



ปีการศึกษา 2530
ระบบวิทยุติดตามตัว
โดย
นายบุญศักดิ์ พิทักษ์เลิศกุล
นายประทีป ชวราประเสริฐ
อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์ วิเศษฐ์ สวรรพอาษา

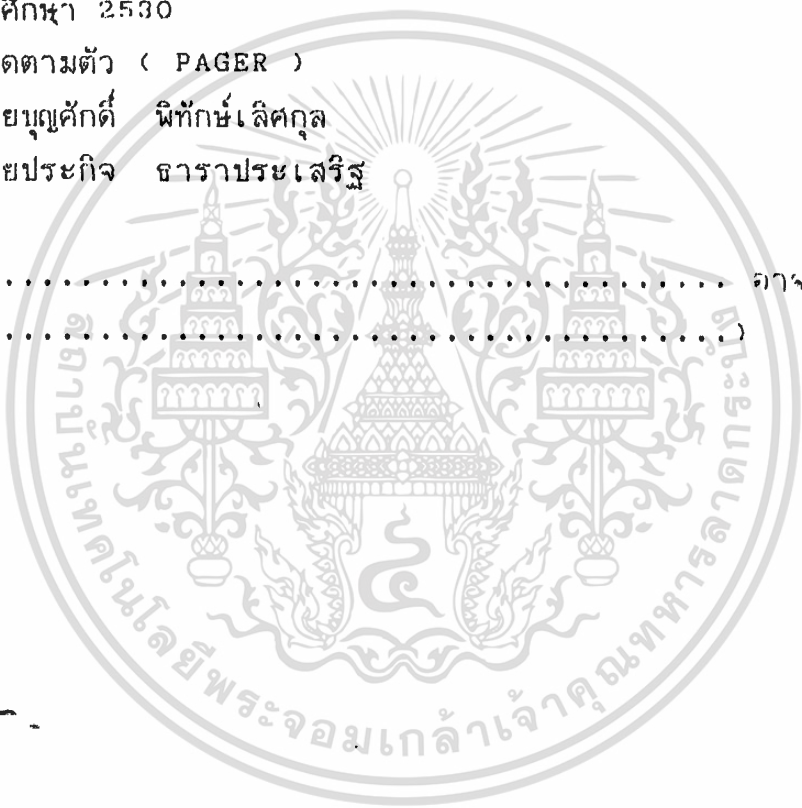
29 ม.ค. 2533

ปริญญาโททางการศึกษา 2530

เรื่อง ระบบวิทยุติดตามตัว (PAGER)

- ผู้จัดทำ 1. นายบุญศักดิ์ พิทักษ์เลิศกุล
- 2. นายประกิจ ชาราประเสริฐ

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
 (.....)



เพจเจอร์

นายบุญศักดิ์ พิทักษ์เลิศกุล
นายประกิจ ชาราประเสริฐ
อาจารย์ที่ปรึกษา:
อาจารย์วิศิษฐ์ สรรพอาษา
ปีการศึกษา 2530

บทคัดย่อ

เพจเจอร์ (PAGER) เป็นวิทยุติดตามตัว มีลักษณะการติดต่อเป็นแบบทางเคี้ยว ใน
โครงการนี้ได้จำลองระบบเพจเจอร์ วิทยุหิ้วพาไปเพื่อหาการศึกษา โดยมีหลักการทางาน
คือ ทางด้านส่งจะส่ง เลขหมายของผู้ที่ต้องการติดต่อ มาในรูปแบบของสัญญาณที่เข้ารหัส
ซึ่งในโครงการนี้ได้จำลองแบบการส่งขึ้นเอง วิทยุใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ IBM เป็นตัวเข้า
รหัส ซึ่งรหัสที่ได้จะเป็นรหัสเลขฐานสองที่ได้จากขา RS232 ของเครื่อง IBM แล้ว
มอดูเลทด้วยระบบ FREQUENCY SHIFT KEYING วิทยุใช้ความถี่ 1.3 KHZ. แทนลจิก
1 และ 2 KHZ. แทนลจิก 0 แล้วส่งมาด้วยความถี่วิทยุ 148.30 MHZ. เมื่อเครื่องเพจ
เจอร์ได้รับสัญญาณก็จะแปลงความถี่เหลือ 10.7 MHZ. วิทยุมีซึกับความถี่ 160.0 MHZ.
แล้วทำการขยายสัญญาณ, คัดเลือกและ REGENERATE เพื่อให้ได้รหัสสัญญาณแล้วทำการถอด
รหัสได้ เลขหมายของผู้ที่ต้องการติดต่อมา

PAGER

MR. BOONSAK PITAKLERDKUN

MR. PRASIT TARAPRASERT

ADVISOR:

MR. VISIT SUBPAARSAR

1987

ABSTRACT

PAGER IS A KIND OF THE TELECOMMUNICATION EQUIPMENT WHICH HAS ONE WAY COMMUNICATION. THIS PROJECT SYMULATES THE PAGER SYSTEM THAT IS WIDELY USE TO STUDY. THE PROCESS IS TO TRANSMIT CALLED SUBSCRIBER'S NUMBER IN FORM OF ENCODED SIGNAL. THIS PROJECT NEED TO SYMULATE THE TRANSMITTING SYSTEM BY THE USE OF IBM COMPUTER TO BE THE ENCODER. THE CODED SIGNAL IS BINARY CODE FROM KS 232 OF THE IBM COMPUTER. THEN MODULATE THE SIGNAL BY FREQUENCY SHIFT KEYING SYSTEM, WHICH THE 1.3 KMZ. FREQUENCY REFER TO THE LOGIC 1 AND THE 2 KMZ. FREQUENCY REFER TO THE LOGIC 0 , AND TRANSMIT IN THE RF FREQUENCY RANGE WHICH IS 149.3 MHZ. FOR THIS PROJECT. THE PAGER WILL RECEIVE THE TRANSMITTED SIGNAL AND CONVERT TO THE LOWER FREQUENCY AT 10.7 MHZ. BY MIXING WITH THE 160 MHZ. SIGNAL. THEN AMPLIFLY, DETECT THE SIGNAL AND REGENERATE THE CALLING SUBSCRIBER'S NUMBER.

สารบัญ

บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1	เครื่องรับวิทยุ	3
2.2	ออสซิลเลเตอร์	5
2.3	เฟสล็อกคัลป์	6
2.4	ดีเท็คเตอร์	12
2.5	วงจรเปรียบเทียบ	14
2.6	เครื่องส่งวิทยุ	18
บทที่ 3	การออกแบบและคำนวณ	20
3.1	หลักการทํางานของเครื่องรับวิทยุติดตามตัว	20
3.2	ภาคขยายความถี่วิทยุ	22
3.3	ภาคออสซิลเลเตอร์	22
3.4	มิกซ์เซอร์	23
3.5	การออกแบบ PLL Frequency Synthesizer	24
3.6	ภาคขยายความถี่กลาง	29
3.7	วงจรดีเท็คเตอร์	31
3.8	ภาคขยายความถี่เสียง	34
3.9	ภาคถอดรหัส	35
3.10	การออกแบบเครื่องส่งทั้งหมด	54
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง	59
บทที่ 5	บทวิจารณ์และสรุป	66
ภาคผนวก		
กิตติกรรมประกาศ		
หนังสืออ้างอิง		

บทที่ 1 บทนำ

ในระบบการติดต่อสื่อสารจากยุคจนถึงปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารมากมายหลายชนิดตั้งแต่อุปกรณ์ติดต่อสื่อสารแบบมีสาย จนกระทั่งถึงอุปกรณ์ประเภทไร้สาย และจากความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ก็ได้มีการพัฒนาอุปกรณ์เหล่านี้ เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มรัศมีการติดต่อสื่อสาร การลดขนาดเพื่อทำให้เล็กกระทัดรัด

วิทยุติดตามตัวหรือ เพจเจอร์ (PAGER) ก็ได้รับการพัฒนามาจนถึงงานปัจจุบันนี้ เป็นที่นิยมแพร่หลาย เหมาะกับผู้ที่มีการเคลื่อนไหวที่ไม่ค่อยประจำที่ แต่จำเป็นต้องมีการติดต่อได้ตลอดเวลา ข้อเด่นของ เพจเจอร์คือ มีขนาดเล็กสามารถพกติดตัวได้ตลอดเวลา โดย เพจเจอร์ที่ใช้ทั่วไปมี 5 ชนิดคือ

1. VOICE PAGER ส่งข่าวสาร เป็นเสียงพูดไปยังผู้รับ

2. DIGITAL DISPLAY PAGER ส่งข่าวสารเป็นตัวเลข (ตัวเลขแทนข้อมูลข่าวสาร)

3. ALPHA NUMERIC PAGER ส่งข่าวสารได้ทั้งแบบตัวเลขและตัวอักษร

4. TONE ALERT PAGER ส่งสัญญาณเสียง เพื่อบอกให้ผู้รับติดต่อไปยังศูนย์เพื่อรับข่าวสาร

5. DUAL ADDRESS PASS เหมือน TONE ALERT PAGER แต่ทำสัญญาณเสียง 2 ลักษณะ เพื่อทำให้ผู้รับทราบว่า จะติดต่อไปยังที่ใด

งานโครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชา PROJECT2 รหัสวิชา 11417 และ PROJECT2 รหัส 11418 ซึ่งได้ศึกษาถึงทฤษฎี การออกแบบ และผลการทดลองของวงจรต่างซึ่งประกอบขึ้นเป็นระบบวิทยุติดตามตัวนี้ วิทยุติดตามตัวที่ศึกษานำโครงการนี้เป็นแบบแสดงข่าวสารในรูปแบบตัวเลข (DIGITAL DISPLAY PAGER) โดยเลขหมายที่แสดงออกมาคือ หมายเลขโทรศัพท์ของผู้ที่ต้องการติดต่อกับผู้ถือ เพจเจอร์นี้ โดยในโครงการนี้จะให้มีการเตือนด้วยสัญญาณเสียงออกมาด้วย เพื่อให้ผู้ใช้รู้ว่ามีการติดต่อ

เนื่องจาก เพจเจอร์ที่หาในโครงการนี้มีความถี่ 149.30 MHZ. และการเข้ารหัสมีความแตกต่างจาก เพจเจอร์ที่หาซื้อทั่วไปในปัจจุบันนี้ ในการทดลองเครื่องรับ เพจเจอร์จึงไม่สามารถรับสัญญาณที่แท้จริงของจริงได้ จึงต้องทำเครื่องส่งขึ้นเองจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ IBM เป็นตัวสร้างสัญญาณเข้ารหัสเป็นสัญญาณแอนะล็อก และเบสแบนด์สัญญาณแอนะล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น *Qan* ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0,1 เป็นความถี่ 2 ความถี่ แล้วทำการมอดูเลตทางความถี่(FREQUENCY MODULATION) แล้วจึงส่งออกอากาศ ซึ่งส่วนประกอบต่างๆของทั้ง เครื่องส่งและ เครื่องรับจะเข้าทำงานบทบาทต่างๆดังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

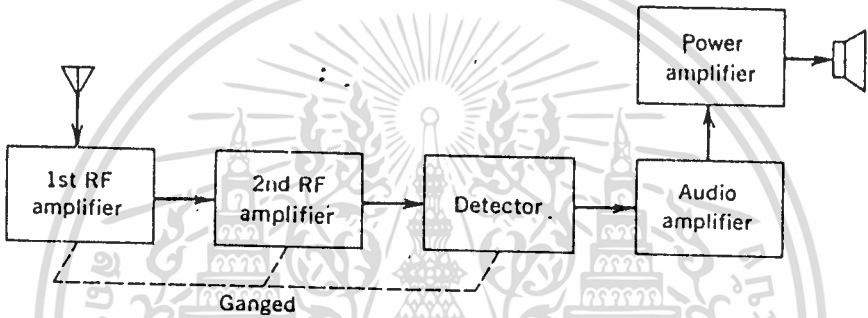
2.1 เครื่องรับวิทยุ (RADIO RECEIVER)

เครื่องรับวิทยุที่ใช้งานในปัจจุบันนี้ แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

1 เครื่องรับแบบจูล เรดิโอ-ทีควเอนที (TUNED RADIO-FREQUENCY (TRF) RECEIVER)

เครื่องรับแบบนี้เป็นเครื่องรับที่มาจากคความถี่ของคลื่นที่รับ และมีข้อที่คือ สร้างได้ง่ายและมีควมว (SENSITIVITY) สูงจากมี BLOCK DIAGRAM ดังรูปที่

2.1.1



รูปที่ 2.1.1 TUNED RADIO-FREQUENCY (TRF) RECEIVER

วงจรถูกประกอบด้วยส่วนแรกคือ ส่วนของภาคขยายความถี่ RF (RF AMPLIFIER) โดยอาจจะมี 2 ถึง 3 ภาค โดยสร้างที่ขยายที่ความถี่ที่ต้องการ และกำจัดความถี่ที่ไม่ต้องการออกไปเมื่อขยายจนได้ระดับที่ต้องการแล้วก็จะผ่าน สัญญาณเข้าสู่ภาค ดีมอดูเลท (DEMODULATE OR DETECTOR) ได้สัญญาณ AF (AUDIO) จากนั้นก็ผ่านเข้าสู่ภาคขยายความถี่ ย่าน AF แล้วผ่านสัญญาณเสียงออกมาที่ลำโพง เครื่องรับแบบนี้สร้างให้ย่านความถี่กระจายเสียง (BROADCAST FREQUENCY) คือย่านความถี่ 535 ถึง 1640 KHZ. แทนย่านความถี่ที่สูงกว่านี้ จะสร้างให้ยากมากขึ้น เนื่องจากเกิดปัญหาในเรื่องความไม่เสถียรภาพของภาคขยายทำให้เกิดการ ออสซิลเลท (OSCILLATE)

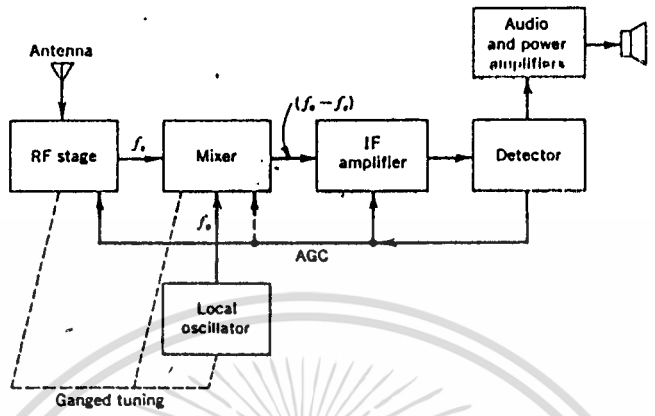
เครื่องรับแบบ TRF สามารถใช้แทนย่านความถี่ที่เครื่องสามารถจูลได้แต่ก็ไม่สามารถใช้ค่านย่านความถี่สูง ๆ จึงเป็นผลทำให้บังคับใช้เฉพาะวงจรถูกแบบ

AFc Audio

AFc Audio Frequency 7

ซึ่งเกิลจูล (SINGLE JUNED CIRCUIT) ไม่สามารถใช่แบบดับเบิลจูล (DOUBLE JUNED CIRCUIT) ได้แม้ว่าแบบหลังจะให้ค่าความไว (SELECTIVITY) ที่ดีกว่าก็ตาม เพราะว่าการจูลให้ภาคขยายหลายตัวทำงานพร้อมกันทำให้ยากมาก

2. เครื่องรับแบบซูเปอร์เฮเทอโรไดน์ (SUPERHETERODYNE RECEIVER)



รูปที่ 2.1.2 SUPERHETERODYNE RECEIVER

เครื่องรับแบบนี้สัญญาณที่รับได้จะถูกนำมาลบ กับสัญญาณที่ได้จากตัว อกคอลออสซิเลเตอร์ (LOCAL OSCILLATOR) แปลงเป็นสัญญาณความถี่ที่ต่ำลงมาเป็น ความถี่กลาง (IF: INTERMEDIATE FREQUENCY) โดยข่าวสารที่ส่งมากับคลื่นพาหยัง คงเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลง จากนั้นก็ผ่านเข้าสู่ภาคขยายสัญญาณและตีมอดูเลทได้สัญญาณ ข่าวสารออกมา วงจรของเครื่องรับแบบนี้มีส่วนที่เพิ่มมาจาก TRF คือ มิกเซอร์ (MIXER) , อกคอล ออสซิเลเตอร์ (LOCAL OSCILLATOR) และภาคขยายความถี่กลาง (IF AMPLIFIER)

ภาคขยายความถี่กลาง เป็นตัวเพิ่มกำลังขยาย (GAIN) และช่วงความถี่ (BANDWIDTH) ที่เครื่องต้องการ โดยที่คุณสมบัติต่างๆของ IF AMPLIFIER ไม่ขึ้นอยู่กับสัญญาณความถี่ที่เครื่องรับเข้ามา เพราะฉะนั้นคุณสมบัติต่างๆของเครื่องรับ เช่น SENSITIVITY, SELECTIVITY จึงคงที่อยู่มานานที่เครื่องรับจูลมาได้

ส่วนภาค RF ในช่วงแรกเป็นส่วนที่เลือกความถี่ที่ต้องการ และกำจัด ความถี่ที่ไม่ต้องการ รวมทั้งความถี่ อิมเมจ (IMAGE FREQUENCY) และลดค่ารบกวน (NOISE FIGURE) ของเครื่องรับ

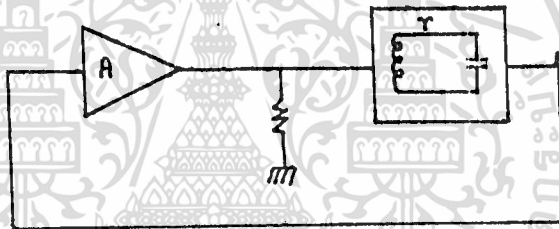
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

านส่วนของ RF ำ้แต่เสอากาศเป็นตั้เลือกความถี่ที่ต้อการ ำคย
ำคต้องมีส่วนของ RF AMP. ก้ำค้ ซึ่งก้ำค้ผลำไม่แตกต่ากันมากนัก

2.2 ออสซิลเลเตอร์ (OSCILLATOR)

กฎเกณฑ์ของวงจรที่จะออสซิลเลทคือ ำครายขยายแบบปิลล (LOOP GAIN) มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1 และมีความต่าเฟส(PHASE SHIFT) เท่ากับ 0 ซึ่งสามารถแสดงส่วนประกอบได้คังนี้

1. แอมพลิฟิเออร์ (AMPLIFIER)
2. รีโซเนเตอร์ (RESONATOR)
3. การะที่เอาต์พุท (OUTPUT LOAD)



รูปที่ 2.2.1 ออสซิลเลเตอร์

แอมพลิฟิเออร์ จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณความถี่ที่ต้อการ ำคยมีตั้
รีโซเนเตอร์ เป็นตั้กำหนดความถี่ ถ้ามีนอยส์ (NOISE) จาก รีโซเนเตอร์ ซึ่งเกิดจาก
LOSS COMPONENT นอยส์จะถูกขยายบางส่วน จะปรากฏที่การะและบางส่วนจะเข้าสู้
รีโซเนเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็น ฟิลเตอร์ (FILTER) ำคย นอยส์ที่อยู่ใน พาสแบนด์
(PASS-BAND) ของฟิลเตอร์จะสามารถผ่านไปได้ ส่วนที่อยู่ภายนอก พาสแบนด์จะลคทอน
ไปมาก

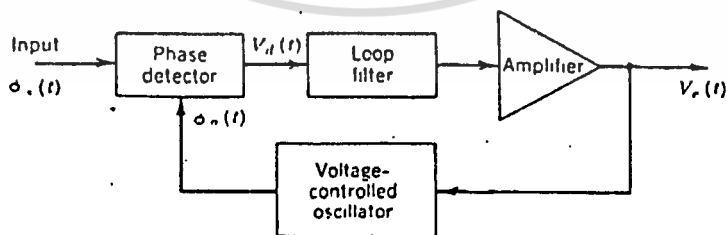
เอาต์พุทจาก รีโซเนเตอร์ จะถูกขยายำคย แอมพลิฟิเออร์ ถ้าสัญญาณมี
เฟสไม่ตรงกับกำลังของนอยส์เดิมจะไม่ถูกขยายและการออสซิลเลท ำไม่เกิดขึ้น แต่ถ้าเฟส
ตรงกัน สัญญาณนี้จะถูกขยาย แต่เนื่องจากแอมพลิฟิเออร์และ รีโซเนเตอร์ไม่ค้เป็น

อุปกรณ์ที่เป็นลิเนียร์ (LINEAR DEVICE) เพราะพลังงานจะคงที่ ดังนั้นการที่จะหา
 ำหนดขนาดของสัญญาณคงที่ คือ แอมปริทูด ต้องเป็นอุปกรณ์ที่ไม่ ลิเนียร์ (NON-
 LINEAR DEVICE) ซึ่งอัตราขยายจะลดลง เมื่อสัญญาณอินพุตมีขนาดมากขึ้นและขนาดของ
 เอาท์พุทจะมีค่าคงที่เมื่อ LOOP GAIN ที่ต่ำเท่ากับ 1

2.3 เฟสล็อกคูล (PHASE LOCK LOOP)

ในการสังเคราะห์ความถี่ให้มีเสถียรภาพดีนั้น ส่วนมากจะใช้ตัว คริสตัล
 กำหนดความถี่ แต่ คริสตัล บางความถี่หายากดังนั้นจะใช้วงจร PLL FREQUENCY
 SYNTHESIZER ในการสังเคราะห์ความถี่โดยใช้ คริสตัล เป็นความถี่อ้างอิงซึ่งสามารถ
 ได้ความถี่ต่าง ๆ โดยมีเสถียรภาพที่ดีขึ้น

เฟสล็อกคูล (PLL) เป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์เซอร์โวล แบบพื้นฐานประ
 กอบไปด้วยเฟสดีเทกเตอร์ (PD) ลอว์พาสฟิลเตอร์ (LPF) และโวลต์เทจคอนโทรล
 ออสซิลเลเตอร์ (VCO) เฟสจะควบคุมออสซิลเลเตอร์ให้เอาท์พุทสามารถล็อก หรือ
 SYNCHRONIZING กับสัญญาณอินพุท ถ้าเฟสเปลี่ยนแปลงว่าความถี่อินพุทเปลี่ยนเอาท์พุทของ
 PD ก็จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพื่อรักษาความถี่ออสซิลเลเตอร์เท่ากับความถี่อินพุท ซึ่ง เรียก
 ว่าอยู่ภาวะล็อกแล้ว ดังนั้นโวลต์เทจเดลิฟที่ป้อนให้กับ VCO จะเป็นฟังก์ชันกับความถี่ของ
 สัญญาณอินพุทกับโวลต์เทจเอาท์พุทของ LPF ก็คือดีมอดูเลเทดเอาท์พุท (DEMODULATED
 OUTPUT) เมื่อสัญญาณอินพุทเป็นฟริควเอนซีโมดูเลเท (FREQUENCY MODULATE : FM)



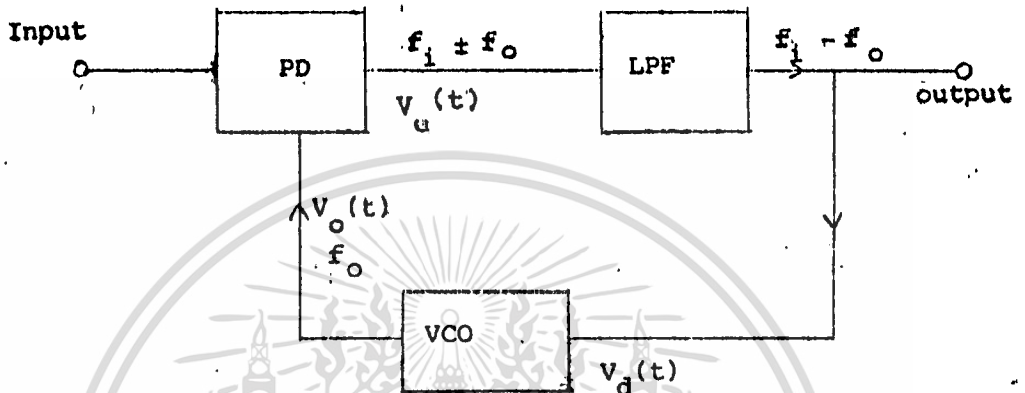
รูปที่ 2.3.1 รูปการทางานของ PLL แบบพื้นฐาน

เทคนิคของ PLL จะใช้ประโยชน์ให้มาก เช่น DEMODULATION ของ FM AM และ FSK , TONEDECODER FREQUENCY SYNTHESIZER , BIT SYNCHRONIZERS เป็นต้น

2.3.1 หลักการท างานของ PLL.

