลิเนียร์ วงจรขยายคลาสA จะให้อัตราขยายสูง และมีความเป็นลิเนียร์ที่ดี แต่มีประสิทธิภาพต่ำ นิยมใช้ในสเตจที่กำลังยังน้อย เช่น วงจรขับ (driver) สำหรับสัญญาณที่มีกำลังมากขึ้น เรานิยมใช้วงจรขยายคลาส B เนื่องจากให้ประสิทธิภาพสูงกว่าประสิทธิภาพของวงจรขยายคลาส A มีค่าประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนคลาส B ให้ประสิทธิภาพสูงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ สำหรับวงจรขยายคลาส C นั้นไม่สามารถนำมาใช้ขยายสัญญาณ SSB ได้ เพราะไม่มีความเป็นลิเนียร์ ส่วนมากเราใช้วงจรขยายคลาส C ในการขยายสัญญาณ CW และ FM

ในรูปที่ 2.21 แสดงวงจรขยายจูนคลาส A ซึ่งใช้ในภาคขยายสัญญาณกำลังน้อย ในกรณีของวงจรขยายสัญญาณกำลังมากขึ้น เรานิยมใช้วงจรขยายที่ไม่มีการจูน ดูรูปที่ 2.22 เป็นวงจรขยายคลาส B สังเกตว่ามีไดโอด D_1 ต่อเพื่อชดเชยมิให้วงจรทำงานเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ส่วนมากไดโอดนี้มักติดตั้งอยู่ใกล้กับทรานซิสเตอร์



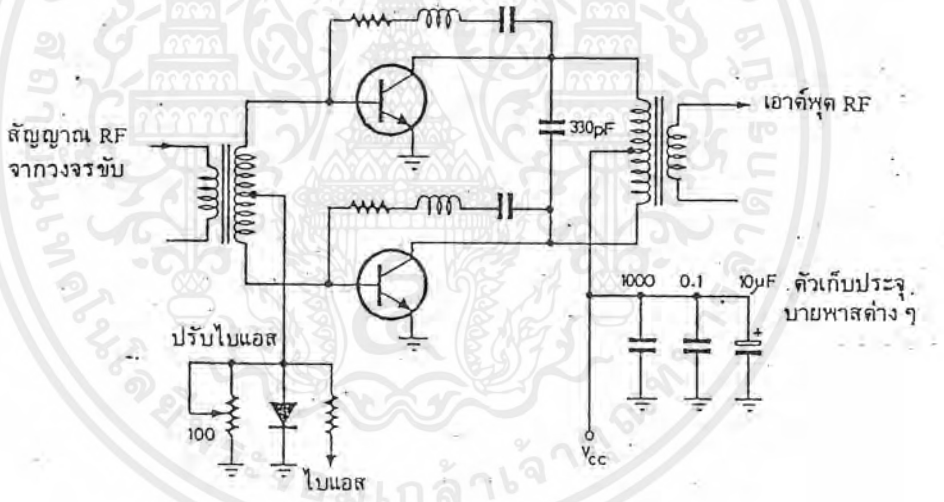
รูปที่ 2.21 วงจรขยายกำลังคลาส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 วงจรขยายกำลังปานกลางคลาส B

สำหรับวงจรขยายที่เป็นลิเนียร์และต้องการขยายสัญญาณกำลังสูง ๆ เรานิยมใช้วงจรพุชพูล ดูรูปที่ 2.23 ข้อดีของวงจรพุชพูลก็คือ สัญญาณ ฮาร์มอนิกคู่จะหักล้างกันเอง

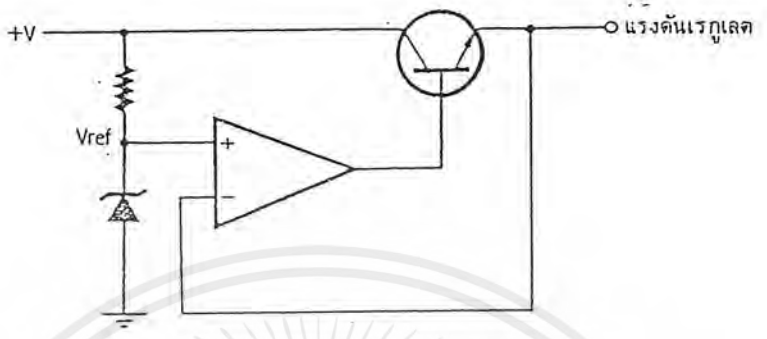


รูปที่ 2.23 วงจรขยายกำลังแบบพุชพูล

2.6.6 แหล่งจ่ายไฟ ที่จ่ายให้แก่ภาครับหรือภาคส่งนั้น บางวงจรจำเป็นต้องใช้แรงดันคงที่ (หรือมีเสถียรภาพทางแรงดัน) ไม่มีริปเปิลหรือการกระเพื่อม(fluctuate) เช่น วงจรออสซิลเลเตอร์ วงจรมอดูเลเตอร์ เป็นต้น วงจรเหล่านี้จำเป็นต้องใช้แรงดันเรกูเลต(regulation) แต่บางวงจร เช่น วงจรขยายกำลังเสียง วงจรขยายกำลัง IF ไม่จำเป็นต้องใช้แรงดันเรกูเลต วงจรเรกูเลเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไป มักเป็นวงจรเรกูเลเตอร์ 3 ขา (three-terminal regulator) หลักการของวงจรเรกูเลเตอร์ในรูปที่ 2.24 อาศัยการเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง (reference) ซึ่งในที่นี้ก็คือแรงดันซีเนอร์นั่นเอง ผลลัพธ์(ความแตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่าง) จะถูกแปลงเป็นแรงดันไปควบคุมทรานซิสเตอร์ที่กระแสไหลผ่านอีกทีหนึ่ง ทำให้แรงดันคงที่ วงจรเรกูเลเตอร์ชนิดนี้ทำงานแบบลิเนียร์จึงเรียกกว่าลิเนียร์เรกูเลเตอร์ (linear regulator)



รูปที่ 2.24 วงจรเรกูเลเตอร์

2.6.7 ลิมิตเตอร์ สัญญาณ FM (มีความถี่เท่ากับ IF) อาจจะมีนอยส์ปะปนมาด้วย วงจรลิมิตเตอร์จะทำหน้าที่ขลิบสัญญาณทั้งด้านบวกและลบ รวมทั้งนอยส์ก็จะถูกกำจัดทั้งไปด้วย (ดูรูปที่ 2.25) สังเกตว่าความถี่ของสัญญาณ FM ก่อนและหลังลิมิตเตอร์ไม่เปลี่ยนแปลง หลักการของวงจรลิมิเตอร์นี้ก็คือ ป้อนสัญญาณที่มีแอมพลิจูดเกินช่วงทำงานของวงจร (overdrive) จนกระทั่งวงจรขยายอิ่มตัวหรือคัทออฟ ถ้าสัญญาณ IF ที่ป้อนมามีแอมพลิจูดน้อย เอาต์พุตจากลิมิเตอร์จะมีนอยส์ปนออกมาทางเอาต์พุต ถ้าป้อนแอมพลิจูดมาแรงๆ นอยส์จะเงียบไป การที่จะลดนอยส์ให้ได้ก็คือขยายสัญญาณอินพุต(IF) ให้มากๆ พอที่จะขับให้วงจรลิมิเตอร์ขลิบให้วงจรลิมิตเตอร์ขลิบสัญญาณเพื่อกำจัดนอยส์ที่ขี่มาบนสัญญาณ FM ตามหลักการของวงจรลิมิตเตอร์

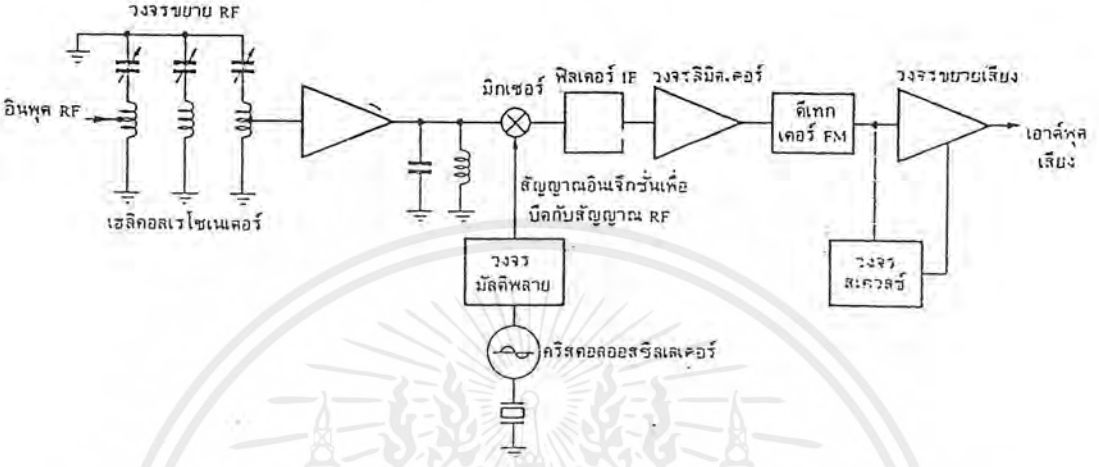
รูปที่ 2.25 วงจรลิมิตเตอร์จะขจัดนอยส์และการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดของสัญญาณ FM

2.7 ภาคเครื่องรับ

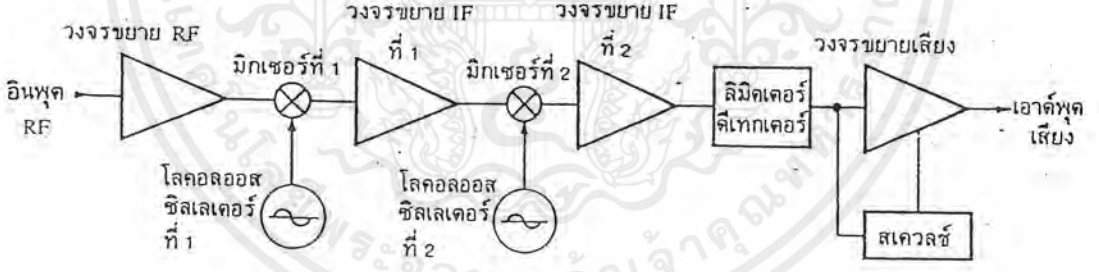
เครื่องรับ FM ในย่านความถี่ VHF ส่วนใหญ่เป็นแบบดับเบิลคอนเวอร์ชั่น สำหรับในย่านความถี่ VHF บางครั้งอาจใช้แบบทริปเปิลคอนเวอร์ชั่น (triple conversion) รูปที่ 2.26 แสดงแผนผัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเครื่องรับชนิดซิงเกิลคอนเวอร์ชั่น สังเกตว่าวงจรส่วนหน้าชนิดที่มีค่า Q สูงมาก เรียกว่าเฮลิคอนเรโซเนเตอร์ (helical resonator) ส่วนในรูปที่ 2.27 แสดงแผนผังของเครื่องรับชนิดดับเบิลคอนเวอร์ชั่น



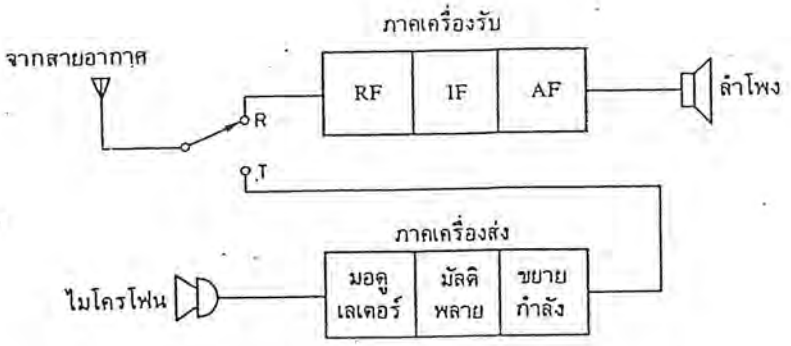
รูปที่ 2.26 เครื่องรับ FM แบบซิงเกิลคอนเวอร์ชั่น



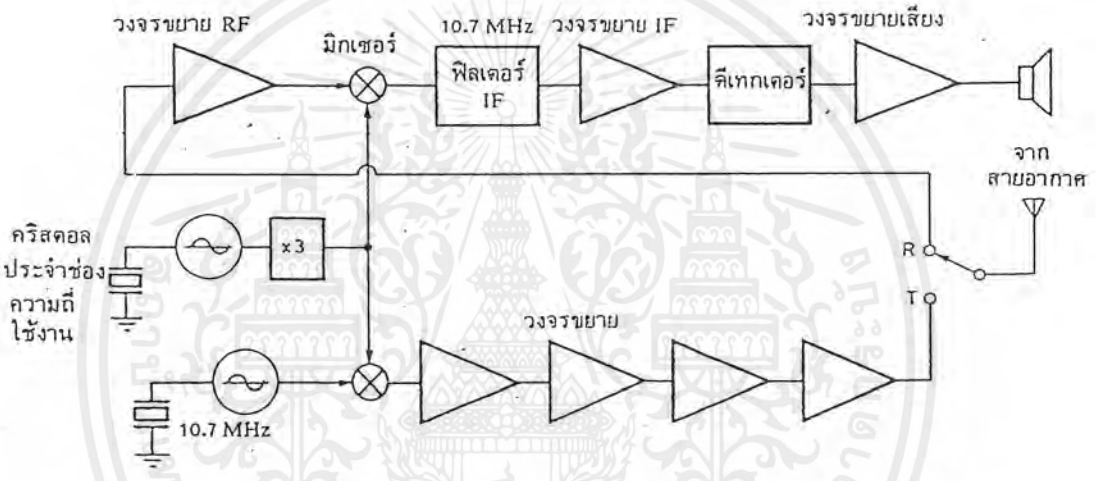
รูปที่ 2.27 เครื่องรับ FM แบบดับเบิลคอนเวอร์ชั่น

เครื่องรับส่งวิทยุส่วนใหญ่ ภาคเครื่องรับภาคเครื่องรับส่งจะแยกออกจากกันโดยไม่ใช้วงจรร่วมกัน ดังแผนผังที่แสดงในรูปที่ 2.28 แต่ก็ยังมีเครื่องรับส่งวิทยุบางชนิดที่ใช้วงจรโลคอลออสซิลเลเตอร์ร่วมกัน ดังรูปที่ 2.29 โดยใช้คริสตรอลเพียงก้อนเดียวกันทั้งในสภาวะรับและสภาวะส่ง สังเกตว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 รูปรับส่งวิทยุ FM ซึ่งแยกภาคเครื่องรับและภาคเครื่องส่ง

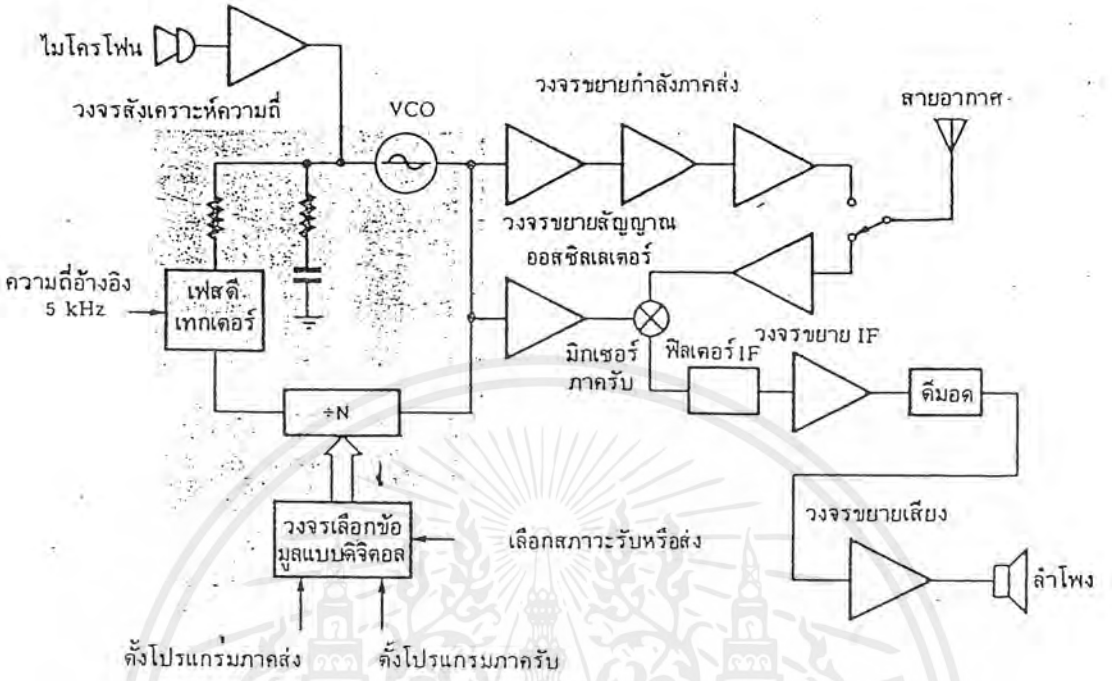


รูปที่ 2.29 เครื่องรับส่งวิทยุ FM แบบใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ร่วมกัน

ในสภาวะส่งเราจำเป็นต้องนำสัญญาณโลคอลออสซิลเลเตอร์มามิกซ์กับออสซิลเลตอร์ที่มีความถี่ IF เสียก่อนเพื่อให้ได้ความถี่ใช้งานที่ต้องการ สังเกตอีกด้วยว่าความถี่ของออสซิลเลเตอร์ในสภาวะรับกับสภาวะส่งจะต่างกันอยู่เท่ากับความถี่ IF พอดี

เครื่องรับส่งวิทยุอีกชนิดหนึ่ง (ในรูปที่ 2.30) ซึ่งใช้ระบบสังเคราะห์ความถี่หรือซินธิไซเซอร์แทนโลคอลออสซิลเลเตอร์ ข้อดีของเครื่องรับส่งวิทยุชนิดซินธิไซเซอร์นี้ก็คือเหมาะกับกิจการที่ต้องใช้ความถี่หลายความถี่ช่วยให้ประหยัดคริสตอลไปได้หลายก้อน (และสามารถตั้งความถี่ใช้งานได้สะดวก) แต่ข้อควรจำของเครื่องรับส่งในระบบนี้ก็คือ ความถี่ของออสซิลเลเตอร์ของระบบสังเคราะห์ความถี่จะต้องขยับไปหรือออฟเซตไปเท่ากับความถี่ IF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 เครื่องรับส่งวิทยุ FM แบบสังเคราะห์ความถี่

2.8 วงจรพื้นฐานของเครื่องรับส่งวิทยุ

2.8.1 มอดูเลเตอร์ FM การกำเนิดสัญญาณ FM สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

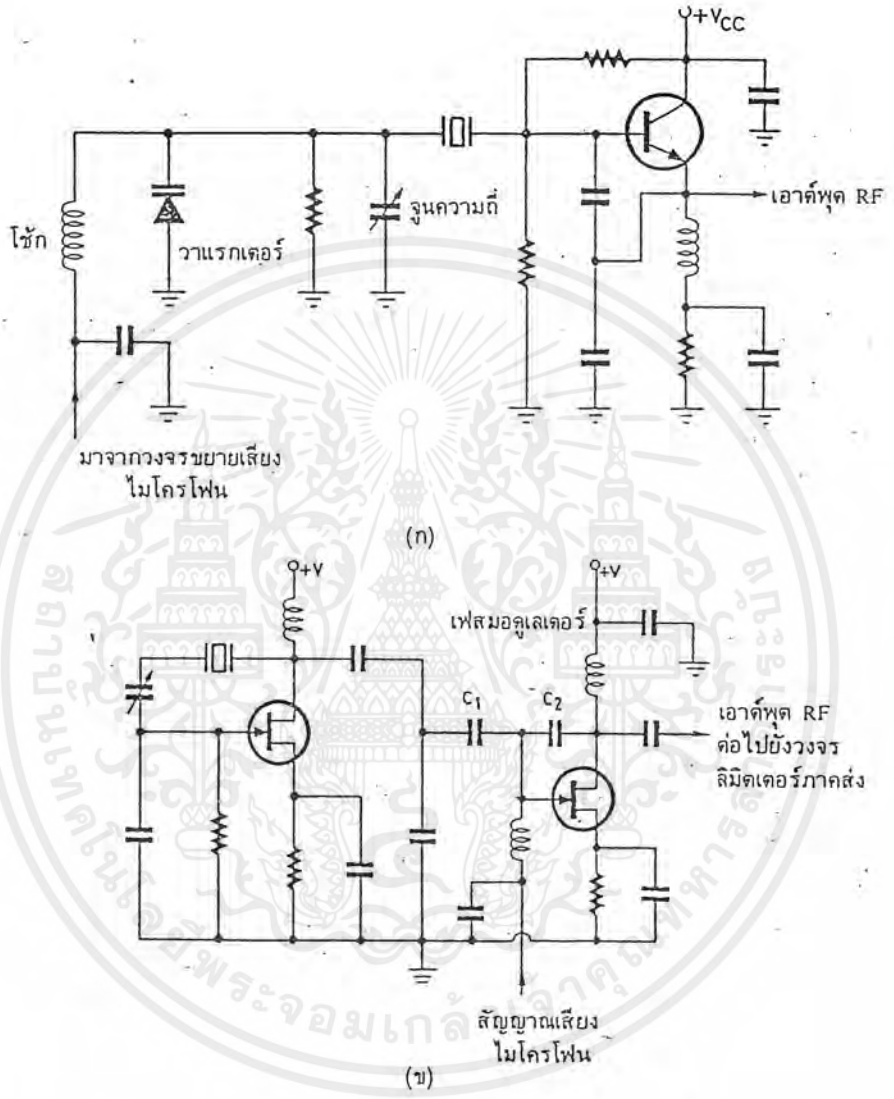
วิธี FM โดยตรง (direct FM) ซึ่งเราต่อวงจรรีแอกแตนซ์เข้ากับแร่บังคับความถี่ แล้วเปลี่ยนความถี่ของคริสตอลออสซิลเลเตอร์ โดยเปลี่ยนค่ารีแอกแตนซ์ของวาแรกเตอร์ไดโอด

วิธี FM โดยอ้อม (indirect FM) เราใช้วิธีมอดูเลตทางเฟสได้เป็นสัญญาณ PM แล้วเปลี่ยนสัญญาณให้เป็นสัญญาณ FM โดยการแก้ผลตอบสนองความถี่ของสัญญาณเสียงที่จะเข้าทำการมอดูเลต ปกติความถี่เบี่ยงเบนจะมีค่า ± 5 กิโลเฮิรตซ์ (คิดรวม 2 ข้างเท่ากับ 10 กิโลเฮิรตซ์) โดยทั่วไปแร่บังคับความถี่จะเปลี่ยนไปได้ประมาณ 0.05 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือสามารถมอดูเลตให้ความถี่เบี่ยงเบนไปได้ ประมาณ ± 5 กิโลเฮิรตซ์ ฉะนั้นถ้าความถี่แร่ปรับจูนไว้ไม่ถึงกลางพอดี การมอดูเลตจะเบี่ยงเบนไปได้ไม่เท่ากันทั้งสองข้าง คือจะมาข้างหนึ่งและน้อยข้างหนึ่ง ทำให้เกิดความเพี้ยน หลักการมอดูเลตทั่วไปก็ใช้การเปลี่ยนค่ารีแอกแตนซ์ของวาแรกเตอร์ไดโอดเช่นกัน

ความจริงการกำเนิดสัญญาณ FM ทั้ง 2 วิธีก็ให้ผลคล้ายกัน จะแตกต่างกันก็ตรงที่ในกรณีเฟสมอดูเลชั่น ความถี่เบี่ยงเบนมีค่าเป็นสัดส่วนกับความถี่ของสัญญาณที่มอดูเลต เมื่อความถี่เสียงยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูง ความถี่เบี่ยงเบนจะยิ่งมาก นั่นคือที่ความถี่ศูนย์หรือ DC จะไม่มีการมอดูเลต ฉะนั้นเมื่อสัญญาณ PM



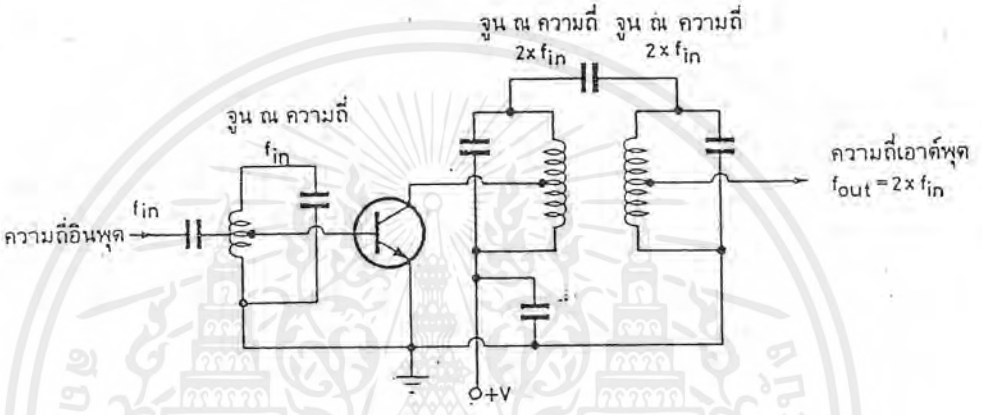
รูปที่ 2.31 วงจรมอดูเลเตอร์ (ก) วิธี FM โดยตรงใช้การเปลี่ยนความถี่คริสตอลด้วยราริแคป (ข) วิธี FM โดยอ้อม ใช้เฟสมอดูเลเตอร์

จากเฟสมอดูเลเตอร์จะต้องถูกแปลงให้เป็นสัญญาณ FM เราก็สามารถทำได้โดยนำสัญญาณเสียงมาผ่านกรรมวิธีเพื่อให้สัญญาณความถี่ต่ำ ๆ แรงขึ้น ก่อนที่จะป้อนเข้ามอดูเลต

2.8.2. วงจรมัลติพลาย เป็นวงจรขยายที่มีอินพุตขับด้วยสัญญาณแรงเต็มที่ และเอาต์พุตต่อเป็นวงจรที่จูนไว้ ณ ความถี่ฮาร์มอนิกของสัญญาณอินพุต วงจรนี้ก็เหมือนกับวงจรขยายจูนธรรมดา เพียงแต่ระดับสัญญาณอินพุตป้อนเข้าแรงกว่า และอุปกรณ์ที่ใช้ เช่น ทรานซิสเตอร์ ต้องทำงานใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

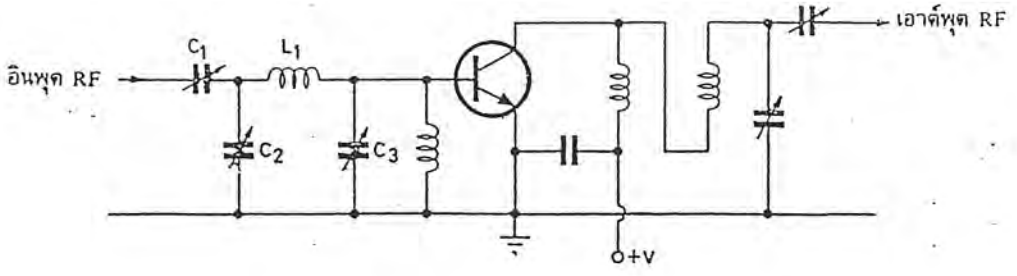
ย่านความถี่สูงขึ้น การขับด้วยสัญญาณแรงเต็มที่ช่วยทำให้เกิดฮาร์มอนิกขึ้น ฉะนั้นความบริสุทธิ์ของสเปกตรัมเกี่ยวกับความถี่ของวงจรจึงมีความสำคัญมาก ในรูปที่ 2.32 แสดงให้เห็นวงจรมัลติพลายซึ่งคูณความถี่เป็น 2 เท่า สังเกตว่าวงจรจูนด้านอินพุตจะจูนไว้ ณ ความถี่ที่ต้องการจะคูณ 3 เท่า. เราก็ใช้วงจรจูน ณ ความถี่ฮาร์มอนิกที่สาม (วงจรคูณ 3 เท่าเรียกว่า ทริปเลอร์) วงจรมัลติพลายส่วนใหญ่จะใช้ตัวคูณ 2 หรือ 3 เท่า เนื่องจากตัวคูณสูงกว่านี้มักจะให้ประสิทธิภาพด้อยลง ถ้าเราต้องการคูณหลาย ๆ เท่า เราก็ใช้วงจรมัลติพลายหลาย ๆ ชุดมาต่อกัน



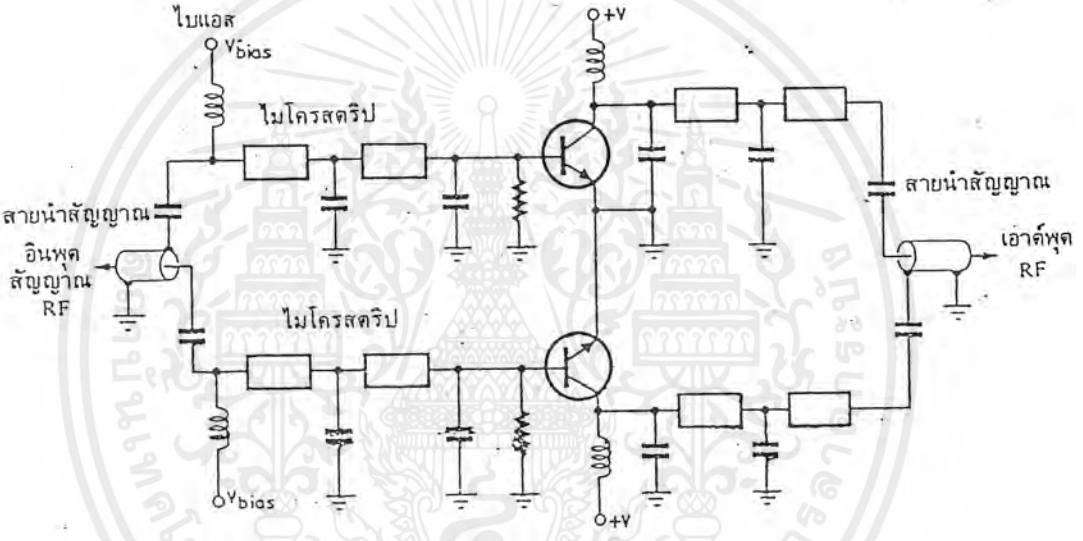
รูปที่ 2.32 วงจรดับเบลอร์

2.8.3. วงจรขยายกำลัง RF ในกรณีของระบบ FM เราสามารถใช้วงจรขยายคลาส C ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าในการขยายกำลังได้ โดยทั่วไปวงจรขยายกำลังมักจะเป็นวงจรง่าย ๆ แต่การจัดวางอุปกรณ์จำเป็นต้องพิถีพิถัน โดยเฉพาะวงจรที่ทำงานในย่านความถี่สูง ในรูปที่ 2.33 แสดงวงจรขยายกำลังในย่านความถี่ VHF 150 เมกะเฮิรตซ์ จะเห็นว่าเราใช้ตัวเก็บประจุปรับค่าได้ในการแมตช์อิมพีแดนซ์ คือทำให้อิมพีแดนซ์อินพุตกับเอาต์พุตเท่ากัน รูปที่ 2.34 เป็นวงจรขยายกำลังลิเนียร์ในย่านความถี่ UHF ซึ่งต่อวงจรขยายเป็นวงจรพุชพูล สังเกตว่าเราใช้อุปกรณ์สตริปลายน์ (strip line : สตริปลายน์หรือไมโครสตริป (microstrip) เป็นอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ หรือตัวเก็บประจำ มีรูปร่างเป็นแถบตัวนำ ทำงานเหมือนเป็นสายนำสัญญาณ (transmission line)) เป็นส่วนหนึ่งของวงจร สตริปลายน์ ในที่นี้ มักทำเป็นลายวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์ (printed-circuit board) เรามักพบสตริปลายน์ในวงจรขยายกำลังที่ทำงานที่ระดับกำลังส่งสูงมาก

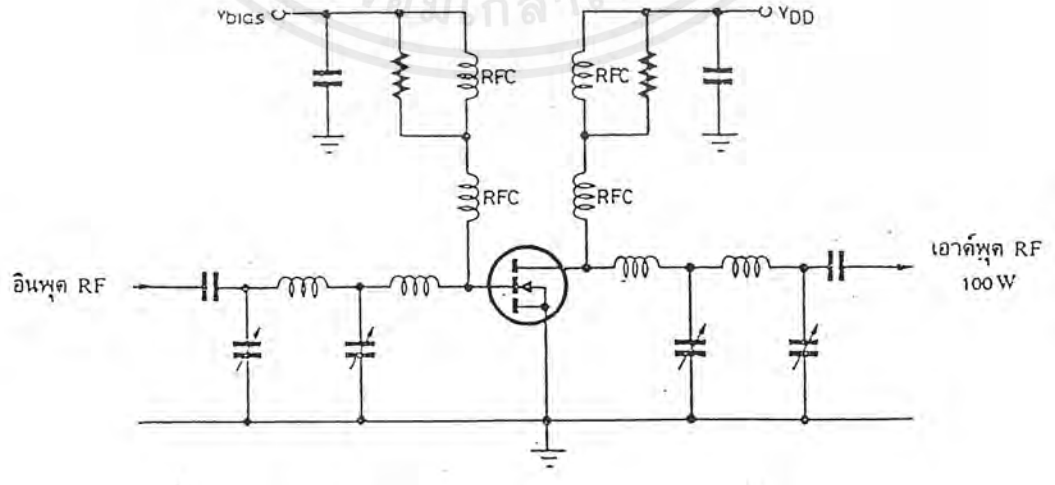
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 วงจรขยายกำลังคลาส C ในย่านความถี่ VHF



รูปที่ 2.34 วงจรขยายกำลังลิเนียร์ในย่านความถี่ UHF

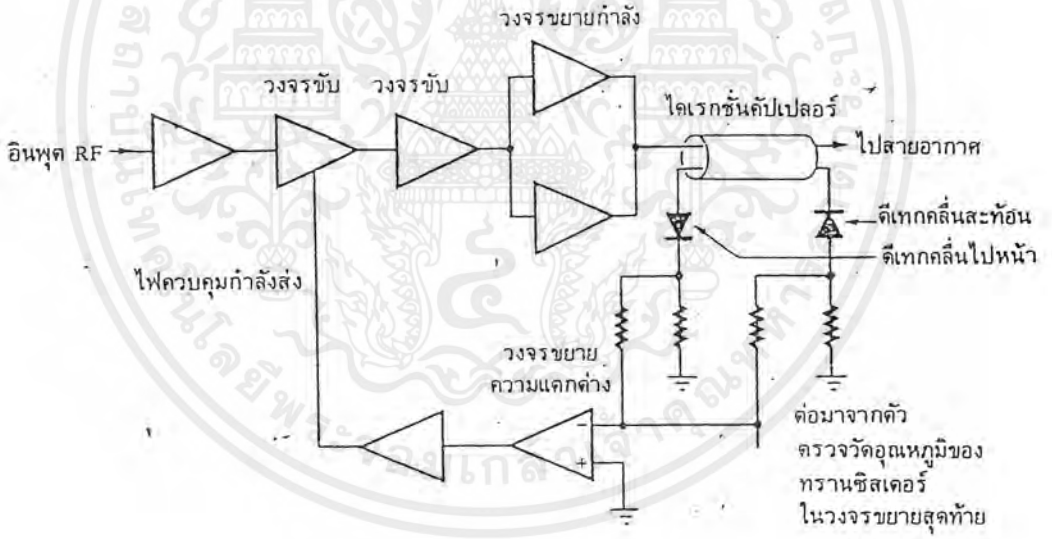


รูปที่ 2.35 วงจรขยายกำลังใช้ MOSFET สำหรับความถี่ 144 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรขยายกำลังอีกแบบหนึ่งซึ่งใช้ MOSFET กำลัง (power MOSFET) สามารถทำงานได้ถึง 100 วัตต์ ความถี่ใช้งานขึ้นไปได้ถึงย่าน VHF ลักษณะวงจรจะเป็นดังรูปที่ 2.35 ข้อดีของ MOSFET ก็คือมีความเพี้ยนต่ำและมีอินเตอร์มอดน้อย

2.8.4. ระบบป้องกันวงจรขยายกำลัง RF โดยปกติภาคขยายกำลัง (นิยมเรียกว่า PA) ควรมีระบบป้องกันเพื่อควบคุมกำลังส่งให้คงที่ และป้องกันมิให้ทรานซิสเตอร์ภาคสุดท้ายชำรุดเพราะคลื่นสะท้อนกลับ (VSWR สูงเกินไป) รูปที่ 2.36 เป็นตัวอย่างระบบป้องกันของเครื่องขนาดกำลังส่ง 100 วัตต์ สังเกตว่าปริมาณสัญชาติญาณเอาต์พุต ตรวจวัด (sense) โดยใช้ไดเรกชั่นคัปเปลอร์ (directional coupler) ซึ่งอยู่ระหว่างฮาร์มอนิกฟิลเตอร์กับสายอากาศ ถ้ากำลังส่งมากเกินไปหรือมีกำลังสะท้อนมากเกินไป คลื่นขับสู่ภาคขยายกำลังจะถูกบังคับให้ลดลง อย่างไรก็ตามการป้อนกลับจากไดโอดตัวที่ดีเทกคลื่นไปหน้า (forward) ของไดเรกชั่นคัปเปลอร์ก็จะทำให้กำลังส่งเพิ่มขึ้นไปจนกระทั่งถึงค่าที่กำหนดไว้ ส่วนไดโอดตัวที่ดีเทกคลื่นสะท้อนจะทำให้เอาต์พุตลดลงถ้าคลื่นสะท้อนมาก ฉะนั้นกำลังสะท้อนจะถูกควบคุมไว้ไม่เกินระดับหนึ่ง



รูปที่ 2.36 วงจรป้องกันภาคขยายกำลังสุดท้าย

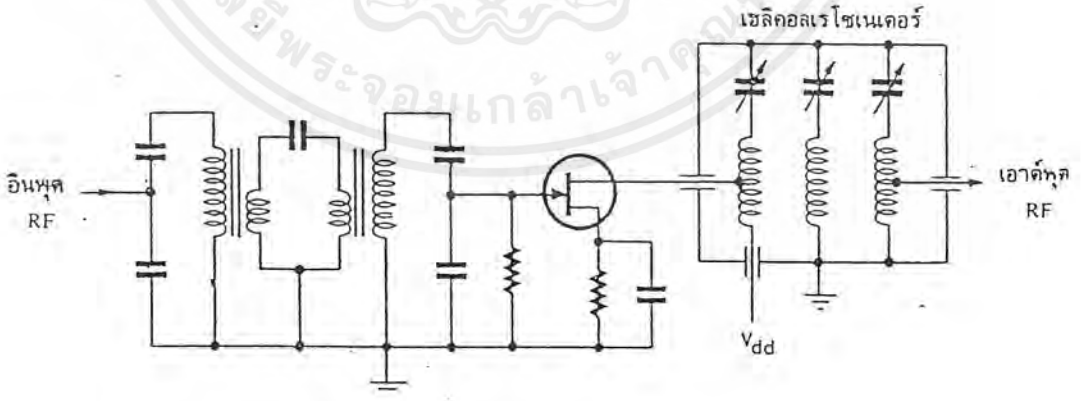
โดยทั่วไปวงจรป้องกันเรานิยมใช้การตรวจวัดอุณหภูมิด้วยเสมอ ถ้าเครื่องส่งใช้งานหนักหรือการระบายความร้อนไม่ดีพอ ตัวตรวจวัดอุณหภูมิ เช่นเทอร์มิสเตอร์จะบังคับภาคส่งให้หยุดส่งจนกว่าอุณหภูมิจะลดลง วงจรป้องกันบางชนิดใช้วิธีควบคุมหรือจำกัดกระแสที่ไหลในวงจร PA เพื่อเพลาการทำงานลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.5. วงจรขยาย RF ปกติแล้วเครื่องรับ AM สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมีวงจรขยาย RF แต่สำหรับเครื่องรับ FM เราจำเป็นต้องมีวงจรขยาย RF เพื่อให้เครื่องรับสามารถรับสัญญาณขนาดเล็ก ๆ ได้ ระบบ FM มีภูมิต้านทานต่อนอยส์ ฉะนั้นความไวจึงสูง สังเกตว่าเครื่องรับ FM มีความไวไม่เกิน 1 ไมโครโวลต์ แต่เครื่องรับ AM มีความไวประมาณ 30 ไมโครโวลต์ ถ้าหากเราไม่ใช้วงจรขยาย RF ในเครื่องรับ นอยส์ที่เกิดจากมิกเซอร์ก็จะกลบทับสัญญาณที่ต้องการรับจนหมดสิ้น การขยายสัญญาณอินพุตให้แรงขึ้นก่อนจะป้อนให้มิกเซอร์จะช่วยให้ความไวดีขึ้น นอกจากวงจรขยาย RF จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณอินพุตแล้ว แบนด์วิดท์ช่วงความถี่ทำงานของวงจรยังช่วยตัดความถี่เงา และกั้นสัญญาณจากออสซิลเลเตอร์มิให้ย้อนกลับไปสู่สายอากาศด้วย