เป็นระบบป้อนกลับประกอบด้วย PD, LPF และ VCO ดังแสดงไว้

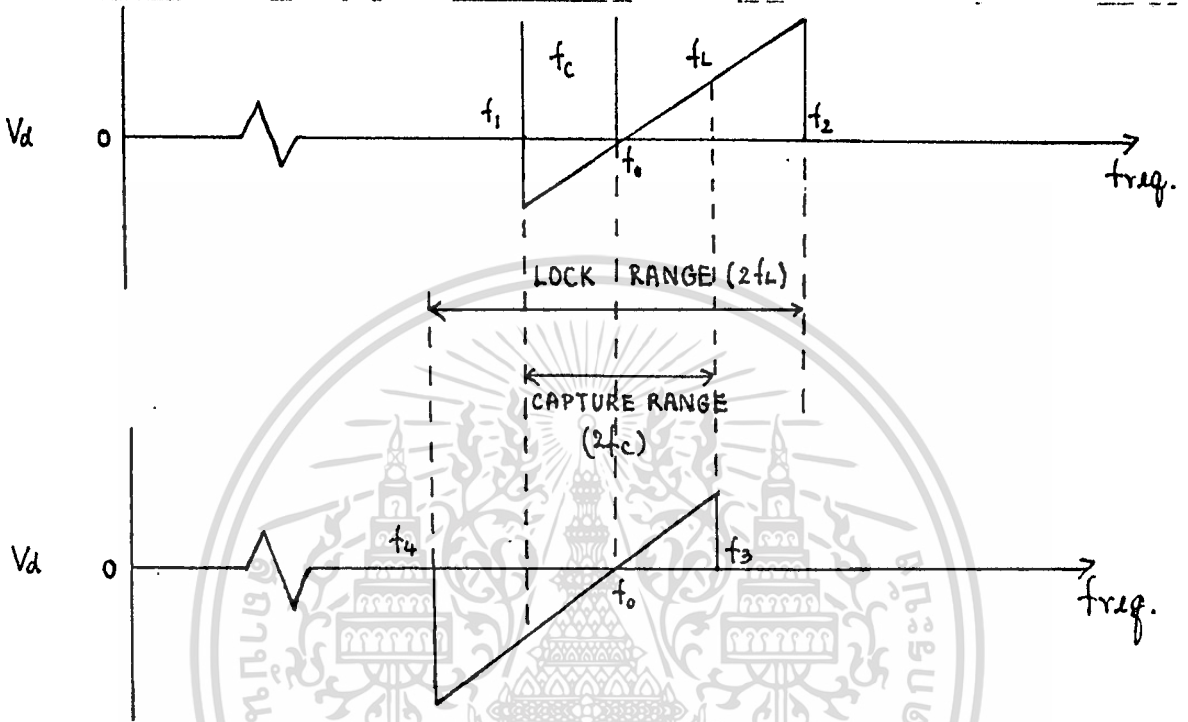
รูปที่ 2.3.2



รูปที่ 2.3.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงการท างานของ PLL

หลักการท างานเบื้องต้นของ PLL ดังบ ายาต์ดังน้ เมื่อยังไม่มี สัญญาณอินพุตป้อนเข้าที่กับแรงดันควบคุม $V_d(t)$ ก็จะเป็นศูนย์และ VCO จะท างานตาม ความถี่ f_0 ที่คงที่ไว้ เรียกว่าความถี่ FREE-RUNNING ถ้าสัญญาณอินพุตป้อนเข้าที่กับระบบ PD ก็จะเปรียบเทียบเฟสและความถี่ของอินพุตกับความถี่ของ VCO และสร้างแรงดัน ERROR $V_e(t)$ ซึ่งสัมพันธ์กับความต่าง เฟสและความถี่ของสัญญาณทั้งสอง จวลท์เคจ ERROR น้ก็จะถูกกรองให้ความถี่ต่ำผ่านออกไปได้ และป้อนกลับไปยัง VCO ในลักษณะน้ $V_d(t)$ จะไปบังคับให้ความถี่ของ VCO เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ลดความแตกต่างของ ความถี่ f_0 กับความถี่สัญญาณอินพุต f_1 ลง ถ้า f_1 ใกล้เคียงกับ f_0 ด้วยคุณ สมบัติการป้อนกลับของ PLL จะทำให้ VCO เกิดการ SYNCHRONIZED หรือเรียกว่าล็อก กับสัญญาณอินพุต เมื่ออยู่ในสภาวะล็อกความถี่ VCO จะเท่ากับความถี่ของสัญญาณอินพุตและ เฟสต่างกันเล็กน้อย ความต่างเฟส(๐)ที่ีมีความสำคัญเพื่อำให้ได้แรงดัน ERROR $V_e(t)$ สำหรับไปเลื่อนความถี่ของ VCO ไปยังค่าความถี่สัญญาณอินพุต f_1 เพื่อรักษาสภาวะล็อก ไว้ความสามารถในการปรับสภาพตัวเองให้ถูกต้องได้ของระบบน้ทำให้ PLL สามารถแทรก

(TRACK) การเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณอินพุททำให้ในขณะที่อยู่ล็อค ตลอดช่วงความถี่ PLL สามารถคงสภาวะล็อคกับสัญญาณอินพุทไว้ได้ เราเรียกว่าพิสัยสภาวะล็อคหรือ LOCK RANGE ของระบบตลอดช่วงความถี่ ซึ่ง PLL สามารถยึดสภาวะล็อคไว้ได้จริงกับสัญญาณอินพุทคือพิสัยการเข้าสู่สภาวะล็อค หรือ CAPTURE RANGE ของระบบซึ่งพิสัยนี้จะต่างกับพิสัยแรกจะไม่กว้างกว่าพิสัยแรก ซึ่งอธิบายต่อมา



รูปที่ 2.3.3 TRANSFER CHARACTERISTICS ของความถี่กับค่าแรงดัน V_d

- ก) กรณีความถี่อินพุทเพิ่มขึ้น
- ข) กรณีความถี่อินพุทลดลง

จากรูปแสดงถึง TRANSFER CHARACTERISTIC ของความถี่กับค่าแรงดัน V_d ในตอนนี้เราจะได้พิจารณาถึงขณะที่ลูบยังไม่เข้าสู่สภาวะล็อค PD จะเป็นตัว MIXER สัญญาณอินพุทและสัญญาณของ VCO และทำให้ผลรวมและผลต่างของความถี่ $f_1 + f_0$ อย่างแรกก็ตามในกรณีที่ผลรวมและผลต่างในกรณีทั้งสองอยู่นอกขอบเขต (BAND EDGE) ของ LPF และถูกกรองทิ้งไป ซึ่งจะกล่าวว่ามีสัญญาณป้อนกลับมา VCO ทำให้ความถี่ของ VCO อยู่ที่ความถี่ FREERUNNING (f_0) คงเดิม

เมื่อความถี่ f_1 ใกล้กับ f_0 ของ VCO จะทำให้ส่วนผลต่างของ $f_1 - f_0$ ลดลงและจะใกล้ขอบเขตของ LPF และในช่วงนี้บางส่วนของผลต่างความถี่ ($f_1 - f_0$) จะผ่าน LPF ไปได้ ซึ่งจะทำให้ VCO มีความถี่เข้าใกล้อินพุท ในขณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$f_1 - f_0$ จะลดลงและมีสัญญาณ f_0 มากขึ้นคือขบวนการป้อนกลับแบบบวก (POSITIVE FEEDBACK) ซึ่งจะเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้ PLL เกิดการล๊อคกับอินพุต

ในขณะที่ค่าแรงดัน ERROR $V_e(t)$ เริ่มผ่าน LPF าก็แสดงว่า PLL เริ่ม "CAPTURE" หลังจากนั้นความถี่ f_0 ของ VCO เข้าใกล้ความถี่ f_1 ของอินพุต จนกระทั่ง $f_0 = f_1$ ในสภาวะนี้เราเรียกว่า PLL อยู่ในสภาวะล๊อค (IN LOCK) เมื่อ PLL อยู่ในสภาวะล๊อคค่า V_e จะมีค่าคงที่ซึ่งเกิดจากความต่างเฟสทำให้ได้ CONTROL VOLTAGE $V_d(t)$ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของแรงดัน ERROR เป็นค่ากระแสตรง (DC) คงที่ที่ควบคุม VCO ให้ความถี่เท่ากับความถี่อินพุต

จากรูป ก) ในขณะที่ PLL เริ่มล๊อคกับสัญญาณอินพุต หมายถึง $f_0 = f_1$ ซึ่งเป็นความถี่ต่ำสุดของการเริ่ม CAPTURE ความถี่สัญญาณ VCO จะเข้าใกล้สัญญาณอินพุต จากนั้นการล๊อคของ PLL จะขึ้นอยู่กับความสามารถของ VCO ที่จะเปลี่ยนความถี่ในกรณีมี SLOPE การเปลี่ยนแปลงความถี่กับ CONTROL VOLTAGE $V_d(t)$ และเมื่อความถี่ $f_1 = f_0$ จะทำให้ $V_d(t) = 0$ ลูปจะติดตามสัญญาณเข้าจนกระทั่งถึงความถี่ f_2 ซึ่งเป็นความถี่สูงสุดของ LOCK RANGE ก็จะถูกดึงออกจากสภาวะล๊อค และเมื่อ f_1 ลดลงจะเป็นรูป ข) เมื่อ $f_1 = f_3$ ซึ่งเป็นความถี่สูงสุดของการเริ่ม CAPTURE RANGE จะเริ่มล๊อคอินพุต สังเกตว่าจุดสูงสุดของ CAPTURE RANGE จะต่ำกว่าจุดสูงสุดของ LOCK RANGE เมื่อ PLL เข้าสู่สภาวะล๊อค การล๊อคจะขึ้นอยู่กับความสามารถของ VCO ที่จะเปลี่ยนแปลงความถี่อินพุตเช่นเดิมและเมื่อ f_1 ลดลงเรื่อยๆจน $f_1 = f_4$ ซึ่งเป็นจุดต่ำสุดของ LOCK RANGE ก็จะทำให้ VCO หลุดจากสภาวะล๊อคอีก สังเกตว่าจุดต่ำสุดนี้จะต่ำกว่าจุดต่ำสุดของ CAPTURE RANGE จะเห็นว่า

f_1 ถึง f_3 คือ CAPTURE RANGE ($2f_0$) .

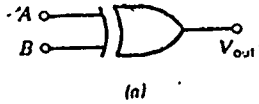
f_4 ถึง f_2 คือ LOCK RANGE ($2f_1$)

และ $f_0 < f_1$

*2.3.2 เฟสดีเทคเตอร์ (PHASE DETECTOR)

ชนิดของเฟสดีเทคเตอร์มีหลายชนิด เช่น

1. EXCLUSIVE-OR GATE



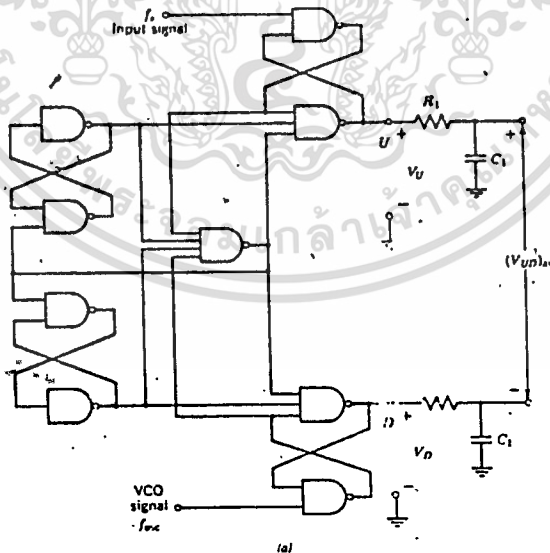
A	B	V_{out}
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

(b)

รูปที่ 2.3.4 แสดงการทำงานของ EXCLUSIVE-OR GATE

เฟสดีเทคเตอร์แบบนี้ การลื่นคั่นเฟสของสัญญาณทั้งสองจะต่างกันระหว่าง 0-180 องศา ข้อเสียของดีเทคเตอร์แบบนี้คือ สัญญาณเอ้าท์พุทจะอยู่ในรูปของพัลส์สี่เหลี่ยม เมื่อผ่านลูบฟิลเตอร์จะได้สัญญาณคี่ซีที่ไม่น่าเรียบนัก ทว่าความถี่ของ VCO เปลี่ยนไปเรียกว่า PHASE NOISE

2. SEQUENTIAL PHASE DETECTOR

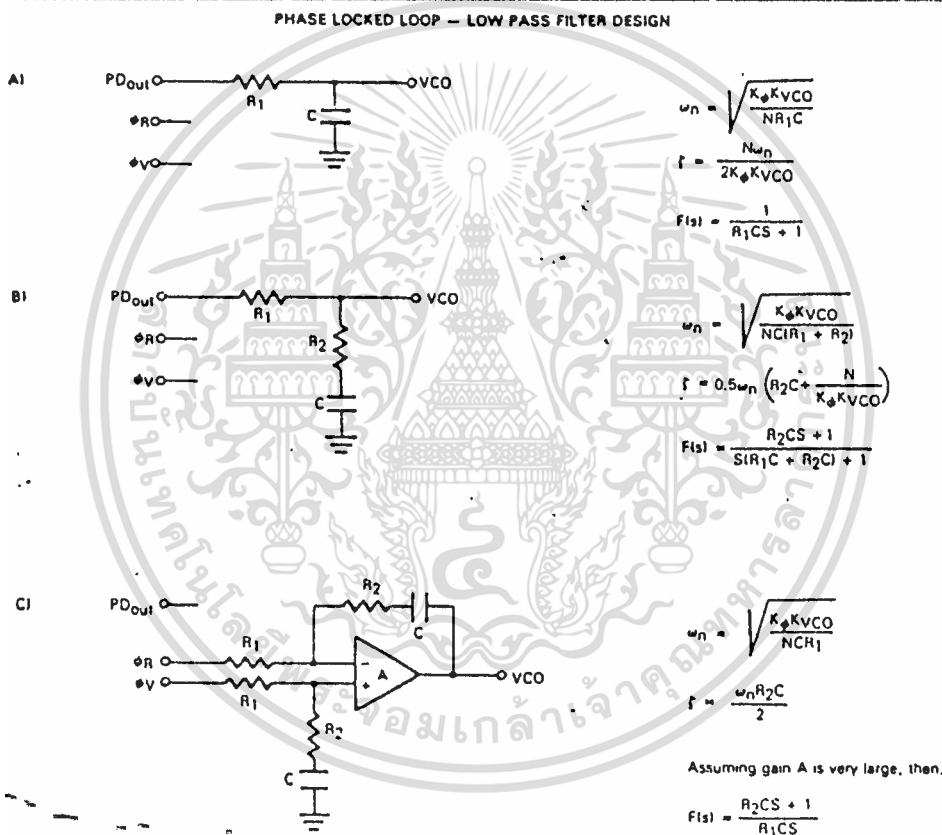


รูปที่ 2.3.5 วงจร SEQUENTIAL PHASE DETECTOR

เฟสล็อคเตอร์แบบนี้ การลอคนั้น สัญญาณทั้งสองจะมีเฟสเหมือนกันเท่านั้น อกจะหาหน้าทีเปรียบเทียบกับเฟสทั้งสองสัญญาณ แปลงการ LEAD หรือ LAG ว่าเป็นการเกินหรือคยาบระจุของคาบาชีเตอร์ ดังแสดงานรูป 2.3.5 ข้อคิของเฟสล็อคเตอร์ชนิดนี้คือ สัญญาณเอาร์ทพุทเมื่อผ่านลูบฟิลเตอร์จะเก้สัญญาณค้ชที่เรียมบค้

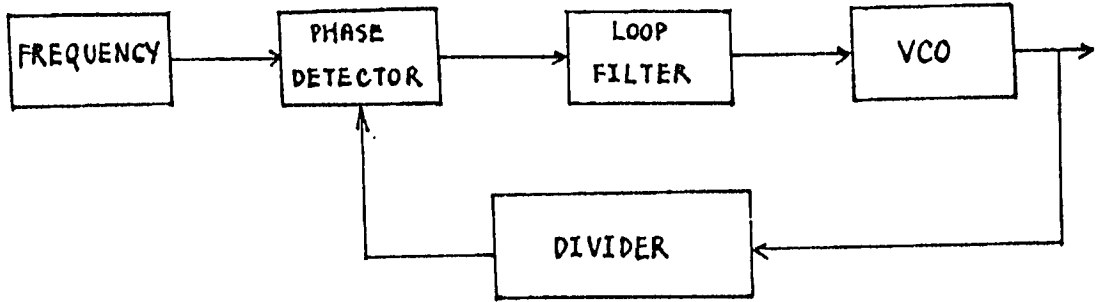
2.3.3 ลูบฟิลเตอร์(LOOP FILTER)

ลูบฟิลเตอร์จะเป็นวงจร LOW PASS FILTER อกษาช่วงจรต่างวค้
รูป 2.3.6



รูปที่ 2.3.6 ลูบฟิลเตอร์แบบต่างว

2.3.4 วงจรสังเคราะห์ความถี่ (FREQUENCY SYNTHESIZER)



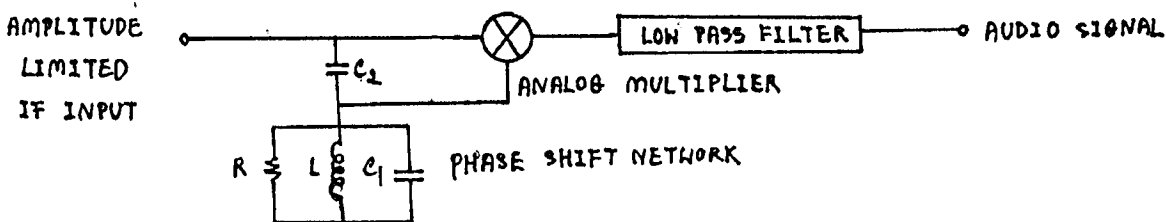
รูปที่ 2.3.7 วงจรสังเคราะห์ความถี่

ถ้านำวงจรหารคอดังรูป 2.3.7 จะได้ว่า $f_{VCO} = N f_{REF}$ ดังนั้น N เป็นวงจรหารที่ปรับแปรมาได้

2.4 ดีเทคเตอร์ (DETECTOR)

วงจรดีเทคเตอร์เป็นวงจรที่แยกสัญญาณเอ็ดริอ (AUDIO) และคลื่นพาห์ของสัญญาณจากสัญญาณความถี่กลาง IF (INTERMEDIATE FREQUENCY) ซึ่งในระบบเอพเอ็มใช้ความถี่ 10.7 MHz เมื่อผ่านภาคขยายความถี่กลาง (IF AMPLIFIER) แล้วเพื่อเพิ่มกำลังขยาย แล้วจะแยกสัญญาณที่ต้องการออกจากคลื่นพาห์ (CARRIER)

ในการดีเทคสัญญาณเอพเอ็มนี้ จะเลือกใช้วงจรดีเทคแบบ ควอดราเจอร์ ดีเทคเตอร์ (QUADRATURE DETECTOR) ซึ่งวงจรนี้ทำงานรับสัญญาณอินพุตสองส่วน uly แต่แต่ละส่วนมีเฟสต่างกัน 90 องศา จากนั้นคูณสัญญาณทั้งสองนี้แล้วใช้สัญญาณกรองความถี่ต่ำ (LOW PASS FILTER) กรองเอาสัญญาณที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.4.1



รูปที่ 2.4.1 QUADRATURE COIL

ทฤษฎีการทางานสามารถอธิบายได้ดังนี้

กำหนดให้ ω_0 คือความถี่กลางในหน่วยเรเดียน

ω คือความถี่เฉพาะความในหน่วยเรเดียน

จะได้ว่าความต่างเฟสในหน่วยเรเดียนเป็น

$$\Delta \phi = \frac{\pi}{2} - K(\omega - \omega_0) = \frac{\pi}{2} - K\Delta\omega \quad (2-1)$$

สัญญาณอินพุทของวงจรถูกเป็น $V_0 \sin(\omega t)$ และ

$$V_0 \sin(\omega t + \frac{\pi}{2} - K\Delta\omega) = V_0 \cos(\omega t - K\Delta\omega) \quad (2-2)$$

คูณกันจะได้ผลลัพธ์เป็น

$$V_0^2 \sin(\omega t) \cos(\omega t - K\Delta\omega) = \frac{V_0^2}{2} \{ \sin(2\omega t - K\Delta\omega) + \sin(K\Delta\omega) \} \quad (2-3)$$

ซึ่งจากการคูณจะมีส่วนสัญญาณความถี่ค่าคือ

$$\frac{V_0^2 \sin(K\Delta\omega)}{2} \quad (2-4)$$

ถ้า $K\Delta\omega < 0.25$ เรเดียน จะได้ว่า

$$\sin(K\Delta\omega) = K\Delta\omega \quad (2-5)$$

ซึ่งเทอมนี้จะเป็นเชิงเส้นใน $\Delta\omega$ และจะได้สัญญาณเอาต์พุทที่ต้องการ

จากวงจรในรูปที่ 2.4.1 วงจรรีซแนนซ์ขนานจะรีซแนนซ์ที่ความถี่ ω_0

และการเลื่อนเฟส ระหว่าง V_{in} และ V_0 จะเป็น

$$\Delta \theta = \text{Arg } \frac{V_0}{V_{in}} = \frac{\pi}{2} - \tan^{-1}(Q\delta) \quad (2-6)$$

เมื่อค่า Q_0 เป็นค่า Q ที่ความถี่ ω_0 และ

$$\delta = \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \quad (2-7)$$

สำหรับการเลื่อนเฟสของดีเทคเตอร์นั้น ไม่จำเป็นต้องเป็น 90 องศาแต่

อาจเป็น 45 หรือ 135 องศาก็ได้ และจะได้ผลลัพธ์ที่คล้ายกัน เช่น ถ้าที่ความถี่กลาง

ω_0 , $R=1/\omega_0 C_2$ ที่ความถี่ใด ๆ การเลื่อนเฟสของสมการที่ (2.6) จะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta\theta = \tan^{-1} \left[\frac{\omega_0/\omega}{1+Q_0(\omega_0/\omega)[(\omega/\omega_0)-(\omega_0/\omega)]} \right] \quad (2-8)$$

สำหรับวงจรที่เทคเตอร์ที่ดี จะต้องอยู่ในควอดแดนต์แรก ซึ่งจะเป็นได้

เมื่อ

$$\omega > \frac{\omega_0}{\sqrt{1+1/Q_0}} \quad (2-9)$$

และทำให้เกิดความสมมาตรของการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่มีการมอดูเลชัน

$$\omega \pm \left[\omega_0 - \frac{\omega_0}{\sqrt{1+1/Q_0}} \right] \quad (2-10)$$

2.5 วงจร เปรียบเทียบ (COMPARATOR)

วงจร เปรียบเทียบหรือ วงจรขยายสัญญาณความแตกต่างของอินพุท สามารถประยุกต์นำวงจรออปแอมป์มาใช้งานกรณีที่เป็น วงจรขยายเปิดลูป โดยปรกติแรงดันไฟเลี้ยงที่เข้าที่แก้ออปแอมป์จะเป็นแรงดัน $+V_{cc}$ และ $-V_{cc}$ ดังนั้นเอาต์พุทของออปแอมป์เมื่อเป็นวงจรขยายเปิดลูปจะอิมิตัวอยู่ที่ $+V_{cc}$ หรือ $-V_{cc}$ เท่านั้น นั่นคือ ถ้าแรงดันที่ขาอินเวรต์ของออปแอมป์มีค่ามากกว่าขา นอนอินเวรต์ที่ดึงเพียงเล็กน้อย แรงดันเอาต์พุทก็จะอิมิตัวอยู่ที่ $-V_{cc}$ และถ้าแรงดันที่ขาอินเวรต์ที่ดึงมีค่ามากกว่า ขา นอนอินเวรต์ที่ดึง แรงดันเอาต์พุทก็จะอิมิตัวอยู่ที่ $+V_{cc}$

จะเห็นว่าลักษณะของออปแอมป์ จึงเป็นวงจร เปรียบเทียบที่เอาต์พุทแรงดันเอาต์พุท $+V_{cc}$ หรือ $-V_{cc}$ ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในทางคิจิตอล หรือวงจรอินเตอร์เฟสระหว่างวงจรมานาลอกกับคิจิตอล เพราะวงจร เอาต์พุทอาจทำให้ภาควงจรรคิจิตอลเสียหายได้ จึงมีการผลิตไอซีออปแอมป์ที่ออกแบบพิเศษ เพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุท 2 ระดับ เช่น 0 กับ 5 โวลท์