วงจรขยาย RF ที่นิยมใช้ในเครื่องรับ FM มักเป็น FET เนื่องจากมีช่วงไดนามิกกว้างและมีภูมิต้านทานต่อนอยส์สูง รวมทั้งมีเสถียรภาพดี ถ้าหากเครื่องรับใช้งานหลายความถี่และช่วงห่างของความถี่ใช้งาน (frequency spread) ไม่ห่างกันมากนัก วงจรขยาย RF อาจจะใช้แบบที่มีย่านความถี่ผ่านไม่ต้องกว้างนัก และสามารถใช้เฮลิคอลเรโซเนเตอร์ร่วมกับวงจรส่วนหน้าด้วย โดยมีลักษณะวงจรดังรูปที่ 2.37

ตัวเฮลิคอลเรโซเนเตอร์นี้มีลักษณะเหมือนกับลวดลายนำสัญญาณที่เป็นเกลียว (spiral) ปลายด้านหนึ่งลัดวงจร ปลายอีกด้านหนึ่งเปิดวงจร ค่าอิมพีแดนซ์ประจำตัวของสาย (characteristic impedance) จะมีค่าสูง ลวดดังกล่าวปิดทึบอยู่ในช่องโลหะและมีช่องสำหรับให้พลังงานผ่านจากช่องหนึ่งไปยังอีกช่องหนึ่ง ค่า Q (unloaded) ของเฮลิคอลเรโซเนเตอร์นี้สูงมาก คุณสมบัตินี้เองที่ทำให้สามารถกำจัดอินเตอร์มอดและสัญญาณเงา ดูวงจรในรูปที่ 2.37



รูปที่ 2.37 วงจรขยาย RF ซึ่งใช้เฮลิคอลเรโซเนเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.6. มิกเซอร์ อาจเป็นแบบใช้ทรานซิสเตอร์ หรืออาจเป็นแบบใช้ไดโอดซึ่งเป็นมิกเซอร์แบบพาสซีฟ ในเครื่องรับรุ่นใหม่เรานิยมใช้บาลานซ์มิกเซอร์ซึ่งให้คุณสมบัติการกำจัดอินเตอร์มอดดีและขยายสัญญาณได้ด้วย เครื่องรับบางแบบก็ใช้ MOSFET ชนิดเกตคู่เป็นมิกเซอร์

2.8.7. โลคอนออสซิลเลเตอร์ ทำหน้าที่ป้อนสัญญาณอินเจ็กชั่นให้แก่วงจรมิกเซอร์ ในกรรมวิธีเฮตเทอร์โรดายน์เครื่องรับที่ใช้แร่บังคับความถี่มักจะกำเนิดสัญญาณอินเจ็กชั่น โดยใช้คริสตอลออสซิลเลเตอร์ร่วมกับวงจรมัลติพลาย เครื่องรับบางแบบก็ใช้ระบบสังเคราะห์ความถี่

คุณสมบัติของโลคอลออสซิลเลเตอร์นี้ มีความสำคัญต่อคุณภาพของเครื่องรับ โดยเฉพาะความถี่จะต้องเที่ยงตรงและมีเสถียรภาพดีกว่า 10 ppm (ย่อมาจาก part per million หรือส่วนในล้านส่วน) ตลอดย่านอุณหภูมิใช้งาน ถ้าเป็นเครื่องรับธรรมดาอาจใช้แร่บังคับความถี่ธรรมดาก็ได้ แต่ถ้าต้องการความถี่ที่เที่ยงตรงมาก จำเป็นต้องใช้แร่อบในกล่องโลหะ (oven) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้ ข้อเสียของการอบแร่ก็คือเปลืองพลังงานไฟฟ้าไปส่วนหนึ่ง

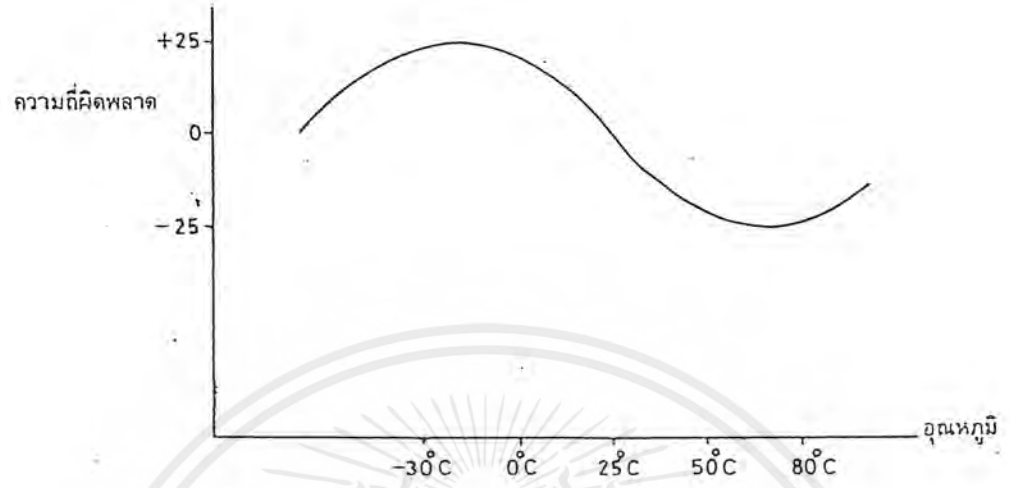
คริสตอลออสซิลเลเตอร์อีกแบบหนึ่งซึ่งใช้วิธีอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อช่วยชดเชยความถี่มิให้ไหลเลื่อน (drift) ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้วิธีชดเชยอุณหภูมิแบบนี้เรียกว่า TCXO (temperature compensated crystal oscillator) การเปลี่ยนแปลงความถี่ต่ออุณหภูมิของแร่ไม่เป็นลิเนียร์ (ไม่เป็นเชิงเส้น) แต่เป็นรูปตัว S (ดูรูปที่ 2.38) ฉะนั้นวิธีชดเชยอุณหภูมิจึงต้องเป็นแบบนอนลิเนียร์ด้วย

คุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของคริสตอลออสซิลเลเตอร์ก็คือ สัญญาณต้องมีความบริสุทธิ์ (ทางความถี่) มิฉะนั้นเมื่อป้อนให้กับมิกเซอร์จะทำให้มีผลตอบสปิวเรียส (spurious response) วิธีแก้ที่นิยมใช้ก็คือใช้การชีลด์และใช้ฟิลเตอร์กรองความถี่ฮาร์มอนิกที่ไม่ต้องการออกไปเสียก่อน นอกจากนี้คุณสมบัตินอยส์ของโลคอลออสซิลเลเตอร์ ก็มีผลต่อซีเลกติวิตี้การเลือกรับสัญญาณและขจัดสัญญาณข้างเคียงของเครื่องรับด้วย เนื่องจากปรากฏการณ์มิกซ์แบบผกผัน (reciprocal mixing) ถ้าสัญญาณอินเจ็กชั่นมีน้อยปนอยู่ พลังงานอินพุตจะถูกมอดูเลตด้วยนอยส์เมื่อป้อนไปยังวงจรขยาย สัญญาณที่นอยส์ก็จะผ่านฟิลเตอร์ IF ได้ ซีเลกติวิตี้จึงเลวลง ด้วยเหตุนี้สัญญาณช่องข้างเคียงอาจมีนอยส์ล้น (sprllover) แทรกเข้าไปในช่องความถี่ใช้งานได้

2.8.8. วงจรขยาย IF เอาต์พุตที่ได้จากมิกเซอร์จะป้อนเข้าสู่คริสตอลฟิลเตอร์ (วงจรกรองความถี่แบบคริสตอล) ทันที ดังในรูปที่ 2.39 ซึ่งใช้ฟิลเตอร์ 2 ขั้ว (pole) 2 ตัวแมตช์กัน (matched pair) คู่หนึ่งต่อกับอินพุตของวงจร IF และอีกคู่หนึ่งต่อที่เอาต์พุตของวงจร IF

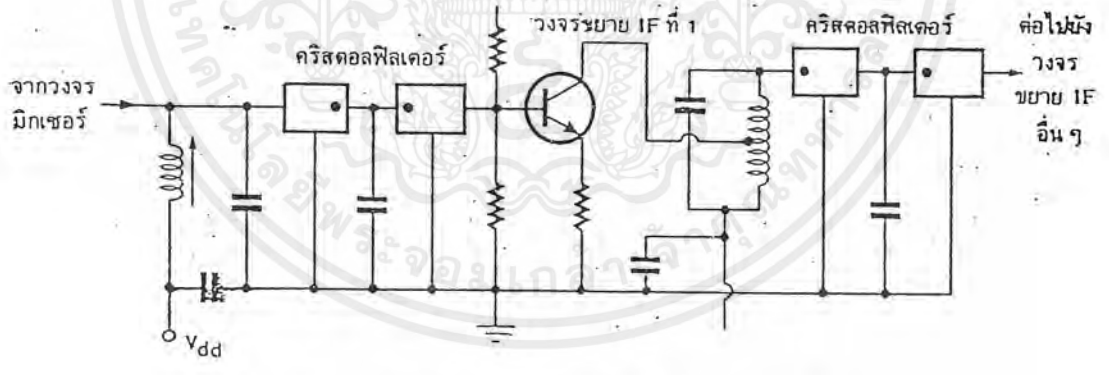
ในกรณีของซิงเกิลคอนเวอร์ชั่นจะมีวงจรคริสตอลฟิลเตอร์และวงจร IF ต่อถัดมาจากมิกเซอร์ แต่ถ้าเป็นในกรณีของดับเบิลคอนเวอร์ชั่นจากมิกเซอร์ที่หนึ่งจะเป็นคริสตอลฟิลเตอร์ผ่านวงจร IF ค่าสูงและเข้าวงจรมิกเซอร์ที่สองและผ่านเซรามิกฟิลเตอร์กับวงจร IF ค่าต่ำ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.38 การเปลี่ยนแปลงความถี่ของผลึกแร่ต่ออุณหภูมิ

ในระบบซูเปอร์เฮตเทอโรดายน์ อัตราขยายส่วนใหญ่มักจะมาจากภาค IF ในเครื่องรับยุคแรกๆ เรามักใช้หลอดหรือทรานซิสเตอร์ ซึ่งมีหม้อแปลงคัปเปิลระหว่างสเตจ (ภาค) แต่ในยุคหลังนี้ภาค IF จะมีค่าต่ำเราจึงนิยมใช้ไอพีเพียงตัวเดียวทำหน้าที่เป็น IF และดีมอดสำเร็จในตัว

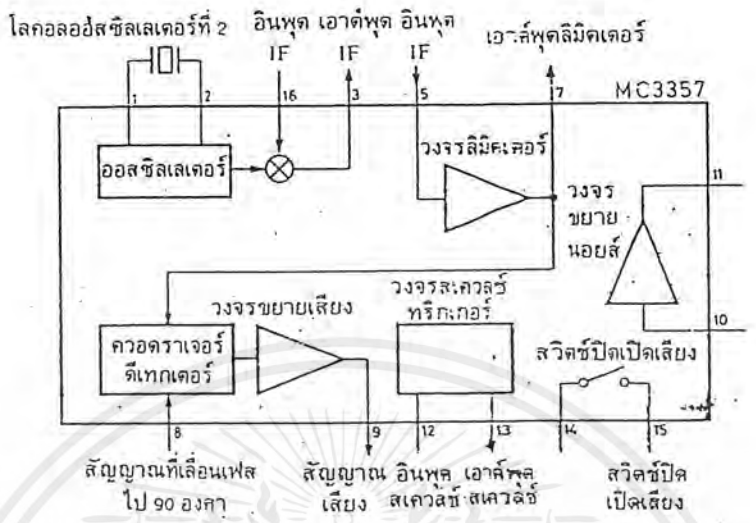


รูปที่ 2.39 วงจรขยาย IF ซึ่งใช้คริสตอลฟิลเตอร์คู่

2.8.9 ตัวอย่างไอซีที่ทำหน้าที่เป็นภาค IF

ไอซีที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ เป็นของโมโตโรล่าเบอร์ MC 3357 เป็นไอซีที่นิยมอย่างแพร่หลาย ซึ่งประกอบไปด้วยภาคคริสตอลออสซิลเลเตอร์ บาลานซ์มิกเซอร์ วงจรขยายลิมิตเตอร์ วงจรดีมอด และ วงจรสเควลช์ ไอซีเบอร์นี้ออกแบบสำหรับระบบดับเบิลคอนเวอร์ชั่น (ดูรูปที่ 2.40) คริสตอลออสซิลเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



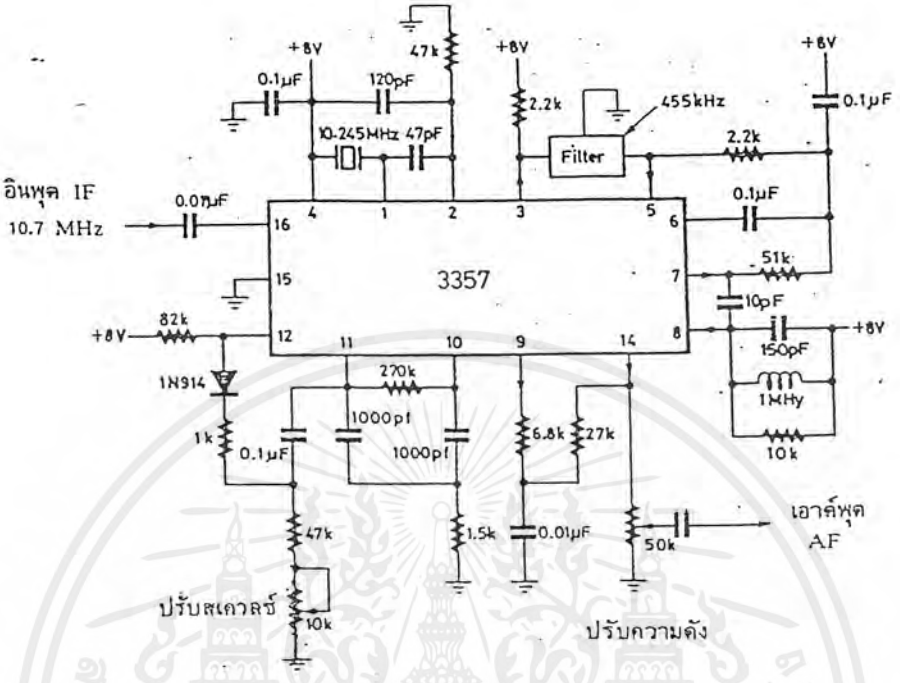
รูปที่ 2.40 แผนผังของ IC เบอร์ MC 3357

เป็นแบบคอลปิตต์ซึ่งต่อภายในกับบาลานซ์มิกเซอร์ โดยปกติอินพุตจะมีค่า 10.7 เมกะเฮิรตซ์ (หรือใกล้เคียงนี้) IF ที่สองเท่ากับ 455 กิโลเฮิรตซ์ (ดูรูปที่ 2.41)

สังเกตว่าแร่ที่ป้อนให้มิกเซอร์คือ 10.245 เมกะเฮิรตซ์ เมื่อมิกซ์กับสัญญาณที่ได้จาก IF ที่หนึ่ง (10.7 เมกะเฮิรตซ์) จะได้ความถี่ 455 กิโลเฮิรตซ์ออกจากขา 3 ไปยังเซรามิกฟิลเตอร์ 455 กิโลเฮิรตซ์ เข้าขา 5 แล้วขยายที่วงจรขยายแล้วต่อเข้าภาคลิมิตเตอร์และดีมอดที่วงจรควอดราเจอร์ดีเทกเตอร์ (quadrature detector) สัญญาณเสียงที่ได้จะขยายที่วงจรขยายเสียง แล้วป้อนผ่านขบวนการสเควลช์ (squelch) ต่อไป

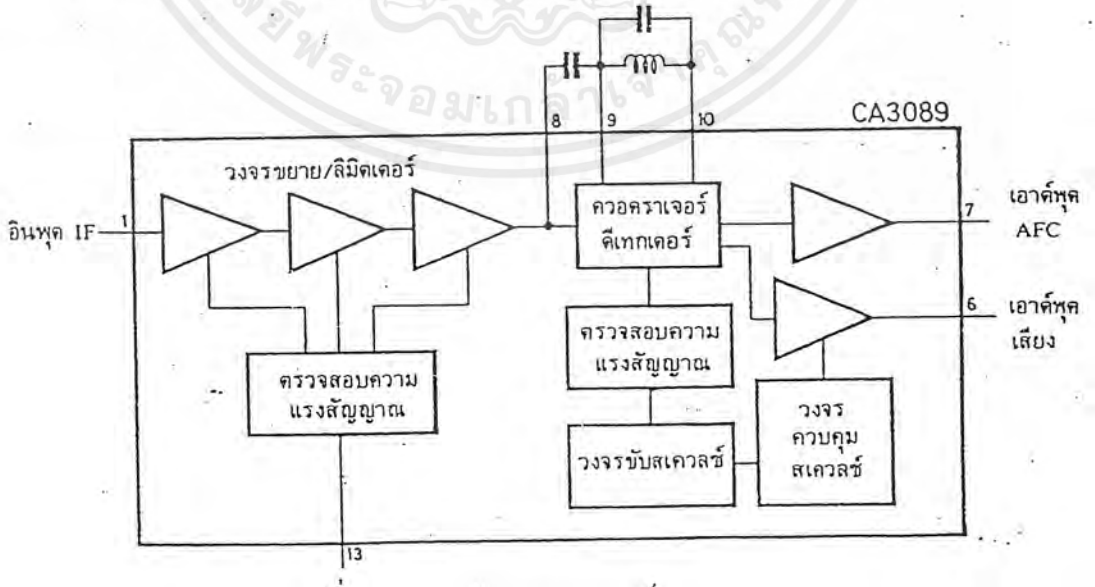
ไอซีที่มีคุณสมบัติดังกล่าวนี้อีกเบอร์หนึ่งเป็นของ RCA เบอร์ CA 3089 (ดูรูปที่ 2.42 และรูปที่ 2.43) ได้ออกแบบสำหรับระบบซิงเกิลคอนเวอร์ชั่นซึ่งมี IF เท่ากับ 10.7 เมกะเฮิรตซ์ ความไว (limiting sensitivity) ของ CA 3089 จะน้อยกว่า MC 3357 อินพุต IF ป้อนเข้าวงจรขยาย / ลิมิตเตอร์ 3 เสด็จแล้วออกไปยังควอดราเจอร์ดีเทกเตอร์ วงจรลิมิตเตอร์แต่ละวงจรผ่านสัญญาณออกไปตรวจระดับสัญญาณที่วงจรดีเทกระดับ (level detector)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



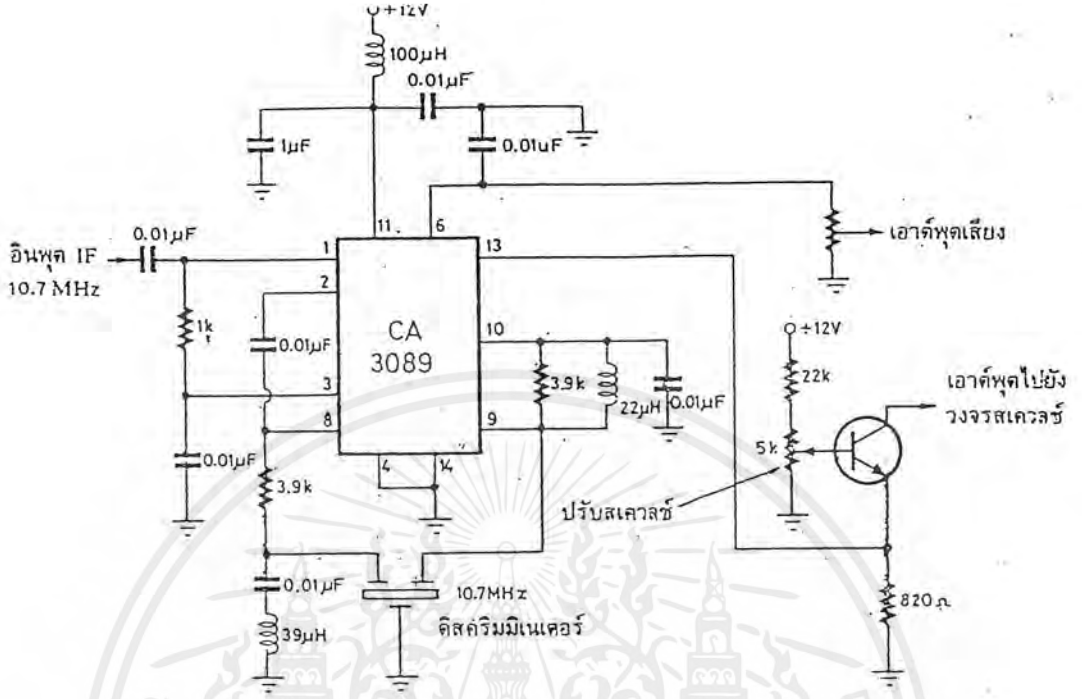
รูปที่ 2.41 ตัวอย่างวงจรใช้งานของ 3357

ซึ่งมีประโยชน์ในขบวนการ AGC หรือป้อนให้ S-meter เพื่อวัดความแรงสัญญาณ สำหรับสเควลช์ของ CA 3089 นี้เป็นชนิดที่ไวต่อระดับสัญญาณซึ่งแตกต่างจากเบอร์ MC 3357 ซึ่งเป็นแบบทำงานด้วยนอยส์ (noise activated)



รูปที่ 2.42 แผนผังของ IC เบอร์ CA 3089

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

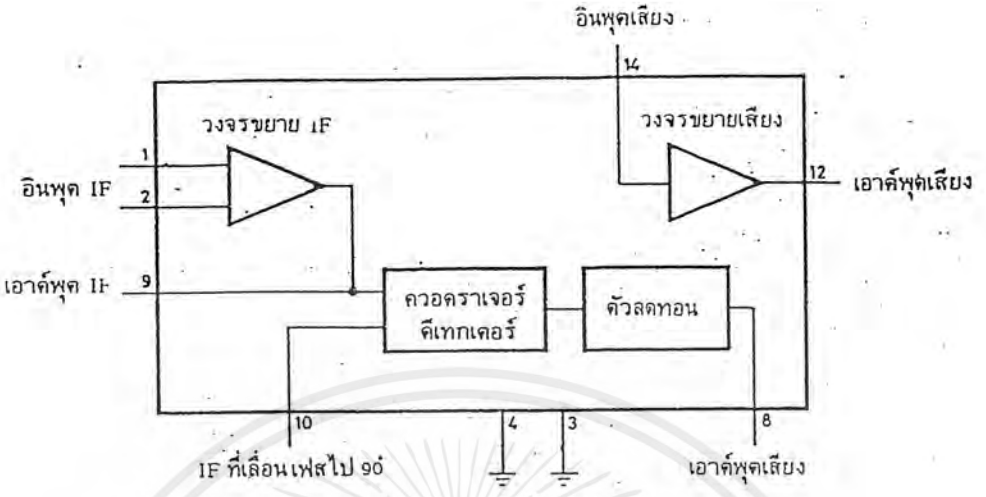


รูปที่ 2.43 ตัวอย่างวงจรใช้งานของ CA 3089

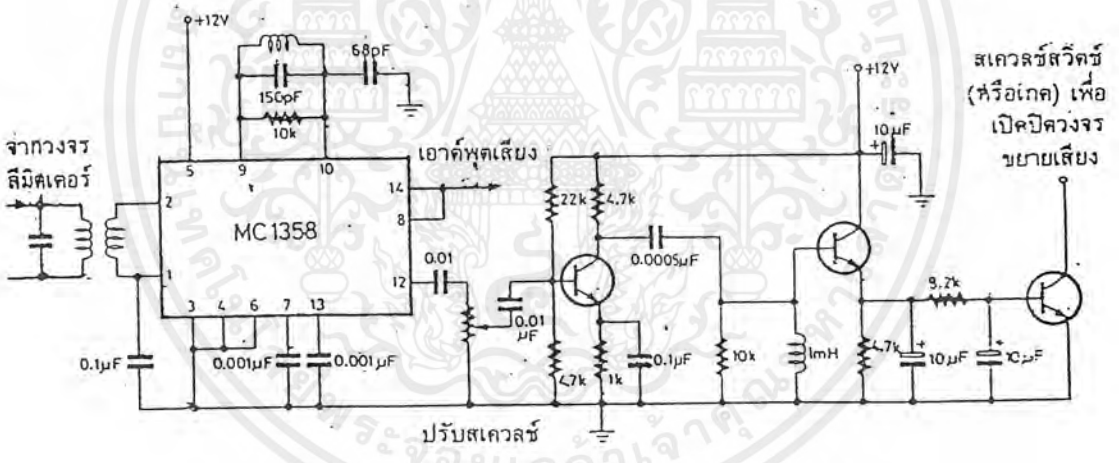
ไอซีภาค IF อีกเบอร์หนึ่งคือ LM 1358 ซึ่งมีผู้ผลิตหลายแห่ง และบางครั้งก็เรียกเป็นหมายเลขอื่น เช่น MC 1358 หรือ CA 3065 ภายในตัวไอซีจะประกอบด้วยวงจรขยาย / ลิมิตเตอร์ วงจรดวอดราเจอร์-ดีเทกเตอร์ วงจรลดทอน และออดิโอพรีแอมป์ (พรีแอมป์ของสัญญาณเสียง) ดูรูปที่ 2.44 และรูปที่ 2.45 ไอซีตัวนี้ไม่มีสเควลช์ภายใน ถ้านำมาใช้กับเครื่องรับส่งวิทยุจะต้องเพิ่มเติมวงจรสเควลช์อีกต่างหาก ในรูปที่ 2.45 สัญญาณ IF อินพุตป้อนที่ขา 1 และ 2 ทำการขยายแล้วป้อนไปดีเทกที่ดวอดราเจอร์ดีเทกเตอร์สัญญาณเสียงที่ได้ออกจากขา 8 เข้าสู่ขา 14 สำหรับสัญญาณที่ออกจากขา12จะนำไปใช้ในขบวนการเควลช์

2.8.10 มิวต์หรือสเควลช์ ในเครื่องรับที่มีความไวสูง สัญญาณอินพุตที่สายอากาศจะถูกขยายให้แรงมากขึ้นเพื่อป้อนให้วงจรดีเทกเตอร์ ในขณะที่ไม่มีสัญญาณ (ไม่มีพาหะ) ไฟ AGC จะทำให้เครื่องรับมีอัตราขยายเต็มที่ เครื่องรับจึงขยายแต่นอยส์ออกมา เสียงซู่ของนอยส์ที่ออกมาจะสร้างความรำคาญต่อผู้ใช้เครื่องวิทยุ การกำจัดเสียงซู่นี้เราใช้วงจรสเควลช์หรือมิวต์ (mute) วงจรตัดเสียงซู่นี้มีหลายชนิด ในรูปที่ 2.46 เราใช้แรงดัน DC มาปิดเปิดวงจรขยายเสียง แรงดัน DC ดังกล่าวจะมีค่าเป็นสัดส่วนผกผันกับความแรงของสัญญาณ (พาหะ) ป้อนแก่วงจรสวิตช์ Q_1 เมื่อสัญญาณแรง แรงดัน DC จะทำให้ Q_1 OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



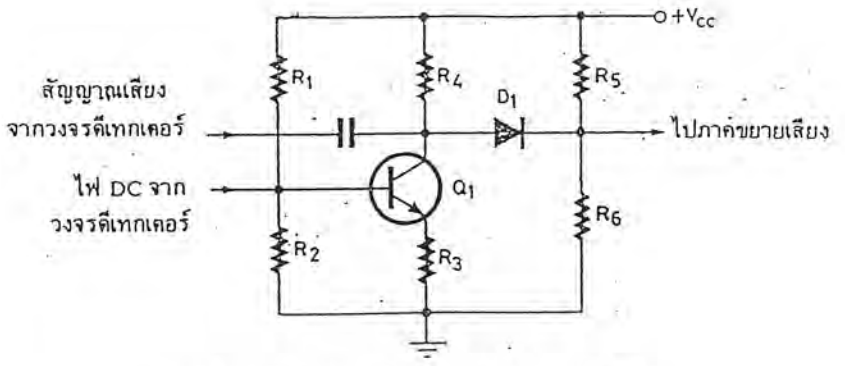
รูปที่ 2.44 แผนผังของ IC เบอร์ MC1358



รูปที่ 2.45 ตัวอย่างวงจรใช้งานของ MC1358

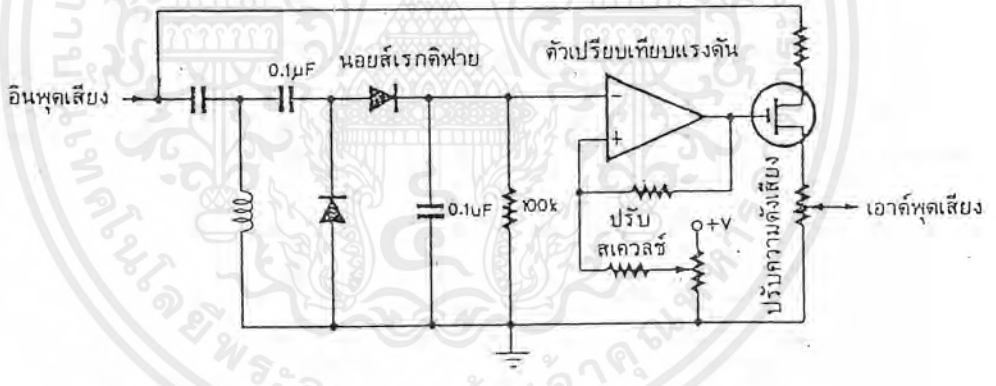
แรงดันคอลเลกซ์เตอร์สูงขึ้น ไดโอด D_1 นำกระแส สัญญาณเสียงจะผ่านไปวงจรขยายเสียงได้ ถ้าหากพาหะเป็นศูนย์ Q_1 จะ ON ทำให้ไดโอด D_1 หยุดนำกระแส เปรียบเสมือนเปิดวงจรนอยส์จึงถูกสกัดกั้นมิให้ไปขยายออกลำโพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.46 วงจรสเควลช์แบบใช้พาหะบังคับ

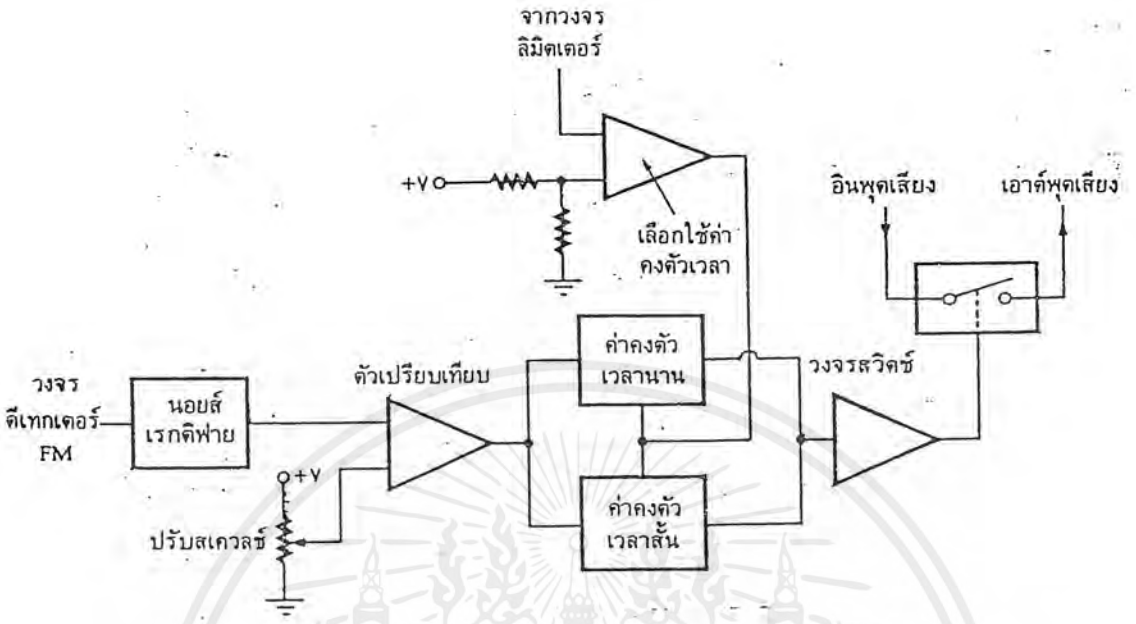
ในรูปที่ 2.47 แสดงหลักการของระบบสเควล์อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งนิยมใช้แพร่หลาย นอยส์ถูกกรองจากสัญญาณเสียงออกมาและเรกติฟาย (หรือดีเทก) เป็นไฟ DC ป้อนไปเปรียบเทียบกับระดับอ้างอิงที่ปรับได้ที่วงจรเปรียบเทียบ (comparator) แล้วนำไปบังคับวงจรสวิตช์ให้ปิดเปิดเส้นทางของสัญญาณเสียงที่จะออกไปขยาย



รูปที่ 2.47 วงจรสเควลช์ของเครื่องรับ FM แบบใช้นอยส์บังคับ

วงจรสเควลช์บางชนิดใช้ค่าคงตัวเวลา (time constant) 2 ชุด คือ ชุดหนึ่งสั้น (เร็ว) กับอีกชุดหนึ่งยาว (ช้า) โดยเลือกใช้ชุดค่าคงตัวเวลาสั้นเมื่อสัญญาณแรง และใช้ชุดค่าคงตัวเวลายาวเมื่อสัญญาณอ่อนเหตุที่ต้องทำเช่นนี้ก็เพราะว่าในกรณีที่สัญญาณอ่อน สเควลช์จะปิด ๆ เปิด ๆ ทำให้สัญญาณขาดตอนเป็นช่วง ๆ รับฟังไม่รู้เรื่อง สังเกตว่าถ้าใช้ค่าคงตัวเวลาสั้นตอนท้ายสัญญาณที่รับฟังจะมีเสียงฟอดสั้น ๆ แต่ถ้าใช้ค่าคงตัวเวลายาวตอนท้ายสัญญาณจะเป็นเสียงซู่นานขึ้น รูปที่ 2.48 แสดงวงจรสเควลช์แบบมีวงจรค่าคงตัวเวลา 2 ชุด การเลือกใช้ค่าคงตัวเวลาชุดใดชุดหนึ่งจะใช้การควบคุมโดยระดับสัญญาณจากลิมิตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.48 ระบบสเควลช์แบบเลือกใช้ค่าคงตัวเวลาได้ 2 ค่า

2.9 ไมโครคอนโทรลเลอร์

คุณลักษณะพื้นฐานของ 8051

หน่วยการทำงานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ต่างๆ ที่จัดอยู่ภายในตระกูล MCS-51 นี้ประกอบด้วย

- หน่วยประมวลผลกลางขนาด 8 บิต
- หน่วยประมวลผลสำหรับข้อมูลแบบบิต (Boolean Processor)
- ความสามารถในการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำโปรแกรม 64 กิโลไบต์
- หน่วยความจำโปรแกรมภายในขนาด 4 กิโลไบต์ แบบ EPROM (เบอร์ 8751) หรือ แบบ ROM (เบอร์ 8051)
- หน่วยความจำแบบ RAM ภายในจำนวน 128 ไบต์
- พอร์ตอินพุต/เอาต์พุตแบบขนานจำนวน 32 เส้น ซึ่งสามารถแยกทำงานได้อย่างอิสระ
- วงจรนับ/จับเวลาขนาด 16 บิต จำนวนสองวงจร
- วงจรสื่อสารแบบอนุกรมแบบ Full Dulplex
- วงจรควบคุมการอินเตอร์รัปต์จากแหล่งกำเนิดสัญญาณ 6 ประเภท พร้อมการกำหนดลำดับความสำคัญได้สองระดับ
- วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน

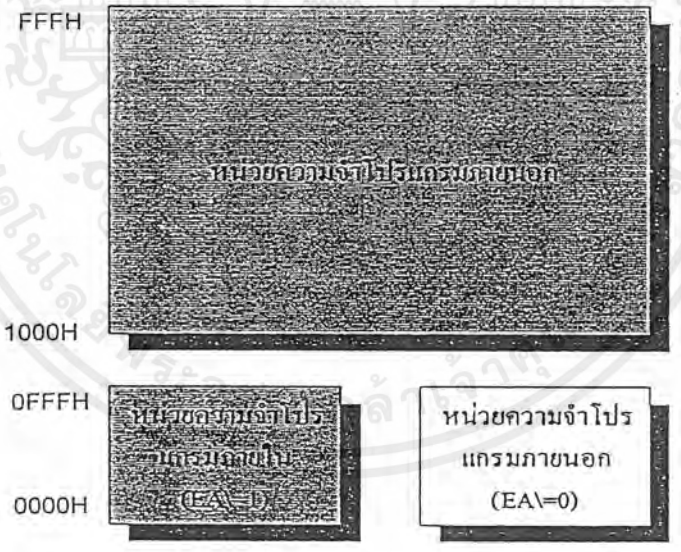
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำโปรแกรมของ 8051

ในระบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 จำเป็นต้องมีหน่วยความจำสำหรับบรรจุคำสั่ง หรือโปรแกรมที่ผู้ใช้พัฒนาขึ้นจัดเก็บไว้ภายในหน่วยความจำ ที่เรียกว่า หน่วยความจำโปรแกรม(Program Memory) โดยอาจจะประกอบอยู่ภายในตัวไอซีของ 8051 เอง หรือเป็นไอซีหน่วยความจำ EPROM หรือ ROM แยกออกต่างหากก็ได้ ในกรณีหลังนี้จำเป็นต้องมีการใช้พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต ทำหน้าที่เป็นบัสแอดเดรสและบัสข้อมูล เพื่อให้สามารถทำการเชื่อมต่อเข้ากับไอซีหน่วยความจำมาตรฐานทั่วไปได้

หน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรมของ 8051 เป็นบริเวณหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลและคำสั่งใช้งานต่างๆ ซึ่งแม้ว่าจะไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบ ข้อมูลเหล่านี้ก็ยังคงอยู่ไม่สูญหาย โครงสร้างของหน่วยความจำโปรแกรม มีลักษณะเช่นเดียวกับหน่วยจำที่บรรจุอยู่ในไอซีหน่วยความจำประเภทต่างๆ เช่น หน่วยความจำแบบ ROM (Read Only Memory) หรือ EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) เป็นต้น



รูปที่ 2.49 การจัดพื้นที่หน่วยความจำโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051

8051 สามารถอ่านข้อมูลหน่วยความจำโปรแกรมนี้ได้สูงสุดไม่เกิน 64 กิโลไบต์ และแยกประเภทของหน่วยความจำโปรแกรมเป็น 2 ลักษณะ ตามตำแหน่งของหน่วยความจำนั้น คือ หน่วยความจำโปรแกรมภายใน (Internal Program Memory) ซึ่งเป็นหน่วยความจำ ROM หรือ EPROM ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ภายในตัวไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เอง และหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (External Program Memory) ซึ่งในการใช้ไอซีหน่วยความจำมาทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำโปรแกรมของระบบ

หน่วยความจำโปรแกรมภายใน

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ต่างๆ ที่จัดอยู่ภายในตระกูล 8051 นี้มีขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมภายในแตกต่างกันออกไป เพื่อความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานในลักษณะต่างๆ ดังนี้

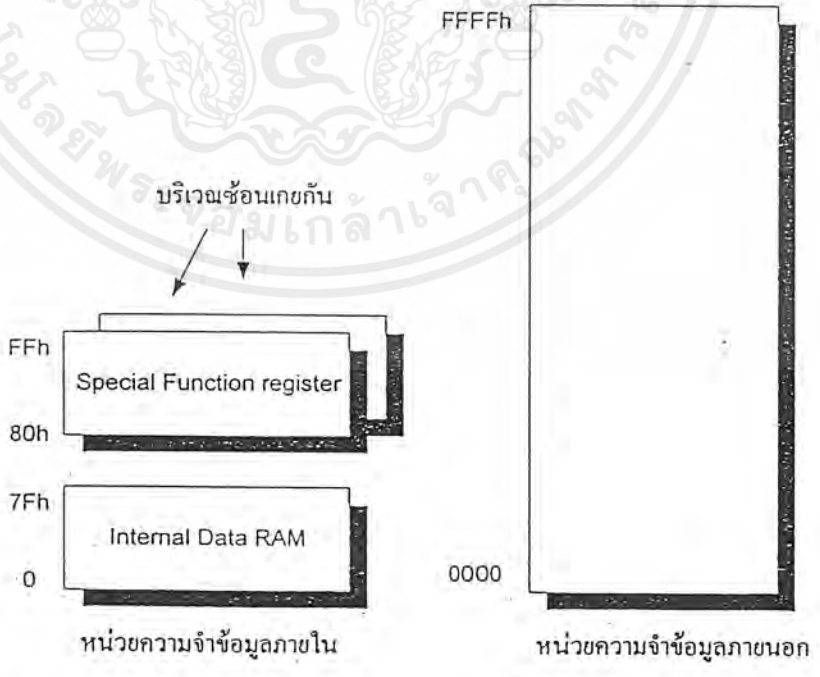
8051 และ 8052 มีหน่วยความจำแบบ ROM ขนาด 4 และ 8 กิโลไบต์ ตามลำดับ ประกอบอยู่ภายในไอซี และมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ในวงจรทางอุตสาหกรรมที่มีจำนวนการผลิตมาก เนื่องจากจะมีผลทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายการผลิตต่อหน่วยลดลงได้มาก

หน่วยความจำข้อมูลภายในของ 8051 มีจำนวนทั้งหมด 256 ไบต์ โดยจำแนกออกสองลักษณะ คือ พื้นที่เฉพาะสำหรับตัวประมวลผลกลาง (หรือซีพียู) ใช้งานเท่านั้น ซึ่งเรามักจะเรียกกันในอีกชื่อหนึ่งว่า รีจิสเตอร์ และพื้นที่ใช้งานทั่วไปสำหรับโปรแกรมใช้งานที่มีผู้ใช้สร้างขึ้นมา

จากรูปที่ 2.50 แสดงให้เห็นถึงการจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายในของ 8051 ซึ่งจำแนกออกเป็นสองส่วน

หน่วยความจำขนาด 128 ไบต์แรก

บริเวณนี้จะมีตำแหน่งแอดเดรสอยู่ในช่วง 00H-7FH ซึ่งยังได้มีการจำแนกย่อยออกไปอีกเป็นสามส่วนตามประเภทของการใช้งาน ดังนี้



รูปที่ 2.50 แสดงการจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายในของ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณแอดเดรส 00H-1FH จำนวน 32 ไบต์ จำแนกออกเป็นกลุ่ม (หรือ แบงก์ (Bank)) ข้อมูลจำนวน 8 ไบต์ รวมทั้งหมดสี่กลุ่ม พื้นที่ข้อมูลในแต่ละกลุ่มจะถูกใช้งานในฐานะของรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป ซึ่งมีชื่อเรียกว่า รีจิสเตอร์ R0-R7 ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.4 แสดงแอดเดรสของ R0-R7 ในแต่ละแบงก์

แอดเดรส	รีจิสเตอร์แบงก์	รีจิสเตอร์ใช้งาน
00H-07H	0	R0-R7
08H-0FH	1	R0-R7
10H-17H	2	R0-R7
18H-1FH	3	R0-R7

จะเห็นได้ว่าชื่อของรีจิสเตอร์ไม่ว่าจะอยู่ในรีจิสเตอร์แบงก์ใด ก็จะมีชื่อ R0-R7 เหมือนกันทั้งสิ้น ดังนั้นในการใช้งานผู้ใช้จะต้องให้ความระมัดระวังว่าต้องการรีจิสเตอร์นั้นๆ จากแบงก์ใด

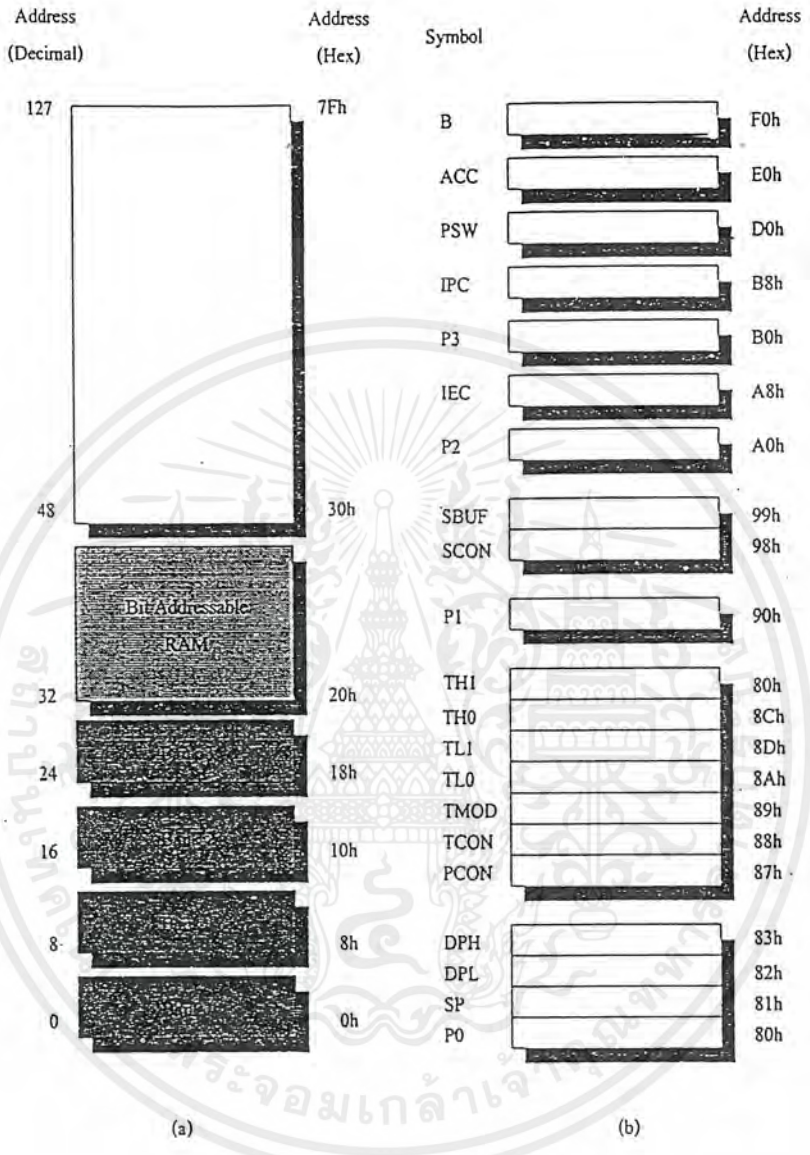
การสวิตซ์เลือกแต่ละกลุ่มของรีจิสเตอร์นี้ก็ทำได้ง่าย เพียงการกำหนดค่าของบิตที่อยู่ภายในรีจิสเตอร์ PSW เท่านั้นตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.5 การกำหนดค่าของบิตที่อยู่ในภาคในรีจิตเตอร์ PSW

รีจิสเตอร์	บิต RS0	บิต RS1	ตำแหน่งหน่วยความจำ
แบงก์ 0	0	0	0000H
แบงก์ 1	0	1	0008H
แบงก์ 2	1	0	0010H
แบงก์ 3	1	1	0018H

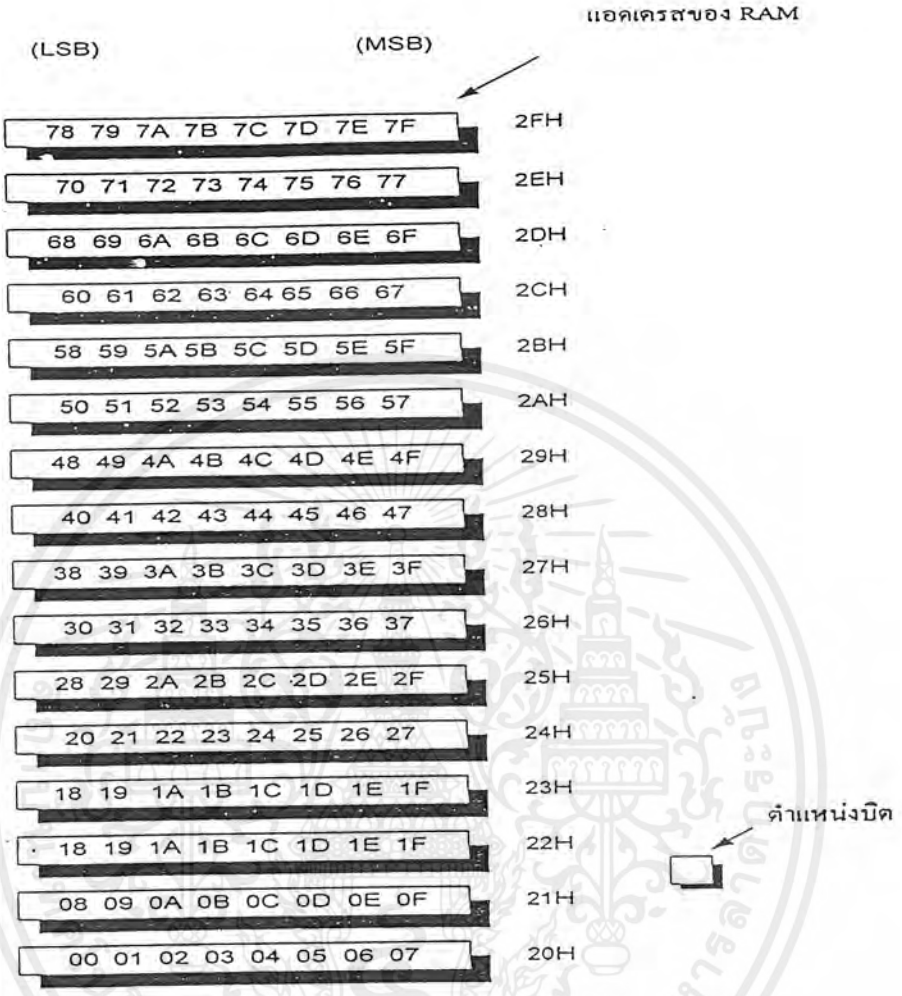
อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปก็มักจะมีการใช้งานรีจิสเตอร์ R0-R7 เฉพาะในแบงก์ 0 เท่านั้น ดังนั้นพื้นที่ของแบงก์อื่นๆ ที่เหลือก็สามารถนำมาใช้ในลักษณะของหน่วยความข้อมูลภายในปกติ ด้วยการอ้างถึงหมายเลขของแอดเดรสนั้นๆ โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.51 การจัดพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลภายใน (a) ช่วงตั้งแต่แอดเดรส 00-7FH และ(b) ช่วงแอดเดรส 80-FFH ซึ่งกำหนดให้เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ใช้งานพิเศษ (Special-function registers)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.52 พื้นที่ตัวแปรแบบบิตให้ใช้งานได้ 128 บิต

บริเวณแอดเดรส 20H-2FH จำนวน 16 ไบต์ บริเวณพื้นที่เป็นส่วนสำหรับผู้ใช้ซึ่งจะมีความพิเศษต่างไปจากหน่วยความจำส่วนอื่นๆ เนื่องจากผู้ใช้อาจสามารถอ้างถึงหน่วยความจำบริเวณนี้ได้ทั้งในลักษณะของไบต์ข้อมูล เช่นปกติหรืออาจจะเป็น บิตข้อมูล ได้โดยตรง ดังนั้นหากว่ามองในลักษณะบิตข้อมูลแล้ว ก็จะมีพื้นที่ตัวแปรแบบบิตให้ใช้งานได้มากถึง 128 บิต โดยตำแหน่งแรกของบิตจะเป็นบิตซึ่งเริ่มต้นนับจากบิตนัยสำคัญต่ำสุด (LSB) ของแอดเดรส 20H เรื่อยไปจนกระทั่งถึงบิตที่ 127 ซึ่งเป็นบิตนัยสำคัญสูงสุด (MSB) ของแอดเดรส 2FH

ความสามารถในการใช้งานพื้นที่ส่วนนี้แบบบิตข้อมูลแบบบิตข้อมูลโดยตรงนี้นับว่าน่าสนใจมาก และถือเป็นการใช้งาน 8051 อย่างเต็มประสิทธิภาพทีเดียว เนื่องจากว่า 8051 ได้รับการออกแบบสำหรับการควบคุมเป็นพื้นฐานอยู่แล้ว ซึ่งส่วนมากงานลักษณะเช่นนี้ หากเป็นการนำเข้าข้อมูล ก็มักจะเป็นเพียงการอ่านค่าสถานะลอจิกของเส้นสัญญาณ หรือ กรณีการส่งออกข้อมูลก็จะเป็นการกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะลอจิกให้กับวงจรภายนอกผ่านทางบินใดบิตหนึ่งอยู่แล้วดังนั้นหากว่าการกำหนดบิตหรืออ่านค่าของบิตมากโดยตรง แทนที่จะต้องทำลอจิกขั้นต้นกับข้อมูลทั้งไบต์เพื่อต้องการทราบผลเพียงหนึ่งบิตเช่นที่กระทำกันในโปรเซสเซอร์โดยทั่วไป ก็จะเพิ่มความสะดวกรวดเร็วในการเขียนโปรแกรมควบคุมมาก

บริเวณแอดเดรส 30H-7FH เป็นบริเวณที่สามารถนำไปใช้งานได้อย่างอิสระ โดยสามารถอ้างถึงได้เฉพาะในลักษณะของไบต์ข้อมูลตามปกติเท่านั้น

หน่วยความจำขนาด 128 ไบต์ถัดไป

พื้นที่ตั้งแต่บริเวณแอดเดรส 80H-FFH เป็นบริเวณของหน่วยความจำที่มีการใช้งานเฉพาะจาก 8051 เท่านั้น โดยจะนำมาใช้เป็นตำแหน่งของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ (Special Function Register หรือ SFR) จำนวน 20 ตำแหน่ง ดังแสดงเป็นแสดงเป็นแผนภาพในรูปที่ 2.51b

สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 จะมีหน่วยความข้อมูลภายในสำหรับการใช้งานเพิ่มมากขึ้นกว่าเบอร์อื่นๆ เช่น 8031 8751อีก 128 ไบต์ โดยจะอยู่บริเวณช่วงแอดเดรส 80H ถึง FFH เช่นกัน ซึ่งแม้ว่าจะเป็นพื้นที่ที่มีหมายเลขแอดเดรสเดียวกับส่วนของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ แต่ในความเป็นจริงแล้วจะเป็นพื้นที่หน่วยความจำอีกบริเวณหนึ่ง ซึ่งมีการซ้อนเกย (Overlap) กันให้อยู่ในบริเวณแอดเดรสส่วนนี้ ซึ่งหากว่าผู้ใช้งานต้องการจะเก็บข้อมูลในพื้นที่บริเวณนี้ ก็จะต้องใช้การอ้างถึงหน่วยความจำแบบโดยอ้อม (Indirect Addressing) เท่านั้น

รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ

รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ (SFR) เป็นรีจิสเตอร์สำหรับการควบคุมหน้าที่ และการทำงานของอุปกรณ์หรือพอร์ตของ 8051 ทั้งหมด โดยมีตำแหน่งอยู่ในบริเวณแอดเดรส 80H-FFH การใช้งานรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษเหล่านี้สามารถทำได้ทั้งการระบุถึงชื่อของรีจิสเตอร์ หรือ ตำแหน่งแอดเดรสที่เป็นของรีจิสเตอร์นั้นก็ได้

ตารางต่อไปนี้แสดงเห็นลักษณะการจัดพื้นที่หน่วยความจำ สำหรับรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษเหล่านี้ โดยมีข้อสังเกตว่า รีจิสเตอร์ที่อยู่ในตำแหน่งแอดเดรสที่เป็นจำนวนทวีคูณของค่า 8 จะสามารถอ้างถึงระดับบิตได้ด้วย (นั่นคือแอดเดรส80H.88H.90H.A0H.B0H.B8H.D0H.E0Hและ F0H)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอดเดรส	ชื่อเต็มของรีจิสเตอร์	สามารถบิตแอดเดรสได้หรือไม่ได้
ACC	Accmulator	ได้
B	B register	ได้
PSW	Program Status Word	ได้
SP	Stack Pointer	ได้
DPTR	Data pointer (DPH&DPL)	ได้
P0	Port 0	ได้
P1	Port 1	ได้
P2	Port 2	ได้
P3	Port 3	ได้
IP	Interrupt Priority	ได้
IE	Interrupt Enable	ได้
TMOD	Timer / counter mode	ไม่ได้
TCON	Timer/ counter control	ได้
TH0	Timer / counter 0 (high)	ไม่ได้
TL0	Timer / counter 0 (low)	ไม่ได้
TH1	Timer / counter 1 (high)	ไม่ได้
TL1	Timer / counter 1 (low)	ไม่ได้
SCON	Serial control	ไม่ได้
SBUF	Serial data buffer	ไม่ได้
PCON	Power control	ไม่ได้

รูปที่ 2.53 รีจิสเตอร์ใช้งานพิเศษ (Special Function Register หรือ SFR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอกคิวมูเลเตอร์ (Accumulator) หรือ ACC

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลที่จะส่งได้กับหน่วยทำงานภายในซีพียู และ เก็บผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานนั้น การทำงานของรีจิสเตอร์นี้มีลักษณะเช่นเดียวกับตัวแอกคิวมูเลเตอร์ของโปรเซสเซอร์ทั่วไป การใช้งานภายในโปรแกรมจะเรียกว่า รีจิสเตอร์ A

รีจิสเตอร์ B

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้สำหรับการทำคำสั่งการคูณและหารตัวเลข ในกรณีที่ไม่ใช้ในการคำนวณด้านคณิตศาสตร์ ก็สามารถนำไปใช้งานเช่นเดียวกับรีจิสเตอร์ทั่วไปได้

โปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter)

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการชี้ตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรม ซึ่งจะต้องไปทำงานในลำดับต่อไป การใช้งานภายในโปรแกรม จะเรียกว่า รีจิสเตอร์ PC

สแต็กพอยน์เตอร์ (Stack Pointer)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตทำหน้าที่เก็บตำแหน่งของตัวชี้หรือพอยน์เตอร์ (Pointer) ของบริเวณสแต็ก (Stack) สำหรับเก็บข้อมูลแอกคิวมูเลเตอร์ รีจิสเตอร์ต่างๆ รวมทั้งข้อมูลจากโปรแกรม โดยปกติแล้วเมื่อทำการเริ่มต้นระบบใหม่ภายหลังจากการเริ่มจ่ายไฟฟ้า หรือมีการรีเซต (Reset) เกิดขึ้น ค่าภายในสแต็กพอยน์เตอร์จะมีค่า 07H ซึ่งเป็นตำแหน่งแอดเดรสภายในบริเวณเนื้อที่ 128 ไบต์แรกของหน่วยความจำข้อมูลภายใน การใช้งานภายในโปรแกรมจะเรียกว่า รีจิสเตอร์ SP

ตัวชี้ข้อมูล หรือ ดาต้าพอยน์เตอร์ (Data Pointer)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต ซึ่งเรียกว่า รีจิสเตอร์ DPTR และสามารถใช้งานแยกออกเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตสองตัว คือรีจิสเตอร์ DPH และ DPL เพื่อเก็บค่าของแอดเดรสของหน่วยความจำที่จะต้องใช้งานภายในโปรแกรม หรืออาจจะเป็นแอดเดรสของอุปกรณ์ภายนอกซึ่งกำหนดให้ติดต่อกันโดยใช้ตำแหน่งของหน่วยความนั้นภายในโปรแกรม

โปรแกรมสเตตัสเวิร์ด (PSW)

รีจิสเตอร์นี้ทำหน้าที่บอกถึงแฟล็กสภาวะการทำงานต่างๆ รวมทั้งบิตสำหรับการกำหนดเลือกแบงก์ (Bank) ของรีจิสเตอร์ที่ใช้งานด้วย

รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับพอร์ต (Port Register)

รีจิสเตอร์เหล่านี้จะมีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตโดยตรง ซึ่งแต่ละตัวจะเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต สามารถใช้งานได้ทั้งในลักษณะของการอินพุท หรือการเอาท์พุทข้อมูลได้ การดำเนินการใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับพอร์ตทั้งสี่นี้จะมีผลทำให้ข้อมูลที่ตำแหน่งของพอร์ตเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน นอกจากนี้พอร์ต P0 และ P2 ยังสามารถนำมาใช้ในการติดต่อกับหน่วยความโปรแกรมหรือหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ โดยพอร์ต P2 จะเป็นค่าของแอดเดรส 8 บิตบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของหน่วยความจำ ส่วนพอร์ต P0 ไปใช้เป็นบัสสำหรับการรับหรือส่ง 8 บิตล่างของหน่วยความ ช่วงเวลาต่อมาจึงจะนำพอร์ต P0 ไปใช้เป็นบัสสำหรับการรับหรือส่งข้อมูลกับหน่วยอุปกรณ์ภายนอก สำหรับพอร์ต P3 นั้นนอกเหนือจากจะใช้ในฐานะของพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต เช่นปกติแล้ว ยังนำมาใช้ในฐานะบัสควบคุมเกี่ยวกับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้อีกด้วย

ชื่อบิต: PSW ตำแหน่ง : D0h ค่าบิตเริ่มต้น : 00000111

CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	-	P

ชื่อบิต	ตำแหน่ง	ความหมาย
CY	PSW.7	Carry Flag
AC	PSW.6	Auxiliary Carry Flag
F0	PSW.5	Flag0
RS1	PSW.4	บิตสำหรับเลือกรีจิสเตอรีแบงก์ บิต 1
RS0	PSW.3	บิตสำหรับเลือกรีจิสเตอร์แบงก์ บิต 0
OV	PSW.2	Overflow Flag
-	PSW.1	
P	PSW.0	Parity Flag

รูปที่ 2.54 บิตต่างๆ ภายในรีจิสเตอร์ PSW(Program Status Word)

8751มีหน่วยความจำแบบ EPROM ขนาด 4 กิโลไบต์ อยู่ภายไอซี ข้อมูลที่จัดเก็บอยู่ภายในนี้สามารถใช้แสงอัลตราไวโอเลตลบ และนำกลับไปบรรจุโปรแกรมใหม่ได้อีกครั้งหนึ่ง คล้ายคลึงกับไอซีหน่วยความจำ EPROM ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นี้เหมาะสมกับงานด้านอุตสาหกรรมที่มีจำนวนการผลิตคราวละไม่มากนัก หรืออาจเป็นงานประเภทต้นแบบภายในห้องปฏิบัติการ เป็นต้น

8031 และ 8032 ไม่มีหน่วยความโปรแกรมอยู่ภายในตัวไอซีเลย ดังนั้นการนำไปใช้งานจึงจำเป็นต้องอาศัยหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกเสมอ ซึ่งการใช้งานลักษระนี้จะมีผลทำให้ต้องเสียความสามารถบางประการ เกี่ยวกับพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ไปเนื่องจากต้องนำไปใช้เป็นสัญญาณควบคุม เกี่ยวกับการจัดการติดต่อหน่วยความจำภายนอกแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกเป็นการใช้หน่วยความจำ EPROM (หรือ ROM) เชื่อมต่อเข้ากับระบบของ 8051 โดยอาจจะมีสาเหตุได้หลายประการ เช่น เป็นการทดลองทำระบบต้นแบบจำนวนน้อย หรืออาจต้องการลดต้นทุนการผลิต เพราะราคาของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบที่ไม่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในราคาจะต่ำกว่าแบบที่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในมาก เป็นต้น ในบางครั้งอาจจะมีสาเหตุจากความจำเป็นอื่นๆ ที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ เช่น การทำหน่วยความจำภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์มีขนาดความจุที่ไม่เพียงพอกับการเก็บโปรแกรม หรืออาจจะเป็นว่าการที่ใช้ไอซีหน่วยความจำจะทำให้สามารถจัดหาเครื่องมือ ช่วยการพัฒนาระบบที่ใช้งานกันโดยแพร่หลายและราคาถูกได้ ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการพัฒนาระบบลงได้มาก เป็นต้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ต่างๆ ของตระกูล 8051 นี้สามารถขยายให้ใช้งานหน่วยความจำภายนอกได้ทั้งสิ้น โดยกรณีที่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในอยู่แล้ว การอ้างตำหน่งแอดเดรสที่มีทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมภายในและภายนอกนั้น จะต้องทำการพิจารณาระดับลอจิกของสัญญาณ EA ในขณะนั้นด้วย

2.10 มอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์กระแสตรงสามารถพบได้แทบทุกหนทุกแห่ง ตัวอย่างของเครื่องมือเครื่องใช้ที่มีมอเตอร์กระแสตรงอยู่ด้วย เช่น เทปคาสเซตต์ ไดร์เป่าผม กล้อง ของเล่น เครื่องโกนหนวด เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ล้วนแล้วแต่มอเตอร์กระแสตรงทั้งสิ้น

หลักการทำงาน

โดยหลักการทั่วไปของมอเตอร์กระแสตรงจะมีพื้นฐานในการทำงานเดี่ยวกัน โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าให้ขดลวดในสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กสัดส่วนของแรงนี้ขึ้นอยู่กับกระแสและกำลังของสนามแม่เหล็กแรงจะเกิดขึ้นเป็นมุมฉากกับกระแสและสนามแม่เหล็ก ขณะที่ทิศทางของแรงจะกลับตรงกันข้าม ถ้ากระแสของสนามแม่เหล็กไหลย้อนกลับ การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กและกระแสจะเป็นผลให้ทิศทางของแรงเปลี่ยนแปลงเช่นกัน ด้วยคุณสมบัติเช่นนี้ ทำให้มอเตอร์กระแสตรงกลับทิศทางการหมุนได้

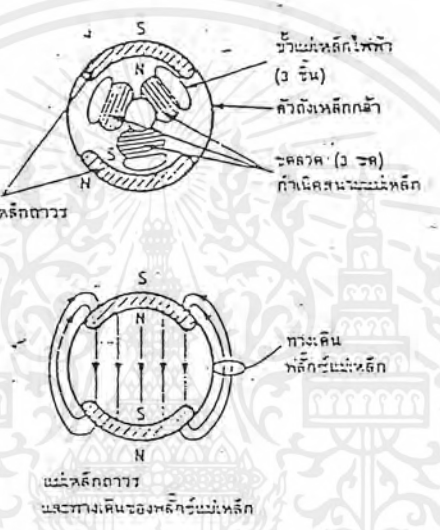
พิจารณาถึงส่วนของแท่งแม่เหล็กถาวร สนามแม่เหล้กของมอเตอร์ที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งจะขึ้นอยู่กับจำนวนของแท่งแม่เหล็กถาวร ซึ่งจะยึดติดกับแผ่นเหล็กหรือชิ้นส่วนที่เป็นเหล็กกล้า และบางแบบก็จะทำตัวถังเป็นแม่เหล็ก โดยปกติส่วนนี้จะเป็นส่วนที่อยู่กับที่ของมอเตอร์ ขดลวดเหนี่ยวนำจะถูกพันอยู่บนส่วนที่เป็นแกนหมุนของมอเตอร์

โครงสร้างทั่วๆ ไปของมอเตอร์กระแสตรงแยกได้เป็น 3 ส่วนดังรูปที่ 2.55 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของมอเตอร์รุ่นเล็กๆ ทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก ซึ่งเกิดจากแท่งแม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กเฟอร์ไรต์ 2 ชิ้น ขึ้นรูปเป็นแบบโค้งยึดกับตัวถังได้พอดี เพื่อให้เส้นแรงแม่เหล็กวิ่งเข้าสู่ใจกลางมอเตอร์ความเข้มของสนามแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของแม่เหล็กด้วย ฟลักซ์แม่เหล็กจะวิ่งไปบนตัวถึงกระแสไฟฟ้าในขดลวดที่พันกับทุ่นโรเตอร์ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าต้านกับสนามแม่เหล็กถาวร เกิดเป็นแรงบิดหมุนทุ่นโรเตอร์ไปตามทิศทางเดียวกับทิศทางของสนามแม่เหล็กที่มีแรงมากกว่า

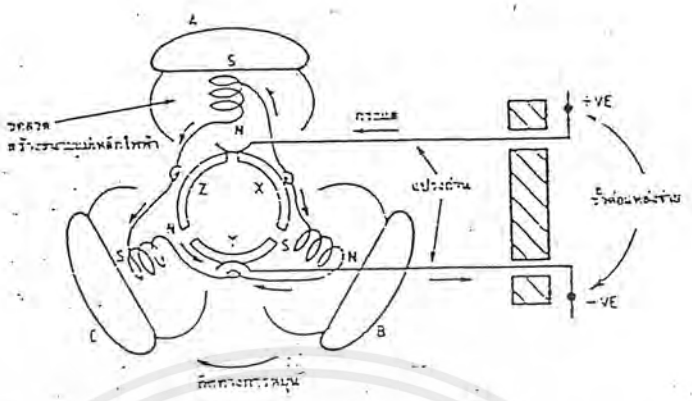
กระแสจะผ่านไปยังทุ่นโรเตอร์โดยผ่านแปรงถ่าน ซึ่งสัมผัสกับแหวนตัวนำบนทุ่นโรเตอร์ แหวน(commutator) ถูกแบ่งเป็น 3 เซกเมนต์ทำหน้าที่นำกระแสเข้าขดลวด



รูปที่ 2.55 โครงสร้างเบื้องต้นของมอเตอร์กระแสตรง

รูปที่ 2.56 แสดงให้เห็นการทำงานของมอเตอร์ กระแสในขดลวด B จะมีทิศทางตรงข้ามกับกระแสในขดลวด A และ C โดยที่ขดลวดทั้งสามต่อกันในลักษณะอนุกรม ทิศทางการไหลของกระแสในขดลวด A และ C มีสภาพเป็นขั้วได้จึงถูกดูดไปทางขั้วเหนือ แรงดูดแบบนี้ทำให้ทุ่นโรเตอร์เกิดแรงบิดมีทิศตามเข็มนาฬิกา เมื่อโรเตอร์หมุนไปได้เล็กน้อยแปรงถ่านจะสัมผัสกับเซกเมนต์ Z ของคอมมิวเตอร์ เป็นผลให้กระแสในขดลวด A ทิศทางตรงข้ามกับตอนแรก ส่วนทิศทางของกระแสในขดที่เหลืออีก 2 ขด ไหลทิศทางเดิม ขั้ว A ก็จะกลายเป็นขั้วเหนือ และถูกผบักออกจากขั้วเหนือของแม่เหล็กสถิตย์ไปยังขั้วใต้แทน ในลักษณะที่กล่าวมาจึงทำให้มอเตอร์หมุนต่อไปได้เมื่อขั้ว B อยู่ตรงกับขั้วใต้ของแม่เหล็กสถิตย์ แปรงถ่านขั้วลบจะเปลี่ยนจากอาเมเจอร์เซกเมนต์ Y เป็นเซกเมนต์ X กระแสในขดลวด B มีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางเดิมและขั้ว B ซึ่งเป็นขั้วใต้จะถูกผลักออกจากขั้วใต้ของแม่เหล็กสถิตย์ การหมุนจะเป็นวัฏจักรในทิศทางนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่ากระแสภายนอกจะกลับทิศทาง

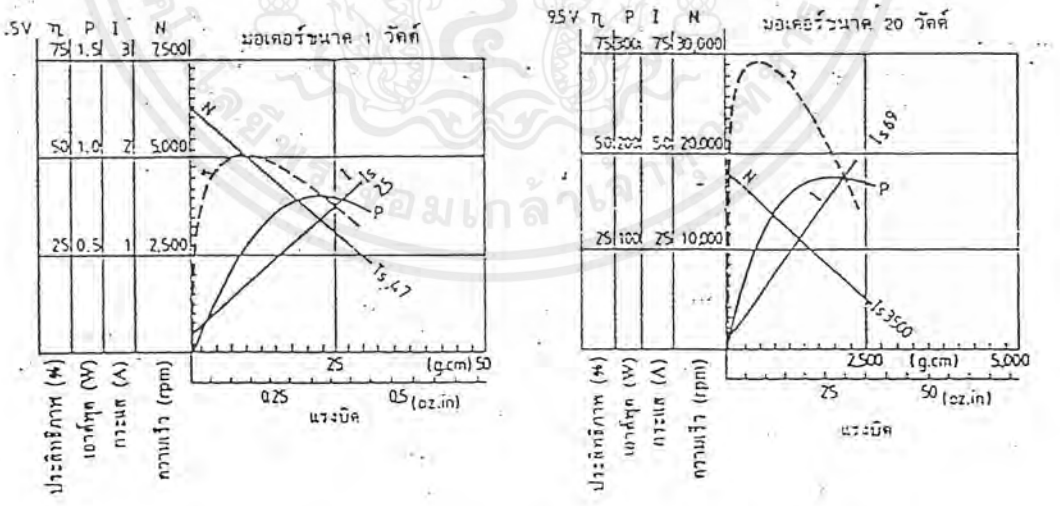
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.56 แสดงหลักการทำงานอย่างง่ายของมอเตอร์กระแสตรง

<u>คุณสมบัติของมอเตอร์</u>

จากที่กล่าวมาแล้วว่าแรงที่เกิดจากกระแสที่ผ่านตัวนำเข้าไปยังสนามแม่เหล็กต้องมีภาวะที่เหมาะสมทำให้เกิดข้อจำกัดของแรงบิดในมอเตอร์ รูปที่ 2.57 แสดงกราฟคุณสมบัติของมอเตอร์ขนาดเล็กมีกำลังประมาณ 1 วัตต์ และกราฟของมอเตอร์ขนาดใหญ่มีกำลังประมาณ 80 วัตต์เปรียบเทียบโดยให้แรงดันคงที่

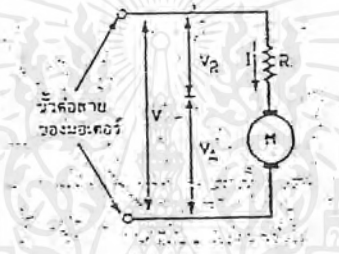


รูปที่ 2.57 กราฟแสดงคุณสมบัติของมอเตอร์ขนาด 1 วัตต์ และ 80 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงบิดเป็นเส้นตรง ถ้าไม่คำนึงถึงแรงดันที่ป้อนให้และความเร็วในการหมุน จะพบว่าอัตราส่วนแรงบิดและกระแส(T/I) ทุกจุดจะเท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบกำลังของแม่เหล็กชนิดและจำนวนของแผ่นเหล็กในทุ่นโรเตอร์ สเตเตอร์และช่องว่างระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์

ความสัมพันธ์ที่สองที่ได้จากกราฟ คือ ความเร็วเปรียบเทียบกับแรงบิด ซึ่งความเร็วขณะไม่มีโหลดจะมีกราฟเป็นเส้นตรงเพื่อที่จะอธิบายคุณสมบัติของมอเตอร์ให้ละเอียดต้องพิจารณาแรงดันที่ป้อนและต้านทานของโคเตอร์ด้วย วงจรภายในมอเตอร์แสดงได้ดังรูปที่ 2.58 โดยสมมติให้ทุ่นโรเตอร์ไม่มีความต้านทานอยู่เลย อนุกรมกับความต้าน ซึ่งก็คือความต้านทานของขดลวดนั่นเอง



รูปที่ 2.58 วงจรภายในของมอเตอร์กระแสตรง

แรงดันที่ขั้วต่อสายของมอเตอร์ คือ ผลบวกระหว่างแรงดันที่ทุ่นโรเตอร์ (Va) และแรงดันตกคร่อมความต้านขดลวด (Vr)

แรงดัน Va ถูกเรียกว่า แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำป้อนกลับ(Back EMF) ซึ่งเกิดขึ้นในขดลวดโรเตอร์ขณะที่หมุนแรงดันที่เกิดขึ้นเป็นไปตามกฎของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าสัมพันธ์กับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำแม่เหล็กและความเร็วในการเคลื่อนที่ของการหมุน ผลบวกของแรงดันที่ทุ่นโรเตอร์ (Va) และแรงดันตกคร่อมขดลวด

Vr ต้องเท่ากับแรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์ (V)

$$V = Va+Vr \qquad (V)$$

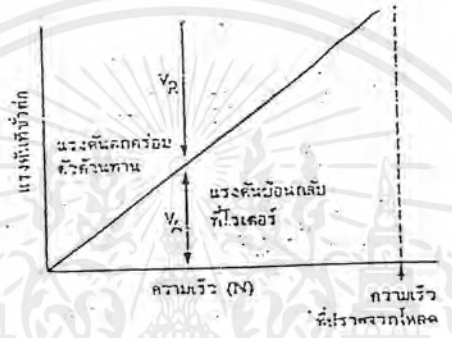
พิจารณาตั้งแต่มอเตอร์หยุดนิ่งความเร็วมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้น Va=0 V , Vr=V กระแสที่ไหลในมอเตอร์หาได้จาก

$$I = Vr / R \qquad (A)$$

เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนจะมีความเร็วและ Va เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามความเร็ว Vr ซึ่งมีค่าเท่ากับความแตกต่างระหว่าง Va และ V จะเริ่มลดลงกระแส I จะเริ่มลดลงเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่มอเตอร์ยังมีความเร่งอยู่ความเร็วจะเพิ่มขึ้นแรงบิดจะลดลงจนกว่าจะถึงจุดซึ่งแรงบิดของมอเตอร์รับภาระโหลดได้สมดุลย์พอดี ขณะที่มอเตอร์ไม่มีโหลดและหมุนได้อย่างอิสระจะมีเพียงแต่ค่าความฝืดของแบริ่งและแรงต้านของอากาศ ทำให้ค่า Va เกือบจะเท่ากับ V ดังรูปที่ 2.59 แรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์ ก็คือผลบวกของ Va และ Vr ที่ทุกๆ ความเร็ว และ Va แปรผันตรงกับความเร็ว ส่วนกระแสและแรงบิดจะแปรผันตรงกับ Vr ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วเมื่อเทียบเป็นเปอร์เซนต์ ขณะที่แรงดันจากภายนอกคงที่จะเป็นเส้นตรง เช่นกันสามารถสรุปได้ว่า