2.5.1 ไอซีของวงจรเปรียบเทียบ

ไอซีวงจร เปรียบเทียบมีลักษณะ เป็น วงจรขยายความแตกต่าง (DIFFERENTIAL AMPLIFIER) ในลักษณะวงจรขยายเปิดลูป หรือไม่มีการบ่อนกลับ ดังนั้นวงจรขยายนี้จึงมีอัตราขยายที่ค่อนข้างสูงมาก และ เอาต์พุทก็อิมิตัวอยู่ที่ระดับแรงดัน

สองระดับ คือ สูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับค่าระดับอินพุตที่เข้าทั้งสอง

วงจร เปรียบเทียบานอคมคคิควรมีลักษณะดังนี้

_ อัตราแรงดันของผลต่างที่อินพุตมีค่านันต์

_ อัตราขยายแรงดัน เมื่ออินพุตทั้งสองมีเฟสรวม หรืออยู่ในแอมทเดียวกันเป็น

ศูนย์

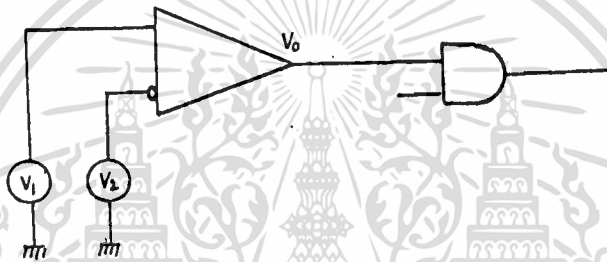
_ อินพุตอิมพีแดนซ์ เป็นอนันต์

_ เอาท์พุทอิมพีแดนซ์ เป็นศูนย์

_ แถบขยายด้านความถี่ เป็นอนันต์

_ แรงดันและกระแสออฟเซตเป็นศูนย์

การดำเนินงานของวงจรเปรียบเทียบเบื้องต้นแสดงทเห็นดังรูปที่ 2.5.1

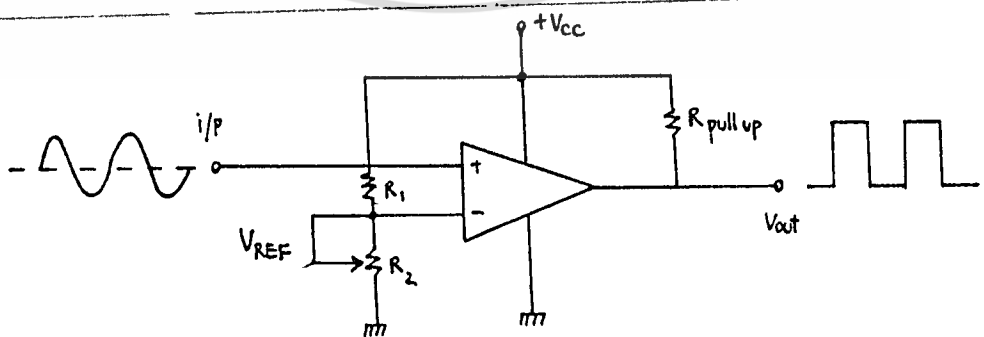


รูปที่ 2.5.1 วงจรเปรียบเทียบเบื้องต้น

V_o เป็นลอจิก 1 ถ้า $V_1 > V_2$

V_o เป็นลอจิก 0 ถ้า $V_1 < V_2$

2.5.2 การประยุกต์ใช้งานวงจรเปรียบเทียบ



รูปที่ 2.5.2 การใช้งานวงจรเปรียบเทียบเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.5.2 เป็นวงจรเปรียบเทียบที่เข้างานการเปลี่ยนสัญญาณลอคค่าที่เป็นสัญญาณดิจิทัล ตัวต้านทานที่ต่อที่เอาต์พุตต้อง เลือกว่าที่ค่ามากพอ เพื่อกำจัดกระแสรั่วเข้าที่กระแสไหลเข้าเป็นในตัวไอซีมากเกินไป ในขณะที่เอาต์พุตอยู่ในสภาวะต่ำ ตัวต้านทาน R_1 และ R_2 ทำหน้าที่แบ่งแรงดัน $+V_{cc}$ ให้แรงดันอ้างอิง V_{ref} ป้อนที่ขาอินพุตทางด้านอินเวอร์ตติง เพื่อให้ได้สัญญาณที่เข้ามาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงนี้

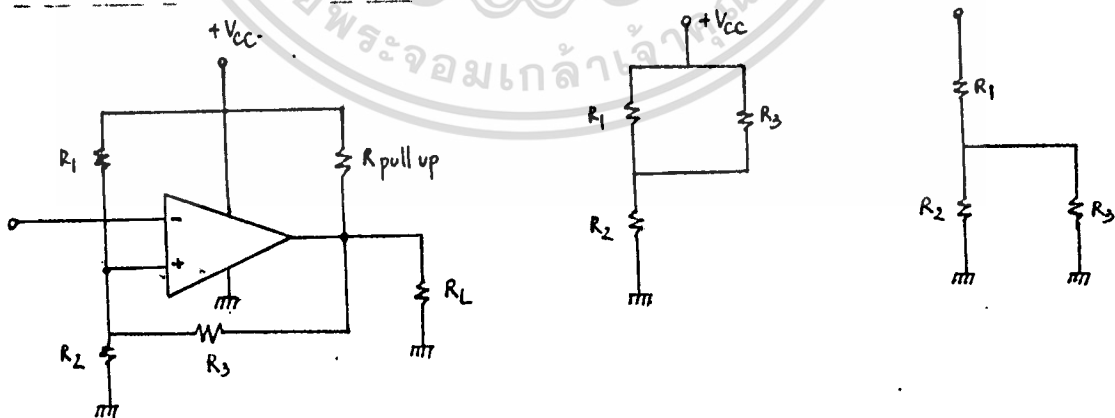
วงจรเปรียบเทียบแรงดันที่ให้มีสมรรถนะเร็ว

วงจรรูป 2.5.2 เป็นวงจร เบื้องต้นในการ เปรียบเทียบระดับแรงดัน ถ้าหากว่าที่ขาอินเวอร์ตติงมีแรงดันที่เปลี่ยนแปลงระดับอย่างช้าๆ จะทำให้ตัววงจร เปรียบเทียบทำงานอยู่ในช่วงที่เป็นเชิงเส้น คือ เอาต์พุตจะค่อยๆเปลี่ยน และมีแรงดันอยู่ในช่วงภาวะต่ำสุดและสูงสุดของระดับแรงดันเอาต์พุต และสิ่งที่เราจะแก้ไขผลของสิ่งทีกล่าวมาแล้วนั้น เราทำได้โดยการป้อนกลับจากเอาต์พุตมายังอินพุตแบบบวก หรือ เพิ่มการชั้สเทอร์เรชีสให้กับตัววงจร เปรียบเทียบ รูปที่ 2.5.3 เป็นการต้องการป้อนกลับแบบบวกให้กับวงจร และเพื่อให้งจรทำงานได้ก็ค้ต้องกำหนดค่าที่

$$R_{pull\ up} < R_{load}\text{และ}$$

$$R_s > P_{pull\ up}$$

ทั้งนี้เพื่อให้งจร เปรียบเทียบสามารถสวิตช์ได้เต็มที่ถึง $+V_{cc}$ uly ไม่ถูกดึงแรงดันนำ้ไหลลงด้วยตัวต้านทานป้อนกลับ ส่วนภาคการป้อนกลับต้อง เลือกว่าที่ค่าแรงดันอินพุตที่เข้ามาแล้ววงจรทำงานได้



รูปที่ 2.5.3 วงจร เปรียบเทียบระดับแรงดันที่ให้มีชั้สเทอร์เรชีส

ดังตัวอย่างเช่น ถ้าเอาท์พุทแฉ่ง 5-0 ราวท์ ถ้าเราทักทวการให้การ บ้อนกลับเพียง 1 เเปอร์เซ็นต์ หรือ 50 mV นั่นคือเราเลือก $R_3 = 100R_2$ เพื่อ ธิบายการทางาน เราสมมุติว่า แรงคั้นอินพุทมีค่ามากกว่า แรงคั้นอ้างอิง ($V_{in} > V_{REF}$) ซึ่งจะทาทให้ อินพุทกับเอาท์พุทมากอยู่ทีแรงคั้นกราวด์ และจะทาทให้แรงคั้น อินพุทที่ขานอนอินเวอร์ตึงมีค่าลดลงโดยผ่านทางค่าต้านทาน R_3 ซึ่งจะทาทให้เอาท์พุทยังอยู่ที่ จุดอิมพัทที่กราวด์ยิ่งขึ้น และการบ้อนกลับเข้ามาเสริมนี้จะเป็นผลทาทให้ เอาท์พุทยังลคแรง คั้นหรือมีช่วง เวลาการสวิทช์เร็วยิ่งขึ้น (แม้ว่าอินพุททางขานอินเวอร์ตึงจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตาม) และเมื่อแรงคั้นอินพุทค่อยๆ ลคลงมาต่ำกว่าค่าแรงคั้น V_{REF} เอาท์พุทจะแฉ่งขึ้นทางแรง คั้น +5V ก็จะมีงทาทให้แรงคั้นที่อนอินเวอร์ตึงสูงขึ้นทาทให้การสวิทช์เพิ่มความเร็วยิ่งขึ้น

การบ้อนกลับแบบนี้ทาทให้เกิดฮิสเทอรีซิส ซึ่ง เราศคคักแปลงจากรูป 2.5.2

อีกเพียงเล็กน้อยจากรูปที่ 2.5.3

จากวงจรถะเห็นวเอาท์พุทจะเปลี่ยนมีสภาวะเป็น ฮิสเทอรีซิสกับแรงคั้น อินพุทซึ่ง เราสามารถทาทการเบรคแรมจคค่าได้ด้วยตัวต้านทานย้อนกลับ R_3 , R_2 กับการ แฉ่งแรงคั้นอ้างอิง $+V_{cc}$ ด้วยตัวต้านทาน R_1, R_2

ในขณะที่เอาท์พุทอยู่ในสภาวะต่ำ เอาท์พุทจะสวิทช์ไปสภาวะสูง เมื่ออินพุท มีค่าต่ำกว่าแรงคั้น V_{A1} และเมื่อเอาท์พุทอยู่ในสภาวะสูงจะสวิทช์ไปสภาวะต่ำ เมื่ออินพุท เข้ามามีค่ามากกว่า V_{A2}

ค่าแรงคั้น V_{A1} สามารถคำนวณได้ด้วยวงจรถสมมุติจดังรูป (ค) ซึ่งสามารถ เขียนเป็นสมการ

$$\begin{aligned} V_{A1} &= \frac{+V_{cc}R_2}{(R_1//R_3)+R_2} \\ &= \frac{+V_{cc}R_2(R_3+R_1)}{R_1R_2+R_1R_3+R_2R_3} \end{aligned} \quad (2-11)$$

ทานองเดียวกันสามารถคำนวณหาค่าแรงคั้น V_{A2} ได้จาก

$$\begin{aligned} V_{A2} &= \frac{+V_{cc}R_2//R_3}{R_1+R_2//R_3} \\ &= \frac{+V_{cc}R_2R_3}{R_1R_2+R_1R_3+R_2R_3} \end{aligned} \quad (2-12)$$

สามารถหาความกว้างของซีสเทอร์เรซีส์ได้ดังนี้

$$V_A = V_{A1} - V_{A2}$$

$$= +V_{CC} R_2 R_1$$

$$R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3$$

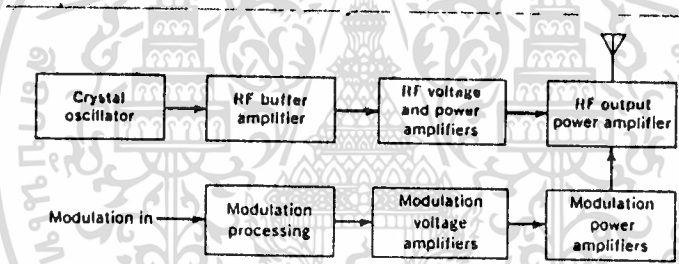
(2-13)

เพื่อให้แน่ใจว่าแรงดัน V_0 จะแกว่งไว้ระหว่าง $+V_{CC}$ และกราวด์เราควรเลือก

$$R_{pull} < R_L$$

$$R_3 > R_{pull}$$

2.6 เครื่องส่ง (TRANSMITTER)



รูปที่ 2.6 BLOCK DIAGRAM ของเครื่องส่ง

เครื่องส่งมีหลักการทางานคือ จะมีขบวนการที่จะ เปลี่ยนข่าวสารที่ต้องการส่งให้ อยู่ในรูปแบบสัญญาณที่เหมาะสมกับการส่งวิทยุ ซึ่งขบวนการนี้เรียกการ มอดูเลท (MODULATE)

การมอดูเลทเป็นการทำให้สัญญาณของคลื่นพาห้ ซึ่งมีความถี่เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณที่ต้องการมอด (ข่าวสาร) เช่น การเปลี่ยนแปลงทางขนาด (AMPLITUDE), ความถี่ (FREQUENCY), เฟส (PHASE)

จากรูปที่ 2.6 เป็น BLOCK DIAGRAM ของเครื่องส่ง มีหลักการทางานคือ
1. แหล่งกำเนิดสัญญาณข่าวสาร โมครรพท, จานเสียง, กล้องถ่ายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยนต์ หรืออุปกรณ์อื่นที่เปลี่ยนสัญญาณข่าวสาร เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า

2. สัญญาณจะผ่านเข้าสู่ภาคขยาย (AMPLIFIER) แล้วกรองความถี่ที่ต้องการด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำ (LOW PASS FILTER)

3. วงจร RF OSCILLATOR สร้างสัญญาณ พาห์เพื่อเบี่ยงการมอดูเลต

4. สัญญาณพาห์ เบี่ยงการขยายเพื่อขระคับสัญญาณให้สูงพอที่จะมอดูเลต และบางครั้งถ้าความถี่ที่ออสซิลเลต ไปได้ไม่สูงพอก็ทำการ เพิ่มความถี่ขึ้นไปอีก (FREQUENCY MULTIPLICATION)

5. ทาการมอดูเลตสัญญาณข่าวสารกับสัญญาณพาห์ ตามวิธีที่ต้องการทาง AMPLITUDE, FREQUENCY หรือ PHASE บางครั้งการการมอดูเลตต้องทา 2 ครั้ง เพื่อขระคับความถี่ให้ได้สูงตามที่ต้องการ

6. ทาการขยายสัญญาณอีกครั้งให้ได้ระดับเพื่อส่งออกสายอากาศ

7. สายอากาศจะส่งสัญญาณออกไประคย เปลี่ยนเป็นสัญญาณแม่เหล็ก (ELEC-

TROMAGNETIC)



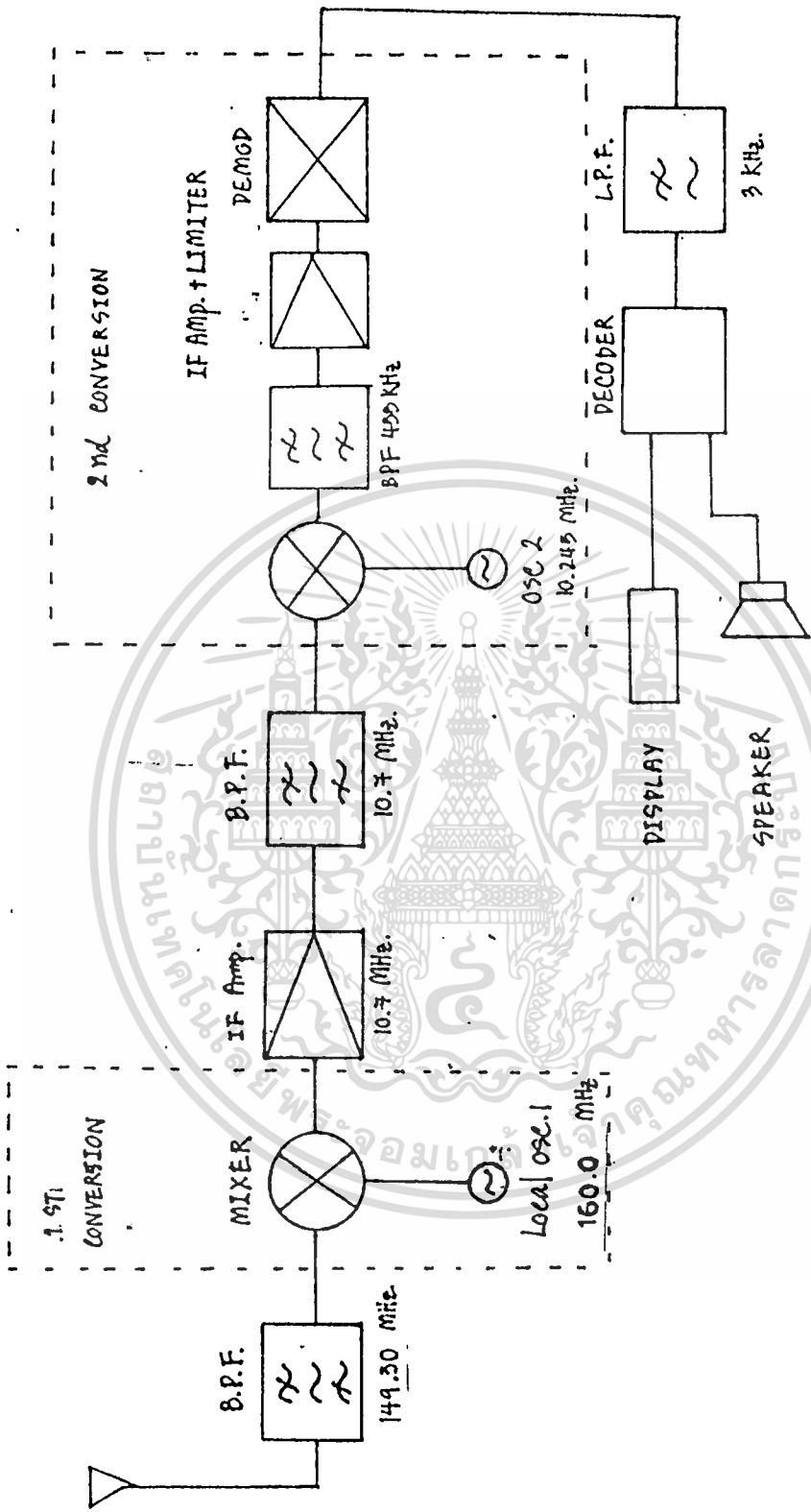
บทที่ 3 การออกแบบและคำนวณ

3.1 หลักการทำงานของเครื่องรับวิทยุคมนาคมตัว

เครื่องรับวิทยุคมนาคมตัว ในโครงการนี้เป็น เพจเจอร์แบบ เบนารี ดิจิตอล ดิสเพลย์ (BINARY DIGITAL DISPLAY) มีส่วนประกอบสำคัญสองส่วน คือ ภาควิทยุ และภาคถอดรหัสควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

ภาควิทยุ จะทำหน้าที่แปลงความถี่วิทยุที่รับมาจากสายอากาศและผ่านวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ (BAND PASS FILTER) โดยทำงานแบบ คู่อัลคอนเวอร์ชัน (DUAL CONVERSION) คือมีการแปลงความถี่เป็นความถี่กลาง 2 ครั้ง โดยครั้งแรกความถี่กลางเป็น 10.7 MHz ผ่านวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ ที่มีความถี่ศูนย์กลางเป็น 10.7 MHz และถูกแปลงความถี่กลางครั้งที่ 2 ได้ 455 KHz ผ่านลิ้มิตเตอร์แอมบริฟิเคเตอร์ (IF LIMITER) และทำการดีมอดูเลต (DEMODULATE) และผ่านวงจรฟิลเตอร์พาสฟิลเตอร์ เพื่อที่จะได้ความถี่เสียงซึ่งเป็น ชิฟต์คีย์อิงค์ (SHIFT KEYING) โดยมีความถี่ 2 ความถี่ (ในการส่งจะมีการเข้ารหัสเลขฐานสอง 1 bit เป็นความถี่ 2 bit โดยความถี่แต่ละค่าจะแทนระดับลอจิก 0 และ 1 ซึ่งเรียกว่า ฟริควนซี ชิฟต์ คีย์อิงค์ (FREQUENCY SHIFT KEYING ก่อนจะนำ SHIFT KEYING ไปมอดูเลตกับความถี่พาหะต่อไป)

ภาคถอดรหัสจะรับ ชิฟต์คีย์อิงค์ ที่ถูกจำกัดขนาดสัญญาณด้วยลิ้มิตเตอร์และทำการแปลงรหัส ถ้าวัดเป็นรหัสตรงกับเครื่องรับ ก็จะเตือนด้วยเสียงออกมาทางลำโพง และข่าวสารที่ส่งมาด้วยจะถูกแปลงออกมาแสดงทางจอภาพ (DISPLAY)

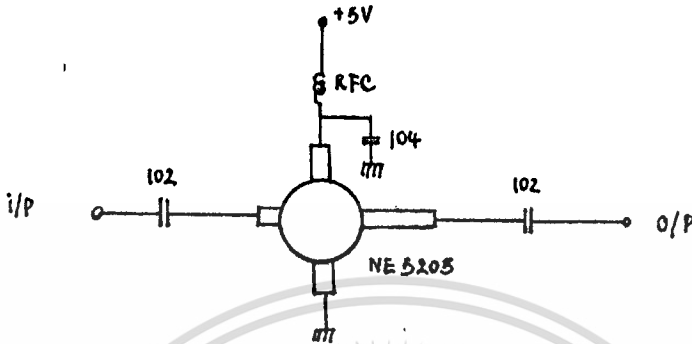


BLOCK DIAGRAM. ของเครื่องรับ

3.2 ภาคขยายความถี่ย่าน RF (RF AMPLIFIER)

วงจร อาร์เอฟ แอมพลิฟายเออร์ ในที่นี้เพื่อความสะดวกและประหยัด เลือกใช้ NE 5205 ซึ่งเป็นตัวขยายความถี่ในย่านความถี่สูง และมี BANDWIDTH กว้างมากคือตั้งแต่ DC จนถึง 450 MHz และให้กำลังขยายถึง 20 dB โดยมีวงจรดังรูปที่

3.2.1



รูป 3.2.1 วงจร RF AMPLIFIER

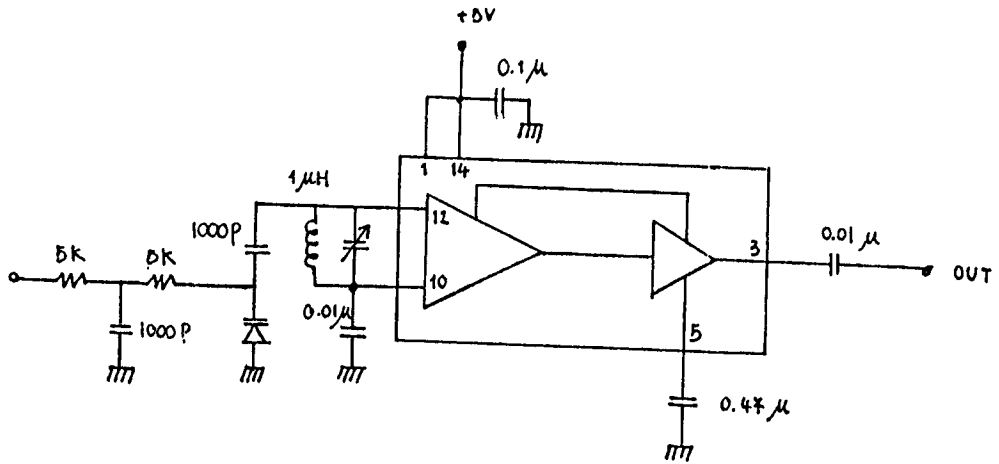
3.3 ภาคออสซิลเลเตอร์ (OSCILLATOR)

เนื่องจากไม่สามารถหา คริสตัล (CRYSTAL) ที่ความถี่ที่ต้องการได้ (180 MHz) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยระบบเฟสล็อกคูลูป เพื่อสังเคราะห์ความถี่ตามต้องการ

ส่วนของวงจรออสซิลเลเตอร์ (OSCILLATOR) ระบบเฟสล็อกคูลูปจึงเป็นแบบ วงจรที่แรงดันคอนโทรลออสซิลเลเตอร์ (VOLTAGE CONTROL OSCILLATOR) หรือมีชื่อเรียกย่อว่า VCO