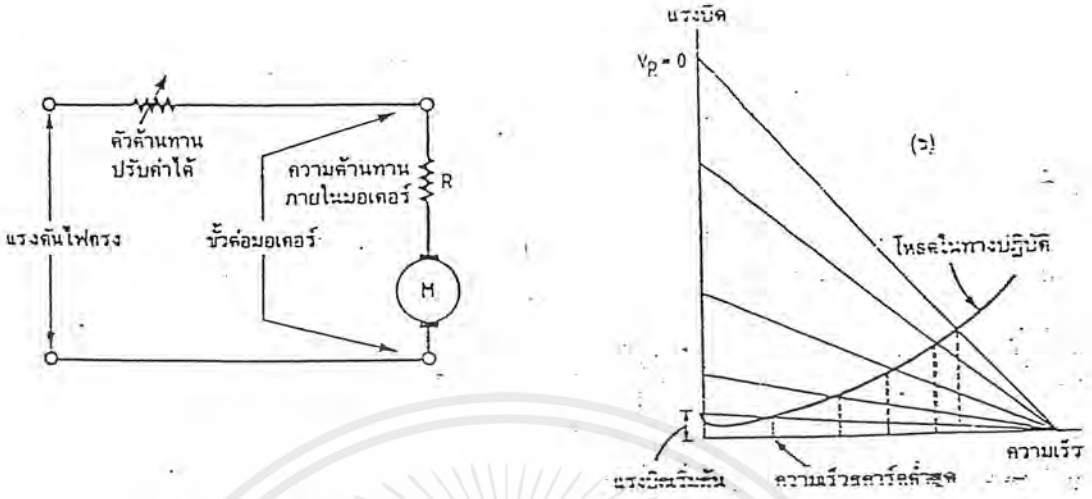
รูปที่ 2.59 กราฟแสดงค่าแรงดันที่เกิดขึ้นในมอเตอร์กระแสตรงกับความเร็วรอบ

การควบคุมขั้นพื้นฐาน

รูปแบบพื้นฐานที่สุดของการควบคุมมอเตอร์คือ วิธีใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้อนุกรมมอเตอร์ รูปที่ 2.60 แสดงวงจรและกราฟของแรงบิด ความเร็ว ขณะที่เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน ข้อควรสังเกตในขั้นแรกคือ ความต้านทานภายนอกที่ต่อกับมอเตอร์เป็นตัวกำหนดความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ เช่นเดียวกับ ความต้านภายในมอเตอร์ ผลของความต้านทานเหล่านี้จะทำให้เกิดแรงบิดและความเร็วมีกราฟลักษณะสมบัติ ดังรูปที่ 2.60(ก)และ(ข) ที่ค่าต่างๆ ของตัวต้านทานปรับค่าได้ในรูปที่ 2.60(ก) มอเตอร์ถูกควบคุมทางอ้อมด้วยผลของแรงบิดความเร็วและโหลดของมอเตอร์ รูปที่2.60(ก) เป็นเส้นโหลดไลน์ในทางอุดมคติ ซึ่งความเร็วของเส้นแรงบิดและเส้นความเร็วขณะนั้น การควบคุมความเร็วสำหรับโหลดอุดมคติจะควบคุมได้ง่าย

ในรูปที่ 2.60(ข) เป็นกราฟที่ใช้โหลดตามความเป็นจริงซึ่งต้องการแรงบิดเพื่อเอาชนะแรงเสียดทานสถิตย์ที่มีอยู่ในตัวมอเตอร์ และความเฉื่อยของโหลด และต้องเพิ่มแรงที่จะให้มอเตอร์เคลื่อนที่ด้วย เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนแล้วแรงต้านลดลงที่จุดนี้มอเตอร์ยังต้องการแรงบิดเพื่อการหมุนที่รวดเร็วขึ้นแต่แรงบิดนี้อาจน้อยกว่าแรงบิดเริ่มสตาร์ทก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.60 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง
แบบใช้ตัวต้านทานอนุกรมและกราฟแสดงคุณสมบัติ

ทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น เป็นการใช้โหลดโดยทั่วไปอัตราส่วนของแรงบิดและความเร็วจะเป็นค่าคงที่ลองมาพิจารณาสภาพที่โหลดของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงแรงบิดและความเร็วจะเปลี่ยนแปลงด้วย (ที่ Vr=2R) จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มค่าแรงบิดเพียงเล็กน้อย ความเร็วตกลงเกือบครึ่งหนึ่งทีเดียว ดังนั้น การควบคุมวิธีนี้จึงใช้ไม่ได้กับโหลดที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

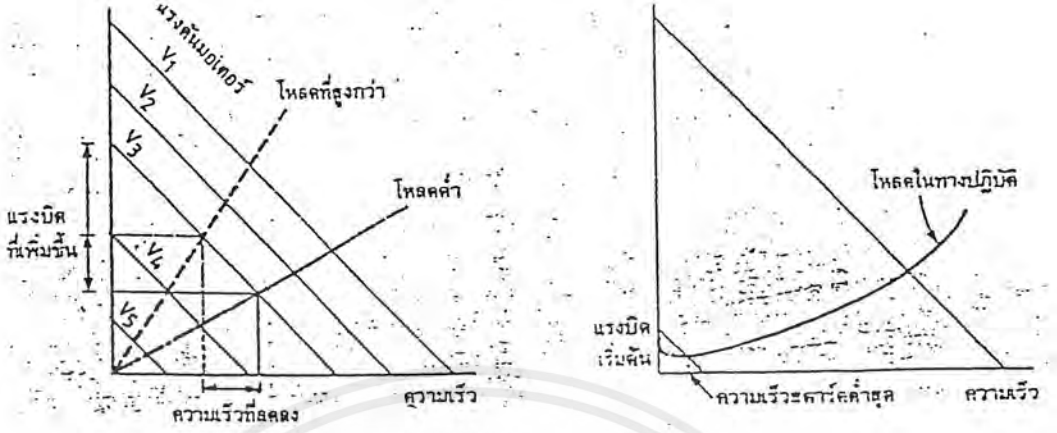
<u>การควบคุมด้วยวิธีเปลี่ยนค่าแรงดัน</u>

วิธีนี้ดีกว่าวิธีแรกมาก แต่จะซับซ้อนกว่าต้องใช้อุปกรณ์อิเลกทรอนิกส์ที่มีอัตราขยายกำลังสูง และมอเตอร์จะถูกป้อนด้วยแรงดันที่เปลี่ยนแปลงค่าได้จากแหล่งจ่ายที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำ

รูปที่ 2.60 แสดงกราฟโดยป้อนค่าแรงดันให้มอเตอร์หลายค่า V1 เป็นค่าแรงดันขั้วมาตรฐาน ลักษณะอัตราส่วนของแรงบิดและความเร็วเหมือนกับมอเตอร์รูปที่ 2.60 ที่ Vr=0 V การควบคุมวิธีนี้ถ้าแรงบิดสูงขึ้นมากๆ ความเร็วจะลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ในทางอุดมคติการเพิ่มขึ้นของแรงบิดความเร็วควรไม่เปลี่ยนแปลงเลย ข้อดีของการควบคุมวิธีนี้คือ ความเร็วของมอเตอร์สัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับแรงดันจากภายนอกที่ป้อน นั่นคือ ถ้าความเร็วลดลงจากผลของแรงบิด แรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาระดับความเร็ว

ส่วนข้อเสียของการควบคุมวิธีนี้ก็คือเมื่อมอเตอร์มีความเร็วต่ำ แรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์จะมีค่าต่ำเช่นกัน ถ้าหน้าสัมผัสสกปรก หรือแบริ่งมีความฝืดมาก แรงดันเพียงเล็กน้อยจะไม่สามารถผลักให้ทุ่นโรเตอร์หมุนได้ แต่วิธีควบคุมแบบใช้ความต้านทานอนุกรม แรงดันที่จ่ายแก่มอเตอร์เท่ากันทุกๆ ความเร็ว แม้หน้าสัมผัสจะมีความต้านทานสูงแรงดันก็ยังสูงพอที่จะหมุนโรเตอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.61 การควบคุมความเร็วโดยเปลี่ยนค่าแรงดัน

จากการควบคุมทั้ง 2 แบบ ที่กล่าวมาถึงแม้ว่าความเร็วจะควบคุมให้คงที่ได้แต่ที่ความเร็วต่ำแรงบิดก็จะต่ำด้วย ซึ่งในทางอุดมคติตัวควบคุมต้องควบคุมความเร็วคงที่ในขอบเขตกว้างๆ สำหรับโหลดและแรงบิดในอัตราที่พอเหมาะกับทุกๆ ความเร็ว คุณลักษณะเช่นนี้สามารถทำได้โดยใช้วงจรประเภทแอคทีฟโดยอาศัยการป้อนกลับของแรงดันและกระแสที่เปลี่ยนแปลงเพื่อปรับปรุงกำลังไฟฟ้าที่ป้อนแก่มอเตอร์

<u>วงจรควบคุมประเภทแอคทีฟ</u>

ความต้องการหลัก สำหรับระบบควบคุมมอเตอร์คือ กำลังๆ ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์สามารถเปลี่ยนแปลงโดยอัตโนมัติ เพื่อรักษาระดับความเร็วให้คงที่เมื่อโหลดเปลี่ยนแปลง

มอเตอร์ที่ใช้คือ มอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร วงจรสมมูลย์จะมีความต้านทานอนุกรมกับทุ่นโรเตอร์

ขณะที่มอเตอร์หมุนจะเกิดแรงดัน Va ขึ้นที่ทุ่นโรเตอร์ซึ่งแปรผกผันกับแรงดันที่ป้อนให้แก่มอเตอร์ แต่แปรผันตรงกับความเร็วมอเตอร์ แรงดัน Va นี้ก็คือ แรงเคลื่อนแม่เหล็กย้อนกลับ (Back EMF หรือ Counter EMF) มอเตอร์จะไม่ต้องการกระแสเลยถ้าปราศจากโหลดและแรงเสียดทาน ค่าแรงดัน Va จะเท่ากับแรงดันที่ป้อนแก่มอเตอร์พอดี ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วมอเตอร์ยังต้องการกระแสเพื่อเอาชนะแรงต้านอากาศและแรงเสียดทาน กระแสที่กล่าวนี้ไหลผ่านความต้านทานของขดลวดและมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ

$$Vr = I * R \quad (V)$$

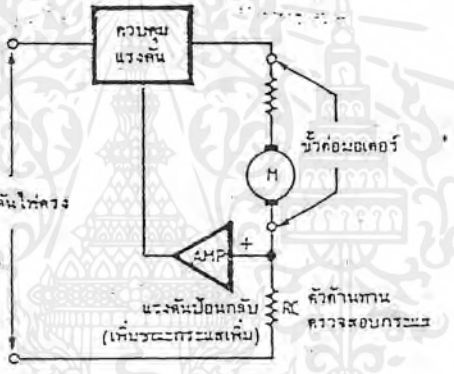
เมื่อมอเตอร์มีโหลด กระแสของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มแรงบิด (แรงบิดแปรผันตรงกับกระแสตรงของมอเตอร์) ผลของการเพิ่มกระแสทำให้ Vr เพิ่มขึ้น ดังนั้นในขณะนี้แรงดัน Va จะมีค่าน้อยกว่าแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ความเร็วของมอเตอร์ก็จะมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

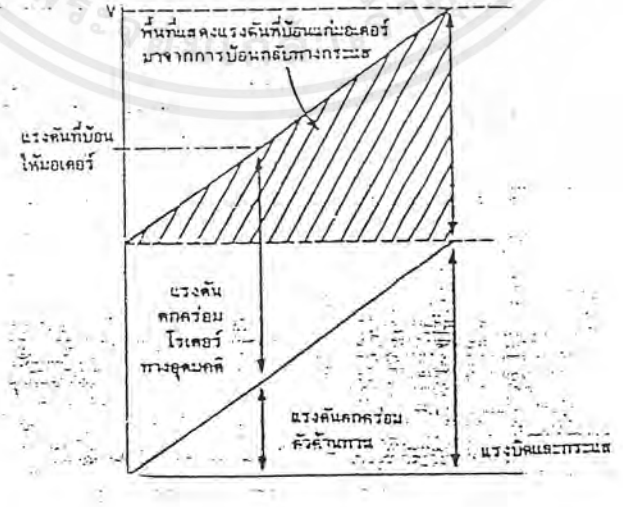
ในขณะที่ความเร็วคงที่ คือรับโหลดได้อย่างสมดุลย์แล้วแรงบิด ค่าแรงดันที่ตกคร่อม R และแรงดัน Va ก็จะคงที่ด้วย

เมื่อแรงบิดมีค่าสูงขึ้นแรงดัน Va จะลดลงเป็นผลทำให้กระแสที่ไหลผ่านขดลวดและความต้าน RC มีค่าเพิ่มขึ้น วงจรตรวจจับจะนำแรงดันที่ตกคร่อม RC ผ่านวงจรขยายเพื่อป้อนกลับไปยังวงจรควบคุมแรงดัน สั่งให้แรงดันมีค่าสูงขึ้นเพื่อเพิ่มแรงบิดให้ความเร็วไม่ลดลง

รูปที่ 2.63 แสดงกราฟแรงดันต่างๆ ของมอเตอร์ในรูปที่ 2.62 ทางอุดมคติสังเกตได้ว่า Va จะคงที่ตลอดตั้งแต่แรงบิดศูนย์จนถึงแรงบิดสูงสุด พื้นที่ที่แรเงา คือ แรงดันป้อนกลับที่เพิ่มขึ้นที่มีค่าเท่ากับ Vr การเปลี่ยนแปลงของแรงดันป้อนกลับเพื่อไปกำหนดแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์อย่างเหมาะสมตลอดเวลา ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างแรงบิดและความเร็วจะมีค่าคงที่ ถึงแม้ว่าสิ่งที่กล่าวมาเป็นเพียงทางอุดมคติ แต่ทางปฏิบัติก็จะได้ผลใกล้เคียงทีเดียว ถ้าการป้อนกลับถูกต้องเหมาะสม



รูปที่ 2.62 วงจรป้อนกลับด้วยระดับแรงดันเนื่องจากผลของกระแส



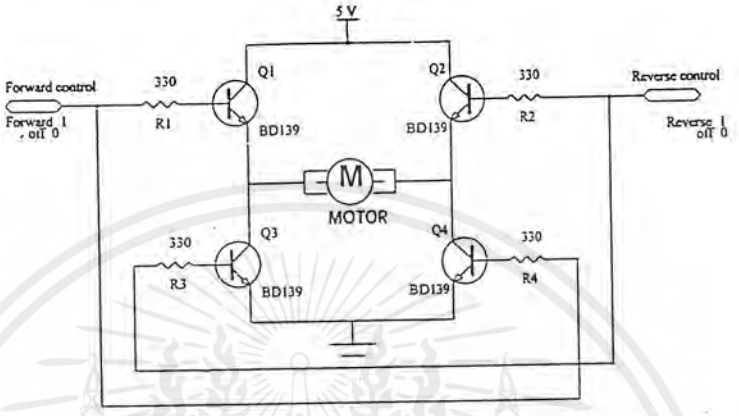
รูปที่ 2.63 คุณสมบัติทางแรงดันของวงจรในรูปที่ 2.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง

เป็นวงจรที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ให้มีทิศทางการหมุนได้ตามต้องการ (หมุนทวนเข็มหรือตามเข็มนาฬิกา) โดยสามารถควบคุมได้ด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ มีหลายวงจรดังนี้

ก. <u>ทรานซิสเตอร์ในการควบคุมมอเตอร์</u>



รูปที่ 2.64 วงจรขับมอเตอร์โดยใช้ทรานซิสเตอร์

การใช้มอเตอร์ในการควบคุมมอเตอร์นั้นเป็นการนำทรานซิสเตอร์มาใช้งานในลักษณะของสวิทช์ โดยทำการต่อดังรูป โดยจะเห็นว่าในขณะใดขณะหนึ่งที่มอเตอร์หมุน เราจะให้ทรานซิสเตอร์ทำงานเพียง 2 ตัว นั่นคือ เมื่อมีการป้อนสัญญาณ logic '1' เข้าที่ I/P_1 และที่ I/P_2 เป็น logic '0' จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 ทำงาน ทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางหนึ่ง แต่เมื่อเราป้อนสัญญาณที่ I/P_1 เป็น logic '0' และที่ I/P_2 เป็น logic '1' จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 ทำงาน ทำให้มอเตอร์หมุนในอีกทิศทางหนึ่ง

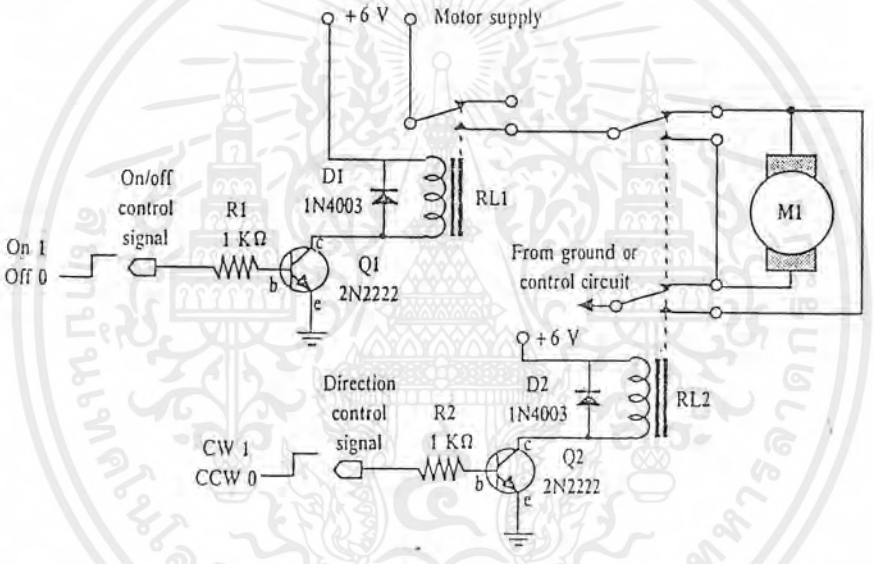
วงจรลักษณะนี้เราสามารถที่จะใช้แหล่งจ่ายไฟขั้วเดียวและสามารถแยกแหล่งจ่ายไฟจากวงจรอิเลคทรอนิกส์ได้ ทำให้เราสามารถใช้เอาท์พุทจากวงจรดิจิตอลมาใช้ในการเปิด-ปิด ทรานซิสเตอร์ได้โดยตรง

ข. <u>การใช้รีเลย์ควบคุมมอเตอร์</u>

จากรูปที่ 2.65 เป็นวงจรที่ใช้รีเลย์เป็นสวิทช์ควบคุม โดยรีเลย์ RL1 เป็นรีเลย์แบบที่เรียกว่าซิงเกิลโพล-ดับเบิ้ลโทรล(Single-Pole Double-Throw : SPDT) คือเป็นรีเลย์ที่มีขั้วเดียว ซึ่งจะเป็นรีเลย์ที่ใช้ในการควบคุมการเปิด-ปิดของมอเตอร์โดยการป้อนสัญญาณควบคุมเข้าที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 นั่นคือ เมื่อป้อน logic '1' (5 V) จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 ทำงาน ทำให้มีกระแสไหลผ่านขดลวดของรีเลย์ทำให้รีเลย์ทำงาน ทำให้มอเตอร์ได้รับการไบอัส มอเตอร์จึงเริ่มหมุน แต่เมื่อป้อน logic '0' (0 V) จะทำให้มอเตอร์ไม่ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์สามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณควบคุมเข้าที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q2 ที่เป็นรีเลย์แบบดับเบิ้ล-โพล ดับเบิ้ลโทรลที่มีสองขั้ว นั่นคือการป้อนสัญญาณ logic '0' เพื่อให้ทรานซิสเตอร์ Q2 ทำงาน หรือไม่ทำงาน ตามลำดับ ซึ่งจะส่งผลให้มอเตอร์ได้รับการไบอัสที่กลับทิศทางกันได้ อีกทั้งวงจรนี้ยังสามารถที่จะใช้เอาท์พุทจากวงจรดิจิตอลได้โดยตรงและยังสามารถแยกไฟเลี้ยงของวงจรอิเลคทรอนิกส์และไฟเลี้ยงที่ป้อนให้กับมอเตอร์ออกจากกันได้อีกด้วย

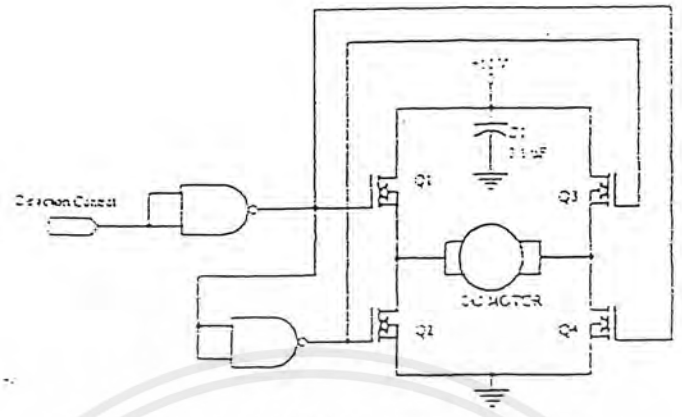


รูปที่ 2.65 วงจรขับมอเตอร์โดยใช้รีเลย์

ค. <u>การใช้เพาเวอร์มอสเฟตในการควบคุมมอเตอร์</u>

วงจรที่ใช้งานทั่วไปแสดงได้ดังรูป ซึ่งการต่อมอสเฟตจะมีการต่อเหมือนกับวงจรที่ใช้ทรานซิสเตอร์ แต่ได้มีการเพิ่มอินเวอร์เตอร์ซึ่งทำให้สามารถลดอินพุทที่ต้องใช้ในการควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ได้ แต่เราต้องเพิ่มเติมมอสเฟตที่จะใช้ในการควบคุมให้มอเตอร์หมุนหรือหยุดหมุนซึ่งทำให้เราสามารถที่จะควบคุมความเร็วมอเตอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

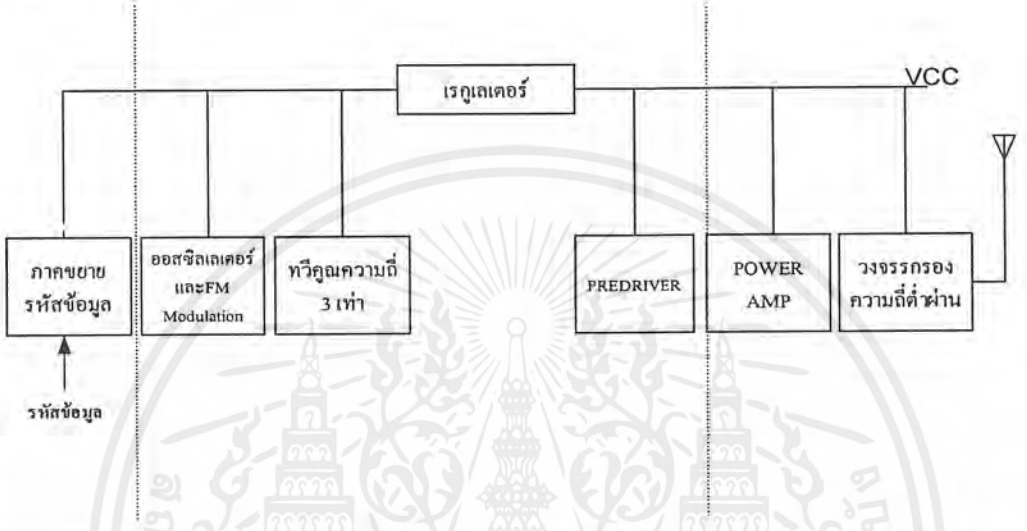


รูปที่ 2.66 วงจรขับมอเตอร์โดยใช้เพาเวอร์มอสเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบในส่วนของฮาร์ดแวร์

3.1 ภาคเครื่องส่ง

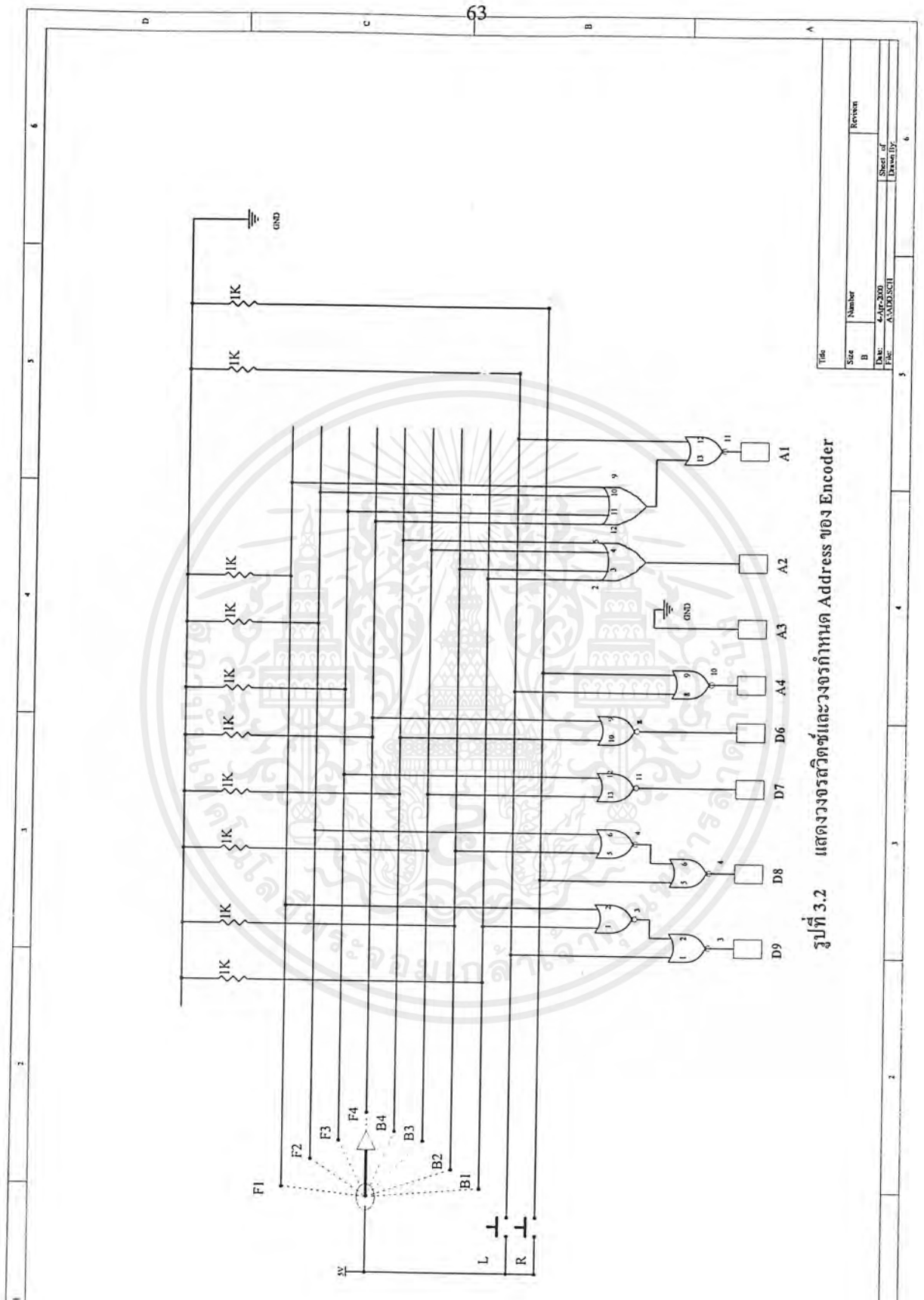


รูปที่ 3.1 BLOCK DIAGRAM ของภาคส่ง

บล๊อคไดอะแกรมของภาคส่งดังแสดงในรูปที่ 3.1 อธิบายการทำงานดังนี้ ทำการใส่ข้อมูลที่ต้องการส่ง เมื่อผ่านENCODER ข้อมูลก็จะอยู่ในรูปรหัสข้อมูล นำมาขยายให้มีกำลังสูงขึ้น สัญญาณที่ถูกขยายจะถูกนำไปมอดูเลตกับความถี่วิทยุหรือ ความถี่ RF มีความถี่ประมาณ 49.67 MHz ได้จากการความถี่ออสซิลเลเตอร์ความถี่ 16.5567 MHz ทวีคูณความถี่ 3 เท่า สัญญาณที่มอดูเลตแล้วจะถูกนำไปขยายในภาคขยายต่างๆ การมอดูเลตในภาคนี้จะเป็นการมอดดูเลตทางความถี่หรือเอฟเอ็ม เอาท์พุทที่ได้จากภาคขยายความถี่ RF สุดท้าย จะผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำก่อนส่งไปทางสายอากาศ หรือให้มีเฉพาะความถี่ RF 49.67 MHz เท่านั้นที่ถูกส่งออกไป

3.1.1 สวิตซ์เดินหน้า-ถอยหลัง, ซ้าย-ขวา และ
วงจรกำหนด ADDRESS CODE ของ ENCODER
ออกแบบเพื่อส่งข้อมูลในการควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ เป็นข้อมูล 4 บิต
แบ่งเป็น ข้อมูลบังคับรถเดินหน้า ความเร็ว 4 ระดับ
ข้อมูลบังคับรถถอยหลัง ความเร็ว 4 ระดับ
ข้อมูลบังคับรถเลี้ยว ความเร็วระดับเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรลิตซ์และวงจรกำหนด Address ของ Encoder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 Encoder

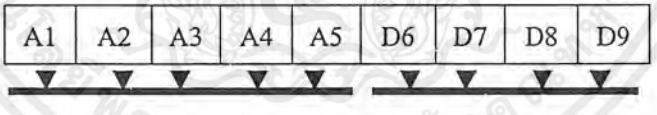
ใช้ไอซี MC 140526 การใช้งานของไอซีเบอร์นี้จะต้องมีการกำหนด ADDRESS CODE ในลักษณะของ trinary data ได้แก่ low,high หรือ open สำหรับการส่งข้อมูลแต่ละกลุ่ม ได้ออกแบบการส่งกลุ่มข้อมูลไว้ 3 กลุ่ม ได้แก่ ข้อมูลควบคุมการเดินหน้าของรถ (FORWARD) , ข้อมูลควบคุมการถอยหลังของรถ(BACK) , ข้อมูลควบคุมการเลี้ยวของรถ(TURN) ดังนั้นจึงมีการกำหนด ADDRESS ไว้ 3 ตำแหน่ง โดยเลือกใช้เพียง 2 state เท่านั้น คือ low และ high ดังตาราง

ตารางที่3.1 แสดงค่า ADDRESS ในแต่ละข้อมูล

ข้อมูล	A1	A2	A3	A4	A5
FORWARD	0	0	0	1	0
BACK	0	0	1	0	0
TURN	1	0	0	1	0

กลุ่มข้อมูล FORWARD และ BACK จะประกอบด้วยข้อมูล 4 ชุดด้วยกัน เป็นข้อมูลที่ใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในการเคลื่อนที่ของรถโดยใช้ microcontroller ในการควบคุมโดยจะแบ่งความเร็วเป็น 4 ระดับ

สำหรับกลุ่มข้อมูล TURN จะประกอบด้วยข้อมูล 2 ชุด ได้แก่ ข้อมูลที่ใช้ในการเลี้ยวขวาและเลี้ยวซ้ายของล้อรถ โดยทำการกำหนดความเร็วในการเลี้ยวไว้ค่าคงที่ค่าหนึ่ง



รูปที่ 3.3แสดงบิตข้อมูล

ได้มีการออกแบบข้อมูลในแต่ละ ADDRESS ไว้ดังตารางที่ 3.2

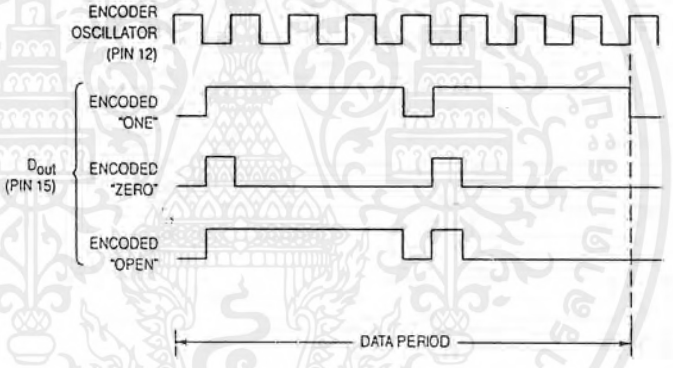
ตาราง 3.2 แสดงการกำหนดข้อมูลเพื่อใช้ในการควบคุมรถ

A1	A2	A3	A4	A5	D6	D7	D8	D9	STATUS
1	0	0	0	0	0	0	0	1	เดินหน้าความเร็วstep 1
1	0	0	0	0	0	0	1	0	เดินหน้าความเร็วstep 2
1	0	0	0	0	0	1	0	0	เดินหน้าความเร็วstep 3
1	0	0	0	0	1	0	0	0	เดินหน้าความเร็วstep 4

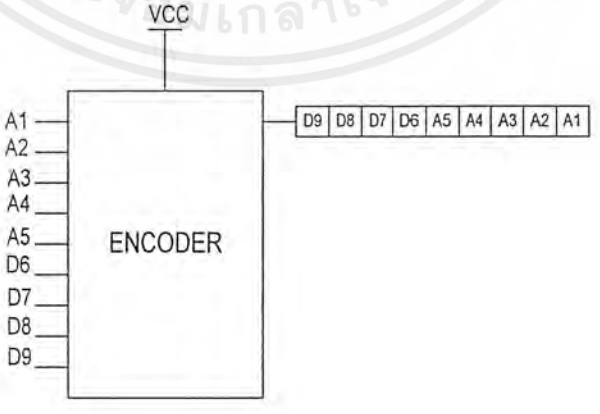
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A1	A2	A3	A4	A5	D6	D7	D8	D9	STATUS
0	1	0	0	0	0	0	0	1	ถอยหลังความเร็วstep 1
0	1	0	0	0	0	0	1	0	ถอยหลังความเร็วstep 2
0	1	0	0	0	0	1	0	0	ถอยหลังความเร็วstep 3
0	1	0	0	0	1	0	0	0	ถอยหลังความเร็วstep 4
1	0	0	1	0	0	0	0	1	เลี้ยวขวา
1	0	0	1	0	0	0	1	0	เลี้ยวซ้าย

หลักการทำงานคือ encoder จะทำแปลงค่า ADDRESS (A1-A5)และ DATA (D6-D9) ให้อยู่ในรูปพัลส์ ลักษณะดังแสดงในรูปที่3.3 ส่งเป็นข้อมูลอนุกรมออกทางเอาท์พุท



รูปที่ 3.4 ENCODER DATA WAVEFORM



รูปที่ 3.5 แสดงการส่งข้อมูลออกพอร์ตของ encoder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

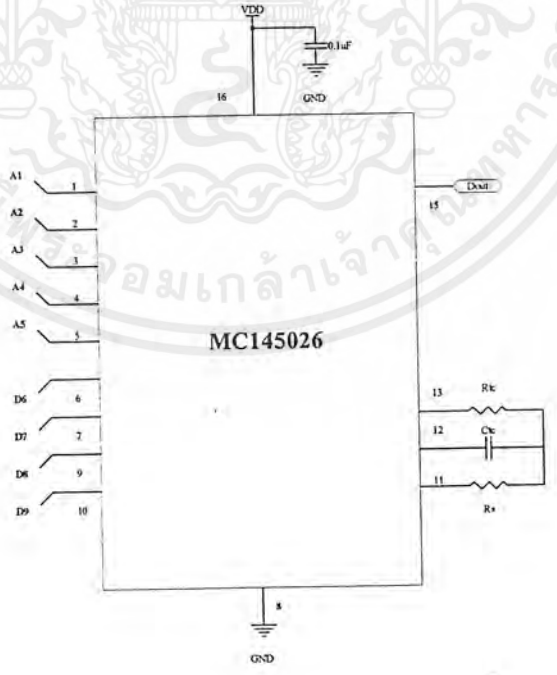
การใช้งานเราสามารถกำหนดความถี่ encoder oscillator ได้จากการกำหนดค่าของ R_{TC}, C_{TC}, R_S , R_1, C_1, R_2, C_2 ดังแสดงตามตาราง

ตารางที่ 3.3 R/C Values (All Resistors and Capacitors are ± 5 %)

($C_{TC}^{/} = C_{TC} + 20$ pF)

Fosc(kHz)	RTC	CTC/	RS	R1	C1	R2	C2
362	10k	120pF	20k	10k	470pF	100k	910pF
181	10k	240pF	20k	10k	910pF	100k	1800pF
88.7	10k	490pF	20k	10k	2000pF	100k	3900pF
42.6	10k	1020pF	20k	10k	3900pF	100k	7500pF
21.5	10k	2020pF	20k	10k	8200pF	100k	0.015uF
8.53	10k	5100pF	20k	10k	0.02uF	200k	0.02uF
1.71	50k	5100pF	100k	50k	0.02uF	200k	0.1uF

ในการทดลองได้ทำการต่อวงจรเพื่อให้ได้ ความถี่ encoder เท่ากับ 1.71 kHz



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรในส่วนของ encoder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 FM TRANSMITTER

การสร้างโดยใช้ MC2833 เราได้เลือกความถี่ที่ใช้งานคือ 49.7 MHz เหตุที่เลือกใช้ความถี่ค่านี้คือ เป็นความถี่ที่ใช้งานในระบบโทรศัพท์ไร้สายทั่วไป เป็นความถี่ที่นิยมใช้ (เนื่องจากการสร้างไม่ต้องการความถี่ในค่าที่สูงมาก) จากคู่มือการทำงานของ IC นั้นมีค่าการคำนวณการสร้างความถี่ 49.7 (ภาคผนวก) ซึ่งจะอธิบายการทำงานของ IC ดังนี้

เริ่มจากการสร้างสัญญาณ Oscillator โดย IC เบอร์นี้จะสร้างความถี่ได้ 2 วิธีคือ Triple frequency และ Doubler frequency ที่ขา 14 ของ IC จะเป็นส่วนที่ต่อออกมาจาก Buffer ความถี่ต้องการ คือ 49.7 MHz เลือกใช้การทำงานแบบ Triple frequency ซึ่งเป็นการคูณความถี่จากความถี่ Oscillator ขึ้น 3 เท่า ดังนั้นความถี่ที่Oscillator จะต้องผลิตคือ 16.5667 MHz ที่ขา 1 จะเป็นส่วนสร้างความถี่ 16.5667 MHz ด้วยCrystal ที่ขา 14 จะมีความถี่ 16.5667 MHz จากสัญญาณขา14 จะทำการผ่าน RC network จะทำการจูนความถี่ไปที่ Harmonic ที่ 2 ไปยังขาที่13 จะมีความถี่ 49.7 MHzจากนั้นสัญญาณจะถูกส่งผ่าน Q2 ดังนั้น สัญญาณที่ขา11 จะเท่ากับ 49.7 MHz และต่อไปยังขาที่8 เข้าสู่ Q1 ซึ่งทำหน้าที่เป็น Amplifier ผ่านไปยังขา 9 ทำการจูน สัญญาณส่งไปยัง ภาคขยายต่อไป

สัญญาณที่ขา 13 จะทำการส่งผ่านไปเป็น Voltage Reference เพื่อนำไปควบคุมให้ความถี่คงที่ ที่ขา5 จะเป็นส่วนของ input Amplifier ซึ่งมีต้องการ input 3mVrms (ถ้ามากกว่านี้จะเกิดการ Over Amplifier ทำให้สัญญาณ input ถูกคริปไป ขา4 เป็นสัญญาณ output ของAmplifier จากนั้นจะถูกส่งผ่านไปยัง ขา3 เข้าสู่ภาค modulation สัญญาณที่ขา1 จะถูก modulate แล้วและจะเข้าร่วมกับสัญญาณ 16.5667 MHz ที่Oscillator ที่ขา 16เป็นการครบลูป

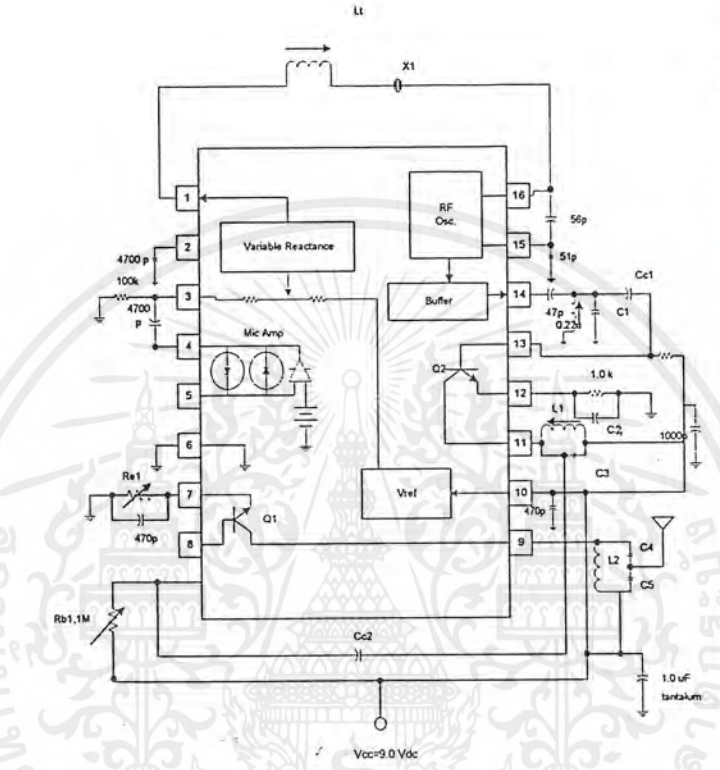
ในส่วนของmodulation ต้องการ input อย่างน้อยเท่ากับ 0.8 V – 1.2 V ซึ่งจากส่วน Control Unit นั้นเราสามารถสร้างความถี่ให้มีค่าAmplitude ได้ในช่วงนี้ จึงไม่จำเป็นที่จะต้องต่อผ่าน Op – Amp ภายใน IC จึงทำการต่อตรงกับขา 4 ได้เลย

การปรับGain ในQ1 สามารถปรับได้ด้วย การปรับกระแสที่เข้าสู่ขาBase ได้แต่ต้องคำนึงถึงการ Match กับวงจรจูนความถี่ที่ขา9 ด้วย

ใช้ IC MC2833P ที่ขา 4 เป็นตำแหน่งที่รับข้อมูลเพื่อนำไปมอดดูเลตกับความถี่ที่ได้จากออสซิเลเตอร์ 16.5567 MHz ที่ขา 14 สัญญาณที่ได้จากการมอดดูเลชั่นมีความถี่ 16.557 MHz สัญญาณจะผ่านมาที่ขา 11 ซึ่งเป็นส่วนขยายกำลัง และ ขา 9 เป็นส่วนขยายกำลังส่วนสุดท้าย เพื่อนำไปสู่ภาคขยายกำลังในส่วนต่อไป

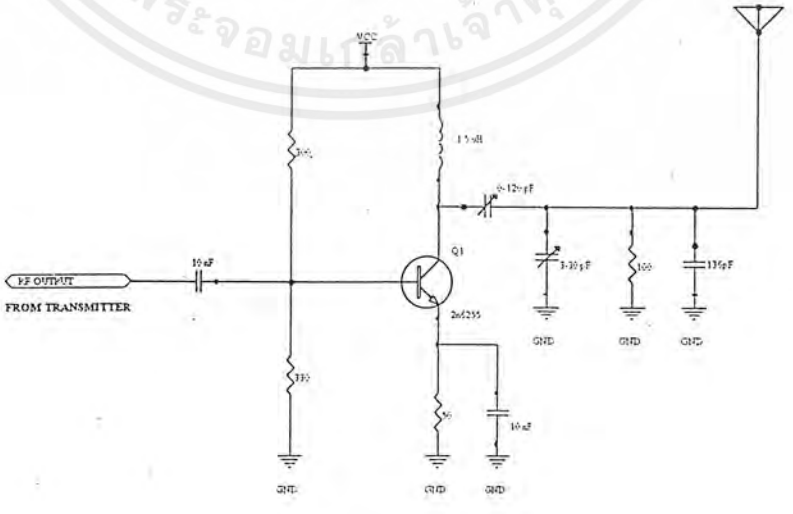
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 แสดง Single Chip VHF Narrowband FM Transmitter



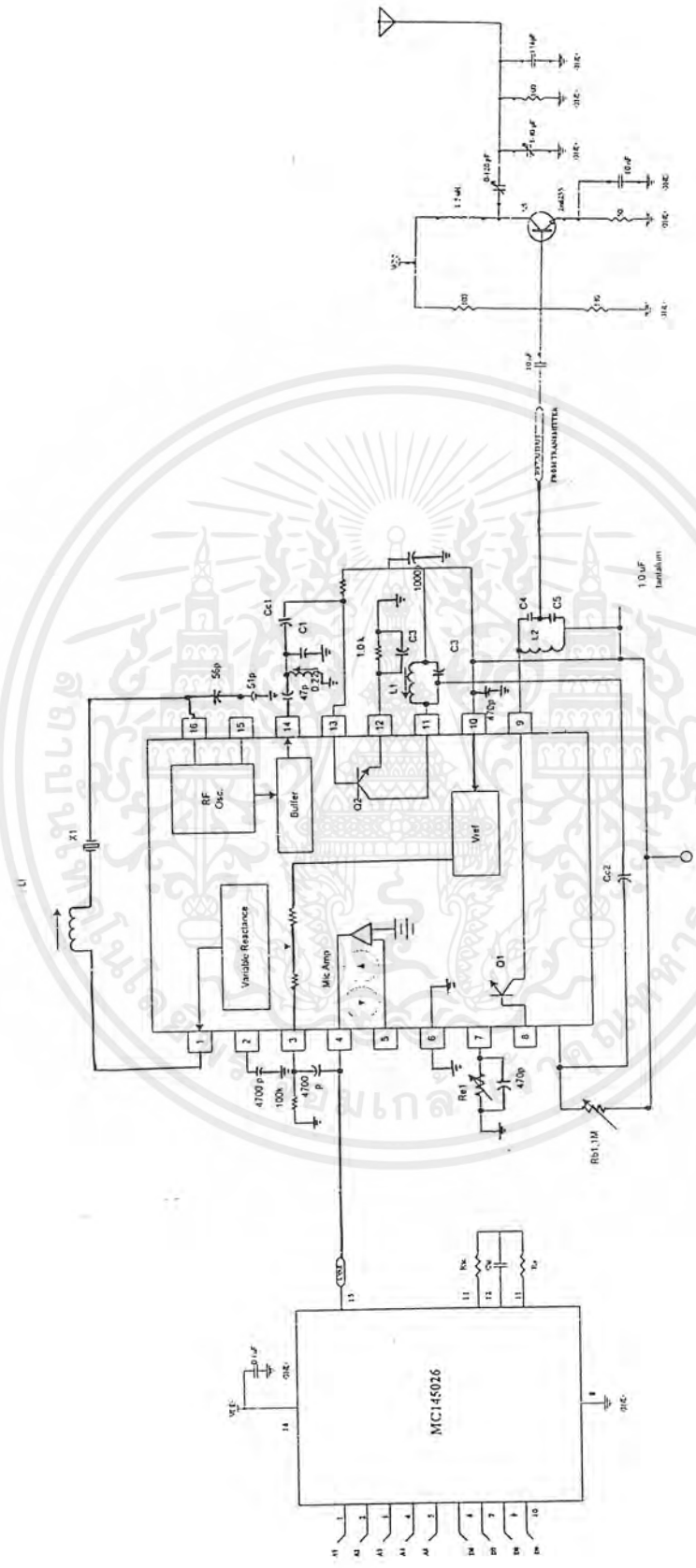
x1	16.57MHz
Lt	3.3-4.7uH
L1	0.22uH
Re1	0.22uH
Rb1	330Ω
Cc1	390k
Cc2	33pF
C1	33pF
C2	470pF
C3	33pF
C4	47pF
C5	220pF

3.1.4 POWER AMPLIFY



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรกำลังขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

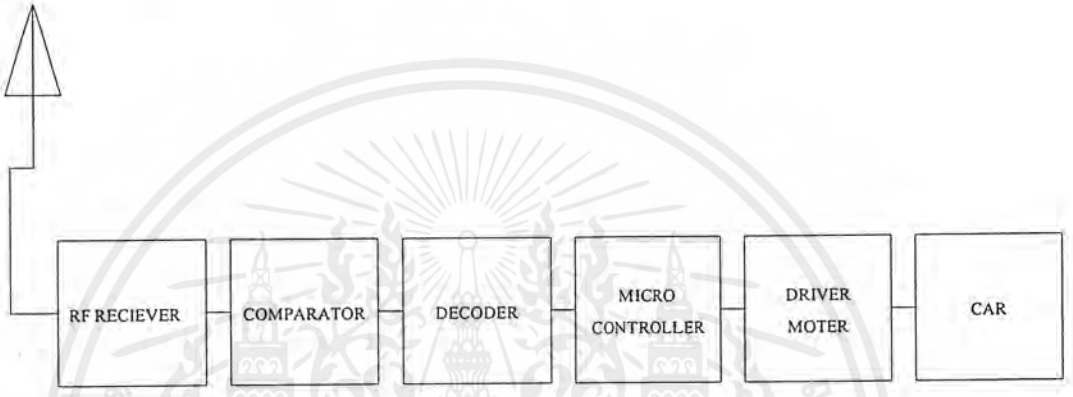


รูปที่ 3.9 แสดงวงจรภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากสัญญาณที่ได้จาก FM TRANSMITTER มีกำลังน้อย การที่จะทำการส่งสัญญาณให้ได้ในระยะไกล จะต้องมีการขยายกำลังของสัญญาณ์ ในการออกแบบได้ใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N6255 ต่อวงจรคลาส A โดยต้องทำการปรับพารามิเตอร์ของอิมพิแดนซ์ทางเข้าและออกให้เหมาะสมที่สุด เพื่อให้วงจรขยายกำลังสามารถขยายกำลังได้ดีที่สุดและเสถียรภาพมากที่สุด

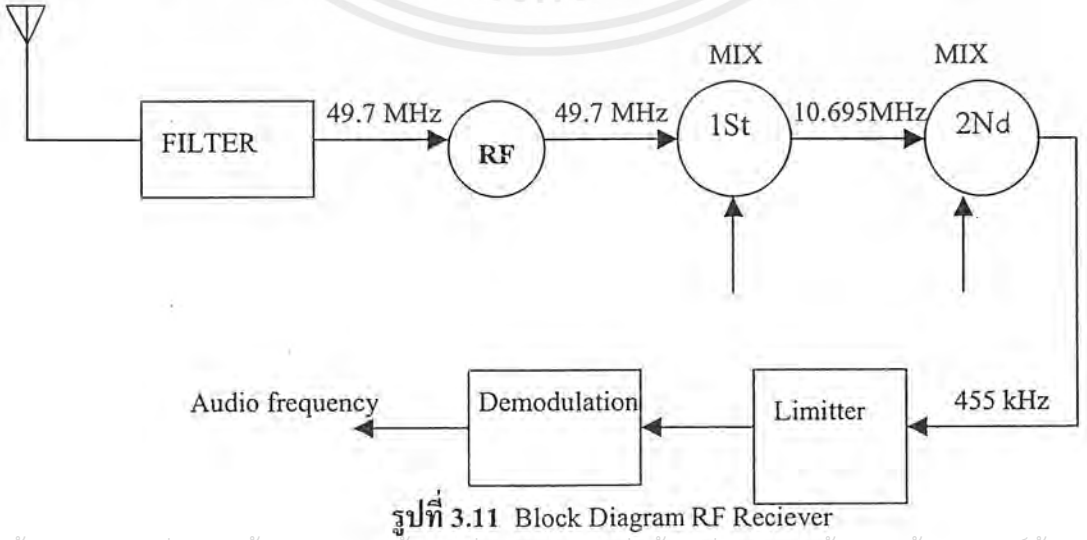
3.2 ภาคเครื่องรับ



รูปที่ 3.10 BLOCK DIAGRAM วงจรส่วนภาครับ

3.2.1 FM RECEIVER

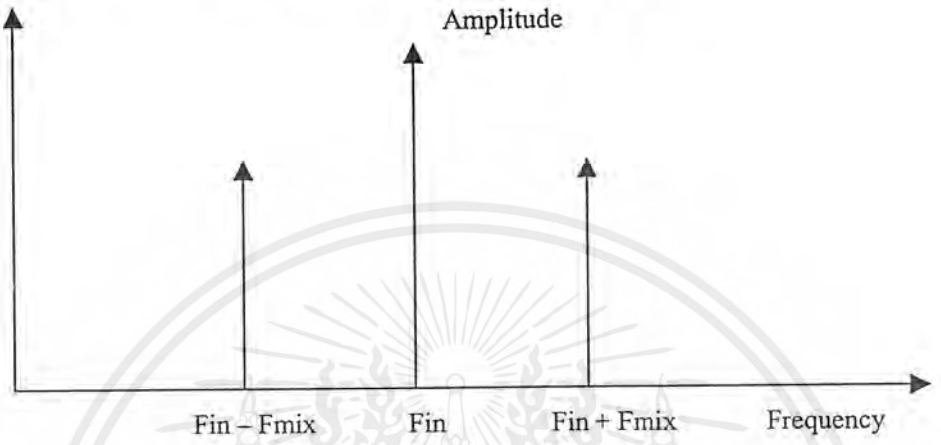
ภาครับวิทยุที่เลือกใช้ในการสร้างคือ แบบดับเบิ้ลคอนเวอร์ชั่น ซึ่งโดยทฤษฎีได้กล่าวไปแล้วในบทภาครับวิทยุ FM รูปที่ 3.9 เป็นBlock Diagram ของภาครับวิทยุแบบดับเบิ้ลคอนเวอร์ชั่น เป็นภาครับความถี่ 49.7 MHz (เป็นความถี่ที่เลือกใช้ในการสร้าง) จะเห็นได้ว่าที่ 1^{St} MIX จะใช้ความถี่ 38.975 MHz และที่ 2^{nd} MIX จะใช้ความถี่ 10.24 MHz ซึ่งจากจุดนี้จะได้ความถี่ IF ที่มีค่า 455 kHz ที่พร้อมจะเข้าสู่วงจรLimiter และ วงจร Demodulation ต่อไป



รูปที่ 3.11 Block Diagram RF Reciever

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน 1St MIX ทำหน้าที่ในการรวมความถี่จากเสาอากาศกับสัญญาณ 1St MIX ซึ่งจะได้ความถี่ 3 ส่วนดังรูปที่ 3.10 ความถี่ที่นำไปใช้งานต่อคือ ความถี่ด้านลบ ซึ่งมีค่า 10.695 MHz และในส่วน 2Nd MIX ก็จะทำงานเช่นเดียวกันจะได้ความถี่ที่จะเข้า Limiter คือ 455 kHz



รูปที่ 3.12 ความถี่ได้จาก MIX

จากหลักการที่กล่าวมานั้นจึงได้ทำการเลือกใช้IC เบอร์ MC13135 ซึ่งมีMIX ภายใน 2 ตัว วงจรLimiter และ วงจร Demodulation ภายใน (เหตุที่เลือกใช้ IC เพราะเป็นการง่ายในการที่จะทำให้แต่ละส่วนMatch กัน) MC13135 สามารถรับความถี่ได้ถึง 200 MHz ใช้ Supply ระหว่าง 3 – 6 V

จากรูปที่ 3.11 เป็นวงจรภาครับที่ใช้ในการสร้างเป็นภาครับความถี่ 49.7 MHz ที่ขา 22 จะมีความถี่ 49.7 MHz จะได้จากวงจรจูนความถี่ที่ RF input จากนั้นจะเข้าสู่ 1St MIX ที่ขา 1 จะมีวงจรผลิตความถี่ 38.975MHz โดยผลิตจาก Crystal 39MHz ที่1St MIX จะทำการรวมสัญญาณจากนั้นจะผ่าน Ceramic Filter 10.7 MHz เพื่อกรองเอาเฉพาะความถี่ด้านลบของสัญญาณจาก1St MIX ที่ขา18 จะมีความถี่ 10.695 MHz เพื่อเป็นสัญญาณ input เข้าสู่ 2Nd MIX ที่ขา6 มีการสร้างความถี่ 2Nd MIX มีค่า 10.24 MHz จากนั้นนำมารวมสัญญาณและผ่าน Ceramic Filter 455 kHz เพื่อกรองเฉพาะด้านลบของสัญญาณ ที่ตำแหน่งนี้สัญญาณ 455 kHz เป็นสัญญาณ IF เพื่อนำเข้าสู่ วงจร Limiter ในส่วนนี้จะทำการตัดAmplitude ให้อยู่ในช่วงที่สามารถ Demodulate ได้ ที่ขา 17 จะได้สัญญาณControl Unit จากภาคส่ง เพื่อนำไปสู่ภาคfilter กรองนำไป Control ต่อไป

ในการสร้างนั้นจะมีข้อที่พึงพิจารณาดังนี้

- ในส่วนของ 1St MIX นั้นจำเป็นที่จะต้องทำการจูนความถี่ให้ได้ค่าเมื่อมีการ MIX สัญญาณแล้วจะต้องได้ด้านลบค่าใกล้เคียง10.695 MHz ให้มากที่สุด และจะต้อง Math กับCeramic Filter 10.7 MHzให้มากที่สุด เพื่อให้ได้กำลังของสัญญาณที่ดี การจะกระทำดังกล่าวได้ต้องทำการวัดCrystal ให้มี

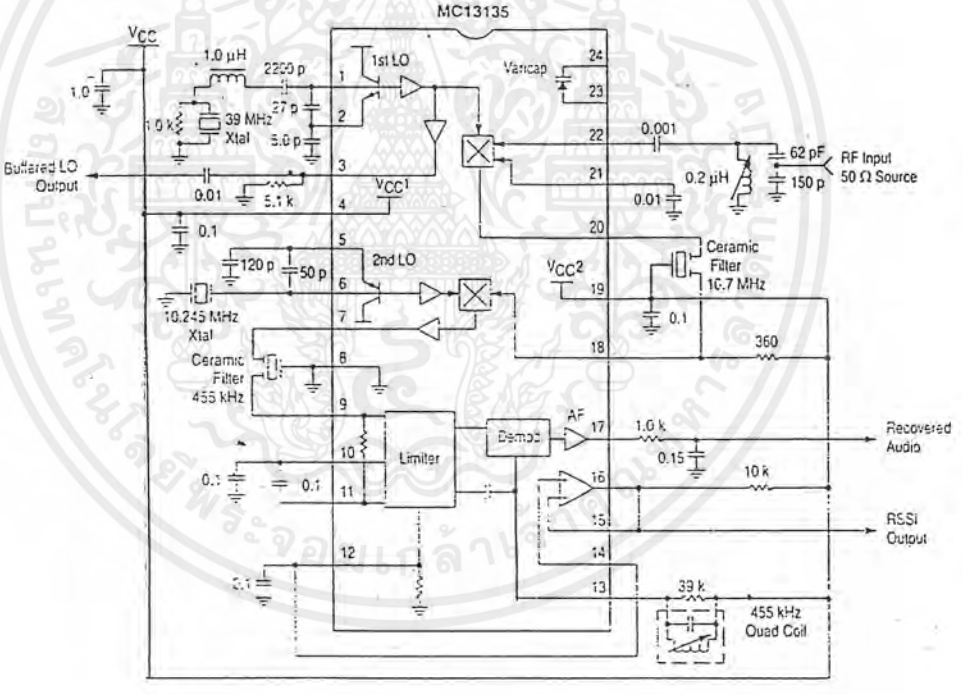
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าใกล้เคียง 39MHz มากที่สุดก่อนจะนำมาต่อและทำการวัด Ceramic Filter ให้ได้ค่า ใกล้กับ 10. 695 MHz ให้มากที่สุด

- ในส่วนของ 2^{Nd} MIX ก็จำเป็นที่จะต้องทำการจูนความถี่เช่นเดียวกับ 1^{St} MIX เช่นเดียวกัน ค่าCrystal ที่เลือกใช้จะต้องทำการวัดให้ได้ความถี่ใกล้เคียงกับ 10.245 MHz มากที่สุด และ Ceramic Filter ก็ต้องให้มีค่าใกล้กับ 455 kHz

- ที่ขา 17 จะเป็นสัญญาณ ที่ได้จากการ Demodulate จะเป็นสัญญาณAudio Frequency ที่มีกำลังน้อยมากจำเป็นที่จะต้องทำการขยายสัญญาณ โดยใช้ Op – Amp MC34119 สามารถขยายความถี่ในย่าน Audio frequency ได้

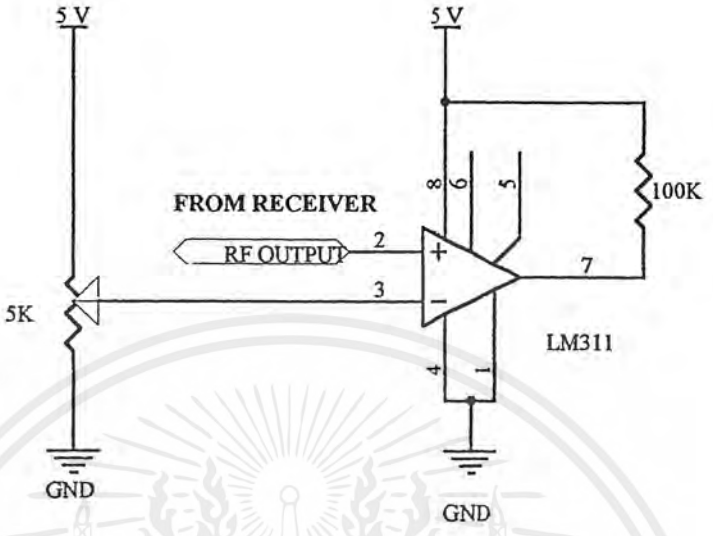
รูปที่ 3.13 Single chip VHF Narrowband FM Receiver



3.2.2 COMPARATOR

เป็นส่วนวงจรที่ออกแบบเพื่อทำการปรับแต่งสัญญาณที่รับมาจาก RF RECEIVER

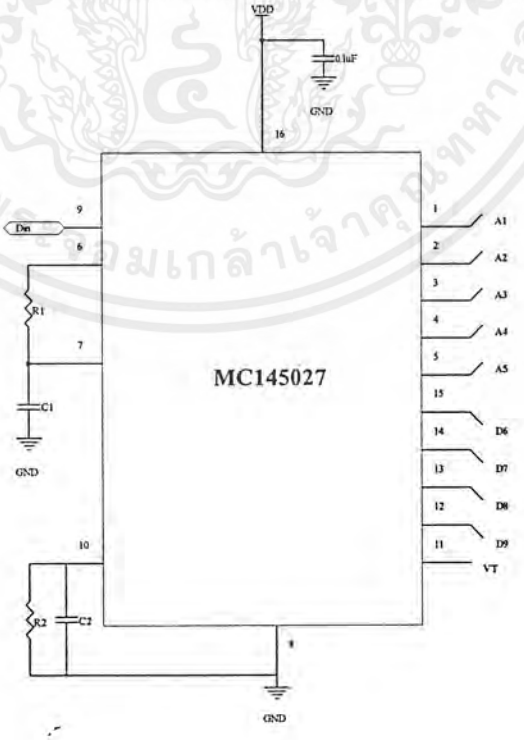
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงวงจร COMPARATOR

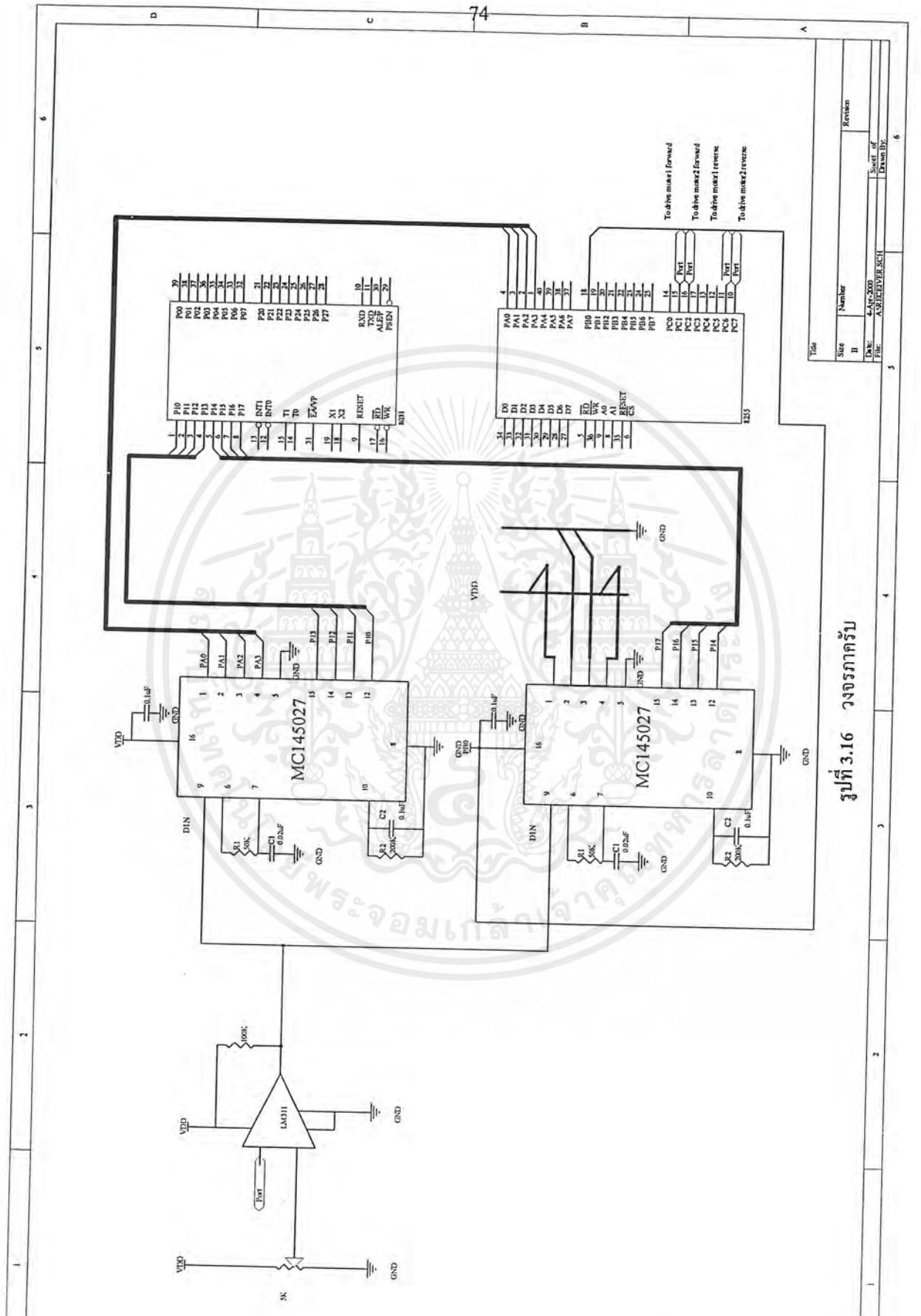
3.2.3 DECODER

ใช้ไอซี MC 145027 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้คู่กับ MC 145026 โดยไอซีมีการทำงานในลักษณะที่ว่า decoder จะแสดงข้อมูลได้ก็ต่อเมื่อ decoder มีค่า ADDRESS เดียวกับ ADDRESS ของ encoder ส่งข้อมูลในขณะนั้น



รูปที่ 3.15 DECODER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 วงจรภาครับ

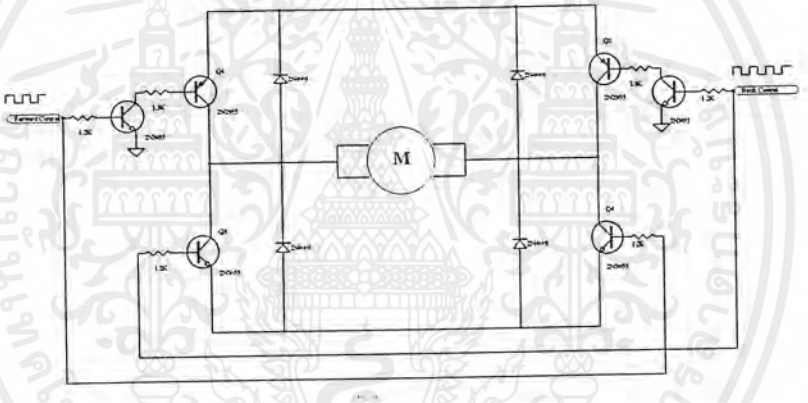
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. 3 ส่วนควบคุม

3.3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8031 ซึ่งเป็นไมโครโปรเซสเซอร์ที่ไม่มี ROM ภายใน โปรแกรมออกแบบให้สอดคล้องกับการทำงานของ DECODER นั่นคือ ไมโครโปรเซสเซอร์ต้องทำการป้อนค่า ADDRESS ให้แก่ DECODER จนกว่า ADDRESS ของ ENCODER และ DECODER จะตรงกัน DECODER จึงจะสามารถถอดรหัสข้อมูลออกมาได้ ข้อมูลที่ได้ออกมานี้จะต้องทำการประมวลผลต่อไปว่าเป็นข้อมูลเพื่อให้รถเคลื่อนที่แบบใด และความเร็วเป็นเท่าไหร่ แล้วส่งบิตไปควบคุมวงจร DRIVEMOTER ให้รถเคลื่อนที่ตามต้องการ

3.3.2 วงจรขับมอเตอร์



รูปที่ 3.17 วงจรขับมอเตอร์โดยใช้ทรานซิสเตอร์

อธิบายการทำงานได้ว่า วงจรเริ่มทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีการส่งบิตข้อมูลจากไมโครโปรเซสเซอร์ ข้อมูลที่ส่งมายัง Forward control และ Back control จะเป็นข้อมูลแบบพัลส์ ที่ Duty Cycle ต่างๆ กัน ตามระดับความเร็วที่ต้องการ โดยเมื่อไมโครโปรเซสเซอร์ส่งข้อมูลเข้าที่ขา Forward control จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 ทำงาน มอเตอร์จะได้รับกระแสไบอัส มอเตอร์จะหมุนในทิศทางหนึ่ง ในทางกลับกัน เมื่อไมโครโปรเซสเซอร์ส่งข้อมูลเข้าที่ขา Back control จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 ทำงาน มอเตอร์จะได้รับกระแสไบอัสในทิศตรงกันข้าม มอเตอร์จะหมุนในอีกทิศทางหนึ่ง

เนื่องจากออกแบบรถให้มีล้อ 2 ล้อ ดังนั้นจึงมีการต่อวงจรแบบเดียวกันนี้ 2 วงจรในการบังคับล้อให้หมุนในลักษณะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

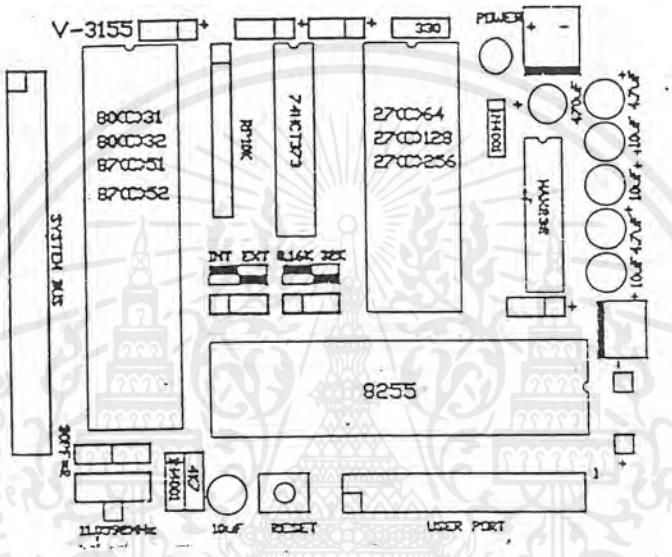
ตารางที่ 3.4 แสดงการบังคับล้อในการเคลื่อนแบบต่างๆ

มอเตอร์ซ้าย	มอเตอร์ขวา	ลักษณะการเคลื่อนที่ของรถ
Forward	Forward	เดินหน้า
Back	Back	ถอยหลัง
Forward	Back	เลี้ยวขวา
Back	Forward	เลี้ยวซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การออกแบบในส่วนของซอฟท์แวร์

4.1 บอร์ดที่ใช้ V-3155



รูปที่ 4.1 ภาพแสดงตำแหน่งต่างๆบนบอร์ด

VERSION 2.0

MINI CONTROLLER BOARD

คุณสมบัติของบอร์ด V-3155

CPU	80C31 (40 PIN-DIP OF MCS-51)
CLOCK	11.0592 MHZ
MEMERY	1/32K SOCKET (PROGRAM)
PORT	8 BIT (PORT1 OF MCS-51)
	4 BIT (/INT0./INT1./TO./T1 OF MCS-51)
	24 BIT (PORT OF 8255)
	1 SERIAL PORT (RS232)
LED	1 RESET SWITCH
SWITCH	1 RESET SWITCH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONNECTER	40 PIN MCS-51 SYSTEM-BUS
	26 PIN 8255
	3 PIN RS232
	2 PIN 5V DC
JUMPER	2 WAY JUMPER FOR /EA SELECT(EXT.INT)
	2 WAY JUMPER FOR MIMOTY SOCKET (8-16K.32K)
POWER SUPPLY	5V DC CURRENT 210 Ma (WITH 27C256 EPROM)
PCB SIZE	8.8×7.1 cm

ไมโครคอนโทรลเลอร์

บนบอร์ด V-3155 จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 80C31 เป็นหลัก แต่อย่างไรก็ตามผู้ใช้สามารถใช้กับไมโครเบอร์ต่างๆ ในตระกูล MCS-51 ที่เป็นแบบ 40-PIN DIP ได้ทั้งหมด เช่น 8032 8715 8752 ซึ่งจะทำให้ได้คุณสมบัติเป็นไปตามโครงสร้างของเบอร์นั้นๆ การเลือก JUMPER /EA จะใช้เพื่อการเลือกทำงานจาก ROM หรือ EPROM ภายในตัวไมโคร(INT) จะใช้กับไมโครที่มีโปรแกรมอยู่ภายในเท่านั้น ซึ่งปกติจะเป็น 8751 หรือ 8752 (กรณี 8051 หรือ 8052 มี ROM ภายในอยู่ก็จริง แต่ในทางปฏิบัติ การโปรแกรม ROM ภายในของ 8051 หรือ 8052 จะทำได้จากโรงงานผู้ผลิตเท่านั้น และรับที่จำนวนมากๆ เพราะฉะนั้นในทางปฏิบัติไม่ควรจะมีเบอร์ 8051 หรือ 8052 ขายอยู่ในท้องตลาดเลย แต่สำหรับบ้านเราอาจจะเป็นไปได้ ทั้งนี้อาจจะเป็นการแกะมาจากบอร์ดอื่นๆ

หน่วยความจำและการเลือก JUMPER

หน่วยความจำบนบอร์ดสามารถใช้ได้เป็นแบบ ROM(EPROM) สามารถเลือกเบอร์ต่างๆ ได้ตามต้องการ โดยใช้ JUMPER ที่อยู่ใต้ 74LS373 ซึ่งสามารถเลือกหน่วยความจำได้ตั้งแต่ 8K-32Kจะกระทำได้โดยปรับตัว JUMPER ให้ตรงกับช่องที่ระบายที่ขาวทึบตรงตามเบอร์ที่ต้องการ

SERIAL PORT

เป็นพอร์ตการสื่อสารอนุกรมของบอร์ด V-3155 ซึ่งสามารถเลือกใช้หรือไม่ใช้ก็ได้ ถ้าต้องการใช้ก็ให้เสียบชิพเบอร์ MAX232 และใช้งานที่ขั้วต่อแบบ 3 PIN

SYSTEM BUS และ PORT 8255 BUS

SYSTEM BUS ของบอร์ดV-3155 จะใช้ขาสัญญาณจากตัวไมโคร เป็นขนาด 40 PIN ซึ่งใช้สำหรับขยายระบบตามต้องการ หรือจะใช้กับบอร์ดขยายก็ได้ ทั้งนี้ยังสามารถดึง PORT1 และขาสัญญาณ /INT0,/INT,/T0,/T1 ออกมาเพื่องานประยุกต์ใดๆ ก็ได้ ส่วน PORT 8255 BUS ซึ่งใช้ชิพซัพพอร์ตเบอร์ 8255 ซึ่งทำหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุท/เอาท์พุทมีตำแหน่งแอดเดรสดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

USER PORT 1 แอดเดรส 0000H+8255 offset add = actual

PORT A ตำแหน่งแอดเดรส 0000H+ 00H = 0000H

PORT B ตำแหน่งแอดเดรส 0000H+ 01H = 0001H

PORT C ตำแหน่งแอดเดรส 0000H+ 02H = 0002H

MODE PORT ตำแหน่งแอดเดรส 0000H+ 03H = 0003H

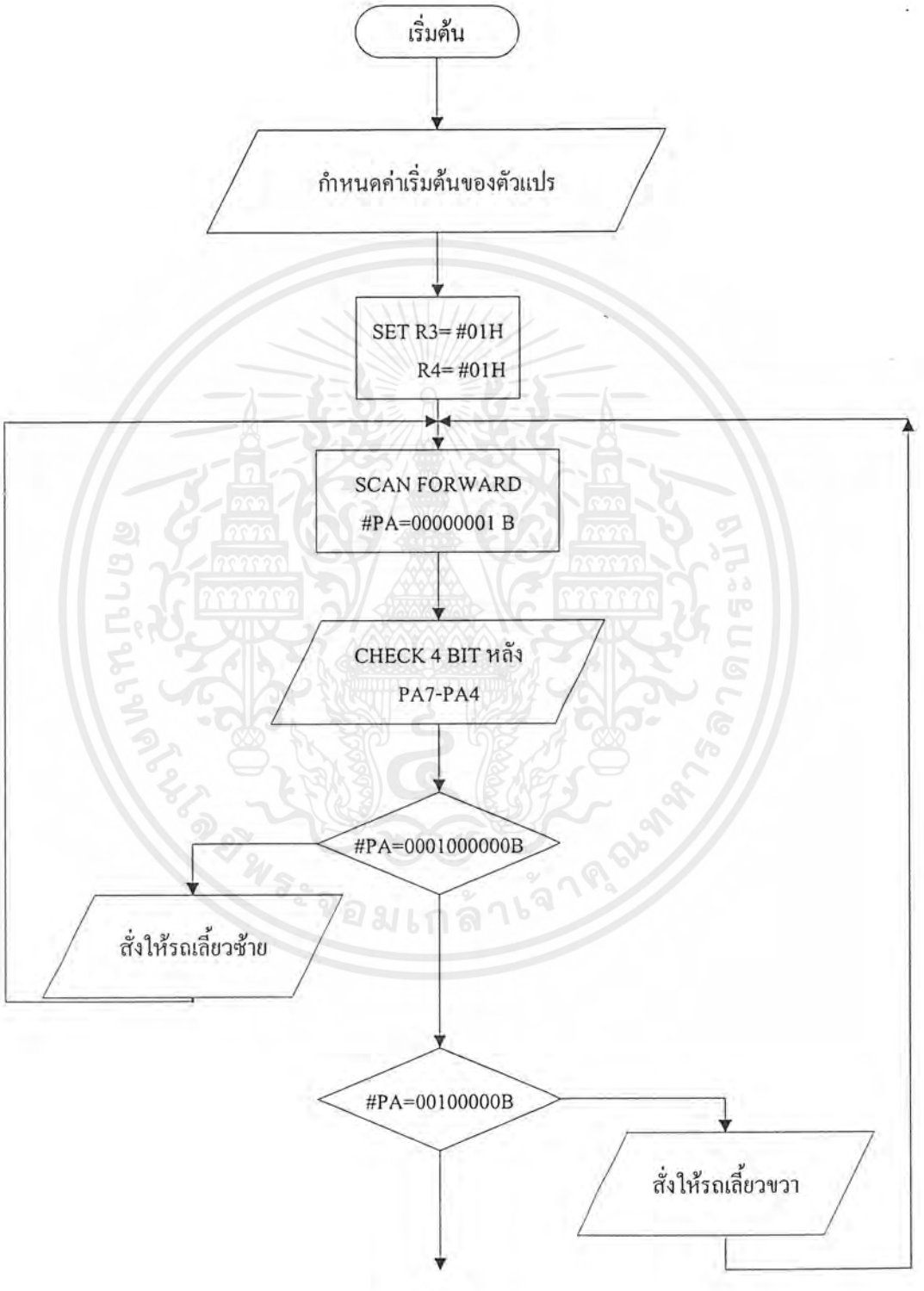
ก่อนที่จะใช้งานพอร์ท 8255 ผู้ใช้ต้องทำการกำหนดโหมดการทำงาน (configulation) ของพอรท A,B และ C ให้เป็นพอร์ทอินพุทหรือเอาท์พุท โดยทำการ control code ไปที่ MODE PORT ซึ่ง MODE PORT นี้สามารถเขียนได้เท่านั้นไม่สามารถอ่านได้ ซึ่งในที่นี้จะกล่าวเฉพาะการทำงานในโหมด 0 ซึ่งเป็นโหมดที่ใช้งานได้สะดวกและง่ายต่อการทำความเข้าใจ ดังแสดงค่า control code ใน ตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่า control code