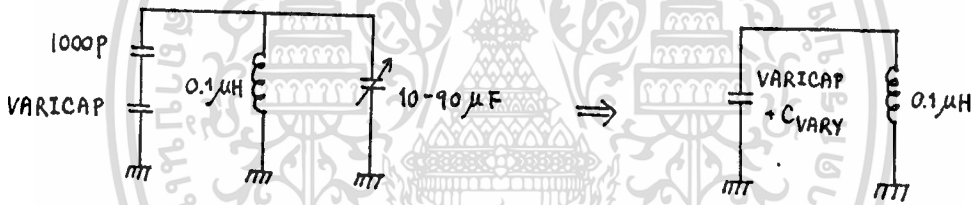
ขั้นตอนการออกแบบและคำนวณ

ในการออกแบบส่วนที่เป็น VCO นั้นใช้ค่า ω_0 1648 ซึ่งเป็น เมอร์ไอซี ที่ให้ความถี่ออสซิลเลเตอร์สูงสุด 225 MHz ในการเลือกความถี่ที่ต้องการหาการปรับค่า L และ C ซึ่งแสดงวงจรถังรูปที่ 3.3.1



รูป 3.3.1 วงจรออสซิลเลเตอร์

ส่วนวนกรอปล้นประ เป็นส่วนที่ใช้ในการคำนวณความถี่ที่ต้องการ ซึ่งวงจร
 แท้งค (TANK CIRCUIT) ของวงจรเสมือนของรูปที่ 3.3.1 จะแสดงได้เป็น



รูปที่ 3.3.2 วงจรเสมือนของ TANK CIRCUIT

โดยค่า CAPACITANCE ได้จากการรวมค่าของ CAPACITANCE
 ที่รับค่าได้กับ CAPACITANCE บน VARICAP ซึ่งแปรผันกับจลต์เตจซึ่งตกคร่อมบน
 VARICAP

3.4 มิกซ์เซอร์ (MIXER)

มิกซ์เซอร์ที่ใช้มิกซ์ความถี่ 149.3 MHz. กับ 160 MHz. ในโครงการงานนี้ใช้
 มิกซ์เซอร์สำเร็จรูปเบอร์ TFM-2 ซึ่งแสดงรายละเอียดในภาคผนวก

3.5 การออกแบบ PLL FREQUENCY SYNTHESIZER

3.5.1 การออกแบบวงจร PLL

ความถี่ LOCAL OSC ที่ต้องการคือ 160 MHz เป็นความถี่ที่สูงต้องทำการหารเพื่อให้เกิดความถี่ที่ต่ำลงเพื่อมาเปรียบเทียบกับความถี่อ้างอิง (REFERENCE FREQUENCY) ในส่วนของเฟสดีเทคเตอร์ (PHASE DETECTOR) ซึ่งได้เลือก IC ทาหน้า ที่ต่างวดังนี้

HD 10551, TC 9122 ทาหน้าที่เป็นตัวหาร (PUSCALAR)
 74C02 ทาหน้าที่เป็นตัวบัฟเฟอร์ (BUFFER)
 TC 5082 ทาหน้าที่เป็นตัวสร้างควมถี่อ้างอิง
 TC 5081 ทาหน้าที่เฟสดีเทคเตอร์

ความถี่ 160 MHz ถูกโปรแกรมมาที่ HD 10551 หารด้วย 40 และ TC 9122 หารด้วย 400 ซึ่งสามารถโปรแกรมตัวหารได้ตามตารางใน DATA SHEET ได้ความถี่ออกมาเท่ากับ 10 KHz

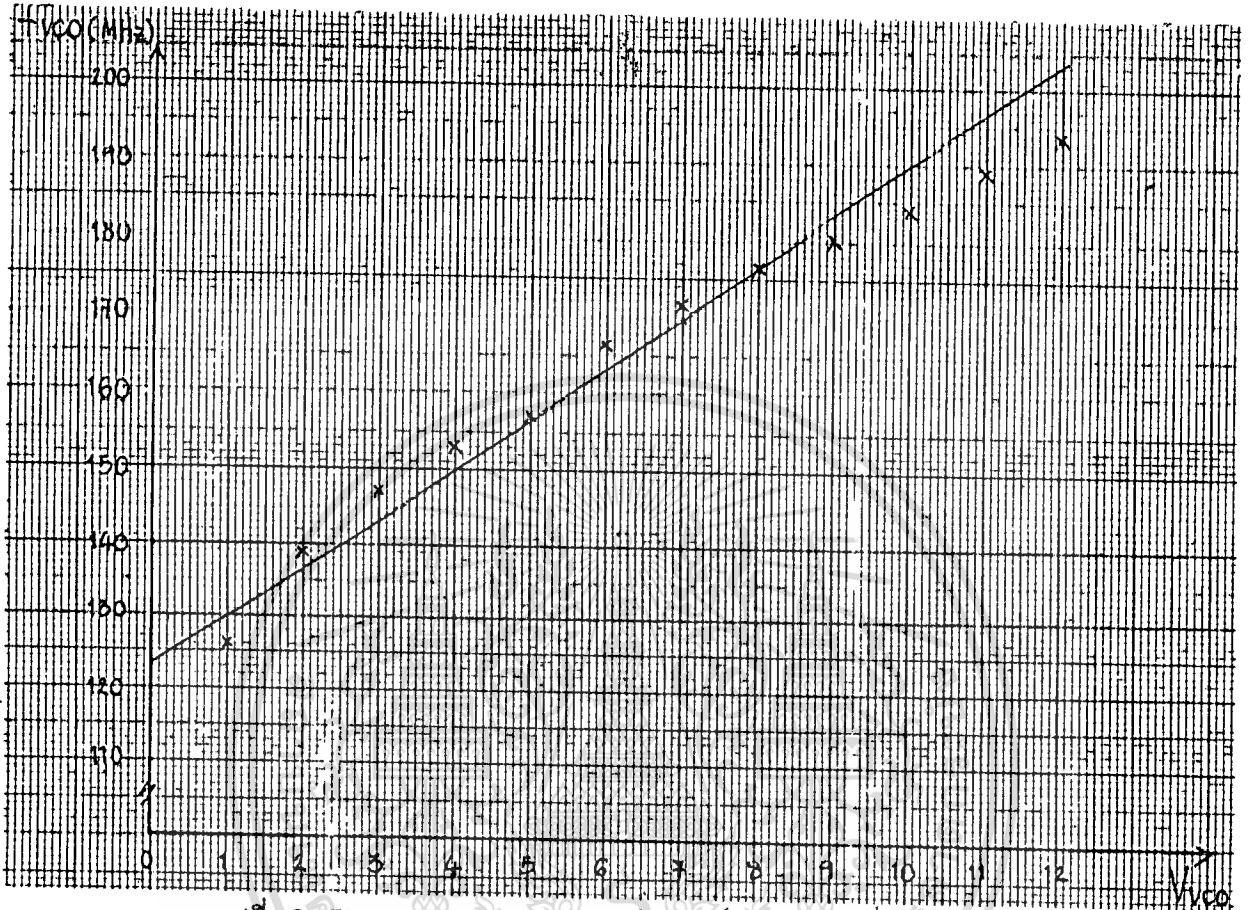
สำหรับ TC 5082 ซึ่งเป็นตัวสร้างควมถี่อ้างอิง ให้ความถี่ 10.24 MHz ซึ่งได้จากการออสซิลเลทของ คริสตอล ด้วยค่า 2M ได้ค่าความถี่ออกมา 4 ค่าคือ

ที่ขา 4	หารด้วย	212	ได้ความถี่เท่ากับ	2.5	KHz
ที่ขา 6	หารด้วย	211	ได้ความถี่เท่ากับ	5	KHz
ที่ขา 7	หารด้วย	210	ได้ความถี่เท่ากับ	10	KHz
ที่ขา 8	หารด้วย	20	ได้ความถี่เท่ากับ	20	KHz

จึงเลือกใช้ความถี่ 10 KHz ที่ได้จากขาที่ 7 ซึ่งตรงกับควมถี่ที่หาได้จากตัวหาร

3.5.2 การคำนวณเพื่อออกแบบ LOW PASS FILTER

จากการทดลองปรับค่า V_{CC} จาก 1-12 V ในส่วนของวงจร OSCILLATOR ให้ความถี่ตามกราฟดังต่อไปนี้

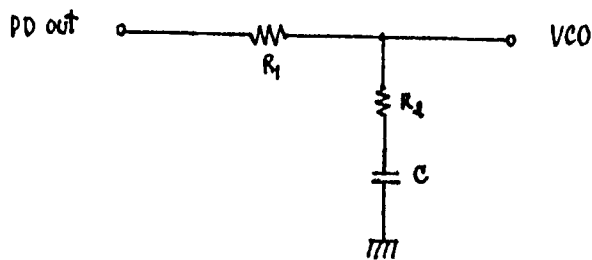


รูปที่ 3.5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่กับ V_{CC}

จากกราฟสามารถหาค่า K_{VCO} ได้โดย

$$\begin{aligned}
 K_{VCO} &= \frac{\Delta f_{vco} \cdot 2\pi}{\Delta V_{CC}} \quad \text{MHz/V} \quad (3.5-1) \\
 &= \frac{170-150 \cdot 2\pi}{7-4} \\
 &= 41.88 \quad \text{MHz/V}
 \end{aligned}$$

เลือกลูบฟิลเตอร์ดังรูป 3.5.2



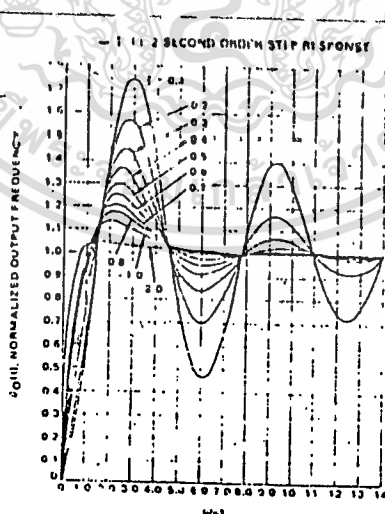
รูปที่ 3.5.2 ลูบฟิลเตอร์

ซึ่งให้ค่า ω_n และ ความสมการ

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K\phi K_{VCO}}{NC(R_1+R_2)}} \quad (3.5-2)$$

$$\zeta = 0.5 \omega_n \left(R_2 C + \frac{N}{K\phi K_{VCO}} \right)$$

ก่อนอื่นต้องกำหนดค่าแอมป์บิง แพลคเตอร์ (DAMPLING FACTOR) ที่หาทำให้ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลง่ายได้เร็วที่สุด ในที่นี้เลือกค่า DAMPLING เป็น 0.8 ซึ่งให้ค่า ω_{nc} ประมาณ 4.5 (Hz*๑๐๐) โดยหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ดังรูป 3.5.3



รูปที่ 3.5.3

โดยที่ ω_{nc} = ความถี่คutoff (CUTOFF FREQUENCY)

t = เซตคั้งทม์ (SETTING TIME)

กำหนดค่า เซทติ้ง ทัม = 1 ms เพื่อให้เข้าสู่สภาวะเสถียรเร็ว

$$W_n = 4.5/t = 4500 \text{ Hz} \quad (3.5-3)$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } N &= \text{ค่าที่เซทติ้งหมดคาบ} \\ &= 40 (\text{ใน HD 10551}) \times 400 (\text{ใน T(0122)}) \\ &= 16000 \end{aligned}$$

$$K_o = \frac{V_{dd}}{4\pi} = \frac{9}{4\pi} = 0.7$$

$$K_{voo} = 41.88 \text{ MHz/V}$$

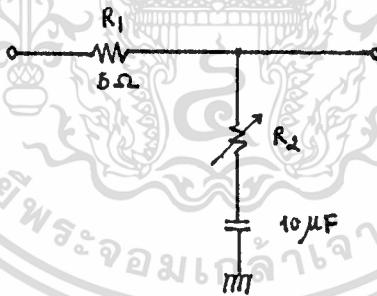
$$\text{และกำหนดค่า } C = 10 \text{ } \mu\text{F}$$

$$W_n = \frac{K_o K_{voo}}{NC(R_1+R_2)} \quad (3.5-4)$$

$$4500 = \frac{0.7 \times 41.88 \times 10^6}{16000 \times 10 \text{ } \mu\text{F} (R_1+R_2)}$$

$$R_1+R_2 = 10 \text{ } \Omega$$

เลือกค่า $R_1=5$ และค่า R_2 ปรับค่าได้ ให้ลูปพิวเคอร์ดังรูปที่ 3.5.4



รูปที่ 3.5.4 ลูปพิวเคอร์ที่คำนวณได้

3.6 วงจรขยายความถี่กลาง (IF AMPLIFIER)

$$\text{กำหนดค่าที่ } V_{CC} = 5 \text{ V}$$

$$V_{PP} = 4 \text{ V}$$

$$V_{drop} = 2 \text{ V}$$

$$BF_1, BF_2 = 50$$

$$a) I_{C2} = 2/3.4 \text{ K} = 0.5 \text{ mA.}$$

$$V_E = 0.1V_{CC} = 0.5 \text{ mV.}$$

$$V_{CE1} + V_{CE2} = V_{CC} - V_{RL} - V_E$$

$$= 5 - 1.7 - 0.5$$

$$= 2.8$$

ทำให้ 1.1 V สำหรับ V_{CE1} และ 1.7 V ที่ V_{CE2}

$$b) I_{B2} = I_{C2}/BF = 0.5\text{mA}/50 = 0.01 \text{ mA.}$$

$$I_{E2} = I_{C2} + I_{B2} = 0.51 \text{ mA.}$$

$$I_{B1} = I_{C1}/BF = 0.51\text{mA}/50 = 0.01 \text{ mA.}$$

$$I_{E1} = I_{B1} + I_{C1} = 0.5202 \text{ mA.}$$

$$c) \text{ ำให้ } I_R = 25 I_E = 0.25 \text{ mA.}$$

R_E จะทำให้ $I = 0.25 \text{ mA}$. ไหลผ่านและมีค่าโวลต์ตก =

$$V_{BE1} + V_E = 0.5 + 0.6 = 1.1$$

$$R_E = 1.1/0.25\text{mA.} = 4.4 \text{ K}$$

$$R_E \text{ มี } V = 0.5, I_E = 0.5 \text{ mA.}$$

$$R_E = 961$$

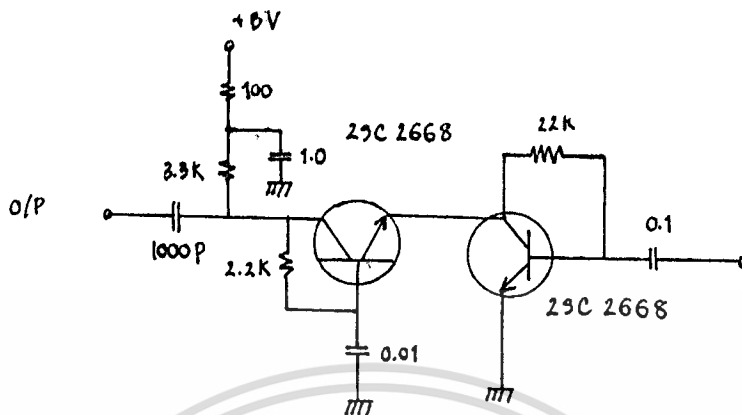
$$d) R_2 \text{ มีกระแสไหลผ่าน } 0.26 \text{ mA. มี } V = 1.1 \text{ V.}$$

$$R_2 = 4230 = 4.2 \text{ K}$$

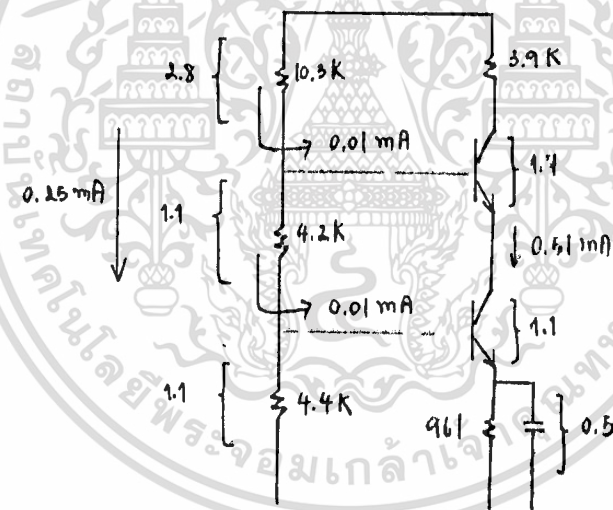
$$R_1 \text{ มีกระแสไหลผ่าน } 0.27 \text{ mA. มี } V = 2.8 \text{ V.}$$

$$R_1 = 10.3 \text{ K}$$

ซึ่งได้รูปวงจรถังรูปที่ 3.6.1 และ 3.6.2



รูปที่ 3.6.1 วงจรขยายความถี่กลาง



รูปที่ 3.6.2 แสดงการคำนวณค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การออกแบบวงจร DETECTOR

ในภาคดีเทคเตอร์ (DETECTOR) สำหรับในโครงงานนี้เลือกใช้ IC C 3357 เป็นตัวดีเทค (DETECT) สัญญาณ AUDIO วิทยุใน IC ตัวนี้ได้รวมภาคแปลงความถี่ที่ต่ำลง ภาคที่ 2 (SECOND DOWN CONVERTER) ด้วยวิทยุ IC เบอร์นี้ประกอบด้วยส่วน ออสซิลเลเตอร์ (OSCILLATOR), มิกเซอร์ (MIXER), ลิมิทเตอร์ (LIMITER AMPLIFIER), ดีมอดูเลเตอร์ (DEMODULATOR) รวมอยู่ในตัวเดียวกัน

โดยส่วนนี้รวมเรียกว่า DOWNCONVERTER AND DETECTOR วิทยุ การทำงานดังนี้คือ สัญญาณความถี่ 10.7 MHz เมื่อผ่านวงจรขยายความถี่ IF (10.7 Hz) แล้ว ก็จะผ่านเข้าที่ขา 16 ของ IC MC3357 แล้วผ่าน MIXER เพื่อรวมกับ สัญญาณความถี่ 10.245 MHz ซึ่งได้จากการ ออสซิลเลท ของคริสตอลที่ขา 2 รวมกัน ได้ความถี่ที่ต่ำลงมาคือ 455 KHz (10.7 MHz-10.245 MHz) จากนั้นผ่านเข้าสู่ภาค รองความถี่ 455 KHz และLIMITER AMPLIFIER และผ่านเข้าสู่ภาค ดีมอดูเลเตอร์ โดยส่วนนี้ใช้แบบ (QUADRATURE DETECTOR) ควอดราราเทอร์ ดีเทคเตอร์ ึ่งรับสัญญาณเข้า 2 ส่วนแต่ละส่วนมีความต่างเฟส 90° (หรือ 45°) ซึ่งส่วนของ QUADRATURE COIL เพื่อเลื่อนความถี่ไป 45°จะได้แสงในส่วนต่อับ สัญญาณที่เข้า ภาค ดีมอดูเลเตอร์จะได้สัญญาณความถี่ AUDIO การคำนวณควอดราราเจอร์ คอชล์ (QUADRATURE COIL) :

เนื่องจากในภาคของวงจร ดีเทคเตอร์ รวมกับภาค DOWN CONVERTER (ลดความถี่) อยู่ใน IC ตัวเดียวกันคือใช้ IC 3357 ซึ่งความถี่ที่เข้าในภาค ดีเทคเตอร์ คือ 455 KHz

$$\text{กำหนดให้ } f = 25 \text{ KHz}, f_0 = 455 \text{ KHz}$$

$$\text{จาก } W \leq \frac{W_0 - W_0}{\sqrt{1+1/Q}} \quad (3.7-1)$$

$$25\text{K} \leq \frac{455\text{K} - 455\text{K}}{\sqrt{1+1/Q}}$$

$$\text{ได้ } Q \leq 8.3$$

$$\text{เลือกค่า } Q = 8 \quad \text{และกำหนดให้ } R = 22\text{K}$$

$$\text{จาก } Q = R/X_C = R/X_L \quad (3.7-2)$$

$$C = Q/R\omega_0 \quad (3.7-3)$$

$$= 8/22K \times 2\pi \times 455K$$

$$= 127 \text{ PF}$$

$$L = R/Q\omega_0 \quad (3.7-4)$$

$$= \frac{22K}{8 \times 2\pi \times 455K}$$

$$= 0.96 \text{ mH}$$

ต้องการให้เลื่อนเฟสไป 45°

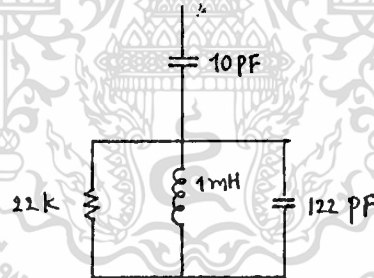
$$R = 1/\omega_0 C_2 \quad (3.7-5)$$

$$C_2 = 1/\omega_0 R \quad (3.7-6)$$

$$= 1/2\pi \times 455K \times 22K$$

$$= 15 \text{ PF}$$

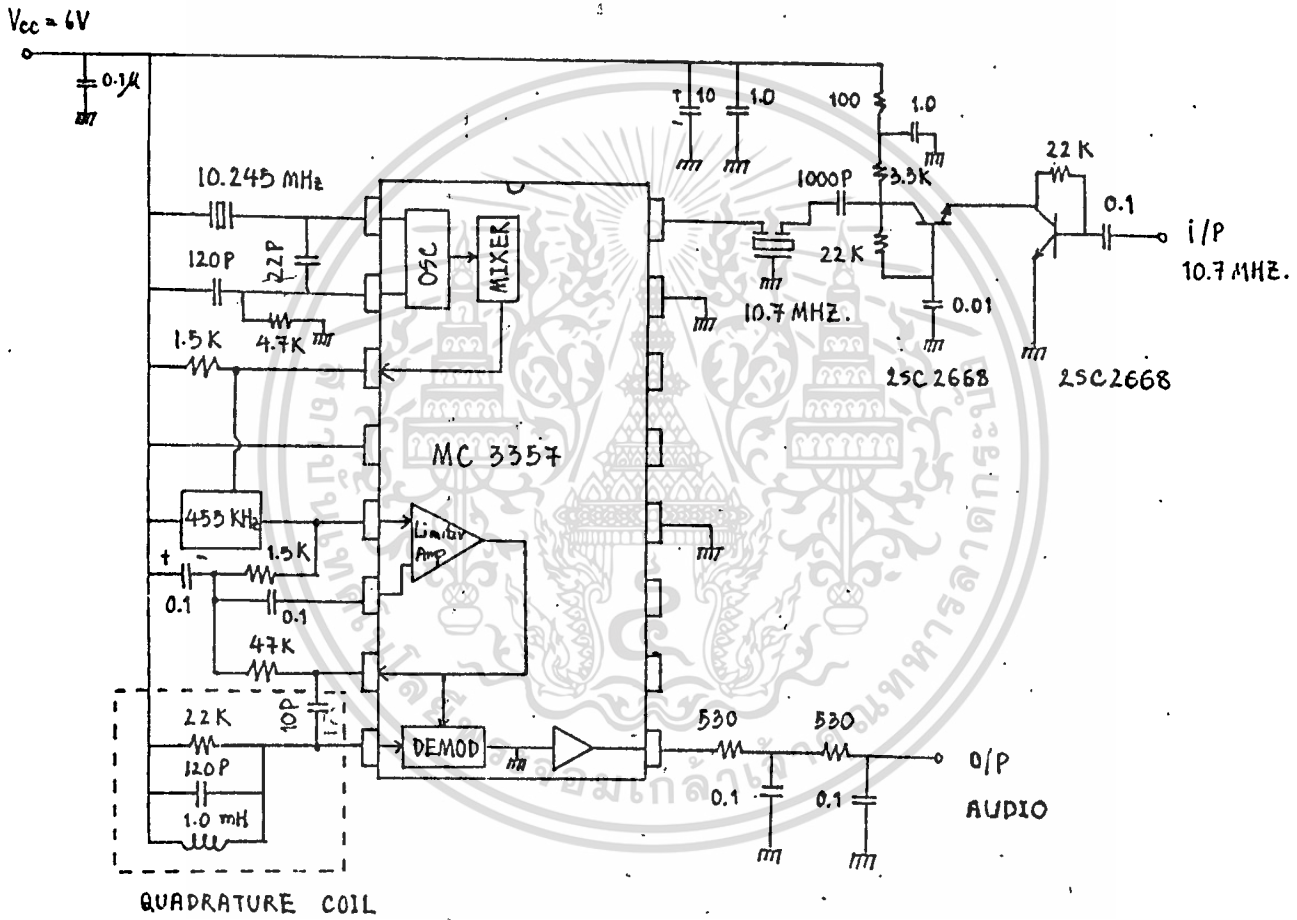
ส่วนของ QUADRATURE COIL มีลักษณะดังรูปที่ 3.7.1



รูปที่ 3.7.1 QUADRATURE COIL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DOWN CONVERTER AND DETECTOR