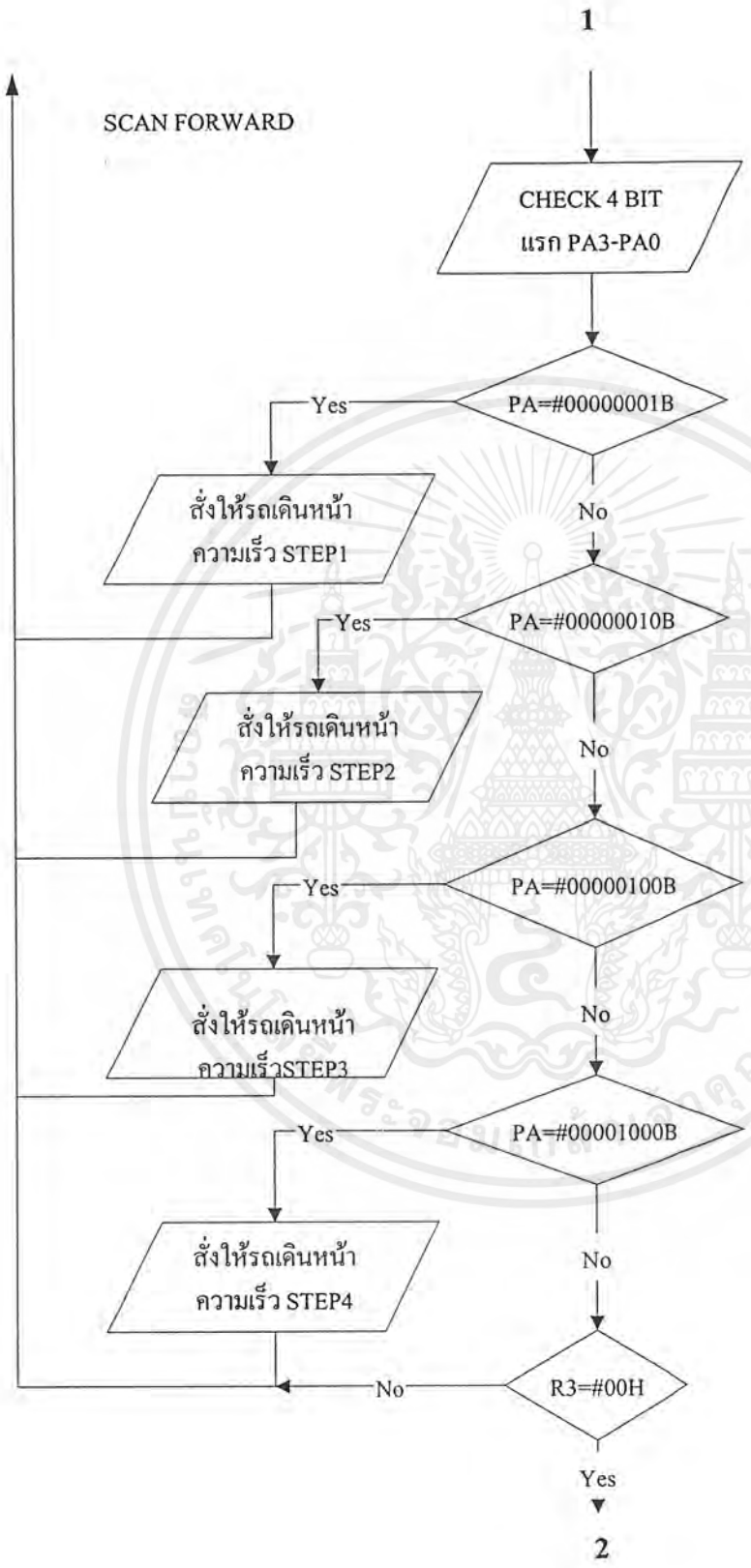
PORT A (PA0-PA7)	PORT C บน (PC4-PC7)	PORT B (PB0-PB7)	PORT C ล่าง (PC0-PC3)	CONTROL CODE (HEX)
Output	Output	Output	Output	80H
Output	Output	Output	Input	81H
Output	Output	Input	Output	82H
Output	Output	Input	Input	83H
Output	Input	Output	Output	88H
Output	Input	Output	Input	89H
Output	Input	Input	Output	8AH
Output	Input	Input	Input	8BH
Input	Output	Output	Output	90H
Input	Output	Output	Input	91H
Input	Output	Input	Output	92H
Input	Output	Input	Input	93H
Input	Input	Output	Output	98H
Input	Input	Output	Input	99H
Input	Input	Input	Output	9AH
Input	Input	Input	Input	9BH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

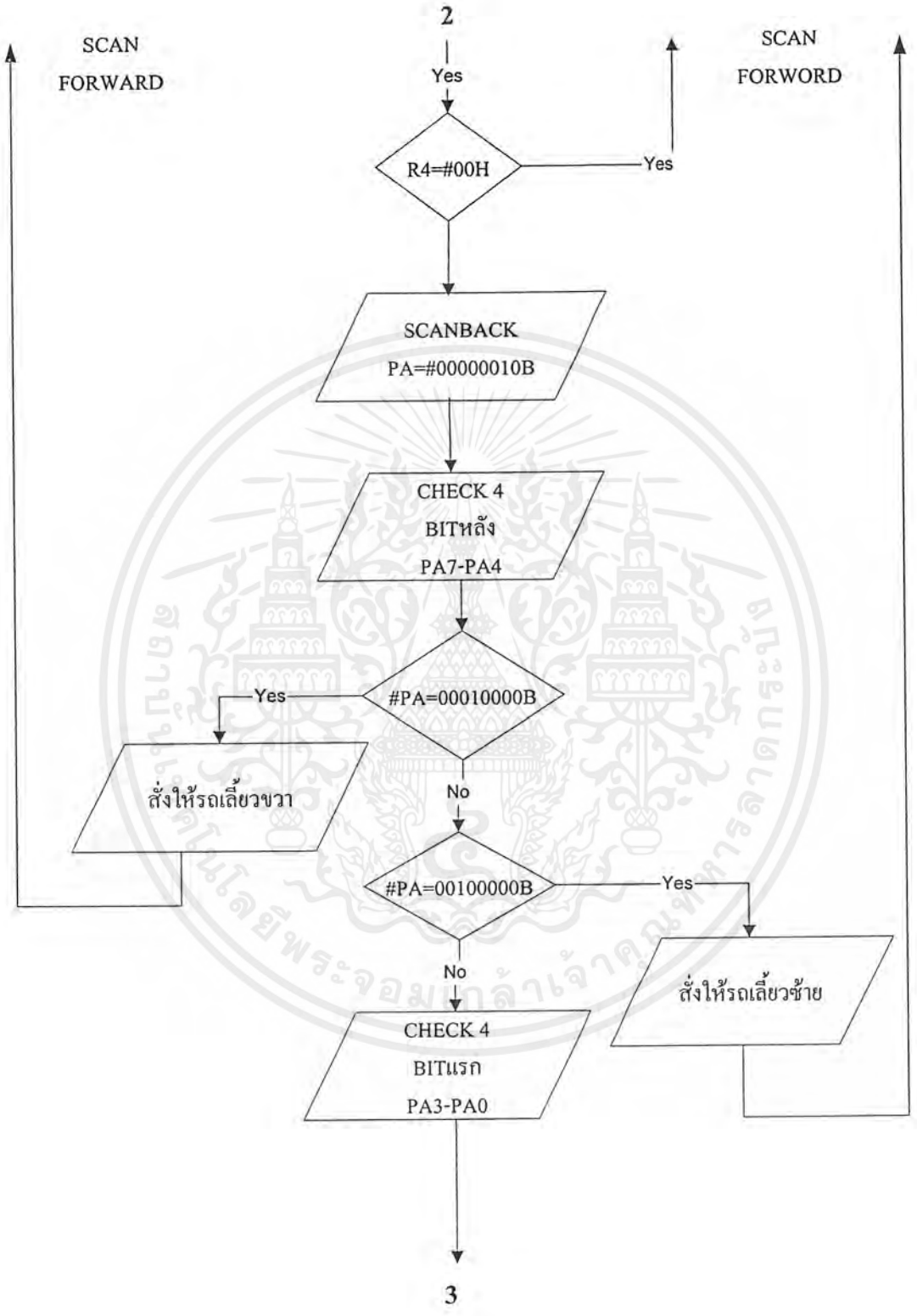
FLOW CHART



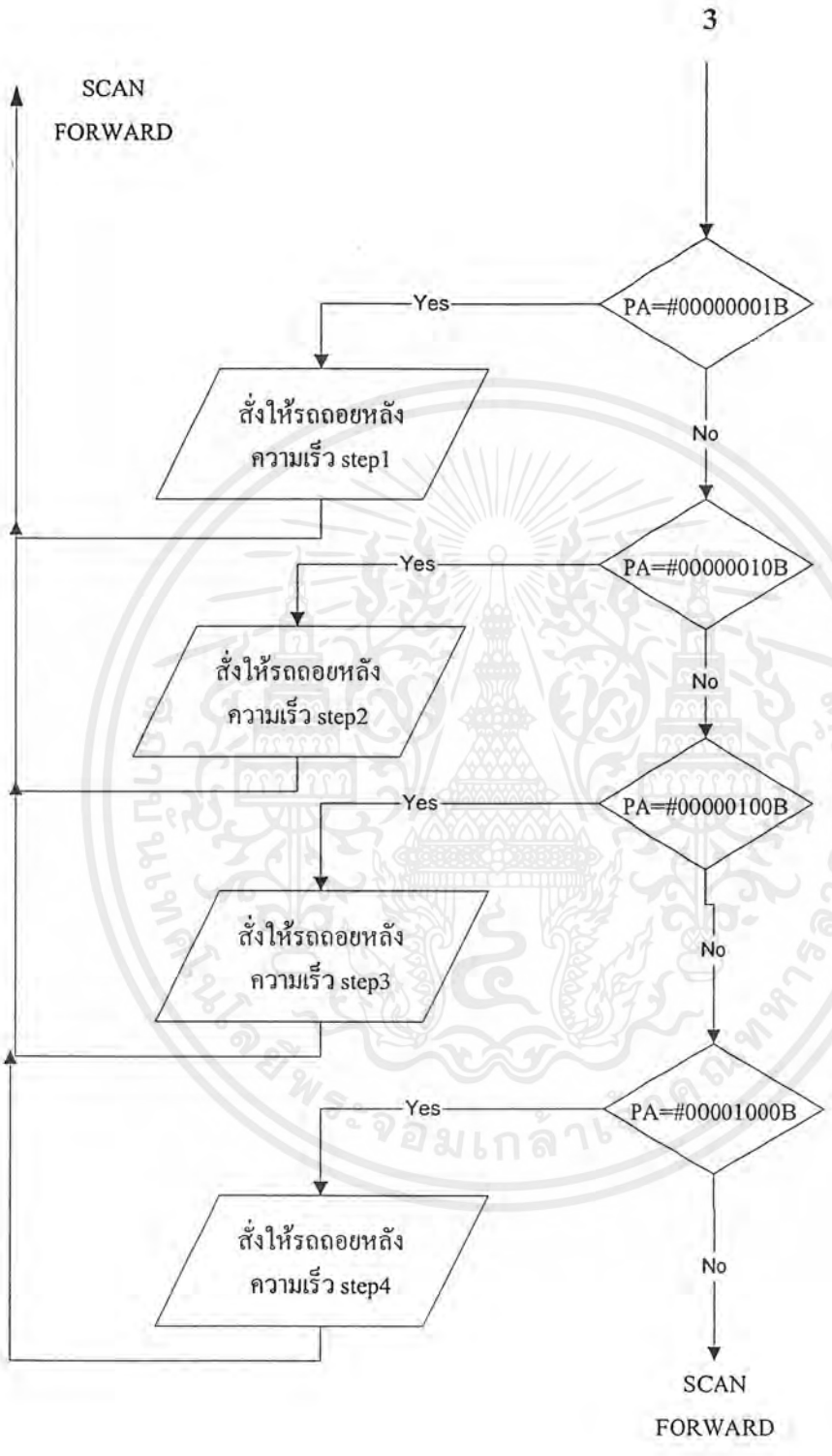
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม

```
PORT_A      EQU 0000H
PORT_B      EQU 0001H
PORT_C      EQU 0002H
FOR         EQU 00000001B
BAC         EQU 00000010B
MENU:       ORG  0000H
            MOV  DPTR,#0003H
            MOV  A,#80H
            MOVX @DPTR,A
            MOV  DPTR,#PORT_B
            MOV  A,#00000001B
            MOVX @DPTR,A
SET:        MOV  R4,#01H
            MOV  R3,#01H
START:      CJNE R3,#00B,SCAN_FOR
            CJNE R4,#00B,SCAN_BAC
            AJMP SET
;*******************************
SCAN_FOR:
            MOV  DPTR,#PORT_A
            MOV  A,#FOR
            MOVX @DPTR,A
            MOV  A,P1
            MOV  R5,A
            ANL  A,#11110000B
CHECK_RIGHTF:   CJNE A,#00010000B,CHECK_LEFTF
                CALL RIGHT
                MOV  DPTR,#PORT_B
                MOV  A,#00000001B
                MOVX @DPTR,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV  R7,#7H
WAIT1:          CALL DELAY2
                DJNZ R7,WAIT1
                MOV  A,P1
                ANL  A,#11110000B
                CJNE A,#00010000B,START
                JMP CHECK_RIGHTF
CHECK_LEFTF:    CJNE A,#00100000B,CHECKF
                CALL LEFT
                MOV  DPTR,#PORT_B
                MOV  A,#00000001B
                MOVX @DPTR,A
                MOV  R7,#7H
WAIT2:          CALL DELAY2
                DJNZ R7,WAIT2
                MOV  A,P1
                ANL  A,#11110000B
                CJNE A,#00100000B,START
                JMP CHECK_LEFTF
CHECKF:         MOV A,R5
                ANL A,#00001111B
                MOV R3,A
                LCALL DELAY2
                LCALL DELAY2
CHECK_1:        CJNE A,#00000000B,CHECK_2
                CALL STOP
                JMP  START
CHECK_2:        CJNE A,#00000001B,CHECK_3
                CALL STEP_F1
                JMP  START
CHECK_3:        CJNE A,#00000010B,CHECK_4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ที่ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CALL STEP_F2
                JMP  START
CHECK_4:        CJNE  A,#00000100B,CHECK_5
                CALL STEP_F3
                JMP  START
CHECK_5:        CJNE  A,#00001000B,START
                CALL STEP_F4
                JMP  START
;************************
SCAN_BAC:       MOV   DPTR,#PORT_B
                MOV   A,#00000001B
                MOVX  @DPTR,A
                MOV   DPTR,#PORT_A
                MOV   A,#BAC
                MOVX  @DPTR,A
                MOV   A,P1
                MOV   R6,A
                ANL   A,#11110000B
CHECK_RIGHTB:       CJNE  A,#00010000B,CHECK_LEFTB
                    CALL RIGHT
                    MOV   DPTR,#PORT_B
                    MOV   A,#00000001B
                    MOVX  @DPTR,A
                    MOV   R7,#7H
WAIT3:          CALL DELAY2
                DJNZ R7,WAIT3
                MOV   A,P1
                ANL   A,#11110000B
                CJNE  A,#00010000B,D1
                JMP CHECK_RIGHTB
D1:     LJMP START
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
CHECK_LEFTB:    CJNE A,#00100000B,CHECKB
                CALL LEFT
                MOV DPTR,#PORT_B
                MOV A,#00000001B
                MOVX @DPTR,A
                MOV R7,#7H
WAIT4:          CALL DELAY2
                DJNZ R7,WAIT4
                MOV A,P1
                ANL A,#11110000B
                CJNE A,#00100000B,D
                JMP CHECK_LEFTB
D:      LJMP START
        CHECKB:MOV A,R6
        ANL A,#00001111B
        MOV R4,A
        LCALL DELAY2
        LCALL DELAY2
CHECK_6:        CJNE A,#00000000B,CHECK_7
                CALL STOP
                JMP START
CHECK_7:        CJNE A,#00000001B,CHECK_8
                CALL STEP_B1
                JMP START
CHECK_8:        CJNE A,#00000010B,CHECK_9
                CALL STEP_B2
                JMP START
CHECK_9:        CJNE A,#00000100B,CHECK_10
                CALL STEP_B3
                JMP START
CHECK_10:       CJNE A,#00001000B,ST
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CALL STEP_B4
ST:     LJMP  START


;****************************************
STOP:           MOV  A,#00000000B
                MOV  DPTR,#PORT_C
                MOVX @DPTR,A
                RET
STEP_F1:        MOV  A,#11000000B
                MOV  DPTR,#PORT_C
                MOVX @DPTR,A
                CALL DELAY2
                MOV  R1,#02H
                MOV  A,#00000000B
                MOVX @DPTR,A
STOP_F1:        CALL DELAY2
                DJNZ  R1,STOP_F1
                MOV  A,#11000000B
                MOVX @DPTR,A
                CALL DELAY2
                RET
;**********************************
STEP_F2:        MOV  A,#11000000B
                MOV  DPTR,#PORT_C
                MOVX @DPTR,A
                CALL  DELAY3
                MOV  R1,#02H
                MOV  A,#00000000B
                MOVX @DPTR,A
STOP_F2:        CALL DELAY2
```

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                DJNZ  R1,STOP_F2
                MOV  A,#11000000B
                MOVX @DPTR,A
                CALL  DELAY3
                RET
;*************************************
STEP_F3:        MOV  A,#11000000B
                MOV  DPTR,#PORT_C
                MOVX @DPTR,A
                CALL DELAY3
                MOV  A,#00000000B
                MOVX @DPTR,A
                CALL DELAY2
                MOV  A,#11000000B
                MOVX @DPTR,A
                CALL DELAY3
                RET
;*************************************
STEP_F4:        MOV  A,#11000000B
                MOV  DPTR,#PORT_C
                MOVX @DPTR,A
                CALL DELAY2
                RET
;*****************************
STEP_B1:        MOV  A,#00000011B
                MOV  DPTR,#PORT_C
                MOVX @DPTR,A
                CALL DELAY2
                MOV  R1,#02H
                MOV  A,#00000000B
                MOVX @DPTR,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
STOP_B1:    CALL DELAY2
            DJNZ  R1,STOP_B1
            MOV  A,#00000011B
            MOVX @DPTR,A
            CALL DELAY2
            RET
;***********************************
STEP_B2:    MOV  A,#00000011B
            MOV  DPTR,#PORT_C
            MOVX @DPTR,A
            CALL  DELAY3
            MOV  R1,#02H
            MOV  A,#00000000B
            MOVX @DPTR,A
STOP_B2:    CALL DELAY2
            DJNZ  R1,STOP_B2
            MOV  A,#00000011B
            MOVX @DPTR,A
            CALL  DELAY3
            RET
;***********************************
STEP_B3:    MOV  A,#00000011B
            MOV  DPTR,#PORT_C
            MOVX @DPTR,A
            CALL DELAY3
            MOV  A,#00000000B
            MOVX @DPTR,A
            CALL DELAY2
            MOV  A,#00000011B
            MOVX @DPTR,A
            CALL DELAY3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                RET
;************************************
STEP_B4:        MOV  A,#00000011B
                MOV  DPTR,#PORT_C
                MOVX @DPTR,A
                CALL DELAY2
                RET
;************************************
RIGHT:
HIGH_R:         MOV  A,#10000001B
                MOV  DPTR,#PORT_C
                MOVX @DPTR,A
                CALL DELAY2
                MOV  A,#00000000B
                MOVX @DPTR,A
                MOV R1,#07H
STOP_R:         CALL DELAY2
                DJNZ  R1,STOP_R
                MOV  A,#10000001B
                MOVX @DPTR,A
                CALL DELAY2
                MOV DPTR,#0001
                MOV A,#00000000B
                MOVX @DPTR,A
                RET
;******************************
LEFT:
HIGH_L:         MOV  A,#01000010B
                MOV  DPTR,#PORT_C
                MOVX @DPTR,A
                CALL DELAY2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV  A,#00000000B
                MOVX @DPTR,A
                MOV R1,#0AH
STOP_L:         CALL DELAY2
                DJNZ  R1,STOP_L
                MOV  A,#01000010B
                MOVX @DPTR,A
                CALL DELAY2
                MOV DPTR,#0001
                MOV A,#00000000B
                MOVX @DPTR,A
                RET
;***** TIME 1 SEC ******
DELAY1:         PUSH 07H
                MOV  R7,#0FFH
LOOP_1:         PUSH 07H
                MOV  R7,#0FFH
LOOP_2:         PUSH 07H
                MOV  R7,#02H
LOOP_3:         DJNZ R7,LOOP_3
                POP  07H
                DJNZ R7,LOOP_2
                POP  07H
                DJNZ R7,LOOP_1
                POP  07H
                RET
DELAY2:         PUSH 07H
                MOV  R7,#050H
LOOP1:          PUSH 07H
                MOV  R7,#050H
LOOP2:          DJNZ R7,LOOP2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        POP  07H
        DJNZ R7,LOOP1
        POP  07H
        RET
DELAY3: PUSH 07H
        MOV  R7,#0FFH
LOOP10: PUSH 07H
        MOV  R7,#0FFH
LOOP20: DJNZ R7,LOOP20
        POP  07H
        DJNZ R7,LOOP10
        POP  07H
        RET
END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลอง

การทดลองที่ 1

ทำการวัดสัญญาณที่เอาท์พุทของภาคส่งสัญญาณโดยทำการต่อโหลดที่เอาท์พุท 50 โอห์มแล้วทำการวัดสัญญาณ คำนวณหากำลังส่ง

ผลการทดลองที่1

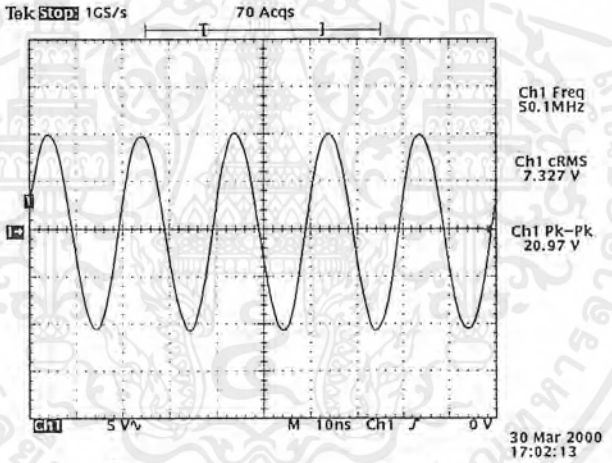
วัดสัญญาณได้ดังรูปที่1

Output Voltage Peak to Peak = 20.97 V

Vrms = 7.327 V

ความถี่เอาท์พุท = 50.1 MHz

กำลังส่ง = ($Vrms^2$) / RL = 7.327^2 /50 = 1.0 Watts



รูปที่ 5.1 แสดงสัญญาณเอาท์พุทที่ภาคส่ง

การทดลองที่ 2

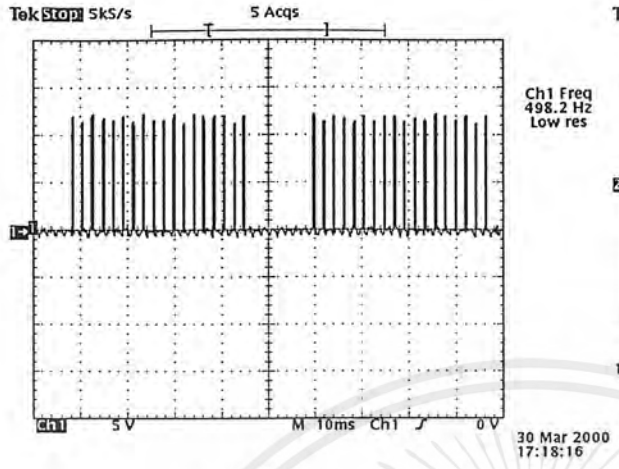
2.1 ทำการส่งสัญญาณข้อมูลจากภาคส่ง แล้วทำการวัดสัญญาณข้อมูลภาคส่ง

2.2 วัดสัญญาณภาครับ

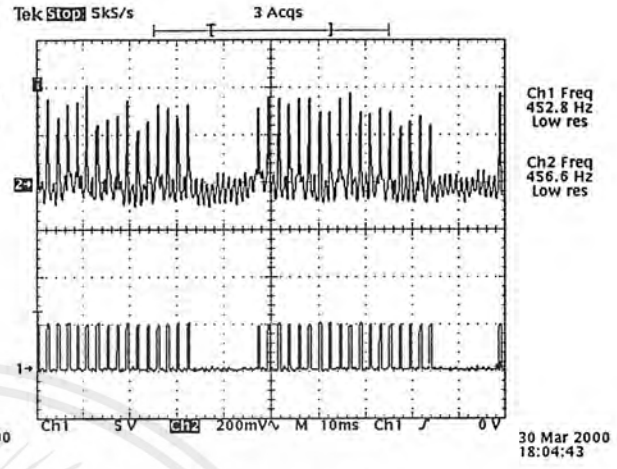
2.3 ทำการเปรียบเทียบข้อมูลทางภาคส่ง และภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่2

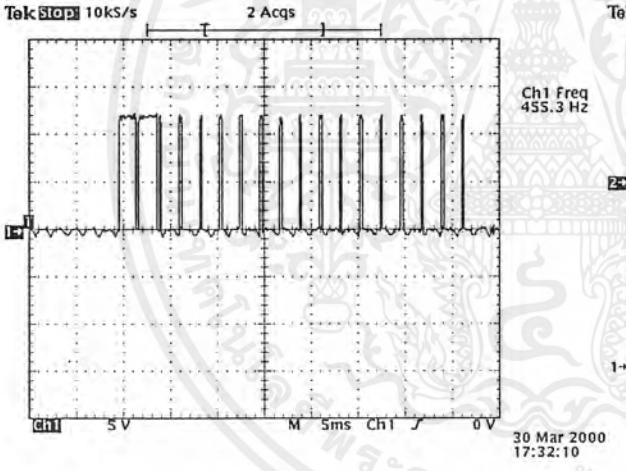


ก.

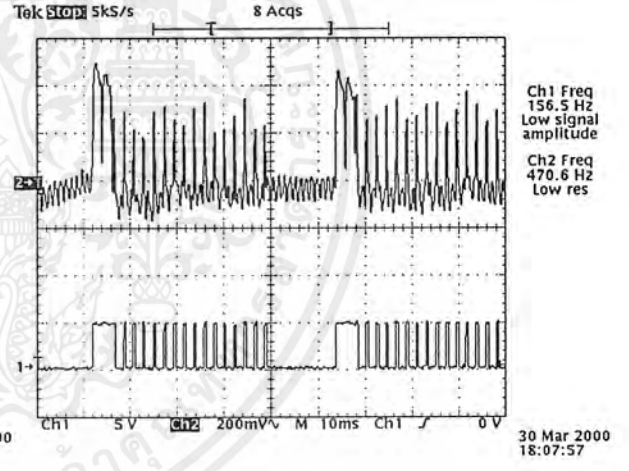


ข.

รูปที่ 5.2 หยุดการทำงาน



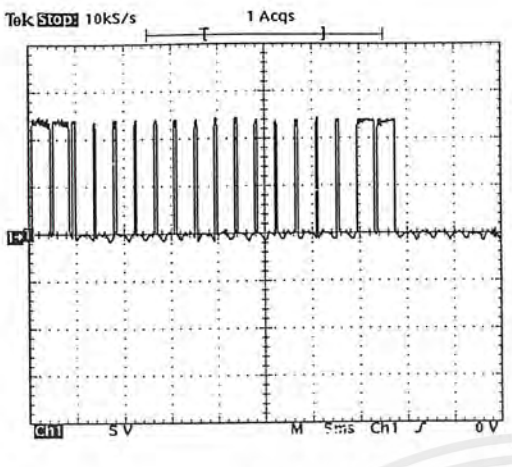
ก.



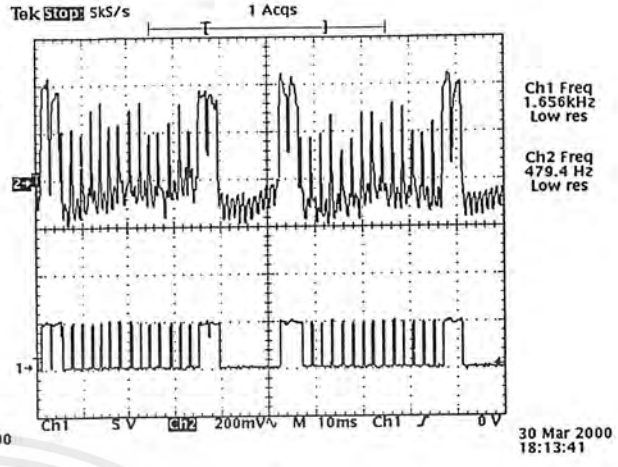
ข.

รูปที่ 5.3 หยุดการเดินหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

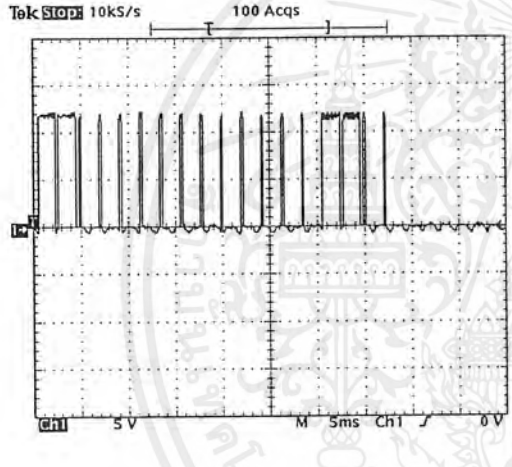


ก.

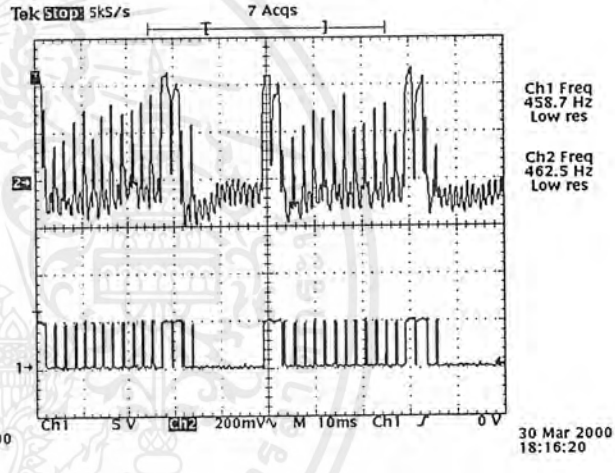


ข.

รูปที่ 5.4 เดินหน้า step 1

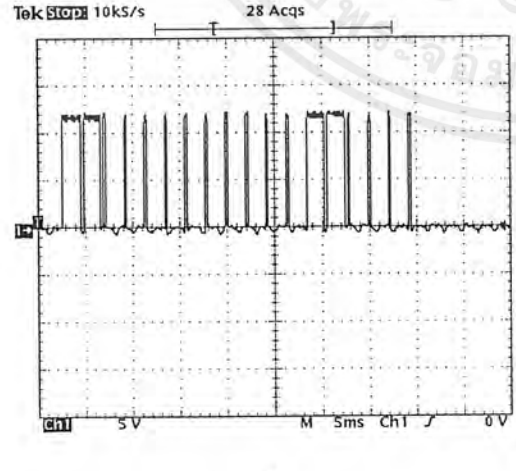


ก.

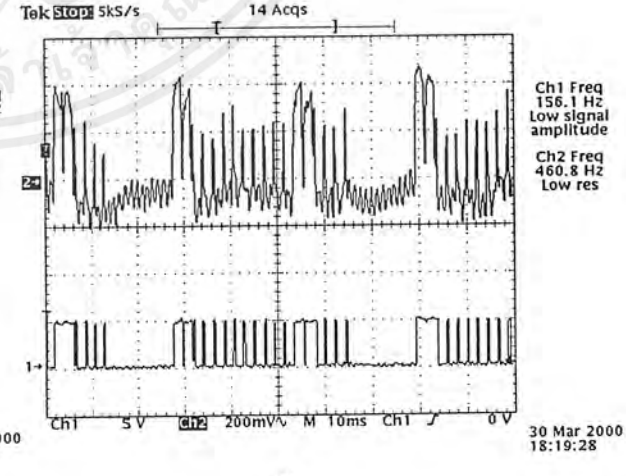


ข.

รูปที่ 5.5 เดินหน้า step 2



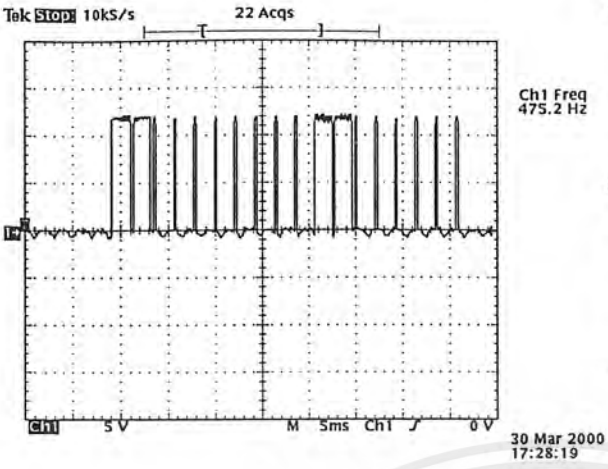
ก.



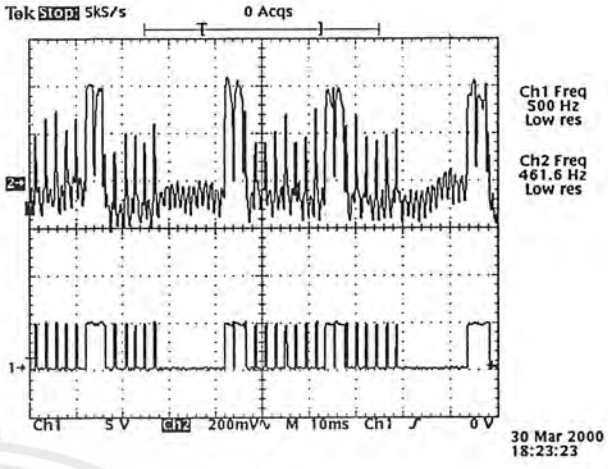
ข.

รูปที่ 5.6 เดินหน้า step 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

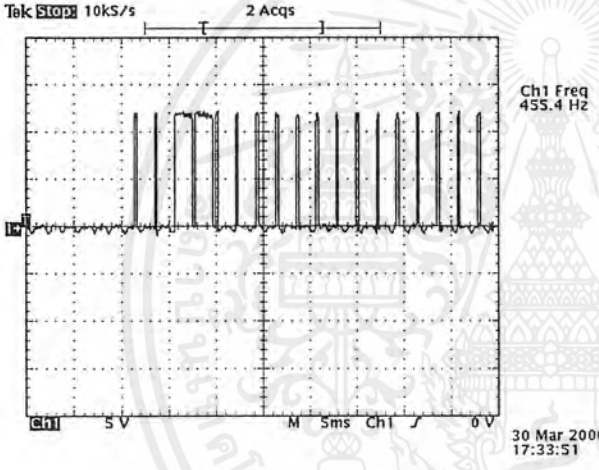


ก.

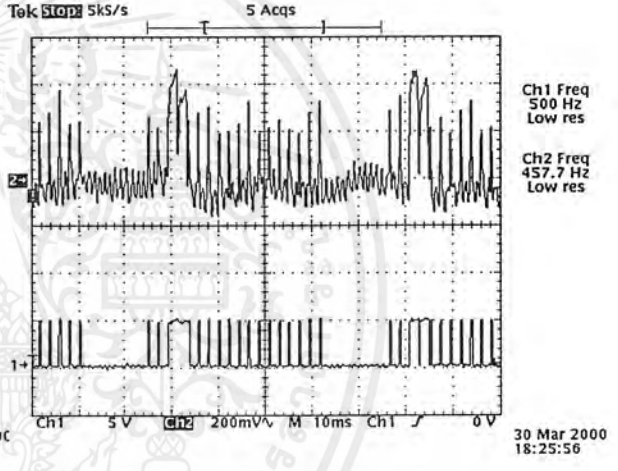


ข.

รูปที่5.7 เดินหน้า step 4

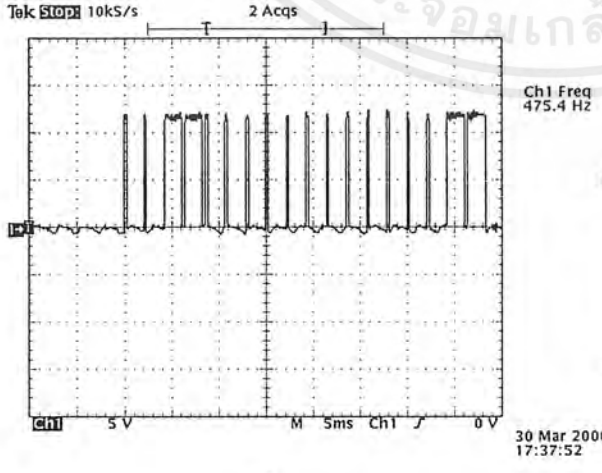


ก.

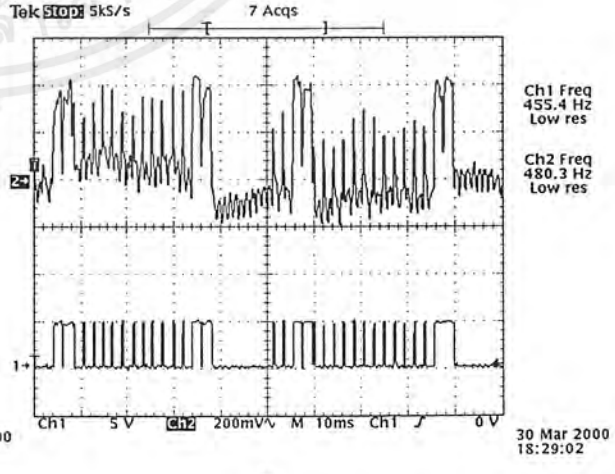


ข.

รูปที่ 5.8 หยุดการถอยหลัง



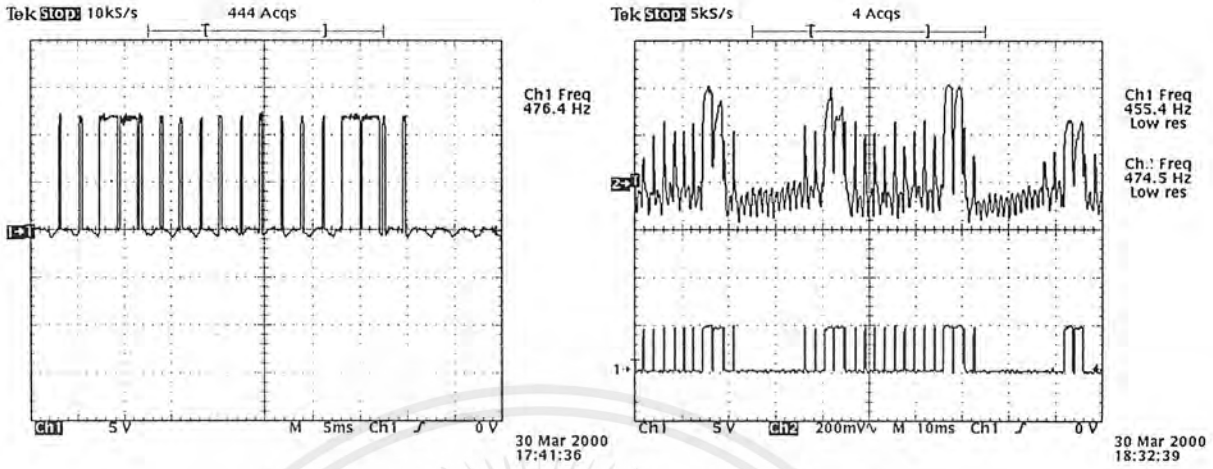
ก.



ข.

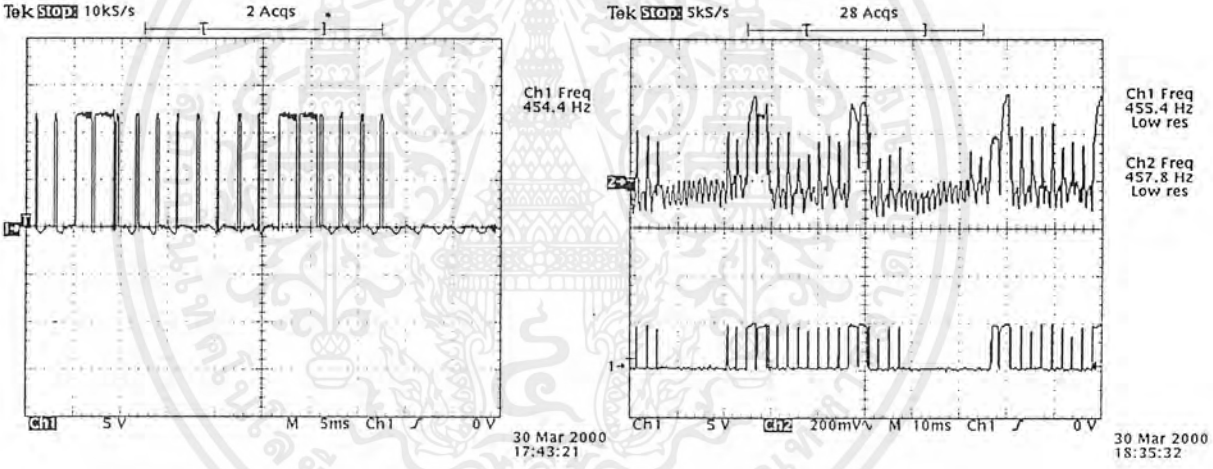
รูปที่5.9 ถอยหลัง step 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. ข.

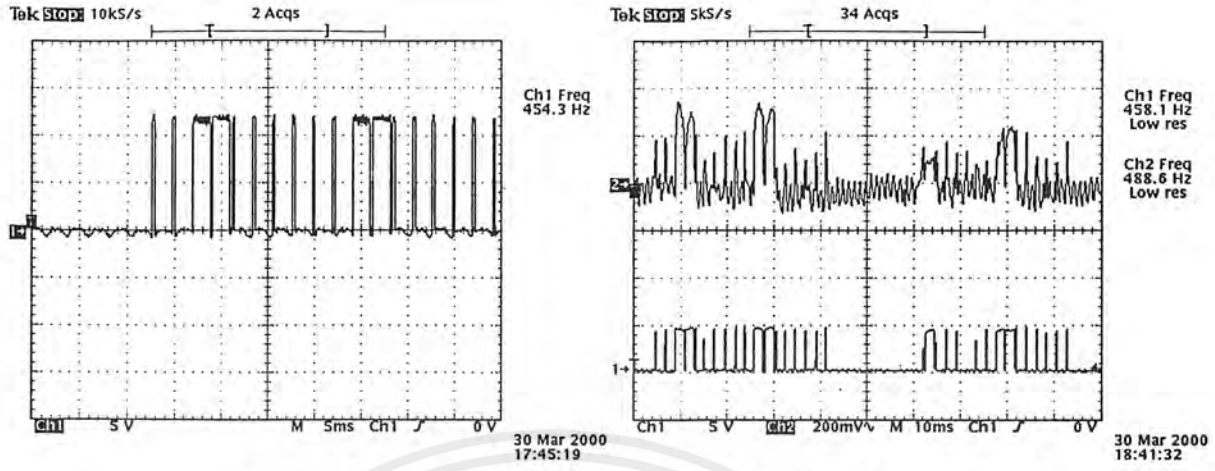
รูปที่5.10 ถอยหลัง step 2



ก. ข.

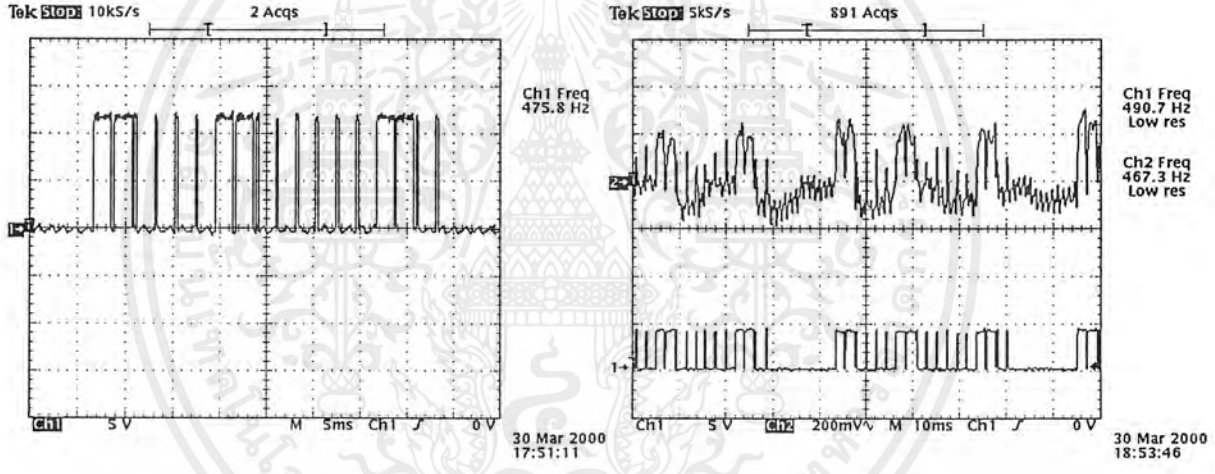
รูปที่ 5.11 ถอยหลัง step 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



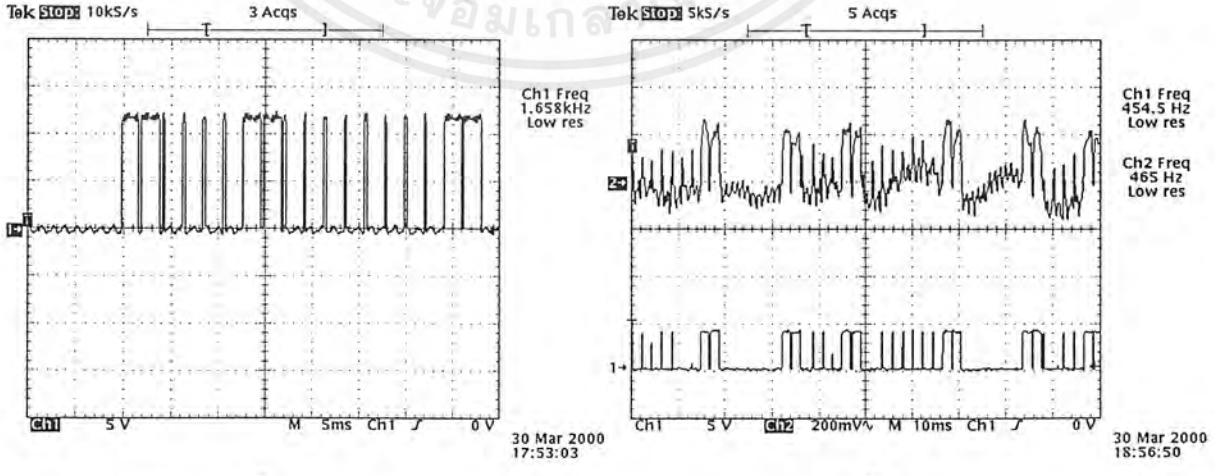
ก. ข.

รูปที่5.12 ถอยหลัง step 4



ก. ข.

รูปที่ 5.13 เลี้ยวซ้าย



ก. ข.

รูปที่ 5.14 เลี้ยวขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ รูปที่ 5.2 – รูปที่5.14 จะแบ่งเป็นรูป ก และรูป ข

- รูป ก แสดงรูปสัญญาณทางภาคส่ง
- รูป ข แสดงรูปสัญญาณทางภาครับแบ่ง เป็น 2 channel

Ch1คือรูปสัญญาณที่ได้จากการดีมอดดูเลท

Ch2 คือรูปสัญญาณที่ทำการแต่งสัญญาณทางภาครับเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง

ตารางที่ 5.1 :แสดงสถานะและตำแหน่งข้อมูล

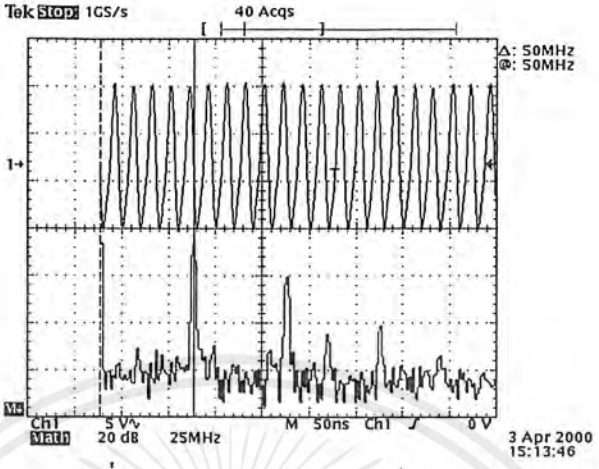
รูปที่	สถานะข้อมูล								ตำแหน่งข้อมูล
	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	
5.2	0	0	0	0	0	0	0	0	หยุดการทำงาน
5.3	1	0	0	0	0	0	0	0	หยุดการเดินหน้า
5.4	1	0	0	0	0	0	0	1	เดินหน้าstep1
5.5	1	0	0	0	0	0	1	0	เดินหน้าstep2
5.6	1	0	0	0	0	1	0	0	เดินหน้าstep3
5.7	1	0	0	0	1	0	0	0	เดินหน้าstep4
5.8	0	1	0	0	0	0	0	0	หยุดการถอยหลัง
5.9	0	1	0	0	0	0	0	1	ถอยหลังstep1
5.10	0	1	0	0	0	0	1	0	ถอยหลังstep2
5.11	0	1	0	0	0	1	0	0	ถอยหลังstep3
5.12	0	1	0	0	1	0	0	0	ถอยหลังstep4
5.13	1	0	0	1	0	0	1	0	เลี้ยวซ้าย
5.14	1	0	0	1	0	0	0	1	เลี้ยวขวา

การทดลองที่ 3

ทำการวัดสัญญาณสเปคตรัมเอาท์พุทที่ภาคส่งแล้วทำการบันทึกรูปสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ 3



รูปที่ 5.15แสดงเสปคตรัมเอาท์พุท

ที่ ch1 แสดงแรงดันที่ความถี่ 50 MHz

ที่ M1 แสดงเสปคตรัมที่เอาท์พุท จะเห็นว่าจะมีเส้นเสปคตรัมที่ 50 MHz สูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปและวิจารณ์โครงงาน

6.1 สรุปผลการปฏิบัติงาน

การปฏิบัติงานได้มีการทำไปตามขั้นตอนจากบล็อกไดอะแกรมที่วางไว้ ในแต่ละส่วนของวงจรก็จะทำการออกแบบและอ้างอิงทฤษฎีที่ได้เรียนมา เพื่อสามารถสร้างวงจรที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากนั้นจึงมาพิจารณาความเป็นไปได้ ผลขององค์ประกอบต่างๆ ซึ่งมีผลต่อสัญญาณ แล้วทำการปรับแต่งจนได้ค่าที่เหมาะสม

การทดลองสามารถบังคับรถเคลื่อนที่ได้ตามต้องการ แต่ไม่สามารถออกแบบให้มีกำลังส่งถึง 5 วัตต์ เนื่องจากต้องมีการปรับพารามิเตอร์ที่ซับซ้อนยุ่งยาก

สำหรับลักษณะการเคลื่อนที่ของรถ เนื่องจาก การออกแบบทาง mechanic ยังไม่ดีเท่าที่ควร ทำให้การเคลื่อนที่ยังไม่ราบเรียบ

6.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน

สามารถสรุปปัญหาและอุปสรรคที่ได้ประสบขณะที่ได้ทำการทดลองดังนี้

- อุปกรณ์ที่ใช้งานมีราคาแพง และหาซื้อได้ยาก
- เนื่องจากวงจรใช้งานในย่านความถี่สูง ดังนั้นจึงไม่สามารถทดลองกับบอร์ดได้ สาเหตุเพราะการเคลื่อนอุปกรณ์มีผลต่อความถี่ และการวางรูปแบบของวงจรที่ต่างกันจะให้ผลที่ต่างกัน ดังนั้นการทดลองแต่ละครั้ง ต้องลงแผ่นปริ๊นท์ทุกครั้ง ทำให้ยุ่งยากทดลอง หากต้องการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ลายวงจรยังมีผลต่อสัญญาณที่ได้ เนื่องจากที่ความถี่สูง ลายวงจรจะเสมือน L และ C
- การออกแบบวงจรที่ใช้งานในความถี่สูง มีความยุ่งยากกว่าวงจรที่ใช้งานในความถี่ต่ำเนื่องจากต้องพิจารณาอุปกรณ์จำพวก passive (L,C) ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณเมื่อมาทดลองจริงอาจไม่สามารถทำงานได้จริง ต้องปรับเปลี่ยนจนได้ค่าที่เหมาะสม
- ค่าของตัวเหนี่ยวนำเป็นค่าที่ไม่สามารถหาซื้อได้ ต้องทำการพันเอง ซึ่งเป็นการยากที่จะได้ค่าที่กำหนดไว้

6.3 แนวทางการแก้ไข

- ค่อนข้างจะหาวิธีการแก้ไขได้ยาก เนื่องจากเป็นสิ่งที่ต้องเกิดขึ้นได้อยู่แล้ว หนทางที่ดีที่สุด คือ เพิ่มความพิถีพิถันในการออกแบบ และในการทดลอง และทำการพิจารณาไปทีละจุด เพื่อสามารถหาสาเหตุได้ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้งาน

เนื่องจากระบบควบคุมเป็นควบคุมแบบไร้สายจึงย่อมเป็นการสะดวกในการควบคุมอุปกรณ์ปลายทางที่อยู่ระยะไกลได้ ขอบเขตในการควบคุมสามารถคลอบคลุมพื้นที่ได้กว้างตามต้องการ การประยุกต์ใช้งาน ก็จะเป็นในส่วนของอุปกรณ์ปลายทางที่เราจะทำการควบคุม อาจจะใช้ควบคุมรถสำรวจลาดตระเวณ เพื่อสำรวจในพื้นที่ที่เราไม่สามารถเข้าไปถึง หรืออันตรายเกินกว่าจะเข้าไปสำรวจด้วยตนเอง เราก็สามารถควบคุมรถดังกล่าวในระยะทางไกล โดยสิ่งที่เพิ่มเติมเข้ามาคือ การใช้ซอฟท์แวร์เข้ามาควบคุมเพื่อให้สามารถปฏิบัติงานได้เพิ่มขึ้น หรือทำหน้าที่ในการส่งผลกลับมาเพื่อใช้ในการควบคุมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. ซีเอ็ดบุ๊ค, "เครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร" , 2530
2. "Electronic Laboratory II " , ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าวเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. Stephin R.Fleeman , "Electronic Devices Discrete and Integrated", 1990
4. สุนทร วิทูสุรพจน์ . "การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051" : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
5. ปรเมษฐ์ ประนยานันทน์ , ปิยพงศ์ เผ่าวานิช . "คู่มือและการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51" : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณอาจารย์พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ กับคำแนะนำ แนวคิดที่จุดประกายโปรเจคนี้ขึ้น ขอบคุณอาจารย์ประภากรที่ให้ความช่วยเหลือ (ให้ยืมอุปกรณ์ด้วย) ขอบคุณอาจารย์พลผดุงที่ให้ยืมอุปกรณ์ (ยืมหลายคน) ขอบคุณพี่จ๊อยที่ช่วยเหลือ(ให้ฟังเพลงเพราะๆด้วย) ขอบคุณภาควิชาโทรคมนาคมเป็นอย่างสูง(ประสบการณ์มากมายที่ได้มาได้ใช้แล้วครับ) ขอบพระคุณแม่ที่ให้กำลังใจตลอดมาไม่ว่าจะเหนื่อยยังไง แม่ก็จะเป็นที่พักใจให้เสมอ ขอบใจเพื่อนๆ ทุกคน ไม่ว่าจะเป็นเพื่อนเติ้ล เพื่อนพลอย 2 คนนี้ให้ยืมอุปกรณ์ตลอด(ให้อาหารด้วย) เพื่อนปอนด์(เตี้ย) ที่ให้อุปกรณ์ยืมเช่นกัน ขอบใจพี่โรงเรียนทุกคน ขอบใจน้องๆ ที่มาช่วยให้ความสนุกสนานเวลาทำโปรเจค ไม่ว่าจะเป็น น้องเรื่อง(เป็นคนรถรับส่งทุกวัน) น้องโต้ย(น้องรหัสคนดี)ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับ Power Amplifier (แต่ทำแล้วไม่เวิร์ค) ขอบใจ seven eleven ที่เป็นอู่ข้าวอู่น้ำตลอดการทำโปรเจค(ดีนะที่ไม่ยอมหยุดสักวัน) สุดท้าย ขอบคุณ ห้องโปรเคจ B 405 สถานที่ที่ใช้ชีวิตอยู่ได้อย่างปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA

MC2833

Low Power FM Transmitter System

MC2833 is a one–chip FM transmitter subsystem designed for cordless telephone and FM communication equipment. It includes a microphone amplifier, voltage controlled oscillator and two auxiliary transistors.

- Wide Range of Operating Supply Voltage (2.8–9.0 V)
- Low Drain Current (I_{CC} = 2.9 mA Typ)
- Low Number of External Parts Required
- – 30 dBm Power Output to 60 MHz Using Direct RF Output
- +10 dBm Power Output Attainable Using On–Chip Transistor Amplifiers
- Users Must Comply with Local Regulations on R.F. Transmission (FCC, DOT, P.T.T., etc)

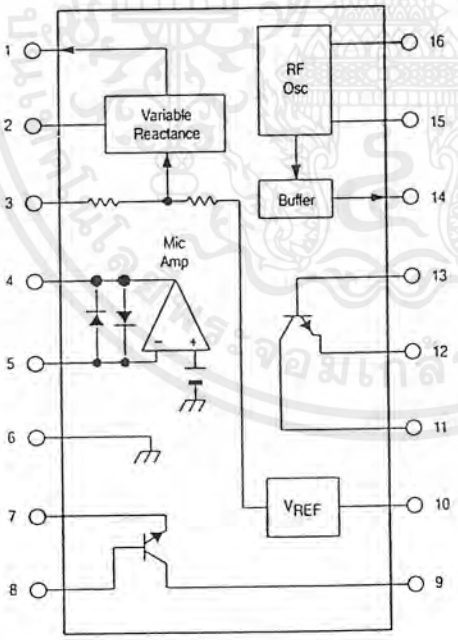
LOW POWER FM TRANSMITTER SYSTEM

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

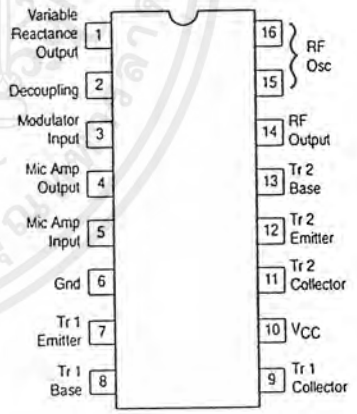
P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 648

D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751B
(SO–16)

Representative Block Diagram



PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
MC2833D	T_A = – 30 to +75°C	SO–16
MC2833P		Plastic DIP

© Motorola, Inc. 1995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIMUM RATINGS

Rating	Pin	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage	4, 19	V_{CC} (max)	6.5	Vdc
RF Input Voltage	22	RF_{in}	1.0	Vrms
Junction Temperature	–	T_J	+150	°C
Storage Temperature Range	–	T_{stg}	– 65 to +150	°C

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Rating	Pin	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage	4, 19	V_{CC}	2.0 to 6.0	Vdc
Maximum 1st IF	–	f_{IF1}	21	MHz
Maximum 2nd IF	–	f_{IF2}	3.0	MHz
Ambient Temperature Range	–	T_A	– 40 to + 85	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A=25°C, V_{CC}=4.0Vdc, f_o=49.7MHz, f_{MOD}=1.0kHz, Deviation=±3.0kHz, f_{1stLO}=39MHz, f_{2nd} LO=10.245MHz, IF1=10.7MHz, IF2=455kHz, unless otherwise noted. All measurements performed in the test circuit of Figure 1.)

Characteristic	Condition	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Total Drain Current	No Input Signal	I_{CC}	–	4.0	6.0	mAdc
Sensitivity (Input for 12 dB SINAD)	Matched Input	V_{SIN}	–	1.0	–	µVrms
Recovered Audio MC13135 MC13136	V_{RF} = 1.0 mV	AF_O	 170 215	 220 265	 300 365	mVrms
Limiter Output Level (Pin 14, MC13136)		V_{LIM}	–	130	–	mVrms
1st Mixer Conversion Gain	V_{RF} = – 40 dBm	MX_{gain1}	–	12	–	dB
2nd Mixer Conversion Gain	V_{RF} = – 40 dBm	MX_{gain2}	–	13	–	dB
First LO Buffered Output	–	V_{LO}	–	100	–	mVrms
Total Harmonic Distortion	V_{RF} = – 30 dBm	THD	–	1.2	3.0	%
Demodulator Bandwidth	–	BW	–	50	–	kHz
RSSI Dynamic Range	–	RSSI	–	70	–	dB
First Mixer 3rd Order Intercept (Input)	 Matched Unmatched	TOI_{Mix1}	 – –	 –17 –11	 – –	dBm
Second Mixer 3rd Order Intercept (RF Input)	Matched Input	TOI_{Mix2}	–	– 27	–	dBm
First LO Buffer Output Resistance	–	R_{LO}	–	–	–	Ω
First Mixer Parallel Input Resistance	–	R	–	722	–	Ω
First Mixer Parallel Input Capacitance	–	C	–	3.3	–	pF
First Mixer Output Impedance	–	ZO	–	330	–	Ω
Second Mixer Input Impedance	–	Z_I	–	40	–	kΩ
Second Mixer Output Impedance	–	ZO	–	1.8	–	kΩ
Detector Output Impedance	–	ZO	–	25	–	Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST CIRCUIT INFORMATION

Although the MC13136 can be operated with a ceramic discriminator, the recovered audio measurements for both the MC13135 and MC13136 are made with an LC quadrature detector. The typical recovered audio will depend on the external circuit; either the Q of the quad coil, or the RC matching network for the ceramic discriminator. On the MC13136, an external capacitor between Pins 13 and 14 can be used with a quad coil for slightly higher recovered audio. See Figures 10 through 13 for additional information.

Since adding a matching circuit to the RF input increases the signal level to the mixer, the third order intercept (TOI) point is better with an unmatched input (50 Ω from Pin 21 to Pin 22). Typical values for both have been included in the Electrical Characterization Table. TOI measurements were taken at the pins with a high impedance probe/spectrum analyzer system. The first mixer input impedance was measured at the pin with a network analyzer.

Figure 1a. MC13135 Test Circuit

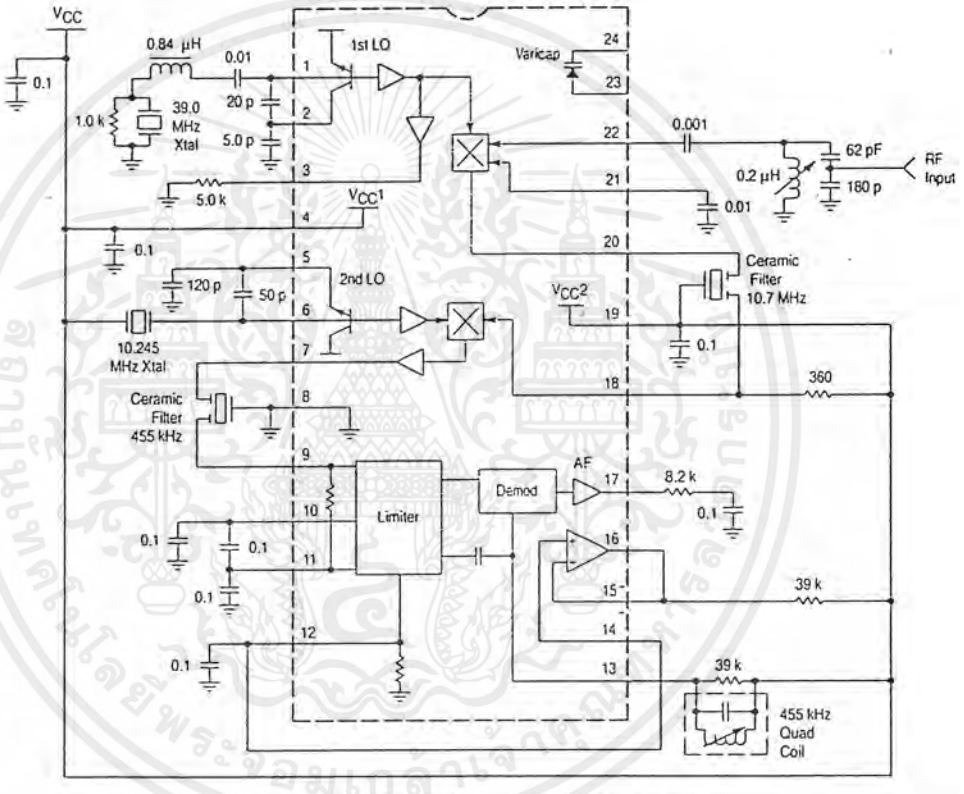
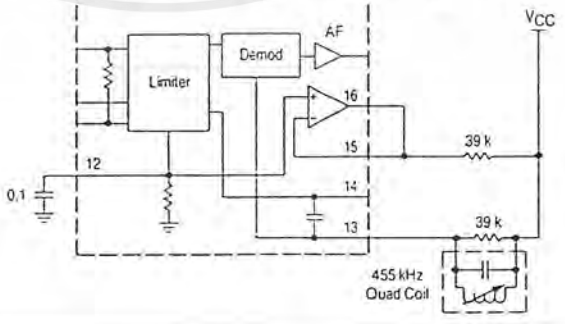


Figure 1b. MC13136 Quad Detector Test Circuit



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 2. Supply Current versus Supply Voltage

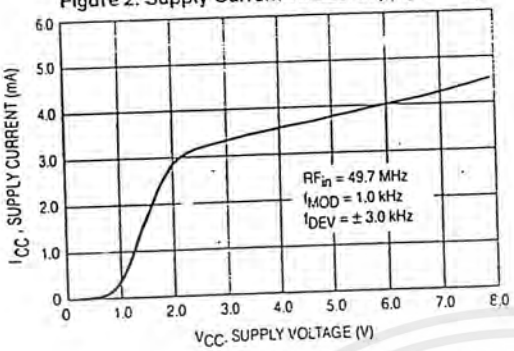


Figure 3. RSSI Output versus RF Input

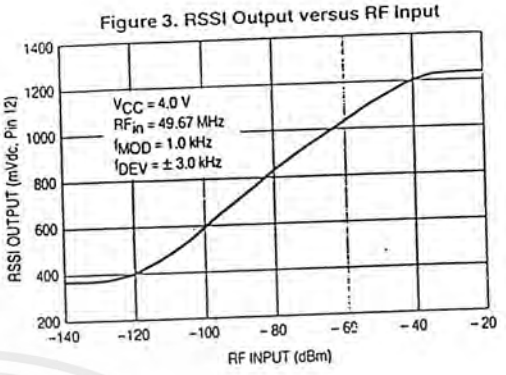


Figure 4. Varactor Capacitance, Resistance versus Bias Voltage

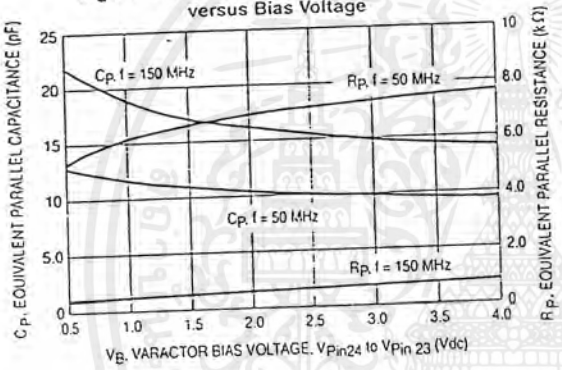


Figure 5. Oscillator Frequency versus Varactor Bias

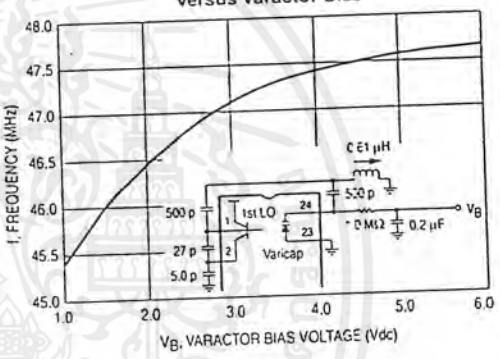


Figure 6. Signal Levels versus RF Input

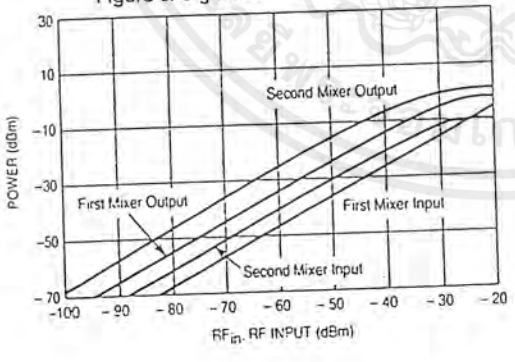
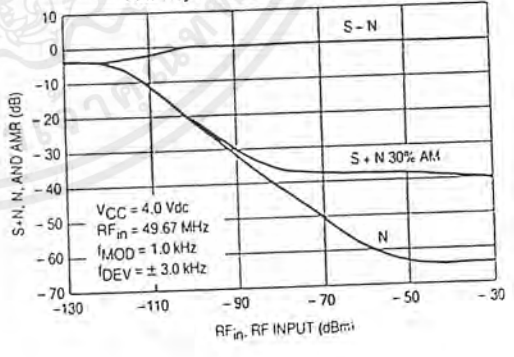


Figure 7. Signal + Noise, Noise, and AM Rejection versus Input Power



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC145026
MC145027
MC145028
SC41343
SC41344

2

Encoder and Decoder Pairs
CMOS

These devices are designed to be used as encoder/decoder pairs in remote control applications.

The MC145026 encodes nine lines of information and serially sends this information upon receipt of a transmit enable ($\overline{TE}$) signal. The nine lines may be encoded with trinary data (low, high, or open) or binary data (low or high). The words are transmitted twice per encoding sequence to increase security.

The MC145027 decoder receives the serial stream and interprets five of the trinary digits as an address code. Thus, 243 addresses are possible. If binary data is used at the encoder, 32 addresses are possible. The remaining serial information is interpreted as four bits of binary data. The valid transmission (VT) output goes high on the MC145027 when two conditions are met. First, two addresses must be consecutively received (in one encoding sequence) which both match the local address. Second, the 4 bits of data must match the last valid data received. The active VT indicates that the information at the Data output pins has been updated.

The MC145028 decoder treats all nine trinary digits as an address which allows 19,683 codes. If binary data is encoded, 512 codes are possible. The VT output goes high on the MC145028 when two addresses are consecutively received (in one encoding sequence) which both match the local address.

- Operating Temperature Range: – 40 to + 85°C
- Very–Low Standby Current for the Encoder: 300 nA Maximum @ 25°C
- Interfaces with RF, Ultrasonic, or Infrared Modulators and Demodulators
- RC Oscillator, No Crystal Required
- High External Component Tolerance: Can Use ± 5% Components
- Internal Power–On Reset Forces All Decoder Outputs Low
- For Infrared Applications, See Applications Notes AN1016 and AN1126
- Operating Voltage Range: MC145026 = 2.5 to 18 V*
  MC145027, MC145028 = 4.5 to 18 V
- Low–Voltage Versions Available:
  SC41343 = 2.8 to 10 V Version of the MC145027
  SC41344 = 2.8 to 10 V Version of the MC145028

P SUFFIX
PLASTIC DIP
CASE 648

D SUFFIX
SOG PACKAGE
CASE 751B

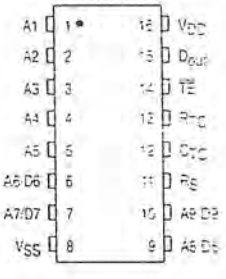
DW SUFFIX
SOG PACKAGE
CASE 751G

ORDERING INFORMATION

MC145026P MC145026D	Plastic DIP SOG Package
MC145027P, SC41343P MC145027DW, SC41343DW	Plastic DIP SOG Package
MC145028P, SC41344P MC145028DW, SC41344DW	Plastic DIP SOG Package

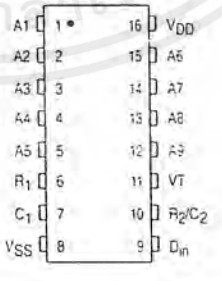
PIN ASSIGNMENTS

MC145026
ENCODER



MC145027/SC41343
DECODERS

MC145028/SC41344
DECODERS



* All MC145026 devices manufactured after date code 9314 or 314 are guaranteed over this wider voltage range. All previous designs using the low–voltage SC41342 should convert to the MC145026, which is a drop–in replacement. The SC41342 part number will be discontinued.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

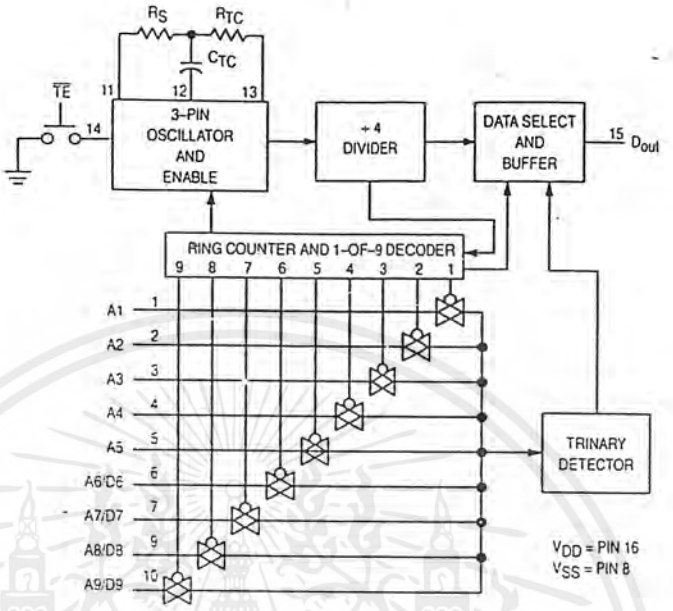


Figure 1. MC145026 Encoder Block Diagram

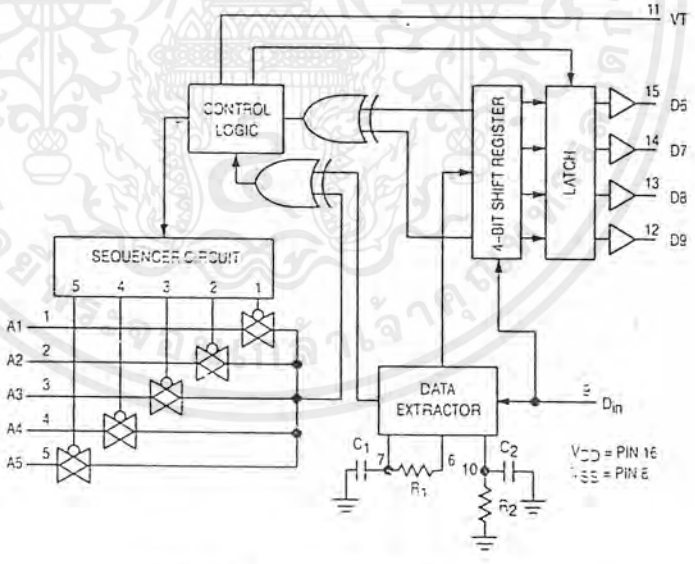


Figure 2. MC145027 Decoder Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

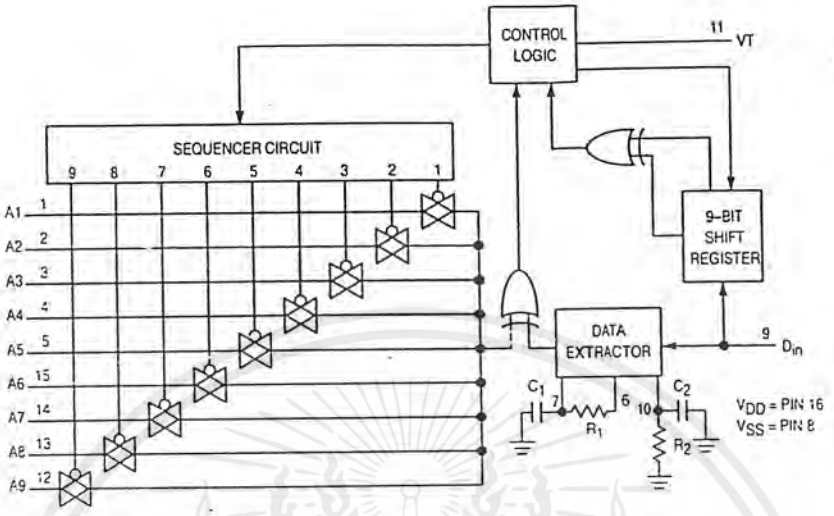


Figure 3. MC145028 Decoder Block Diagram

MAXIMUM RATINGS* (Voltages Referenced to V_{SS})

Rating	Symbol	Value	Unit
V_{DD}	DC Supply Voltage (except SC41343, SC41344)	− 0.5 to + 18	V
V_{DD}	DC Supply Voltage (SC41343, SC41344 only)	− 0.5 to + 10	V
V_{in}	DC Input Voltage	− 0.5 to V_{DD} + 0.5	V
V_{out}	DC Output Voltage	− 0.5 to V_{DD} + 0.5	V
I_{in}	DC Input Current, per Pin	± 10	mA
I_{out}	DC Output Current, per Pin	± 10	mA
P_D	Power Dissipation, per Package	500	mW
T_{stg}	Storage Temperature	− 65 to + 150	°C
T_L	Lead Temperature, 1 mm from Case for 10 Seconds	260	°C

* Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation should be restricted to the limits in the Electrical Characteristics tables or Pin Descriptions section.