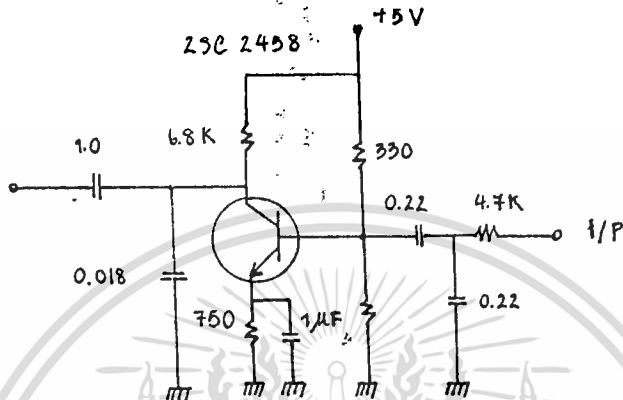


รูปที่ 3-7.2 DOWN-CONVERTER AND DETECTOR

3.8 การออกแบบวงจรขยายความถี่ออดิโอ (AUDIO AMPLIFIER)

วงจรที่นำใช้เป็นวงจรแบบ FULLY BYPASS COMMON EMITTER ดังรูปที่

3.8



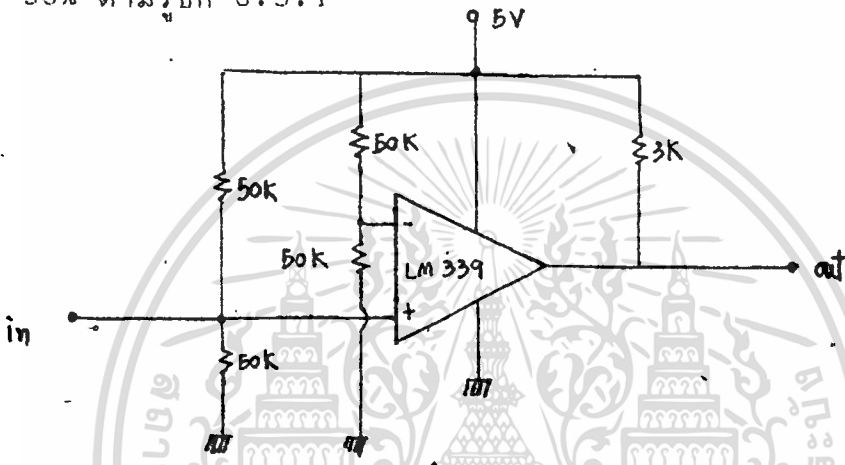
รูปที่ 3.8 วงจร AUDIO AMPLIFIER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 การออกแบบส่วนวงจร REGENERATE

3.9.1 วงจรจำกัดระดับสัญญาณ (Limiter)

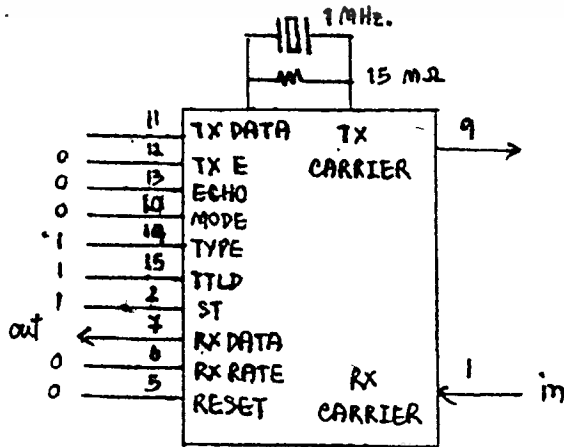
สัญญาณออดิโอที่ได้หลังจากผ่านภาค detector แล้วจะได้สัญญาณชีพที่คี่อิงค์ ก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นสัญญาณลอจิก โดย MC 14412 จะต้องทำการกำจัดสัญญาณเสียก่อน เนื่องจาก MC 14412 จะรับแต่สัญญาณที่เป็นดีจิตอล จึงใช้วงจร Limiter Amp โดยมีค่า duty cycle 50% ตามรูปที่ 3.9.1



รูปที่ 3.9.1 วงจรจำกัดระดับสัญญาณ

3.9.2 วงจรสร้างลอจิก 0,1

เนื่องจากสัญญาณที่เครื่อง เพจเจอร์รับได้นั้น ทำการมอดูเลท มาแบบ Frequency Shift Keying โดยในทางด้านส่งใช้ IC MC 14412 โดยใช้ความถี่ 2225 Hz แทนลอจิก 1 และ 2025 Hz แทนลอจิก 0 ทางด้านรับก็ใช้ IC เบอร์เดิมโดยไบอัสที่ขาข้างๆตามรูปที่ 3.9.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งรูปที่ 3.9.2 MC 14412 ในขณะที่เป็นตัวรับของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 ส่วนประมวลผล และ แสดงผลข้อมูล

(DATA PROCESSING AND DISPLAY UNIT)

1. หน้าที่การทำงาน

ข้อมูลที่ถูกลำส่งมาจากเครื่องส่งวิทยุ เมื่อผ่านวงจรส่วนตีมีอยู่เลขแล้ว ก็จะเป็นข้อมูลทางดิจิทัล ซึ่งประกอบด้วยลอจิกหนึ่งและศูนย์เท่านั้น ข้อมูลดังกล่าวนี้จะถูกป้อนเข้าสู่วงจรส่วนประมวลผลและแสดงผลนี้

หน้าที่หลักของวงจรส่วนนี้ ได้แก่

- 1.1 รับข้อมูลแบบอนุกรม แล้วเปลี่ยนเป็นข้อมูลแบบขนาน
 - 1.2 การตรวจสอบข้อมูลที่ถูกลำส่งมาซ้ำๆกัน 3 ครั้ง แล้วรวมเป็นข้อมูลที่น่าจะมี ความถูกต้องที่สุดเพียงชุดเดียว
 - 1.3 การตรวจสอบว่าข้อมูลชุดนั้น เป็นของเพจเจอร์หมายเลขใด ถ้าหากเป็นข้อมูลสำหรับเพจเจอร์อื่นๆ ก็จะไม่สนใจข้อมูลชุดนั้น แต่ถ้าหากเป็นข้อมูลของตนเอง ก็จะรับข้อมูลต่อไป ซึ่งข้อมูลที่ตามหลังมาจะเป็นหมายเลข โทรศัพท์และรหัสทางไกลรวมกัน
- ในระหว่างที่มีการรับข้อมูลต่างๆเข้ามานั้น ก็จะมีการตรวจสอบข้อมูลที่ได้ว่ามีข้อผิดพลาดหรือไม่
- 1.4 เมื่อจบขบวนการประมวลผลข้อมูลแล้ว วงจรส่วนนี้ก็จะส่งสัญญาณเรียกออกมา เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบ

1.5 ในวงจรส่วนนี้ ได้ออกแบบให้มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลอยู่ 2 ชุดด้วยกัน โดยหน่วยความจำชุดหนึ่งจะเก็บหมายเลข โทรศัพท์ครั้งที่แล้ว ส่วนอีกชุดหนึ่งจะเก็บหมายเลข โทรศัพท์ครั้งล่าสุด ผู้ใช้งานสามารถเลือกดูหมายเลข โทรศัพท์จากหน่วยความจำชุดใดก็ได้ โดยการกดสวิทช์ ซึ่งมีอยู่ 2 ตัวแยกต่างหากกัน

1.6 เมื่อวงจรตรวจสอบพบว่ามีกรกดสวิทช์ ก็จะนำข้อมูลในหน่วยความจำออกมาแสดงผล ทางส่วนแสดงผลซึ่งเป็นตัวเลข LED 7 SEGMENT จำนวน 10 หลัก การแสดงผลส่วนนี้จะใช้หลักการมัลติเพล็กซ์ (MULTIPLEX)

2. รายละเอียดเกี่ยวกับวงจร

จากที่กล่าวมาข้างต้นแล้วถึงหน้าที่ต่างๆของวงจรนี้ ซึ่งจะเห็นว่า เป็นหน้าที่ซึ่งสลับซับซ้อนและยุ่งยาก ถ้าหากใช้วงจรแยกส่วนตามปกติก็จะได้วงจรที่มีขนาดใหญ่มาก เพื่อเป็นการลดความยุ่งยากเหล่านี้ จึงนำ ไอซีไมโครคอมพิวเตอร์ชิปเดี่ยว 8048 มาใช้ในวงจรนี้

รายละเอียดบางส่วนของ 8048 ได้ถูกกล่าวถึงแล้ว ในส่วนที่จะกล่าวถึงต่อไปจะเป็นรายละเอียด เฉพาะที่เกี่ยวข้องกับวงจรส่วนนี้ อันได้แก่

2.1 ระบบอินเตอร์รัพท์ (INTERUPT)

8048 สามารถจะรับสัญญาณอินเตอร์รัพท์จากวงจรรภายนอกโดยใช้ขาอินพุท INT ซึ่ง

การให้ลอจิกศูนย์ที่ขา INT นี้จะเป็นการขออินเตอร์รัพท์ จะทำให้ชิพหยุดทำงานตามโปรแกรมปกติ แล้วกระโดดไปยังแอดเดรส ๙003 หน่วยความจำที่แอดเดรสนี้ถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นของโปรแกรมตอบสนองอินเตอร์รัพท์จากภายนอก (EXTERNAL INTERRUPT SERVICE ROUTINE) เมื่อชิพทำงานในโปรแกรมตอบสนองอินเตอร์รัพท์เสร็จแล้ว ก็จะย้อนกลับไปทำงานเดิมที่ค้างอยู่ต่อไป

เราสามารถให้คำสั่งทางซอฟต์แวร์เพื่อสั่งให้ฮอนาเบิล หรือดิสเอเบิลอินเตอร์รัพท์ได้ โดยใช้คำสั่ง EN I หรือ DIS I ตามลำดับ ในขณะที่ดิสเอเบิลอินเตอร์รัพท์อยู่ เราสามารถใช้ขา INT เป็นขาอินพุทธรรมดาได้ ซึ่งมีคำสั่ง JN1 สำหรับตรวจสอบลอจิกที่ขา INT

จากลักษณะของระบบอินเตอร์รัพท์เหล่านี้ ทำให้เหมาะที่จะใช้ระบบอินเตอร์รัพท์ในการรับข้อมูลที่ส่งเข้ามา ทั้งนี้เนื่องจากการส่งข้อมูลแต่ละไบต์ไม่มีการระบุเวลาที่แน่นอน และการรับข้อมูลนั้นจะต้องไม่ให้คลาดเคลื่อนหรือผิดพลาด ดังนั้นถ้าหากเราต้องส่งข้อมูลแบบอนุกรมเข้าสู่อินเตอร์รัพท์ที่ขา INT ก็จะมีข้อดีคือ เมื่อมีข้อมูลเข้ามาบิตแรกของข้อมูลที่เรารู้จักว่า START BIT (มีลอจิกศูนย์) จะไปอินเตอร์รัพท์ชิพให้หยุดการทำงานอย่างอื่น แล้วเตรียมตัวอ่านข้อมูลแบบอนุกรมอีก 8 บิตที่ส่งตามมา

กระบวนการอ่านข้อมูลนั้นจะเป็นไปตามโปรแกรม ซึ่งจะถึงในหัวข้อ รายละเอียดทางซอฟต์แวร์ต่อไป

2.2 วงจรนับและตั้งเวลภายใน (INTERNAL TIMER/COUNTER)

วงจรรับภายใน 8048 เป็นแบบนับขึ้นมีขนาด 8 บิต เราสามารถโปรแกรมให้มันเริ่มนับที่ค่าตัวเลขใดก็ได้ โดยการให้ค่าเริ่มต้นของการนับ (TIME CONSTANT) แก่รีจิสเตอร์ T เมื่อให้ค่าเริ่มต้นแล้ว ก็สามารถสั่งให้วงจรเริ่มทำงานได้ ด้วยคำสั่ง STRT T วงจรก็จะเพิ่มค่าในวงจรรับอีกหนึ่ง ทุกๆ 80 μ S (กรณีใช้ฐานเวลาความถี่ 6 MHz) ในระหว่างที่วงจรรับกำลังนับอยู่นั้น เราสามารถสั่งให้หยุดนับ และ นับต่อไปได้โดยใช้คำสั่ง STRT T หรือ STOP T ตามลำดับ

เมื่อค่าในวงจรรับเปลี่ยนจาก ๙FF ไปเป็น ๙00 วงจรนับก็จะส่งสัญญาณไปอินเตอร์รัพท์ชิพ จะทำให้ชิพกระโดดไปยังแอดเดรส ๙007 ซึ่งกำหนดให้เป็นแอดเดรสเริ่มต้นของโปรแกรมตอบสนองอินเตอร์รัพท์จากวงจรรับ (TIMER/COUNTER INTERRUPT SERVICE ROUTINE)

เช่นเดียวกับระบบอินเตอร์รัพท์จากภายนอก คือเราสามารถให้คำสั่ง EN TCNTI หรือ DIS TCNTI เพื่อ ฮอนาเบิลหรือดิสเอเบิลอินเตอร์รัพท์จากวงจรรับได้

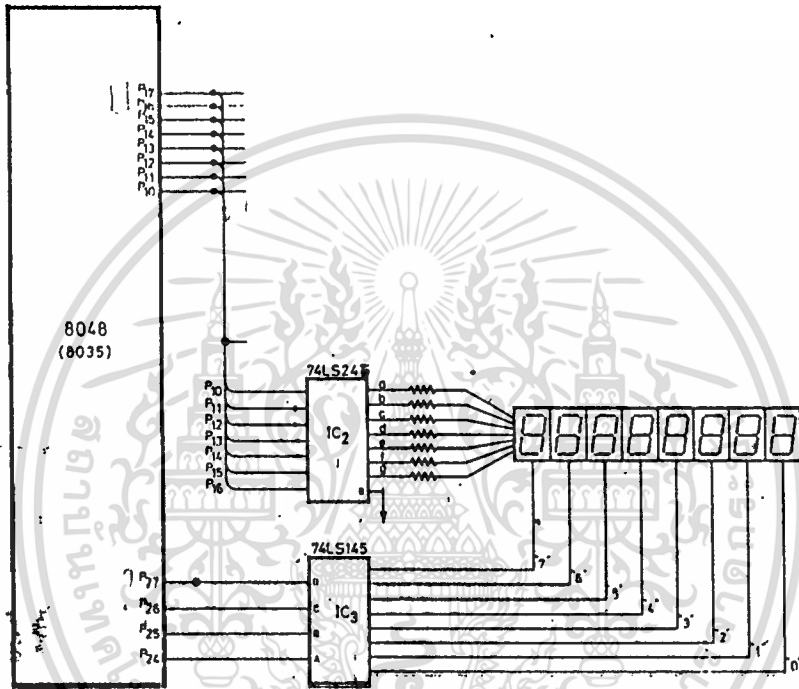
2.3 ขาอินพุท T0, T1

เราได้ต่อสวิทช์กดสองตัวเข้ากับขาอินพุท T0, T1 นี้ ในขณะที่ยังไม่มีการกดสวิทช์จะมีลอจิกหนึ่ง ที่ขาอินพุทนี้ จนเมื่อผู้ใช้กดสวิทช์นี้ จะทำให้ลอจิกเปลี่ยนเป็นลอจิกศูนย์ เราสามารถใช้คำสั่ง JNTO หรือ JTO ในการตรวจสอบลอจิกที่ขา T0 และ ใช้คำสั่ง JNT1 หรือ JT1 ในการคำนวณว่ากรณีใดที่ขึ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการตรวจสอบลอจิกที่ขา T1

สวิทช์กดทั้งสองตัวนี้ มีไว้สำหรับให้ผู้ใช้กด เพื่อดูหมายเลขโทรศัพท์ในหน่วยความจำ ตามที่กล่าวไว้ในตอนต้นแล้วว่า มีหน่วยความจำอยู่สองชุดด้วยกัน เมื่อเรากดสวิทช์ที่ขา T1 โปรแกรมจะสั่งให้แสดงหมายเลขโทรศัพท์ของครั้งที่แล้ว แต่เมื่อกดสวิทช์ที่ขา T0 โปรแกรมจะสั่งให้แสดงหมายเลขโทรศัพท์ของครั้งล่าสุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการทำงานของโปรแกรม

วงจรของส่วนประมวลผล และ แสดงผลข้อมูลนี้แสดงไว้ในรูปต่อไปนี้



รูปวงจร

ที่พอร์ต P1 ต่ออยู่กับอินพุทของบัฟเฟอร์ 74LS245 ส่วนที่เอาต์พุทของบัฟเฟอร์ต่ออยู่กับ ส่วนแสดงผล 7 SEGMENT COMMON CATHODE LED DISPLAY โดยบิต P10 ต่ออยู่กับเซกเมนต์ A ของ LED ,บิต P11-P16 ต่ออยู่กับเซกเมนต์ B-G ตามลำดับ ดังนั้น เมื่อเราสั่งให้เอาต์พุทลอจิกหนึ่งออกมาที่บิตใดของพอร์ต P1 ก็จะทำให้เซกเมนต์นั้นติดสว่างขึ้น

ที่บิต P17 ต่ออยู่กับไอซี UM66 ถ้าเราส่งลอจิกหนึ่งออกมาทางขานี้ ก็จะทำให้ไอซี UM66 ทำงานส่งสัญญาณเตือนออกมา เราจะใช้สัญญาณเตือนนี้ เพื่อบอกให้ผู้ใช้ทราบว่า มีข้อมูลชุดใหม่เข้ามาแล้ว เมื่อเราใช้ลอจิกศูนย์แก่ขานี้ เสียงก็จะเงียบไป

ที่พอร์ต P2 ส่วนที่เป็น P24-P27 ต่ออยู่กับ ไอซีถอดรหัส 1-OF-10 DECODER/DRIVER หมายเลข 74LS145 ที่เอาต์พุทของไอซีนี้ต่อกับขาร่วม (COMMON) ของ LED DISPLAY เมื่อเราเอาต์พุทค่าตัวเลข 0-9 ออกไปทางพอร์ต P24-P27 ไอซี 74LS145 จะถอดรหัสตัวเลขนั้น ทำให้ได้เอาต์พุทของไอซี 74LS145 มีลอจิกศูนย์

ในการแสดงผลด้วย 7 SEGMENT LED DISPLAY ทั้ง 10 หลักนั้นสามารถทำได้ โดยใช้หลักการมัลติเพล็กซ์ คือ 8048 จะเอาต์พุทข้อมูลของตัวเลขหลักแรกออกมาทางพอร์ต P1

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วจึงเอาที่พิกัดเลข ๓00 ออกมาทาง P24-P27 จะทำให้ 7 SEGMENT LED หลักแรกติดสว่างขึ้น จากนั้น 8048 ก็เอาที่พิกัดข้อมูลของหลักที่สองออกมาทางพอร์ท P1 อีก และเอาที่พิกัดเลข ๓01 ไปทาง P24-P27 ซึ่งจะทำให้ตัวเลขหลักที่สองติดสว่างแทนหลักแรก ต่อจากนั้นก็แสดงผลหลักที่ 3,4 ติดต่อกันไปจนถึงหลักสุดท้ายด้วยวิธีเดียวกัน การแสดงผลนี้ใช้ความเร็วในการสแกนสูงจนประสาทตาไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ทัน

3. รายละเอียดเกี่ยวกับโปรแกรม

ก่อนที่จะออกแบบโปรแกรมจริงขึ้น จำเป็นต้องทราบถึงข้อกำหนดบางประการเสียก่อน อันได้แก่

3.1 ความเร็วในการส่งข้อมูลของเครื่องส่ง (BAUD RATE) มีค่าเท่ากับ 600 BUAD (BIT PER SECOND)

3.2 พอร์ทแมทของข้อมูล 1 ไบท์จะมีลำดับดังต่อไปนี้



คาบเวลา 1666 μ S

บิตแรกที่ส่งออกมาจากเครื่องส่งเรียกว่า บิตเริ่มต้น ซึ่งจะ เป็นลอจิกศูนย์ จากนั้นก็จะตามด้วยข้อมูลหนึ่งไบท์ เริ่มที่บิต 7 และจบที่บิต 0 หลังจากส่งข้อมูลครบหนึ่งไบท์แล้ว สัญญาณก็จะกลับเป็นลอจิกหนึ่งตามเดิม จนกว่าจะมีข้อมูลไบท์ต่อไปเข้ามา ก็จะกลับเป็นลอจิกศูนย์อีกครั้ง

ตามที่กำหนดไว้แล้วว่า อัตราการส่งข้อมูลมีค่าเป็น 600 BAUD ดังนั้น คาบเวลาของแต่ละบิตจะมีค่าประมาณ 1666 μ S

3.3 พอร์ทแมทของข้อมูล 1 ชุด จะประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

3.3.1 รหัสซิงโครนัส (SYNCHRONOUS CODE) มีค่าเป็น ๓FF ใช้เป็นสัญญาณลักษณะแผนการเริ่มต้นของการส่งข้อมูลแต่ละชุด ในตอนเริ่มต้นส่งข้อมูลแต่ละชุด จะต้องส่งรหัสซิงโครนัสออกมาก่อนก็ไบท์ก็ได้ติดๆกัน แต่อย่างน้อยที่สุดจะต้องมีรหัสซิงโครนัสอยู่หนึ่งไบท์ หลังจากรหัสซิงโครนัสแล้ว ก็จะเป็นข้อมูลอื่นๆ

3.3.2 หมายเลขของเพจเจอร์ (PAGER NUMBER) หลังจากที่ได้รับรหัสซิงโครนัสแล้วข้อมูลที่ตามมาอีกสองไบท์ จะเป็นค่าหมายเลขของเพจเจอร์ที่ต้องการติดต่อด้วย หลังจากเปรียบเทียบหมายเลขเพจเจอร์ของตนกับหมายเลขที่ได้รับมาแล้ว ถ้าหากหมายเลขตรงกันก็จะอ่านข้อมูลไบท์อื่นๆต่อไป แต่ถ้าหากหมายเลขไม่ตรงกัน มันก็จะไม่สนใจข้อมูลที่ตามมา แต่จะคอยตรวจสอบข้อมูลที่ เป็นรหัสซิงโครนัสใหม่

หมายเลขของเพจเจอร์ที่เป็นไบท์สูง (HIGH ORDER BYTE) จะถูกส่งออกมาก่อนไบท์ต่ำ (LOW ORDER BYTE)

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 3.3.3 ข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนหลักของหมายเลขโทรศัพท์ ข้อมูลไบท์นี้จะประกอบด้วยค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลสองส่วน คือ ส่วนที่เป็นสี่บิตสูง (D4-D7) จะบอกถึงจำนวนหลักของรหัสท้องถิ่น (AREA CODE) ส่วนบิต (D0-D3) นั้นจะบอกถึงจำนวนหลักของหมายเลขโทรศัพท์

หลังจากที่รู้จำนวนหลักของหมายเลขโทรศัพท์แล้ว ก็จะต้องอ่านข้อมูลต่อไปอีก ก็คือ และข้อมูลเหล่านั้นแบ่งเป็นหมายเลขโทรศัพท์และรหัสท้องถิ่นอย่างไร

3.3.4 รหัสท้องถิ่นและหมายเลขโทรศัพท์ รหัสท้องถิ่นจะถูกส่งออกมาก่อนแล้วจึงต่อด้วยหมายเลขโทรศัพท์ ข้อมูลแต่ละไบต์จะถูกแบ่งออกเป็นข้อมูลสองหลักๆละ 4 บิต ข้อมูลที่อยู่ใน D4-D7. จะเป็นหมายเลขตัวแรก ส่วนข้อมูลใน D0-D3 จะเป็นหมายเลขตัวถัดมา

เพื่อให้เครื่องรับสามารถรับข้อมูลได้ถูกต้องมากขึ้น จึงได้ใช้วิธีส่งข้อมูลซ้ำหลายๆ ครั้ง แล้วนำข้อมูลเหล่านั้นมาตรวจสอบ ก็จะได้ข้อมูลที่มีโอกาสผิดพลาดน้อยลง ในที่นี้ได้กำหนดให้ส่งข้อมูลแต่ละไบต์ซ้ำกันสามครั้ง ยกเว้นแต่รหัสซึ่งโครนัสเท่านั้น ที่จะมีก็ไบต์ก็ได้

ตัวอย่างเช่น เมื่อเราต้องการให้เจ้าของเพจเจอร์หมายเลข 4185 ติดต่อกลับมาที่หมายเลข 2820704 ก็จะต้องส่งข้อมูลหนึ่งชุดออกไปดังนี้

\$FF \$10 \$10 \$10 \$59 \$59 \$59 \$07 \$07 \$07 \$28 \$28 \$28 \$20 \$20 \$20 \$70
\$70 \$70 \$40 \$40 \$40

ข้อมูลแต่ละชุดจะ เริ่มต้นด้วยรหัสซึ่งโครนัส จำนวนก็ไบต์ก็ได้ (อย่างน้อยที่สุดหนึ่งไบต์) ส่วนตัวเลขหกไบต์ต่อมาคือหมายเลขของเพจเจอร์ไบต์สูงและไบต์ต่ำตามลำดับ (\$1059 เป็นตัวเลขฐานสิบหก ซึ่งจะเท่ากับ 4185 เลขฐานสิบ) ข้อมูลสามไบต์ต่อมาจะบอกให้รู้ว่า ข้อมูลที่ตามมาไม่มีรหัสท้องถิ่น มีแต่หมายเลขโทรศัพท์ 7 หลัก ส่วนข้อมูล 12 ไบต์สุดท้ายจะเป็นหมายเลขโทรศัพท์เพียงอย่างเดียว

4. หลักการทำงานของโปรแกรม

เพื่อให้สามารถเข้าใจหลักการของโปรแกรมได้ง่ายขึ้น ก็จะแยกอธิบายโปรแกรมออกเป็นส่วนๆ ดังนี้

4.1 โปรแกรมอ่านข้อมูลแบบอนุกรม

ส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่อ่านข้อมูลแบบอนุกรม ที่เข้ามาทางขา INT นั้นจะประกอบด้วยโปรแกรมย่อยหลายโปรแกรมทำงานร่วมกัน ดังนี้

เมื่อเริ่มมีข้อมูลเข้ามา บิตเริ่มต้นของข้อมูลแต่ละไบต์จะอินเตอรัพท์ 8048 ให้กระโดดไปยังโปรแกรมตอบสนองอินเตอรัพท์ที่แอดเดรส 003 ซึ่งในโปรแกรมตอบสนองอินเตอรัพท์นี้จะกำหนดค่าวารามิเตอร์ เริ่มต้นต่างๆสำหรับอ่านข้อมูลหนึ่งไบต์ จากนั้นก็จะดีสเอเบิลอินเตอรัพท์ แล้วส่งให้วงจรมายาใน 8048 ทำงานส่งสัญญาณอินเตอรัพท์ทุกๆคาบเวลา 1666uS (เนื่องจากเรากำหนดให้อัตราการส่งข้อมูลเป็น 600 BAUD จะได้ว่าคาบเวลาของข้อมูลแต่ละบิตจะนานเท่ากับ 1666 uS) เมื่อวงจรมายาส่งสัญญาณอินเตอรัพท์ 8048 ก็หมายความว่าถึงเวลาที่ จะอ่านข้อมูลบิตต่อไปแล้ว โดยจะอาศัยโปรแกรมย่อยชื่อ RDBIT สำหรับอ่านข้อมูลเข้าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ บริษัท 8 บิตแล้วก็จะเก็บข้อมูลนั้นไว้ในหน่วยความจำไป แต่เนื่องจากการคำนวณว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการส่งข้อมูลแต่ละ ไบท์จะส่งออกมาซ้ำๆกันสามครั้ง จึงต้องเขียนโปรแกรมให้อ่านข้อมูลทั้ง 3 ครั้ง ไปเก็บในหน่วยความจำ แล้วจึงตรวจสอบข้อมูลจนได้ข้อมูลที่ถูกต้องออกมาเพียงไบท์เดียว รายละเอียดของโปรแกรม จะแยกอธิบายเป็นส่วนๆ ดังนี้

4.1.1 โปรแกรม RDBIT เป็นโปรแกรมย่อยสำหรับอ่านข้อมูลที่เข้ามา โดยในการออกแบบโปรแกรมนี้นี้ ต้องการให้สามารถอ่านข้อมูลได้ถูกต้องมากขึ้น จึงอาศัยหลักการอ่านข้อมูลซ้ำหลายๆครั้ง แล้วดูแนวโน้มของข้อมูลที่คิดว่าควรจะเป็นลอจิกหนึ่ง หรือลอจิกศูนย์

ตัวโปรแกรม RDBIT เป็นดังนี้

```
RDBIT      MOV  R3, #00
           MOV  R7, #29H
RB1        JNI  ZERO
           INC  R3
           NOP
RB2        DJNZ R7, RB1
           MOV  A, R3
           ADD  A, #0EBH
           RET
ZERO       JMP  RB2
```

เมื่อเรากำหนดให้อัตราการส่งข้อมูลเท่ากับ 600 BUAD หรือ มีคาบเวลาของแต่ละบิตข้อมูลเป็น 1666 uS ดังนั้นเวลาที่หมดที่โปรแกรม RDBIT ใช้ในการอ่านข้อมูลแต่ละบิตนั้น กำหนดให้มีค่าประมาณ 20%-60% ของคาบเวลาแต่ละบิต ในการคำนวณค่าเวลาที่โปรแกรมใช้ไป จะอาศัยสมการต่อไปนี้

$$\text{เวลา} = 2.5\mu\text{S} \times (6n+10) \quad ; n = \text{จำนวนครั้งในการอ่านข้อมูล}$$

กำหนดไว้ใน R7

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมนี้นี้ จะอยู่แฟลกตัวทวด C โดยเมื่อแฟลกตัวทวดเป็นศูนย์ หมายถึงข้อมูลที่เข้ามาเป็นลอจิกศูนย์ แต่ถ้าแฟลกตัวทวดเป็นหนึ่ง แสดงว่าข้อมูลที่เข้ามาเป็นลอจิกหนึ่ง

4.1.2 โปรแกรมตอบสนองอินเตอร์รัพท์จากภายนอก จะเป็นโปรแกรมย่อยทำหน้าที่เตรียมพร้อมสำหรับอ่านข้อมูล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

```
INTI      SEL  RBO
           MOV  R5, A
           SEL  RB1
           MOV  R5, #TC4
DELAY2    DJNZ R5, DELAY2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV T,A
STRT T
CALL RDBIT
JC RETURN
MOV R5,#08H
DIS I
SEL RBO
MOV A,R5
RETR
RETURN
STOP TCNT
SEL RBO
MOV A,R5
RETR

```

เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรมตอบสนองอินเทอร์รัพท์ จำเป็นต้องเก็บค่าเดิมของแอดเดรส
 เลเตอร์ไว้ใน R5 เสียก่อน และเปลี่ยนไปใช้รีจิสเตอร์เบงค์หนึ่ง จากนั้นจะหน่วงเวลาประมาณ
 20% ของคาบเวลา 1666 μ S และส่งค่าเริ่มต้นให้แก่วงจรนับภายใน สิ่งให้วงจรนับ เริ่มทำงาน
 แล้วจึงอ่านข้อมูลที่ขา INT เพื่อตรวจสอบให้แน่นอนว่า การอินเทอร์รัพท์นั้น ไม่ได้เกิดจากสั
 ญานรบกวน ถ้าหากเป็นบิตเริ่มต้นจริงก็จะดีสเอเบิลอินเทอร์รัพท์ แล้วจึงออกจากโปรแกรมตอบ
 สอนองอินเทอร์รัพท์นี้

4.1.3 โปรแกรมตอบสนองอินเทอร์รัพท์จากวงจรมี จะทำงานเมื่อวงจรมี
 เวลาครบ 1666 μ S ทำให้ 8048 อ่านข้อมูลเข้ามาหนึ่งบิต แล้วเก็บข้อมูลไว้ในรีจิสเตอร์จนครบ
 สามไบต์ จากนั้นจึงนำข้อมูลนั้นมาตรวจสอบด้วยโปรแกรมย่อย DECODE จนได้ข้อมูลที่ถูกต้อง จึง
 จะเซตแฟล็ก F1 ให้เป็นหนึ่ง เพื่อให้โปรแกรมภายนอกสามารถตรวจสอบได้ว่า ได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว
 ร้อยแล้วหรือไม่

ในกรณีตรวจสอบข้อมูลที่เป็นรหัสซิงโครนัส โปรแกรมจะ

```

TCNTI      MOV R7,A
           STOP TCNT
           MOV A,#TCT
           MOV T,A
           MOV R3,#TC3
TDELAY     DJNZ R3,TDELAY
           STRT T
           CALL RDBIT

```

```

MOV A,R2
RLC A
MOV R2,A
DJNZ R5,OUT1
MOV @R0,A
INC A
JZ OUT3
INC R0
DJNZ R6,OUT
CALL DECODE
OUT3 MOV R6,#03
MOV R0,#BUFF3
CPL F1
MOV A,R2
SEL RBO
MOV R2,A
OUT STOP TCNT
OUT2 JNI OUT2
EN I
OUT1 SEL RBO
MOV A,R7
RETR

```

ในส่วนของโปรแกรมตอบสนองอินเตอร์รัพท์ จะเห็นว่ามีค่าตัวแปรหลายตัวซึ่งการกำหนดค่าตัวแปรเหล่านี้เกี่ยวข้องกับอัตราการส่งข้อมูล เช่น TC3, TC4, TCT เป็นต้น ค่าตัวแปรเหล่านี้สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$TCT = \text{ค่าจำนวนเต็มของ } 1/(\text{RATE} \times 80\mu\text{S})$$

$$TC3 = [(เศษที่ได้จาก TCT \times 32) - 11] / 2$$

$$TC4 = [(80000/\text{RATE}) - 11] / 2$$

ในการทดลองนี้ กำหนดอัตราการส่งเป็น 600 BUAD ดังนั้นจึงสามารถค่าตัวแปรเหล่านี้ได้ดังนี้

$$TCT = 1/(600 \times 80\mu\text{S}) = 20.833 \quad \text{เอาเฉพาะจำนวนเต็มจะได้ } TCT = 20$$

$$TC3 = [(20.8333 \times 32) - 11] / 2 = 7.833 \quad \text{ปัดขึ้นเป็นจำนวนเต็มจะได้ } TC3 = 8$$

$$\text{เอกสารนี้ } TC4 = [(80000/600) - 11] / 2 = 61.16 \quad \text{ปัดเป็นจำนวนเต็มจะได้ } TC4 = 60$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 โปรแกรมย่อย DECODE ทำหน้าที่ตรวจสอบข้อมูลที่ส่งมาซ้ำกันสามครั้ง ให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องข้อมูลเดียว โดยอาศัยหลักการเปรียบเทียบตัวเลขแต่ละบิตระหว่างข้อมูลสามไบต์ ถ้าบิตนั้นมีลอจิกเหมือนกันสองบิตขึ้นไป ก็จะได้ว่าข้อมูลที่เหมือนกันนั้นเป็นข้อมูลที่ถูกต้อง

กระบวนการตรวจสอบข้อมูลนี้ มีลักษณะคล้ายกับวงจรถอดรหัสวงจรถ่วง จึงสามารถนำหลักการในการออกแบบวงจรคอมบิเนชัน (COMBINATION) มาประยุกต์ได้ดังนี้

ข้อมูลชุดที่			เอาท์พุท
1	2	3	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

$$Y = \bar{A}\bar{B}C + A\bar{B}C + AB\bar{C} + ABC$$

$$= AB + C(A \oplus B)$$

$$= (A \text{ and } B) \text{ or } [C \text{ and } (A \text{ xor } B)]$$

จากหลักการนี้จึงทำให้สามารถออกแบบโปรแกรม DECODE ได้ดังนี้

```

DECODE      MOV  RO,#BUFF3
            MOV  A,@RO
            MOV  R2,A
            INC  RO
            MOV  A,@RO

```

```

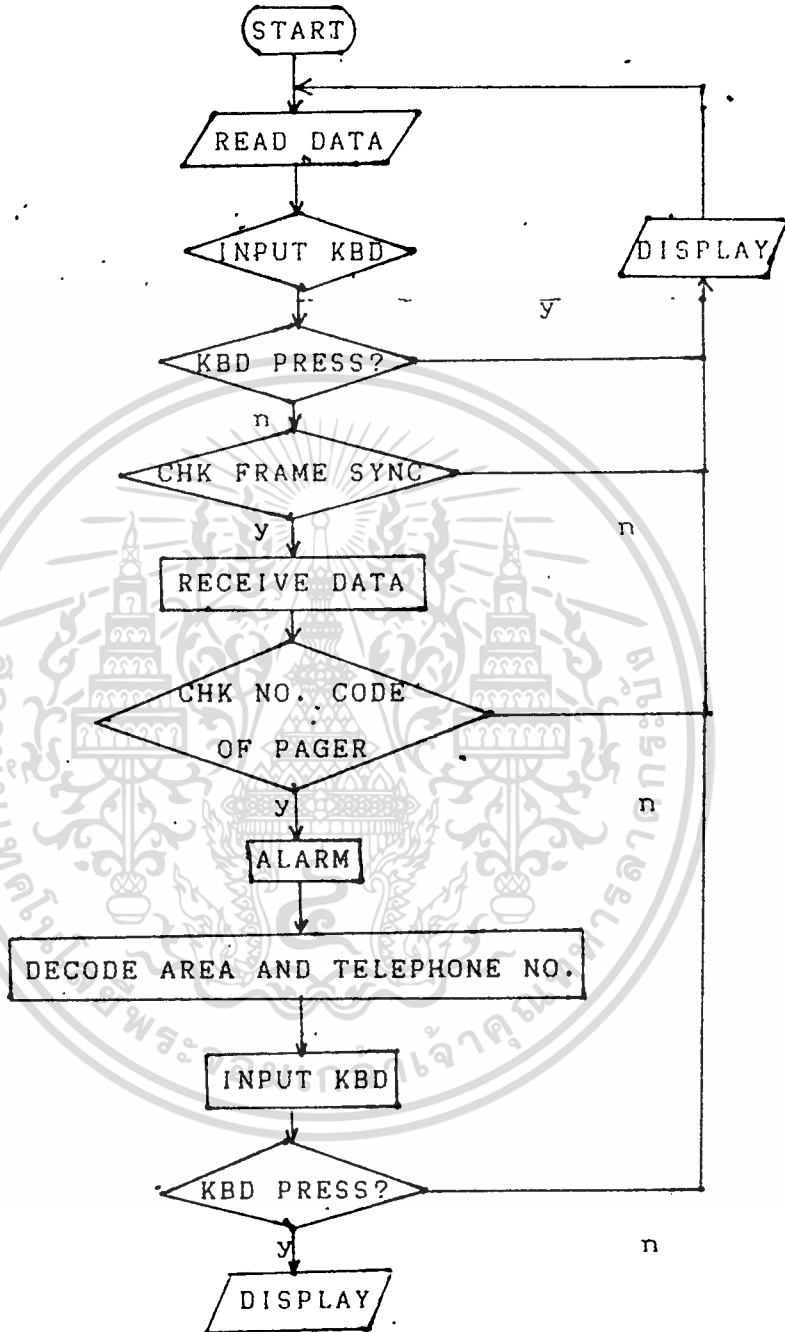
MOV A,@R0
MOV R6,A
XRL A,R2
INC R0
ANL A,@R0
MOV R5,A
MOV A,R2
ANL A,R6
ORL A,R5
MOV R2,A
RET

```

4.2 โปรแกรมแสดงผลข้อมูล ตรวจสอบสวิทช์

หน้าที่หลักของโปรแกรมส่วนนี้ ได้แก่ การตรวจสอบสวิทช์ซึ่งต่ออยู่กับขา T0 และ T1 ว่ามีการกดสวิทช์หรือไม่ เมื่อมีการกดสวิทช์ก็จะนำข้อมูลในหน่วยความจำไปแสดงผลบน 7 SEGMENT LED DISPLAY จำนวน 10 หลัก โดยใช้หลักการมัลติเพล็กซ์ และเมื่อผู้ใช้ปล่อยมือจากสวิทช์แล้ว โปรแกรมจะยังคงยึดเวลาการแสดงผลออกไปอีกประมาณ 3 วินาที จากโปรแกรมที่กล่าวมาจะเขียนเป็นไฟล์ชาร์ท (FLOW CHART) ย่อๆ ได้ดังนี้

FLOWCHART



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมภาคที่ 8048

```

01  C1 .EQ 02H
02  C2 .EQ 08FH
03  C3 .EQ 09H
04  C4 .EQ 48H
05  TCT .EQ 0E0H
06  D1 .EQ 0F
07  D2 .EQ 0F
08  TD .EQ 0F6H
09  D .EQ 014
10  RY1E .EQ 10H
11  TDELAYE .EQ 5FH
12  J1 .EQ 0H
13  R1E .EQ 0H
14  TCT .EQ 1FH
15  T .EQ 4H
16  C .EQ 10H
17  C .EQ 0FFH
18  T .EQ 24H
19  T .EQ 25H
20  OR 000H
21  TA 4000H
22  JMP MAIN
23  OR 003H
24  TA 4003H
25  JMP INTI
26  OR 007H
27  TA 4007H
28  TCNTI MOV R7,A
29  STOP TCNT
30  SEL RB1
31  MOV A,#TCT
32  MOV T,A
33  MOV R3,#TCS
34  TDELAY DJNZ R3,TDELAY
35  STRT T
36  CALL RDBIT
37  MOV A,R2
38  RLC A
39  MOV R2,A
40  DJNZ R5,OUT1
41  MOV @RC,A
42  INC A
43  JZ OUT1
44  INC R0
45  DJNZ R6,OUT
46  CALL DECODE
47  OUT3 MOV R7,#03H
48  MOV R0,#BUFF3
49  MOV A,R2
50  CPL R1
51  SEL RHO

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1330 OUT      STOP TCNT
1340 OUT2     JN1 OUT2
      50     EN I
      OUT1   SEI RBO
      30     MOV A,R7
1370         RETR
      50     IN1   SEL RBO
      100    MOV R5,A
      100    SEL R61
1390         MOV R5,#TC4
      100    INZ R5,DELAY2
1400         MOV A,#TC1
1410         MOV R,A
      100    RETR
      100    CALL RDBIT
1490         JC RETURN
      600    MOV R5,#0BH
1495         DIS I
1500         SFL RBO
1505         MOV A,R5
1510         RETR
1550 F  URN  STOP TCNT
1660         SEL RBO
1670         MOV A,R5
1680         RETR
1998         .OR 100H
1999         .TA 4100H
2000 MAIN    MOV R0,#BUFF1
2010         MOV R1,#BUFF2
2020         MOV R3,#0AH
2030         MOV R7,#READY
2040 NEXT    MOV A,R7
2050         MOVF A,@A
2060         MOV @R0,A
2070         MOV @R1,A
2080         INC R0
2090         INC R1
2100         INC R7
2110         DJNZ R3,NEXT
2120         MOV R2,#TC1
2130 NEXT2    MOV R3,#TC2
2140 NEXT3    CALL DISP
2150         DJNZ R3,NEXT3
2160         DJNZ R2,NEXT2
2170 CLEAR    CLR A
2180         OUTL P1,A
2190         CLR F1
2200         EN I
2210         EN TCNTI
2220         SEL RB1
2230         MOV R1,#TD1+1
2240         MOV @R1,#HITD
2250         DEC R1
2260         MOV @R1,#LOTD
2270         MOV R6,#03H
2280         MOV R0,#BUFF3

```

นี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

000000 MAIN CLR FO
000001 MAIN CALL WAITCH
000002 JFO SYN IN
000003 INC A
000004 JNZ MAIN2
000005 CPL FO
000006 MP MAIN2
000007 SYN IN INC A
000008 Z MAIN2
000009 MOV A,R2
000010 XRL A,#HIBYTE
000011 J7 PAGEF
000012 CALL WAITCH
000013 JMP MAIN3
000014 JF JF WAITCH
000015 XRL A,#LOBYTE
000016 JNZ MAIN3
000017 CALL WAITCH
000018 INC A
000019 JZ MAIN2
000020 MOV A,R2
000021 SWAP A
000022 ANL A,#OFH
000023 MOV R3,A
000024 MOV A,R2
000025 ANL A,#OFH
000026 MOV R4,A
000027 ADD A,R3
000028 ADD A,#OF6H
000029 JC MAIN3
000030 MOV R1,#BUFF4
000031 CALL PUTBF
000032 MOV A,R2
000033 INC A
000034 JZ TEST1
000035 INC A
000036 JZ MAIN3
000037 MOV A,#HIFEN
000038 MOV @R1,A
000039 INC R1
000040 JFO SKIP
000041 MOV A,R2
000042 MOV @R1,A
000043 INC R1
000044 DEC R4
000045 SF IF MOV A,R4
000046 MOV R3,A
000047 CALL PUTBF
000048 MOV A,R2
000049 INC A
000050 TEST1 CLR FO
000051 JNZ TEST2
000052 CPL FO
000053 JMP MAIN2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

170,

```

10 TEST INC A
20 JZ FINISH
30 ENFI MOV A, #BUFF4+10
40 MOV A, R1
50 JZ FINISH
60 MOV A, #BLANK
70 MOV @R1, A
80 INC R1
90 JMP EMPTY
100 NISF CLR P1, #00H
110 MOV R0, #BUFF1
120 MOV R1, #BUFF2
130 MOV R6, #0AH
140 MOVE1 MOV A, @R0
150 MOV @R1, A
160 INC R0
175 INC R1
180 DJNZ R6, MOVE1
190 MOV R0, #BUFF1
200 MOV R1, #BUFF4
210 MOV R6, #0AH
220 MOVE2 MOV A, @R1
230 MOV @R0, A
240 INC R0
250 INC R1
260 DJNZ R6, MOVE2
270 JMP MAIN3
3000 .OR 200H
3010 .TA 4200H
3020 DJSP MOV R0, #BUFF1+9
3030 LOOP MOV R6, #0AH
3040 LOOP2 MOV A, @R0
3050 MOV @P3, A
3060 OUTL P1, A
3070 MOV A, R6
3080 DEC A
3090 SWAP A
3100 OUTL P2, A
3110 MOV A, #20H
3120 DELAY JFL END
3130 DEC A
3140 JNZ DELAY
3150 DEC R0
3160 DJNZ R6, LOOP2
3170 END CLR A
3180 OUTL P1, A
3190 RET
3200 RDBIT MOV R3, #00H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5210,

```

5210      MOV R7,#41H
5220      NOP
5230  P1   JNI ZERO
5240      INC R3
5250      NOP
5260  P2   DJNZ R7,RB1
5270      MOV A,R3
5280      ADD A,#0DFH
5290      RET
5300  FRO  JMP RB2
5310  JTE  CLR FO
5320      MOV A,R3
5330      JZ BACK
5340  AGAIN CALL WATCH
5350      INC A
5360      JZ BACK
5370      MOV A,R2
5380      SWAP A
5390      ANL A,#0FH
5400      MOV R6,A
5410      ADD A,#0F6H
5420      JC NDIGIT
5430      MOV A,R2
5440      ANL A,#0FH
5450      MOV R2,A
5460      ADD A,#0F6H
5470      JC NDIGIT
5480      MOV A,R6
5490      MOV @R1,A
5500      INC R1
5510      DJNZ R3,NZERO
5520      RET
5530  NZERO MOV A,R2
5540      MOV @R1,A
5550      INC R1
5560      DJNZ R3,AGAIN
5570  BACK  CPL FO
5580      RET
5590  NDIGIT MOV R2,#0FEH
5600      RET
5610  DECODE MOV R0,#BUFF3
5620      MOV A,@R0
5630      MOV R2,A
5640      INC R0
5650      MOV A,@R0
5660      MOV R6,A
5670      XRL A,R2
5680      INC R0
5690      ANL A,@R0
5700      MOV R5,A
5710      MOV A,R2
5720      ANL A,R6

```

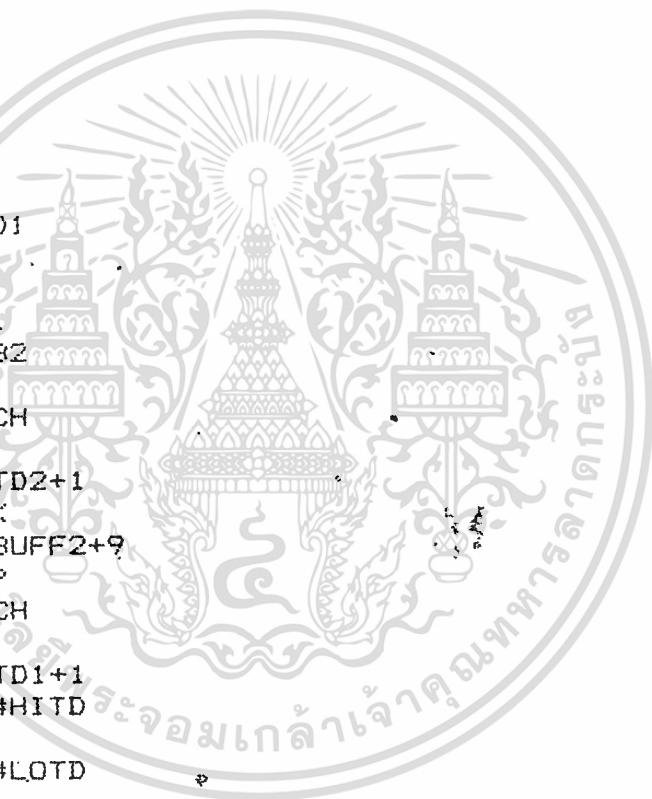


LIFE 5E40.

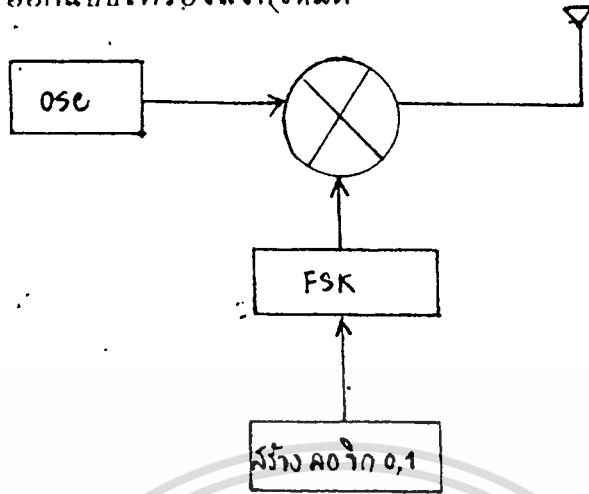
```