This device contains protection circuitry to guard against damage due to high static voltages or electric fields. However, precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than maximum rated voltages to this high-impedance circuit. For proper operation, V_{in} and V_{out} should be constrained to the range $V_{SS} \le (V_{in}$ or $V_{out}) \le V_{DD}$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS — MC145026*, MC145027, and MC145028 (Voltage Referenced to V_{SS})

Symbol	Characteristic	V_{DD} V	Guaranteed Limit						Unit
			−40°C		25°C		85°C		
			Min	Max	Min	Max	Min	Max	
V_{OL}	Low–Level Output Voltage (V_{in} = V_{DD} or 0)	5.0	—	0.05	—	0.05	—	0.05	V
		10	—	0.05	—	0.05	—	0.05	
		15	—	0.05	—	0.05	—	0.05	
V_{OH}	High–Level Output Voltage (V_{in} = 0 or V_{DD})	5.0	4.95	—	4.95	—	4.95	—	V
		10	9.95	—	9.95	—	9.95	—	
		15	14.95	—	14.95	—	14.95	—	
V_{IL}	Low–Level Input Voltage								V
	(V_{out} = 4.5 or 0.5 V)	5.0	—	1.5	—	1.5	—	1.5	
	(V_{out} = 9.0 or 1.0 V)	10	—	3.0	—	3.0	—	3.0	
	(V_{out} = 13.5 or 1.5 V)	15	—	4.0	—	4.0	—	4.0	
V_{IH}	High–Level Input Voltage								V
	(V_{out} = 0.5 or 4.5 V)	5.0	3.5	—	3.5	—	3.5	—	
	(V_{out} = 1.0 or 9.0 V)	10	7.0	—	7.0	—	7.0	—	
	(V_{out} = 1.5 or 13.5 V)	15	11	—	11	—	11	—	
I_{OH}	High–Level Output Current								mA
	(V_{out} = 2.5 V)	5.0	−2.5	—	−2.1	—	−1.7	—	
	(V_{out} = 4.6 V)	5.0	−0.52	—	−0.44	—	−0.36	—	
	(V_{out} = 9.5 V)	10	−1.3	—	−1.1	—	−0.9	—	
	(V_{out} = 13.5 V)	15	−3.6	—	−3.0	—	−2.4	—	
I_{OL}	Low–Level Output Current								mA
	(V_{out} = 0.4 V)	5.0	0.52	—	0.44	—	0.36	—	
	(V_{out} = 0.5 V)	10	1.3	—	1.1	—	0.9	—	
	(V_{out} = 1.5 V)	15	3.6	—	3.0	—	2.4	—	
I_{in}	Input Current — $\overline{TE}$ (MC145026, Pull–Up Device)	5.0	—	—	30	11	—	—	µA
		10	—	—	16	60	—	—	
		15	—	—	35	120	—	—	
I_{in}	Input Current R_S (MC145026), D_{in} (MC145027, MC145028)	15	—	±0.3	—	±0.3	—	±1.0	µA
I_{in}	Input Current A1 – A5, A6/D6 – A9/D9 (MC145026), A1 – A5 (MC145027), A1 – A9 (MC145028)	5.0	—	—	—	±110	—	—	µA
		10	—	—	—	±500	—	—	
		15	—	—	—	±1000	—	—	
C_{in}	Input Capacitance (V_{in} = 0)	—	—	—	—	7.5	—	—	pF
I_{DD}	Quiescent Current — MC145026	5.0	—	—	—	0.1	—	—	µA
		10	—	—	—	0.2	—	—	
		15	—	—	—	0.3	—	—	
I_{DD}	Quiescent Current — MC145027, MC145028	5.0	—	—	—	50	—	—	µA
		10	—	—	—	100	—	—	
		15	—	—	—	150	—	—	
I_{dd}	Dynamic Supply Current — MC145026 (f_C = 20 kHz)	5.0	—	—	—	200	—	—	µA
		10	—	—	—	400	—	—	
		15	—	—	—	600	—	—	
I_{dd}	Dynamic Supply Current — MC145027, MC145028 (f_C = 20 kHz)	5.0	—	—	—	400	—	—	µA
		10	—	—	—	800	—	—	
		15	—	—	—	1200	—	—	

* Also see next Electrical Characteristics table for 2.5 V specifications

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS — MC145026 (Voltage Referenced to V_{SS})

Symbol	Characteristic	V_{DD} V	Guaranteed Limit						Unit
			– 40°C		25°C		85°C		
			Min	Max	Min	Max	Min	Max	
V_{OL}	Low–Level Output Voltage (V_{in} = 0 V or V_{DD})	2.5	—	0.05	—	0.05	—	0.05	V
V_{OH}	High–Level Output Voltage (V_{in} = 0 V or V_{DD})	2.5	2.45	—	2.45	—	2.45	—	V
V_{IL}	Low–Level Input Voltage (V_{out} = 0.5 V or 2.0 V)	2.5	—	0.3	—	0.3	—	0.3	V
V_{IH}	High–Level Input Voltage (V_{out} = 0.5 V or 2.0 V)	2.5	2.2	—	2.2	—	2.2	—	V
I_{OH}	High–Level Output Current (V_{out} = 1.25 V)	2.5	0.28	—	0.25	—	0.2	—	mA
I_{OL}	Low–Level Output Current (V_{out} = 0.4 V)	2.5	0.22	—	0.2	—	0.16	—	mA
I_{in}	Input Current ($\overline{TE}$ — Pull–Up Device)	2.5	—	—	0.09	1.8	—	—	µA
I_{in}	Input Current (A1–A5, A6/D6–A9/D9)	2.5	—	—	—	± 25	—	—	µA
I_{DD}	Quiescent Current	2.5	—	—	—	0.05	—	—	µA
I_{dd}	Dynamic Supply Current (f_C = 20 kHz)	2.5	—	—	—	40	—	—	µA

ELECTRICAL CHARACTERISTICS — SC41343 and SC41344 (Voltage Referenced to V_{SS})

Symbol	Characteristic	V_{DD} V	Guaranteed Limit						Unit
			– 40°C		25°C		85°C		
			Min	Max	Min	Max	Min	Max	
V_{OL}	Low–Level Output Voltage (V_{in} = 0 V or V_{DD})	2.8	—	0.05	—	0.05	—	0.05	V
		5.0	—	0.05	—	0.05	—	0.05	
		10	—	0.05	—	0.05	—	0.05	
V_{OH}	High–Level Output Voltage (V_{in} = 0 V or V_{DD})	2.8	2.75	—	2.75	—	2.75	—	V
		5.0	4.95	—	4.95	—	4.95	—	
		10	9.95	—	9.95	—	9.95	—	
V_{IL}	Low–Level Input Voltage								V
	(V_{out} = 2.3 V or 0.5 V)	2.8	—	0.84	—	0.84	—	0.84	
	(V_{out} = 4.5 V or 0.5 V)	5.0	—	1.5	—	1.5	—	1.5	
	(V_{out} = 9.0 V or 1.0 V)	10	—	3.0	—	3.0	—	3.0	
V_{IH}	High–Level Input Voltage								V
	(V_{out} = 0.5 V or 2.3 V)	2.8	1.96	—	1.96	—	1.96	—	
	(V_{out} = 0.5 V or 4.5 V)	5.0	3.5	—	3.5	—	3.5	—	
	(V_{out} = 1.0 V or 9.0 V)	10	7.0	—	7.0	—	7.0	—	
I_{OH}	High–Level Output Current								mA
	(V_{out} = 1.4 V)	2.8	– 0.73	—	– 0.7	—	– 0.55	—	
	(V_{out} = 4.5 V)	5.0	– 0.59	—	– 0.5	—	– 0.41	—	
	(V_{out} = 9.0 V)	10	– 1.3	—	– 1.1	—	– 0.9	—	
I_{OL}	Low–Level Output Current								mA
	(V_{out} = 0.4 V)	2.8	0.35	—	0.3	—	0.24	—	
	(V_{out} = 0.5 V)	5.0	0.8	—	0.6	—	0.4	—	
	(V_{out} = 1.0 V)	10	3.6	—	2.9	—	2.3	—	
I_{in}	Input Current — D_{in}	10	—	± 0.3	—	± 0.3	—	± 1.0	µA
I_{in}	Input Current	2.8	—	—	—	± 30	—	—	µA
	A1 – A5 (SC41343)	5.0	—	—	—	± 140	—	—	
	A1 – A9 (SC41344)	10	—	—	—	± 600	—	—	
C_{in}	Input Capacitance (V_{in} = 0)	—	—	—	—	7.5	—	—	pF
I_{DD}	Quiescent Current	2.8	—	—	—	60	—	—	µA
		5.0	—	—	—	75	—	—	
		10	—	—	—	150	—	—	
I_{dd}	Dynamic Supply Current (f_C = 20 kHz)	2.8	—	—	—	300	—	—	µA
		5.0	—	—	—	500	—	—	
		10	—	—	—	1000	—	—	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SWITCHING CHARACTERISTICS — MC145026*, MC145027, and MC145028 (C_L = 50 pF, T_A = 25°C)

Symbol	Characteristic	Figure No.	V_{DD}	Guaranteed Limit		Unit
				Min	Max	
t_{TLH}, t_{THL}	Output Transition Time	4,8	5.0 10 15	— — —	200 100 80	ns
t_r	D_{in} Rise Time — Decoders	5	5.0 10 15	— — —	15 15 15	µs
t_f	D_{in} Fall Time — Decoders	5	5.0 10 15	— — —	15 5.0 4.0	µs
f_{osc}	Encoder Clock Frequency	6	5.0 10 15	0.001 0.001 0.001	2.0 5.0 10	MHz
f	Decoder Frequency — Referenced to Encoder Clock	12	5.0 10 15	1.0 1.0 1.0	240 410 450	kHz
t_w	$\overline{TE}$ Pulse Width — Encoders	7	5.0 10 15	65 30 20	— — —	ns

* Also see next Switching Characteristics table for 2.5 V specifications.

SWITCHING CHARACTERISTICS — MC145026 (C_L = 50 pF, T_A = 25°C)

Symbol	Characteristic	Figure No.	V_{DD}	Guaranteed Limit		Unit
				Min	Max	
t_{TLH}, t_{THL}	Output Transition Time	4, 8	2.5	—	450	ns
f_{osc}	Encoder Clock Frequency	6	2.5	1.0	250	kHz
t_w	$\overline{TE}$ Pulse Width	7	2.5	1.5	—	µs

SWITCHING CHARACTERISTICS — SC41343 and SC41344 (C_L = 50 pF, T_A = 25°C)

Symbol	Characteristic	Figure No.	V_{DD}	Guaranteed Limit		Unit
				Min	Max	
t_{TLH}, t_{THL}	Output Transition Time	4, 8	2.8 5.0 10	— — —	320 200 100	ns
t_r	D_{in} Rise Time	5	2.8 5.0 10	— — —	15 15 15	µs
t_f	D_{in} Fall Time	5	2.8 5.0 10	— — —	15 15 5.0	µs
f	Decoder Frequency — Referenced to Encoder Clock	12	2.8 5.0 10	1.0 1.0 1.0	100 240 410	kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

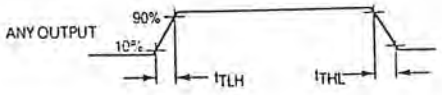


Figure 4.

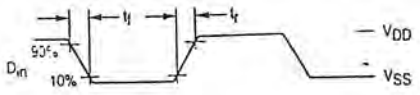


Figure 5.

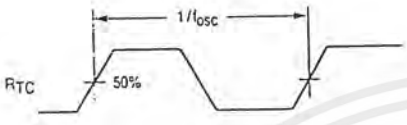


Figure 6.

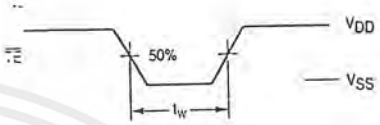
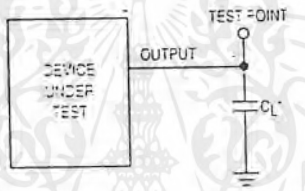


Figure 7.



* Includes all probe and fixture capacitance.

Figure 8. Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATING CHARACTERISTICS

MC145026

The encoder serially transmits trinary data as defined by the state of the A1 – A5 and A6/D6 – A9/D9 input pins. These pins may be in either of three states (low, high, or open) allowing 19,683 possible codes. The transmit sequence is initiated by a low level on the $\overline{TE}$ input pin. Upon power–up, the MC145026 can continuously transmit as long as $\overline{TE}$ remains low (also, the device can transmit two–word sequences by pulsing $\overline{TE}$ low). However, no MC145026 application should be designed to rely upon the first data word transmitted immediately after power–up because this word may be invalid. Between the two data words, no signal is sent for three data periods (see Figure 10).

Each transmitted trinary digit is encoded into pulses (see Figure 11). A logic 0 (low) is encoded as two consecutive short pulses, a logic 1 (high) as two consecutive long pulses, and an open (high impedance) as a long pulse followed by a short pulse. The input state is determined by using a weak "output" device to try to force each input high then low. If only a high state results from the two tests, the input is assumed to be hardwired to V_{DD}. If only a low state is obtained, the input is assumed to be hardwired to V_{SS}. If both a high and a low can be forced at an input, an open is assumed and is encoded as such. The "high" and "low" levels are 70% and 30% of the supply voltage as shown in the Electrical Characteristics table. The weak "output" device sinks/sources up to 110 µA at a 5 V supply level, 500 µA at 10 V, and 1 mA at 15 V.

The $\overline{TE}$ input has an internal pull–up device so that a simple switch may be used to force the input low. While $\overline{TE}$ is high, the encoder is completely disabled, the oscillator is inhibited, and the current drain is reduced to quiescent current. When $\overline{TE}$ is brought low, the oscillator is started and the transmit sequence begins. The inputs are then sequentially selected, and determinations are made as to the input logic states. This information is serially transmitted via the D_{out} pin.

MC145027

This decoder receives the serial data from the encoder and outputs the data, if it is valid. The transmitted data, consisting of two identical words, is examined bit by bit during reception. The first five trinary digits are assumed to be the address. If the received address matches the local address, the next four (data) bits are internally stored, but are not transferred to the output data latch. As the second encoded word is received, the address must again match. If a match occurs, the new data bits are checked against the previously stored data bits. If the two nibbles of data (four bits each) match, the data is transferred to the output data latch by VT and remains until new data replaces it. At the same time, the VT output pin is brought high and remains high until an error is received or until no input signal is received for four data periods (see Figure 10).

Although the address information may be encoded in trinary, the data information must be either a 1 or 0. A trinary (open) data line is decoded as a logic 1.

MC145028

This decoder operates in the same manner as the MC145027 except that nine address lines are used and no data output is available. The VT output is used to indicate that a valid address has been received. For transmission security, two identical transmitted words must be consecutively received before a VT output signal is issued.

The MC145028 allows 19,683 addresses when trinary levels are used. 512 addresses are possible when binary levels are used.

PIN DESCRIPTIONS

MC145026 ENCODER

A1 – A5, A6/D6 – A9/D9
Address, Address/Data Inputs (Pins 1 – 7, 9, and 10)

These address/data inputs are encoded and the data is sent serially from the encoder via the D_{out} pin

R_S, C_{TC}, R_{TC}
(Pins 11, 12, and 13)

These pins are part of the oscillator section of the encoder (see Figure 9).

If an external signal source is used instead of the internal oscillator, it should be connected to the R_S input and the R_{TC} and C_{TC} pins should be left open.

$\overline{TE}$
Transmit Enable (Pin 14)

This active–low transmit enable input initiates transmission when forced low. An internal pull–up device keeps this input normally high. The pull–up current is specified in the Electrical Characteristics table.

D_{out}
Data Out (Pin 15)

This is the output of the encoder that serially presents the encoded data word.

V_{SS}
Negative Power Supply (Pin 8)

The most–negative supply potential. This pin is usually ground.

V_{DD}
Positive Power Supply (Pin 16)

The most–positive power supply pin.

MC145027 AND MC145028 DECODERS

A1 – A5, A1 – A9
Address Inputs (Pins 1 – 5) — MC145027,
Address Inputs (Pins 1 – 5, 15, 14, 13, 12) — MC145028

These are the local address inputs. The states of these pins must match the appropriate encoder inputs for the VT pin to go high. The local address may be encoded with trinary or binary data.

D6 – D9
Data Outputs (Pins 15, 14, 13, 12) — MC145027 Only

These outputs present the binary information that is on encoder inputs A6/D6 through A9/D9. Only binary data is

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

acknowledged; a trinary open at the MC145026 encoder is decoded as a high level (logic 1).

D_{in}
Data In (Pin 9)

This pin is the serial data input to the decoder. The input voltage must be at CMOS logic levels. The signal source driving this pin must be dc coupled.

R_1, C_1
Resistor 1, Capacitor 1 (Pins 6, 7)

As shown in Figures 2 and 3, these pins accept a resistor and capacitor that are used to determine whether a narrow pulse or wide pulse has been received. The time constant $R_1 \times C_1$ should be set to 1.72 encoder clock periods:

$$R_1 C_1 = 3.95 R_{TC} C_{TC}$$

R_2/C_2
Resistor 2/Capacitor 2 (Pin 10)

As shown in Figures 2 and 3, this pin accepts a resistor and capacitor that are used to detect both the end of a received word and the end of a transmission. The time constant $R_2 \times C_2$ should be 33.5 encoder clock periods (four data periods per Figure 11): $R_2 C_2 = 77 R_{TC} C_{TC}$. This time constant is used to determine whether the D_{in} pin has remained low for four data periods (end of transmission). A separate on–chip comparator looks at the voltage–equivalent two data periods ($0.4 R_2 C_2$) to detect the dead time between received words within a transmission.

VT
Valid Transmission Output (Pin 11)

This valid transmission output goes high after the second word of an encoding sequence when the following conditions are satisfied:

1. the received addresses of both words match the local decoder address, and
2. the received data bits of both words match.

VT remains high until either a mismatch is received or no input signal is received for four data periods.

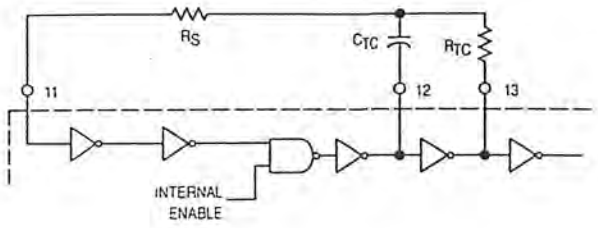
V_{SS}
Negative Power Supply (Pin 8)

The most–negative supply potential. This pin is usually ground.

V_{DD}
Positive Power Supply (Pin 16)

The most–positive power supply pin.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



This oscillator operates at a frequency determined by the external RC network; i.e.,

$$f = \frac{1}{2.3\, R_{TC}\, C_{TC}'} \text{ (Hz)}$$

for 1 kHz ≤ f ≤ 400 kHz

where: $C_{TC}' = C_{TC} + C_{layout} + 12$ pF

$R_S = 2\, R_{TC}$

$R_S \geq 20$ k

$R_{TC} \geq 10$ k

400 pF < C_{TC} < 15 µF

The value for R_S should be chosen to be ≥ 2 times R_{TC}. This range ensures that current through R_S is insignificant compared to current through R_{TC}. The upper limit for R_S must ensure that R_S x 5 pF (input capacitance) is small compared to R_{TC} x C_{TC}.

For frequencies outside the indicated range, the formula is less accurate. The minimum recommended oscillation frequency of this circuit is 1 kHz. Susceptibility to externally induced noise signals may occur for frequencies below 1 kHz and/or when resistors utilized are greater than 1 MΩ.

Figure 9. Encoder Oscillator Information

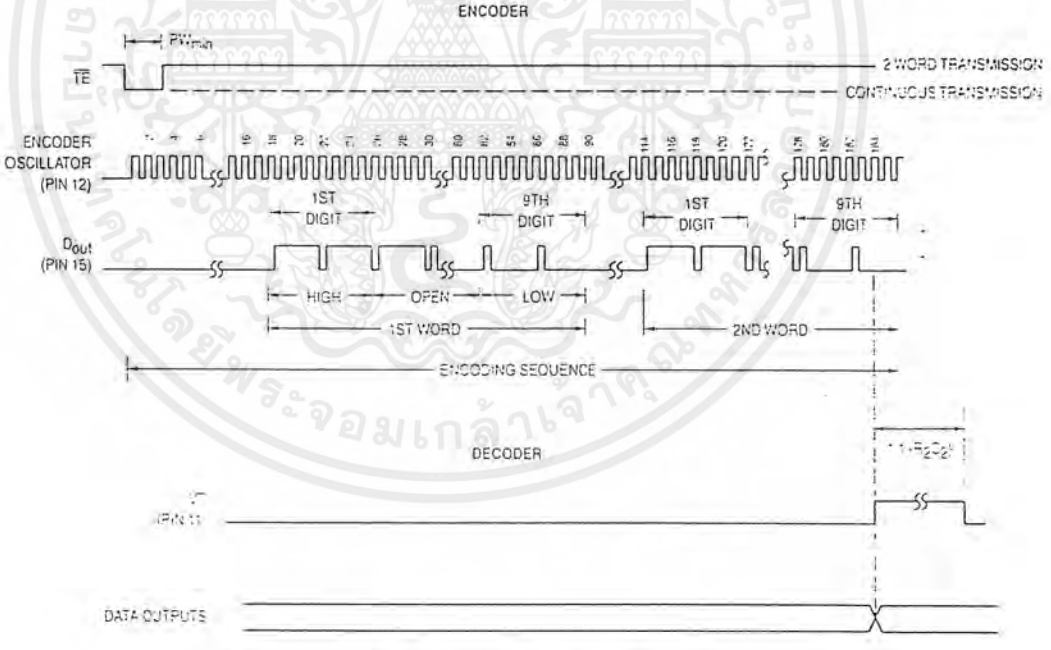


Figure 10. Timing Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

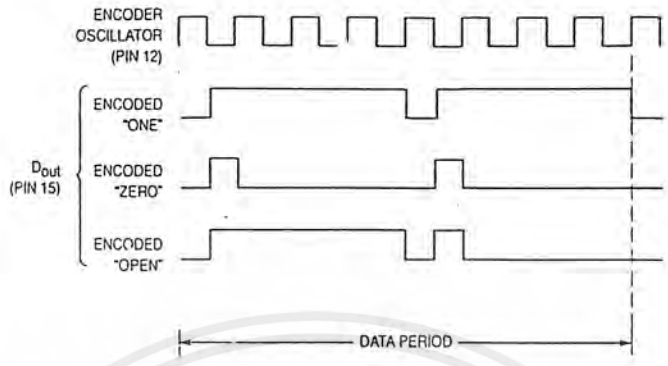


Figure 11. Encoder Data Waveforms

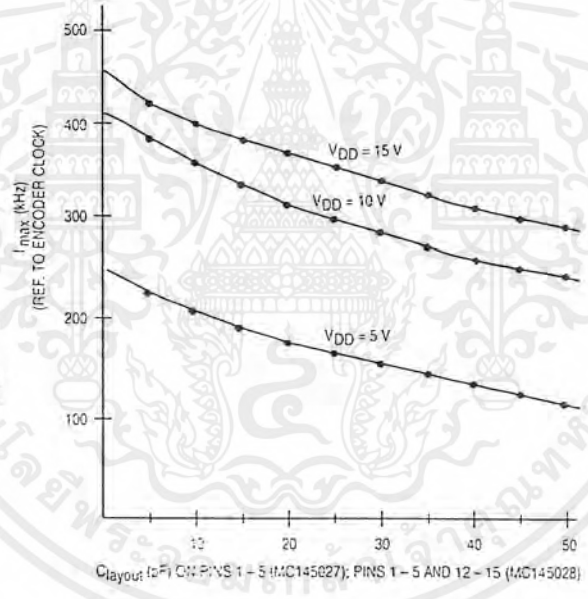


Figure 12. f_{max} vs C_{layout} — Decoders Only

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

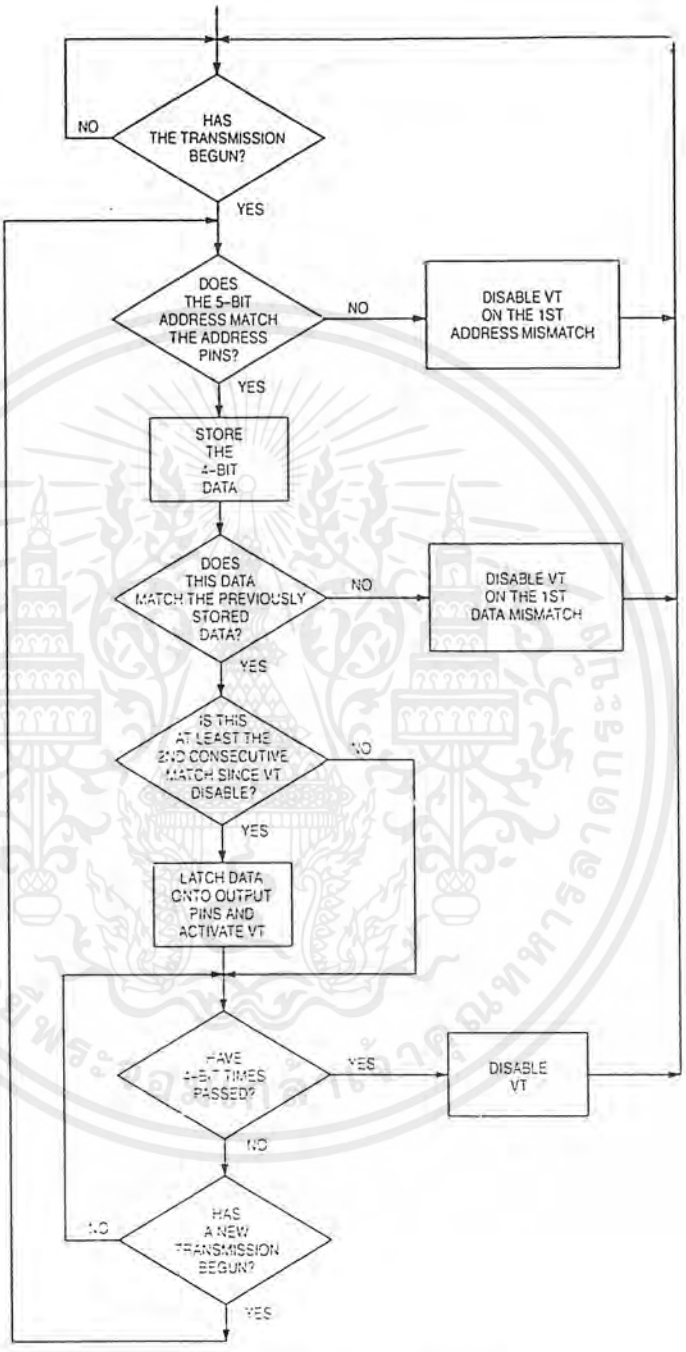


Figure 13. MC145027 Flowchart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

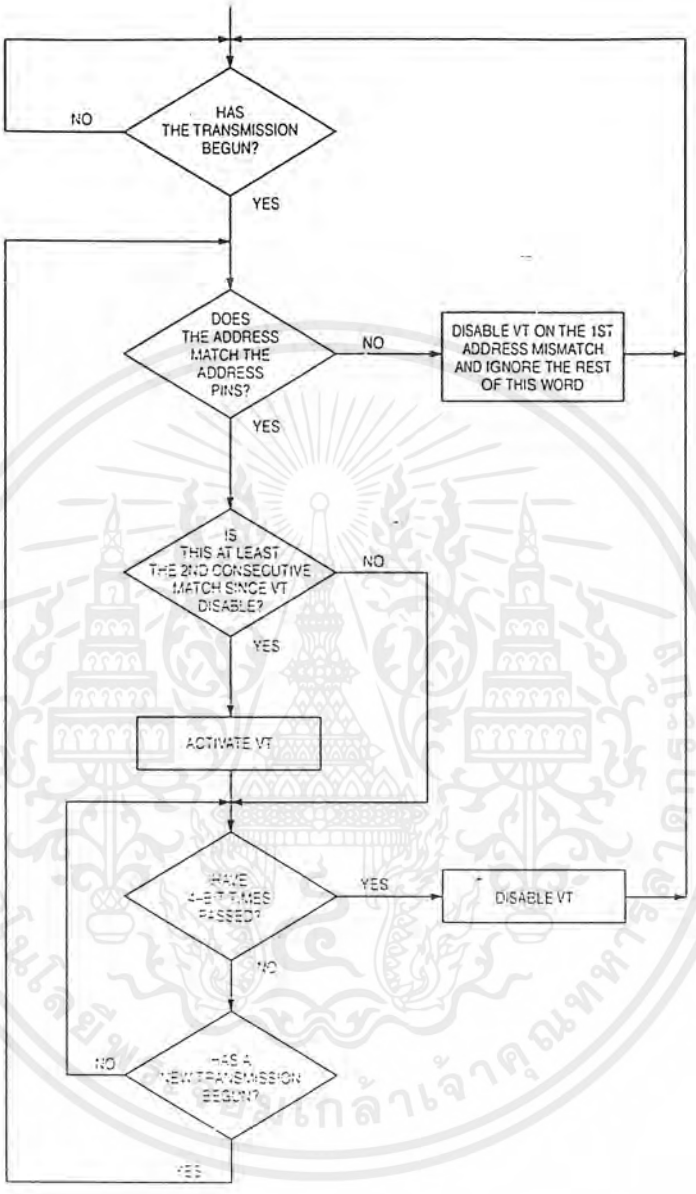


Figure 14. MC145028 Flowchart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC145027 AND MC145028 TIMING

To verify the MC145027 or MC145028 timing, check the waveforms on C1 (Pin 7) and R2/C2 (Pin 10) as compared to the incoming data waveform on D_{in} (Pin 9).

The R–C decay seen on C1 discharges down to 1/3 V_{DD} before being reset to V_{DD}. This point of reset (labelled "DOS" in Figure 15) is the point in time where the decision is made whether the data seen on D_{in} is a 1 or 0. DOS should not be too close to the D_{in} data edges or intermittent operation may occur.

The other timing to be checked on the MC145027 and MC145028 is on R2/C2 (see Figure 16). The R–C decay is continually reset to V_{DD} as data is being transmitted. Only between words and after the end–of–transmission (EOT) does R2/C2 decay significantly from V_{DD}. R2/C2 can be used to identify the internal end–of–word (EOW) timing edge which is generated when R2/C2 decays to 2/3 V_{DD}. The internal EOT timing edge occurs when R2/C2 decays to 1/3 V_{DD}. When the waveform is being observed, the R–C decay should go down between the 2/3 and 1/3 V_{DD} levels, but not too close to either level before data transmission on D_{in} resumes.

Verification of the timing described above should ensure a good match between the MC145026 transmitter and the MC145027 and MC145028 receivers.

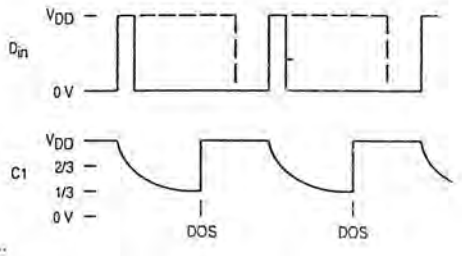


Figure 15. R–C Decay on Pin 7 (C1)

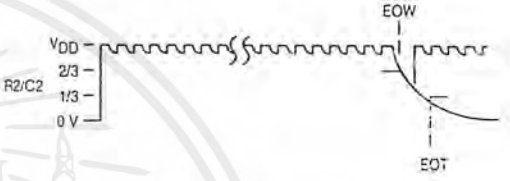
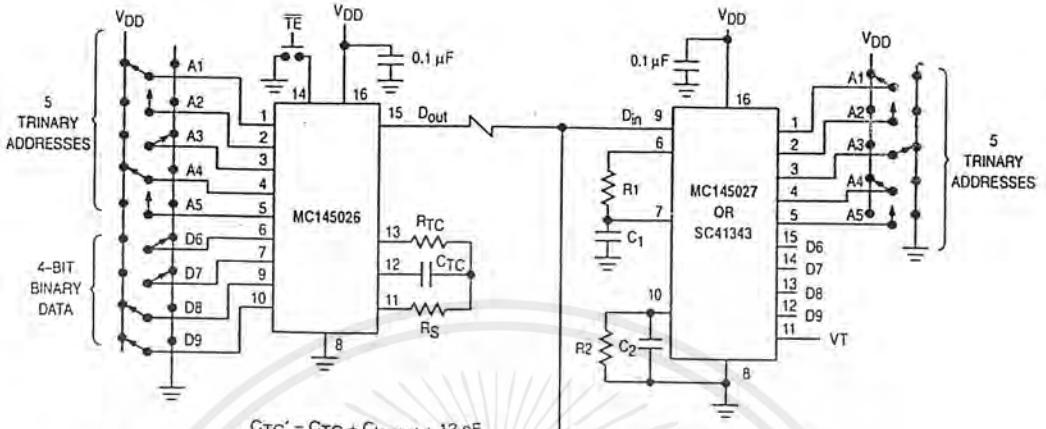


Figure 16. R–C Decay on Pin 10 (R2/C2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$f_{osc} = \frac{1}{2.3\,R_{TC}C_{TC}'}$$

$R_1C_1 = 3.95\,R_{TC}C_{TC}$

$R_2C_2 = 77\,R_{TC}C_{TC}$

$C_{TC}' = C_{TC} + C_{layout} + 12\text{ pF}$
$100\text{ pF} \le C_{TC} \le 15\ \mu\text{F}$
$R_{TC} \ge 10\text{ k}\Omega$; $R_S = 2\,R_{TC}$
$R_1 \ge 10\text{ k}\Omega$
$C_1 \ge 400\text{ pF}$
$R_2 \ge 100\text{ k}\Omega$
$C_2 \ge 700\text{ pF}$

Example R/C Values (All Resistors and Capacitors are ± 5%)

($C_{TC}' = C_{TC} + 20$ pF)

f_{osc} (kHz)	R_{TC}	C_{TC}'	R_S	R_1	C_1	R_2	C_2
362	10 k	120 pF	20 k	10 k	470 pF	100 k	910 pF
181	10 k	240 pF	20 k	10 k	910 pF	100 k	1800 pF
88.7	10 k	490 pF	20 k	10 k	2000 pF	100 k	3900 pF
42.6	10 k	1020 pF	20 k	10 k	3900 pF	100 k	7500 pF
21.5	10 k	2020 pF	20 k	10 k	8200 pF	100 k	0.015 µF
8.53	10 k	5100 pF	20 k	10 k	0.02 µF	200 k	0.02 µF
1.71	50 k	5100 pF	100 k	50 k	0.02 µF	200 k	0.1 µF

Figure 17. Typical Application

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

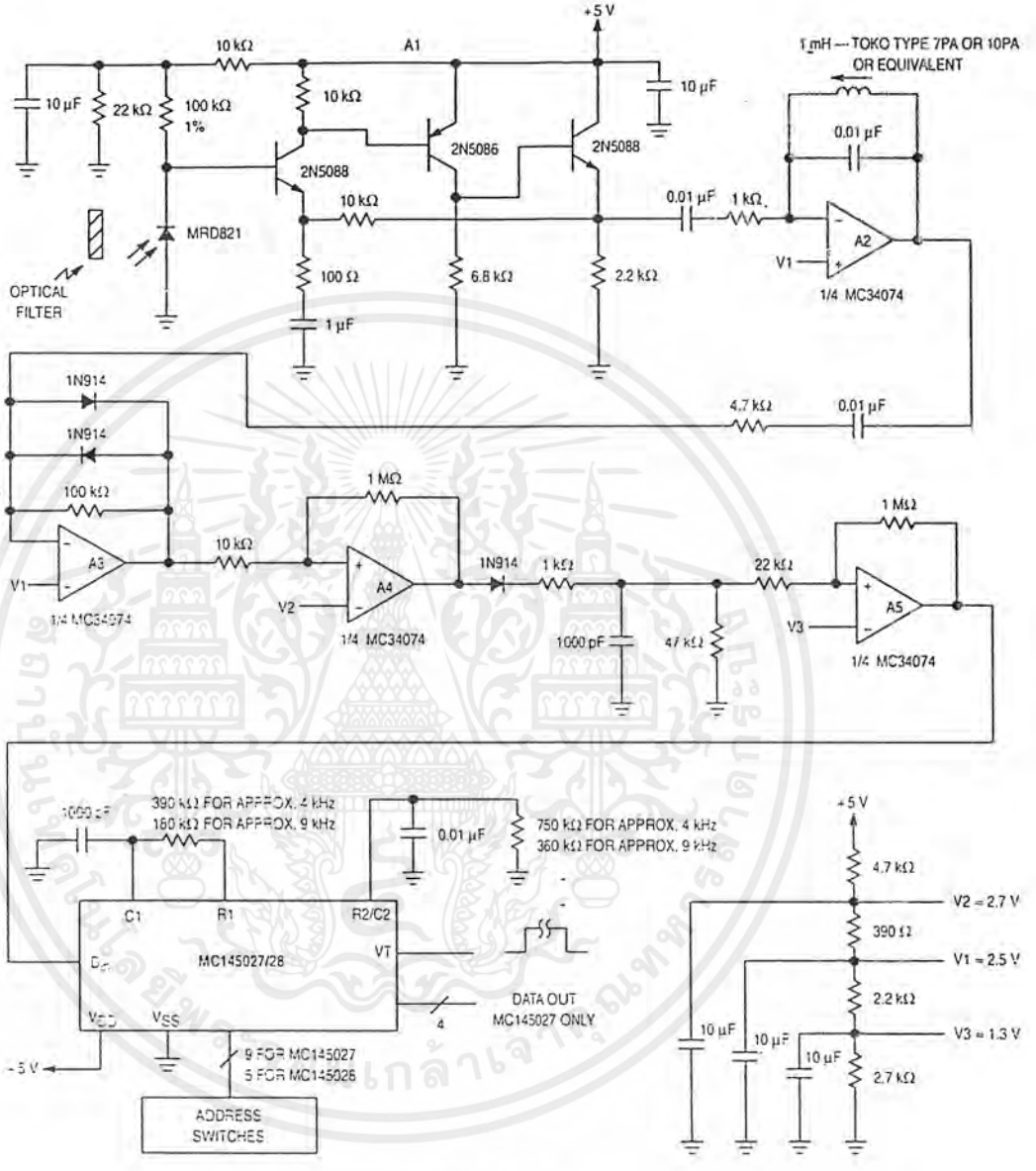


Figure 20. Infrared Receiver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้