5840      ORL A,R5
5850      MOV R2,A
5860      RET
5870      # 1 DATA IN
5880      SE R51
5890      MOV A,@R1
5900      JNZ NTDLO
5910      INC R1
5920      MOV A,@R1
5930      JNZ NTDHI
5940      DEC R1
5950      SEL RBO
5960      JMP W2
5970      NTDHI INC @R1
5980      DEC R1
5990      NTDLO INC @R1
6000      MOV A,#TD1
6010      XRL A,R1
6020      SEL RBO
6040      JZ DISPB1
6050      JNZ DISPB2
6060      W2   JNT0_KEY
6070      JT1 WAITCH
6080      SEL RB1
6090      MOV R1,#TD2+1
6100      JMP SETCK
6110      DISPB2 MOV R0,#BUFF2+9
6120      CALL LOOP
6130      JMP WAITCH
6140      KEY  SEL RB1
6150      MOV R1,#TD1+1
6160      SETCK MOV @R1,#HITD
6170      DEC R1
6180      MOV @R1,#LOTD
6190      SEL RBO
6200      JMP WAITCH
6210      DISPB1 CALL DISP
6220      JMP WAITCH
6230      DATA N MOV A,R2
6240      C' R F1
6250      RET

```



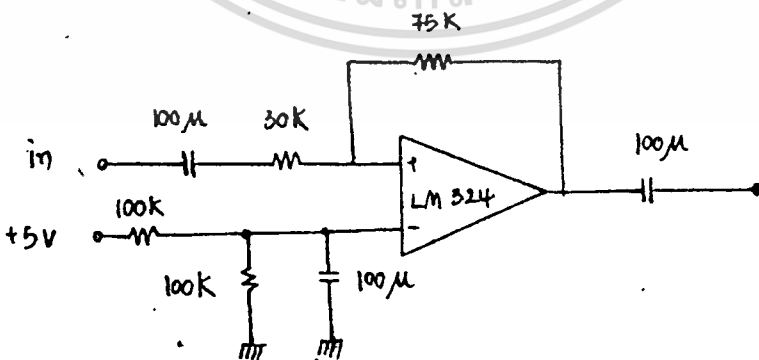
3.10 การออกแบบเครื่องส่งทั้งหมด



รูปที่ 3.10

จากรูปที่ 3.10 ประกอบด้วยส่วนของวงจรสร้างลอจิก โดยแปลงจากหมายเลขโทรศัพท์ที่ต้องการส่ง แล้วทำการเข้ารหัสแปลงเป็นลอจิก 0,1 ซึ่งส่วนของการสร้างลอจิกนี้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ IBM โดยจับสัญญาณขาออกที่ขา RS 232 จากนั้นทำการขยายสัญญาณ จากนั้นเปลี่ยนลอจิก 0,1 เป็นสัญญาณ Frequency Shift Keying โดยใช้ MC 14412 โดยความถี่ 2225 Hz แทนลอจิก 1 และ 2025 Hz แทนลอจิก 0 แล้วทำการมอดูเลตส่งไปด้วยความถี่ 149.3 MHz โดยที่ออสซิลเลเตอร์และมิกเซอร์รวมอยู่ในเครื่องเดียวกันซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้อยู่ทั่วไปในห้องปฏิบัติการ

3.10.1 ส่วนขยายสัญญาณจาก RS 232



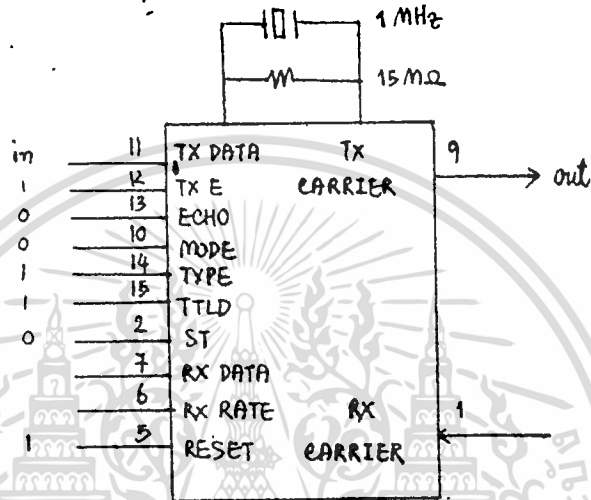
รูปที่ 3.10.1 วงจรขยายสัญญาณจาก RS 232

วงจรที่ได้มีกำลังขยายประมาณ $75/30 = 2.5$ เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10.2 วงจรเปลี่ยนสัญญาณพัลส์ที่เป็นสัญญาณแอนะล็อก 2 ความถี่ สัญญาณขาออกที่ออกจาก RS 232 จะออกมาในลักษณะ binary code byte ซึ่งแทนหมายเลขโทรศัพท์ที่ต้องการส่ง การทำมอดูเลตแบบ Frequency Shift Keying จึงต้องใช้สัญญาณความถี่ 2 ความถี่ แทนเลขจิก 0,1 โดยในที่นี้ใช้ MG 14412 โดยโมอัสที่ขงต่างๆดังรูป 3.10.2



รูปที่ 3.10.2

โปรแกรมของภาคส่ง

```

10 DIM C$(20)
20 OUT &H3FB,&H80
30 OUT &H3F8,&HC0
40 OUT &H3F9,&H0
50 OUT &H3FB,&H23
60 CLS
70 PRINT"INPUT NUMBER of CODE ----> ";
80 FOR I=1 TO 14
90 C$(I)=INKEY$
100 IF C$(I)=CHR$(13) THEN 180
110 IF C$(I)="" THEN 90
120 PRINT C$(I);" ";CHR$(7);
130 NEXT I
140 PRINT " Please ENTER for SEND "
150 A$= INKEY$
160 IF A$=CHR$(13) THEN 180
170 GOTO 150
180 CLS
185 FOR J=1 TO 3
190 FOR I=1 TO 14
200 OUT &H3F8,VAL(C$(I))
210 PRINT C$(I);" - ";CHR$(7);
211 NEXT I
212 NEXT J :GOTO 60

```

กำหนด ความเร็วในการส่ง
600 บอด คาบทุก 8 บิต ไม
มีพาริตีเช็ค สกอปบิต 1 บิต

รับคีย์ 14 ตัว

รอรับคีย์ enter

ส่งออกและแสดงทางจอภาพ

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองของวงจร RF AMPLIFIER

จากทดลองวงจรที่ออกแบบไว้กำลังขยาย 18 dB ความถี่สัญญาณ 149.3

MHZ.

4.2 ผลการทดลองของภาคออสซิลเลเตอร์

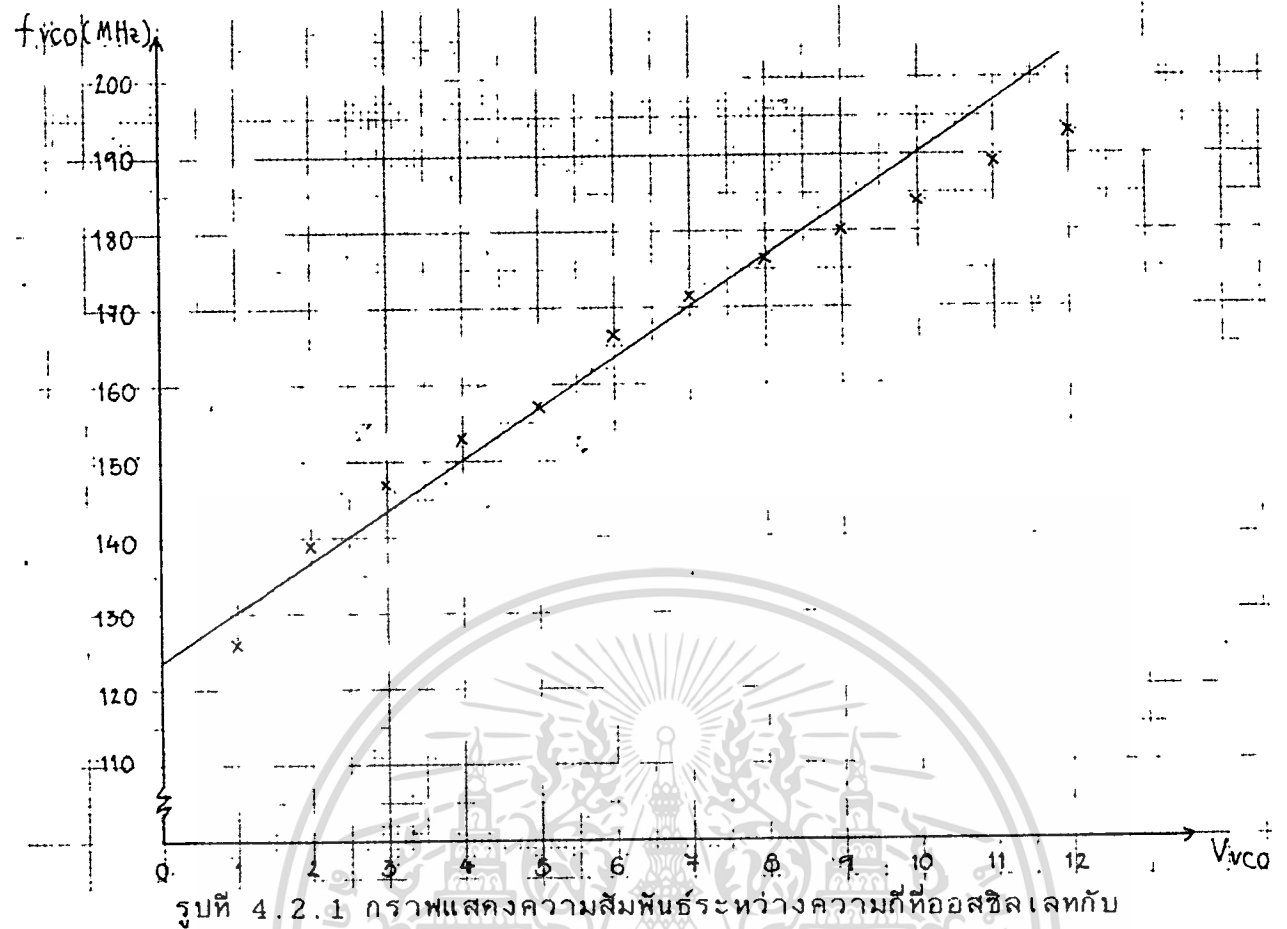
จากการทดลองวัดการเปลี่ยนค่าความถี่ของ VCO จากค่า 1-12 V. จะได้

ความถี่ที่ออสซิลเลเตอร์ได้ตามตารางต่อไปนี้



V_{VCO} (V.)	ความถี่ (MHZ.)
1	126
2	139
3	147
4	153
5	157
6	167
7	171
8	176
9	180
10	184
11	189
12	193

ตารางที่ 4.2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ออสซิลเลเตอร์กับ V_{VCO}



จากรูปที่ 4.2.1 วัชคานวนค่า K_{vco} เพื่อใช้ในการคำนวณ
วงจรรูปฟิลเตอร์คอส

$$K_{vco} = \frac{\Delta f_{vco}}{\Delta V_{vco}} \cdot 2\pi = 41.88$$

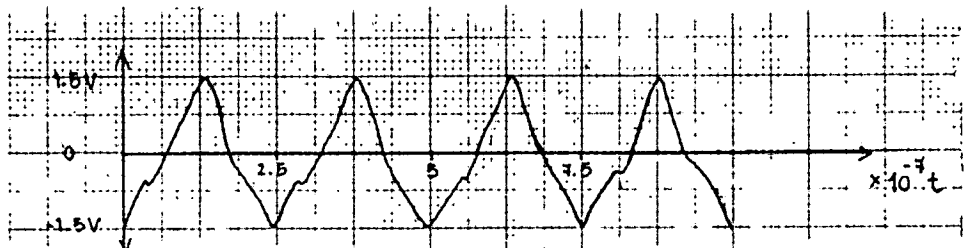
4.3 ผลการทดลองเมื่อต่อภาคเฟสล็อกคูลูป (PLL) กับ ออสซิลเลเตอร์

ผลการทดลองเมื่อต่อวงจรทั้งสองเข้าด้วยกัน ปรากฏว่าความถี่ที่ส่งเคราะห์ ได้มีค่าเท่ากับ 160.0 MHz. ตามต้องการ วิทยุได้รูปสัญญาณที่ขาของไอซีเบอร์ต่างวงดังนี้ ตามรูปที่ 4.3.1



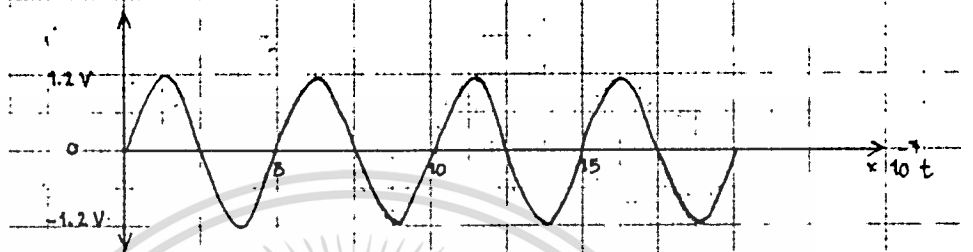
สัญญาณที่ขา 3 ของ

HD 10551



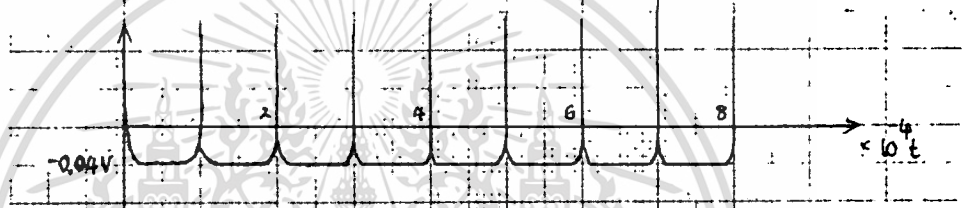
สัญญาณที่ขา 2 ของ

TC 9122



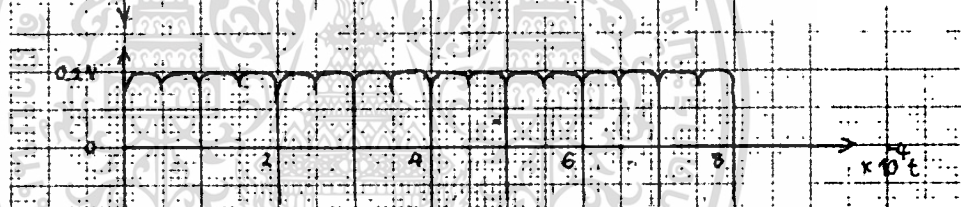
สัญญาณที่ขา 17 ของ

TC 9122



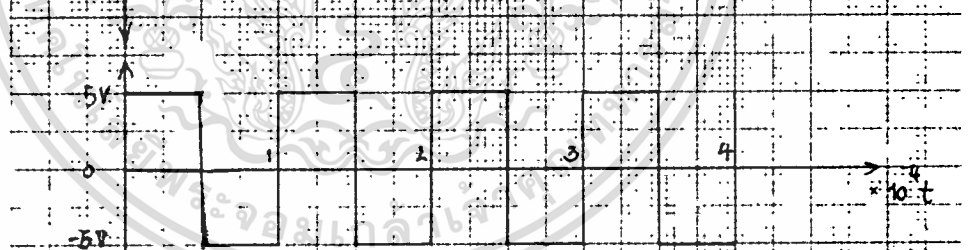
สัญญาณที่ขา 7 ของ

TC 5081



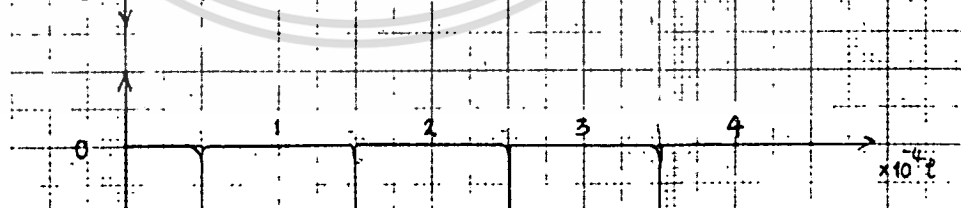
สัญญาณที่ขา 7 ของ

TC 5082

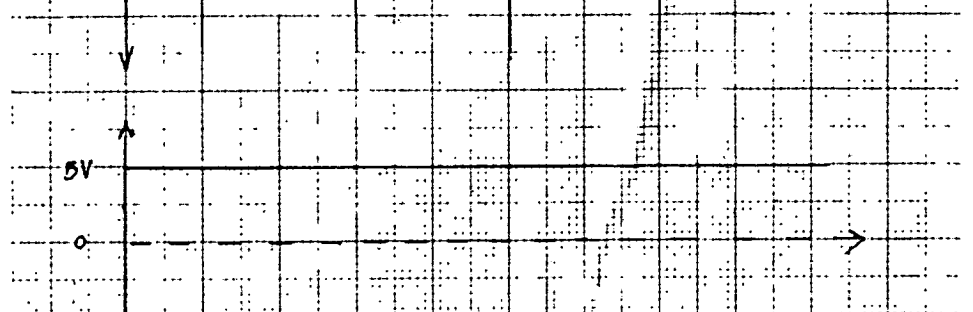


สัญญาณที่ขา 8 ของ

TC 5081



สัญญาณ VCO



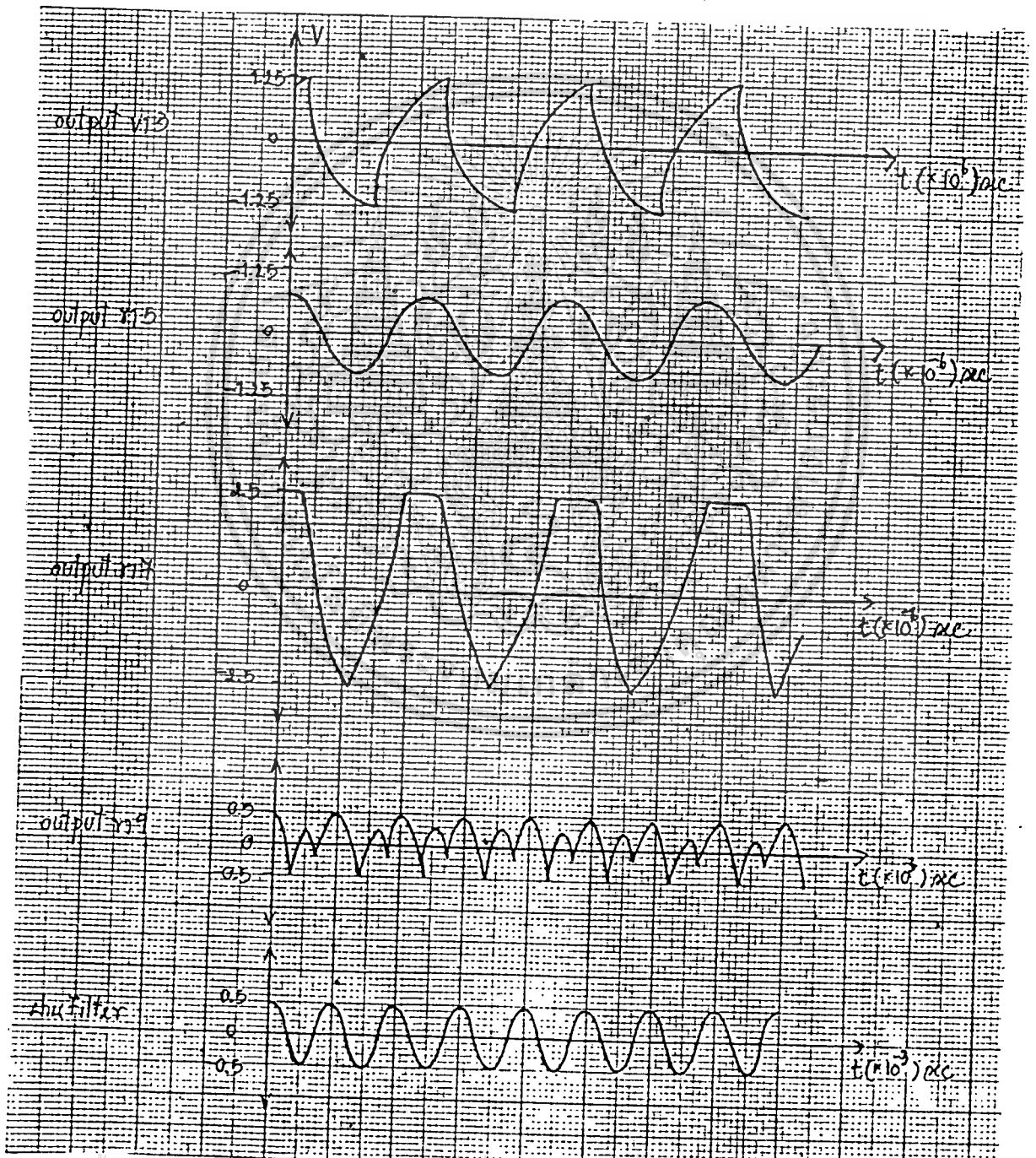
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ บริษัท ชัยภูมิ อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น รูปที่ 4.3-1 แสดงสัญญาณที่ขาไอซีเบอร์ต่างๆ เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดลองของวงจร DOWN-CONVERTER AND DETECTOR

สัญญาณความถี่ 10.7 MHz. ที่ผ่านมาจากภาคมิกซ์เซอร์จะผ่านเข้าสู่ภาคขยายความถี่กลาง(IF AMPLIFIER) 10.7 MHz. ได้กำลังขยาย 7 dB แล้วกรองสัญญาณที่ได้ออกด้วยเซรามิกฟิลเตอร์ 10.7 MHz. แล้วจึงผ่านสัญญาณเข้าที่ขา 16 ของ MC 3357 ซึ่งจากการมอดูเลตสัญญาณความถี่ 1000,400 HZ. กับความถี่ 10.7 MHz. ป้อนเข้าที่ขาของ MC 3357 แล้วจับสัญญาณที่ขาเอาต์พุตก็จะได้สัญญาณ 1000,400 HZ. ตามต้องการ ครอบคลุมความไว(SENSITIVITY) ประมาณ -70 dBm



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงรูปสัญญาณที่ขาต่างๆของ MC3357



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็น ไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการทดลองภาคขยายความถี่อดีโอ (AF AMPLIFIER).

ในการทดลองได้ป้อนระดับสัญญาณอินพุทขนาด -50 dBm วัดกำลังขยายได้ประมาณ 21 dBm

4.6 ผลการทดลองภาคถอดรหัส

จากผลการทดลองเมื่อผ่านสัญญาณเข้าภาค จำกัดสัญญาณแล้วจะได้สัญญาณพัลส์ที่มี 'duty cycle 50% ตามต้องการ และเมื่อผ่านเข้าสู่ภาค FSK แล้วจะได้สัญญาณลอจิก 0,1 แทนความถี่ 2 ความถี่ตามต้องการ

4.7 ผลการทดลองภาคแปลงรหัสสัญญาณ

จากผลการทดลองการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ ผ่านทางพอร์ต RS 232 และเข้าวงจรแปลงรหัสโดยตรง รหัสที่ส่งและรับได้ถูกต้อง โดยก่อนส่งทำการรีเซ็ต บีมสวิทช์นี้ซึ่งจอภาพจะแสดงผลคำว่า reset ไว้ประมาณ 3 วินาที แล้วจะไปเพื่อรอรับข้อมูลจากเครื่องส่ง ซึ่งผลการรับรหัสที่ส่งถูกต้อง



บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป

5.1 ผลการทดลองของระบบเพจเจอร์

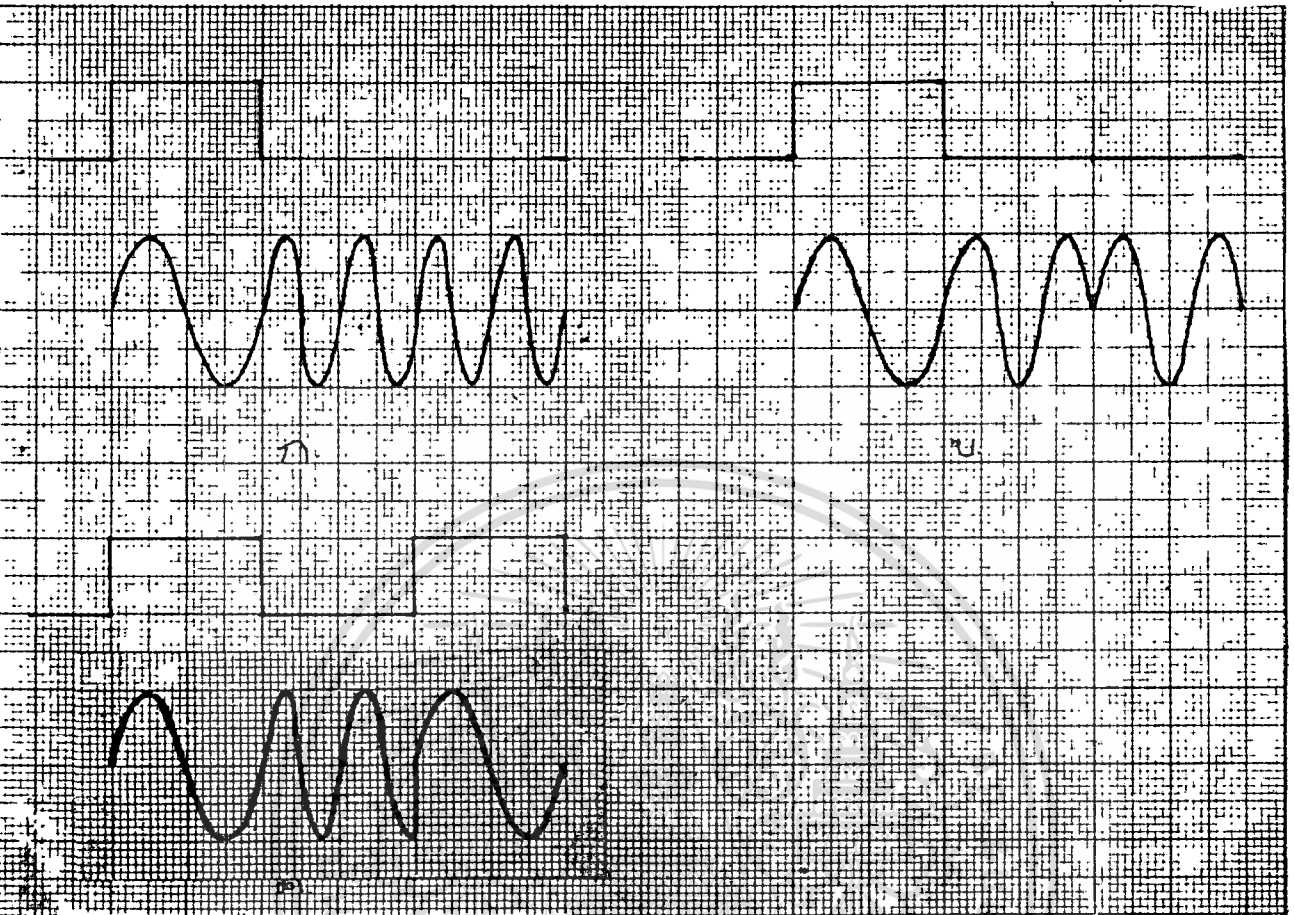
ผลการทดลอง ปรากฏว่าสามารถรับรหัสตามที่ต้องการได้ ความถูกต้องที่
BAUD RATE 600 BAUD 100%

5.2 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองแต่ละภาค ไม่ว่าจะเป็นการต่อเข้ากับเครื่องส่ง (คอมพิวเตอร์) กับเครื่องรับ (ภาค DECODER) หรือผลการวัดแต่ละภาคที่ให้ผลออกมาตามต้องการ แต่เมื่อเฝ้าวงจรทั้งหมดมาประกอบเข้าด้วยกัน ปรากฏว่าไม่สามารถแปลงรหัสกลับคืนมาได้ จากการทดลองอาจเนื่องมาจาก วงจรแปลงรหัสเป็นความถี่ FSK MODULATION ของภาคส่งมีการเปลี่ยนความถี่ (ในที่นี้คือ IC 566) ซึ่งถ้าค่าความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปเกินช่วงที่อยู่ในลีดแคเรนจ์ของวงจรแปลงความถี่กลับคืนเป็นรหัส (FSK DEMODULATION) (ในที่นี้คือ IC 4046) ผลที่เกิดขึ้นทำให้วงจรคอมพาราเตอร์ ซึ่งเป็นภาคที่ลิมิตสัญญาณให้ซิงเกิลชีพ 8048 เปรียบเทียบผลผิดพลาดไป ยกตัวอย่างเช่น จาก การทดลองบางครั้งที่ลอจิก 1 ไอซี 566 จะผลิตความถี่ 2KHZ. สมมติว่ามีการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่ เนื่องจากอุณหภูมิหรือจากการที่ลอจิก 1 ไม่ได้ระดับ 5 โวลต์จริง ๆ ความถี่ที่ได้ อาจเปลี่ยนแปลงเป็นเหนือขึ้นหรือลดลง ซึ่งถ้าเพิ่มขึ้นและเกินค่าที่เป็นลิเนียร์ ของไอซี 4046 จะทำให้ระดับคัทด้าที่ 4046 จ่ายให้วงจรคอมพาราเตอร์ ภาคสุดท้ายไม่แปรตามความถี่ วงจรคอมพาราเตอร์อาจจะทำการลิมิตสัญญาณผิดพลาด ทำให้การแปลงรหัสผิดพลาดไปด้วย

และจากการทดลองโดยการต่อ SIGNAL GENERATOR ซึ่งส่งความถี่ 600Hz. รูปคลื่นความถี่สี่เหลี่ยม (PULSE TRAIN) เสมือนการส่งลอจิก 0,1 สลับกันไปให้ FSK MODULATOR (566) พบว่าจะต้องมีการปรับความถี่ เนื่องจากมีการปรับเลื้อนความถี่ เช่นเดียวกับในด้าน FSK DEMODULATOR (4046) ก็ต้องมีการปรับใหม่ด้วย และเมื่อมีการส่งไปได้ระยะหนึ่ง ข้อมูลที่อินพุท (อินพุทจาก SIGNAL GENERATOR) กับข้อมูลที่เอาต์พุท (จากเอาต์พุทของคอมพาราเตอร์ที่จะเป็นอินพุทให้ 8048) ไม่เป็น PULSE TRAIN ในรูปเดียวกัน

รูปคลื่นที่ได้จาก FSK MODULATOR มีลักษณะดังรูป

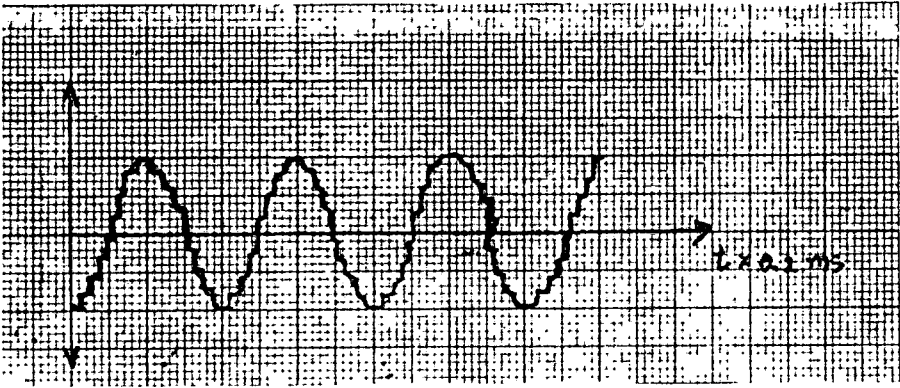


กรณีที่ FSK มีไซเคิล (CYCLE) ครบพอดี เช่น เป็น 1 ไซเคิลต่อ 1 คาบของ พัลส์ (PULSE) หรือ 2 ไซเคิลดังรูป ก จะเห็นว่าการตรวจจับสัญญาณ (DETECT) จะได้อ่านที่ ถูกต้องและทำได้ง่าย ไม่เหมือนกับกรณีรูป ข และรูป ค ที่มีรอยต่อที่ไม่เป็นสัญญาณไซน์เวฟ และยิ่งในรูป ค บริเวณรอยต่อมีการถูกตัด ทำให้ได้อ่านอาร์โมนิคออกมา เมื่อ FSK ต้มอดู เลทเตอร์ทำการตรวจจับสัญญาณก็อาจเกิดความผิดพลาดได้ นอกจากนี้การใช้ IC ที่เป็น เฟสล็อกคัลคูล จะต้องใช้ FSK หลายๆ ไซเคิลในการเข้าสู่ภาวะล็อกซึ่งอยู่ในช่วงที่จะพิจารณา การใช้ความถี่ที่แทนด้วยลอจิกน้อยเกินไปก็จะได้ ไซเคิลในหนึ่งคาบน้อยลงด้วยซึ่งเป็นผลให้ เฟสล็อกคัลคูลทำงานไม่ทัน

การแก้ไขจึงใช้ ไอซี สำเร็จรูป 14412 ซึ่งเป็น UNIVERSAL LOW SPEED MODEM ในที่นี้เลือกใช้ MODE ของ US โดยใช้ความถี่ 2025 Hz. แทนลอจิก 0 และ 2225 Hz. แทนลอจิก 1 แต่ในทางปฏิบัติความถี่ที่ต่ำกว่า 2025 Hz. ก็จะถูกแทนด้วยลอจิก 0 เช่นกันที่ความถี่ที่สูงกว่า 2225 Hz. ก็จะถูกแทนด้วยลอจิก 1 ด้วย

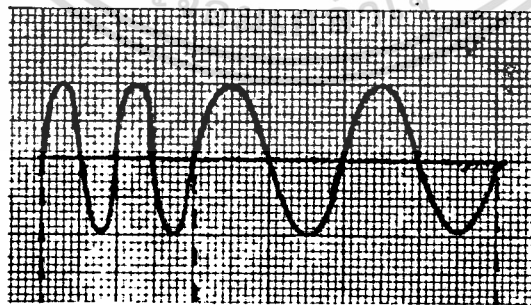
ความถี่ 2025 Hz. และ 2225 Hz. ที่ได้จาก FSK MODULATOR นั้น จะ มีลักษณะเป็น stair ดังรูป ซึ่งไม่ใช่คลื่นไซน์ที่แท้จริง (ไม่เป็น PURE SINE 2025, 2225 Hz.) แต่ประกอบด้วยอาร์โมนิคต่างๆด้วยนั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เมื่อทำการ MODULATION กับ SIGNAL GENERATOR ที่ความถี่พาห้ 149.3 MHz. ก็จะทำให้เกิดที่ความถี่หลายความถี่ที่เป็นฮาร์โมนิคของความถี่ 2025 และ 2225 Hz. ประกอบและถูกส่งออกไปด้วย การรับด้วยเครื่องรับที่สร้างไว้โดยจำลองแบนด์วิทไว้ที่ 5 KHz. ทำให้ฮาร์โมนิคดังกล่าวผ่านไปยังภาค FSK DEMODULATION ด้วยทำให้การแปลงรหัสผิดพลาด ซึ่งในระบบที่ออกแบบการผิดพลาดไปเพียง 2 บิต ติดต่อกัน (3222 μ s) ก็อาจทำให้เครื่องรับไม่สามารถรับรหัสได้

การแก้ไขเพื่อทดลองว่าเครื่องรับสามารถรับรหัสได้หรือไม่ก็โดยการที่เครื่องรับจะต้องรับสัญญาณเดิมกลับคืนมาเป็นแบบ STAIR ด้วยซึ่งในการทดลองใช้เครื่อง FIELD STRENGTH METER ทำการรับสัญญาณ ผลการทดลองทำให้การแปลงรหัสถูกต้อง แนวทางในการแก้ไขต่อไปคือ ในการส่ง FSK นั้นควรจะให้ครบไซเคิลพอดี และการตรวจจับก็โดยการตรวจหาช่วงเวลาในแต่ละความถี่ครบไซเคิล (ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวก็ต้องมีความแม่นยำสูงในการตรวจจับว่าครบไซเคิลแล้วหรือยัง) ซึ่งความกว้างหรือความยาวของเวลาจะแตกต่างกันแน่นอน ทำให้สามารถตรวจจับสัญญาณคืนได้ง่ายกว่าและมีปัญหาน้อยกว่า



สมมติให้ 2 ไซเคิลเท่ากับหนึ่งลอจิก จะเห็นว่าคาบเวลาต่างกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

most widely used

Frequency Mixers Models

LEVEL 7 (17dBm LO, up to +4dBm RF)

- SAM-2
- TFM-2
- IFM-2P
- TSM-2
- ZIM-2
- ZIM-2
- MLW-2



computer-automated performance data
typical production unit / for data of other models consult factory

mixer conversion loss and isolation

RF MHz	LO MHz	Conversion Loss (dB)			Isolation L-R (dB)			Isolation L-I (dB)		
		LO +4dBm	LO +7dBm	LO +10dBm	LO +4dBm	LO +7dBm	LO +10dBm	LO +4dBm	LO +7dBm	LO +10dBm
1000	5000	7.66	7.23	7.05	>64.00	>67.00	>70.00	>64.00	>67.00	>70.00
2000	5200	6.99	6.50	6.36	>64.00	>67.00	>70.00	>64.00	>67.00	>70.00
5000	5000	6.74	6.80	6.56	>64.00	>67.00	>70.00	>64.00	>67.00	>70.00
10000	4000	6.61	6.62	6.47	>64.00	>67.00	>70.00	>64.00	>67.00	>70.00
20000	5000	6.10	6.68	6.51	>64.00	>67.00	>70.00	>64.00	>67.00	>70.00
50000	6000	6.94	6.56	6.44	>64.00	61.64	60.30	>64.00	65.74	61.61
100000	7000	6.88	6.53	6.39	60.03	54.33	51.23	55.96	65.74	61.61
167000	13700	6.89	6.57	6.44	60.05	54.33	51.23	55.96	65.74	61.61
233000	26300	6.02	6.72	6.54	40.06	45.10	44.88	46.78	47.11	47.01
300000	37000	6.74	6.45	6.37	43.14	42.56	42.56	43.12	45.03	43.10
500000	50000	6.11	6.73	6.58	40.77	40.45	40.57	37.73	37.57	36.18
500000	43000	6.15	6.82	6.66	35.41	34.33	34.72	33.78	34.32	34.35
500000	47000	6.26	6.72	6.56	36.16	34.40	34.09	33.83	34.10	34.50
500000	50000	6.34	6.69	6.78	36.00	37.43	36.87	32.71	32.81	32.66
500000	63000	6.54	6.11	6.58	36.54	37.94	37.43	31.60	31.57	31.51
700000	70000	7.07	6.27	6.72	35.96	36.06	36.24	29.94	29.67	29.67
700000	80000	7.29	6.46	6.02	35.29	35.22	35.39	29.94	29.67	29.67
700000	85000	7.77	7.00	6.19	34.14	33.77	33.77	28.80	28.79	28.42
700000	90000	8.11	7.37	6.64	33.72	33.17	33.14	26.59	26.14	26.92
700000	95000	8.20	7.63	7.18	33.25	32.49	32.14	25.65	25.03	24.52
1000000	100000							24.75	23.59	22.56

mixer VSWR

freq. MHz	VSWR, RF port			VSWR, LO port			VSWR, IF port		
	LO +4dBm	LO +7dBm	LO +10dBm	LO +4dBm	LO +7dBm	LO +10dBm	LO +4dBm	LO +7dBm	LO +10dBm
1000	1.26	1.30	1.34	1.77	2.70	4.53	1.43	1.24	1.09
10000	1.12	1.15	1.20	1.71	2.63	3.91	1.44	1.25	1.10
20000	1.14	1.07	1.15	1.76	2.77	3.95	1.43	1.25	1.10
50000	1.12	1.06	1.15	1.69	2.65	3.74	1.44	1.25	1.11
100000	1.06	1.07	1.14	1.63	2.41	3.37	1.45	1.27	1.13
150000	1.09	1.09	1.14	1.61	2.37	3.24	1.49	1.31	1.18
200000	1.12	1.11	1.14	1.54	2.29	3.18	1.54	1.36	1.23
300000	1.16	1.16	1.16	1.53	2.20	2.95	1.56	1.48	1.35
300000	1.21	1.18	1.17	1.52	2.16	2.89	1.75	1.57	1.44
427000	1.25	1.20	1.17	1.47	2.13	2.63	1.84	1.66	1.53
500000	1.21	1.22	1.21	1.55	2.06	2.74	1.77	1.77	1.56
500000	1.16	1.23	1.22	1.53	2.15	2.70	2.04	1.88	1.78
600000	1.15	1.26	1.26	1.50	2.09	2.65	2.02	1.87	1.77
600000	1.14	1.29	1.27	1.51	2.09	2.65	2.07	1.90	1.81
700000	1.16	1.34	1.32	1.56	2.04	2.69	2.08	1.91	1.83
700000	1.44	1.30	1.38	1.61	2.13	2.69	2.07	1.91	1.82
700000	1.51	1.47	1.46	1.63	2.19	2.70	2.02	1.86	1.77
700000	1.58	1.15	1.14	1.67	2.24	2.78	1.93	1.77	1.68
700000	1.68	1.66	1.66	1.74	2.28	2.65	1.61	1.66	1.57
1000000	1.75	1.72	1.72	1.77	2.30	2.69	1.74	1.60	1.51

φ detection

freq. (MHz)	max DC output mV	DC offset mV
1000	230.07	+09
20000	154.66	+09
50000	120.18	+08
100000	105.50	+09
100000	105.50	-09
150000	106.59	+08
200000	107.90	-06
300000	105.36	+02
427000	106.83	-11
500000	107.61	+11
500000	107.61	-11
600000	106.03	+01
600000	103.29	+02
600000	105.56	+13
600000	105.56	+13
700000	107.44	+17
700000	107.44	+17
1000000	106.52	+16
1000000	108.54	+13
1000000	107.26	+19
1000000	105.66	+12
1000000	107.44	+17
1000000	107.44	+17

Measurements at PI & LO Power - 7 dBm
*PHASE POSITIVE

Mini-Circuits

P.O. BOX 166, Brooklyn, New York 11235 (718) 934-4570

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้บนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

to 1000 MHz

Mixer Harmonic Intermodulation

(relative to desired IF output)

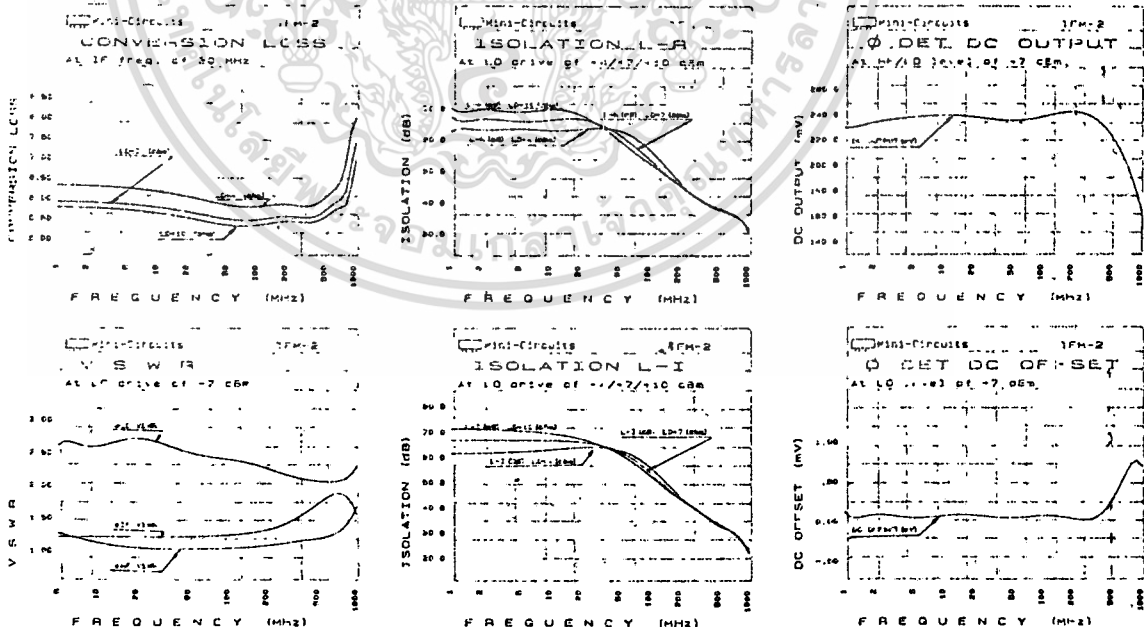
RF ORDER HARMONIC	RF CAL	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RF ORDER HARMONIC	RF CAL	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	>90	-	14	29	23	42	25	43	53	57	65	72	0	>61	-	5	19	11	28	14	31	32	47	61	58
1	>90	20	-	19	12	34	25	47	35	42	57	57	1	>61	19	-	32	12	30	24	44	35	36	59	49
2	76	52	40	58	40	58	41	50	48	66	53	68	2	>61	65	48	>72	48	64	47	58	54	63	60	65
3	66	46	49	50	49	53	49	52	48	58	57	51	3	>61	66	70	65	>72	64	68	64	72	68	68	66
4	64	73	73	65	62	66	59	66	55	65	65	70	4	>61	69	>74	>74	>72	>72	>72	>72	>74	>73	68	69
5	55	77	76	64	63	64	60	59	60	59	68	71	5	>61	68	68	>74	74	>72	>72	>72	>72	>74	>74	67
6	55	76	79	78	82	79	79	76	75	75	74	79	6	>61	69	69	68	>74	74	>72	>72	>72	>72	>74	>74
7	85	79	78	77	79	82	80	81	80	80	79	78	7	>61	69	68	67	69	73	74	>72	>72	>72	>72	>74
8	66	79	60	79	78	78	>64	>64	>62	>62	81	>62	8	>61	69	70	69	68	68	>74	>74	>72	>72	>72	>72
9	85	79	79	60	79	78	79	>64	>64	>62	>63	>62	9	>61	69	69	69	69	69	68	>74	>74	>72	>72	>72
10	66	79	79	79	79	80	76	78	>64	>64	>62	>63	10	>60	69	69	70	70	69	69	68	>74	>74	>72	>72

Test Conditions: RF = 500 100 MHz INPUT P. = -13 dBm
 LO = 470 010 MHz INPUT P. = +6 dBm
 F = 30 000 MHz IF AMPLITUDE = 10 dB

Test Conditions: RF = 500 100 MHz INPUT P. = -13 dBm
 LO = 470 010 MHz INPUT P. = +6 dBm
 F = 30 000 MHz IF AMPLITUDE = 20 dB

typical performance curves

(production unit)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิจกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ ทองทนต์ วาณิชศรี ที่ท่านได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้
ขอขอบคุณอาจารย์รณานัย ไกรฤกษ์, อาจารย์สมพล งามดีลลิตร์, อาจารย์วิศิษฐ์ สรร
ภาษาที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำและให้ความสะดวกในการใช้เครือข่ายมือถือต่างๆ และขอขอบคุณ
ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ซึ่งหากรั้ววิทยาลัยพนาลัยระดับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

บุณย์ศักดิ์ พิทักษ์เลิศกุล

บ.บ.กิจ ธาราประเสริฐ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

- 1 GEORGE KENNEDY , ELECTRONICS COMMUNICATION SYSTEM , PP 106-107, MCGRAW-HILL, INC , 1987.
- 2 HAROLD B.KILLEN , MODERN ELECTRONICS COMMUNICATION TECHNIQUES , MACMILLAN PUBLISHING COMPANY, INC, 1985.
- 3 HERBERT L.KRAUSS AND CHARLES W.BOSTIAN FREDERICK H.RAAB , SOLID STATE RADIO ENGINEERING , JOHN WILEY & SON , INC, 1980.
- 4 JERRY KANE AND ADAM OSBORNE , AN INTRODUCTION TO MICROCOMPUTER , ADAM OSBORNE & ASSOCIATES , INC, 1978
- 5 WALTER G.JUNG , IC OPAMP COOKBOOK , HOWARD W.SANS & CO., INC, INDIANAPOLIS , INDIANA, 1981

