

โทรศัพท์สำหรับคนหูหนวก

TELEPHONE FOR DEAF



โดย

นาย เทพวิฑูรย์ กุลธรรมโยธิน 40010281

นาย นรวัฒน์ หิรัญสังจาเลิศ 40010364

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน, เดือน, ปี.....

42158

14 พ.ค. 2545

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

โทรศัพท์สำหรับคนหูหนวก
TELEPHONE FOR DEAF

โดย

นาย เทพวิฑูรย์ กุลธรรมโยธิน 40010281

นาย นรวัฒน์ หิรัญสัจจาเลิศ 40010364

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง โทรศัพท์สำหรับคนหูหนวก

TELEPHONE FOR DEAF

ผู้จัดทำ

1. นาย เทพวิฑูรย์ กุลธรรมโยธิน 40010281

2. นาย นรวัฒน์ หิรัญธัญจาเลิศ 40010364

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน)



โทรศัพท์สำหรับคนหูหนวก

Telephone for deaf

โดย นายเทพวิฑูรย์ กุลธรรมโยธิน 40010281

นายณรรวัฒน์ หิรัญสังจาเลิศ 40010364

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน โทรศัพท์ถือเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการติดต่อสื่อสาร ซึ่งต้องใช้เสียงเป็นสื่อกลางในการติดต่อสื่อสาร จากเหตุผลดังกล่าวนี้ ทำให้มีข้อจำกัดสำหรับผู้พิการทางหู โครงการนี้จึงได้นำเสนอโทรศัพท์สำหรับคนหูหนวก โดยเมื่อมีสัญญาณเรียกเข้ามาก็จะมีดวงไฟสำหรับแจ้งเตือนเพื่อให้ผู้ถูกเรียกทราบ ในส่วนของการสนทนา ทางด้านผู้เรียกและผู้ถูกเรียกจะใช้การพิมพ์ข้อความผ่านคีย์บอร์ดในการสนทนา และจะมีจอ LCD เพื่อแสดงผลให้ผู้รับทราบความหมาย

ABSTRACT

Telephone is the important equipment for communication. Sound is the main media for this communication system. For this limitation of the deafman, so this project is constructed the equipments for deafman telephone system. In receiver part, when the telephone is called from external the ring tone signal is changed to the light signal. In conversation part, users use keyboard and display message via LCD for communication system at each side.

สารบัญ

หน้า

บทที่1 บทนำ	1
บทที่2 ทฤษฎีหรือหลักการ	3
2.1 โทรศัพท์ (Telephone)	3
2.2 การมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็ม	15
2.3 เอฟเอ็มแบนด์แคบ (Narrowband FM)	16
2.4 กำลังส่งของสัญญาณเอฟเอ็ม	18
2.5 การวิเคราะห์สัญญาณเอฟเอ็มในเทอมความถี่	19
2.6 เฟสล็อกคัลมอดูเลเตอร์	22
2.7 มอดูเลชันเทคนิค	29
2.8 การส่งสัญญาณดิจิตอลผ่านคู่สายโทรศัพท์	34
2.9 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	36
2.10 คีย์บอร์ด (Keyboard)	47
2.11 LCD (Licuid Crystal Display)	51
2.12 ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode)	58
บทที่3 การคำนวณและการสร้าง	60
3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	60
3.2 วงจรกำเนิดสัญญาณ เอฟ เอส เค (Sinusoidal FSK Generator)	65
3.3 วงจร เอฟ เอส เคดีมอดูเลชัน	67
3.4 วงจรตรวจเรียกสัญญาณเรียกเข้า (Ringing Tone Detector Circuit)	69
3.5 วงจรตรวจจับความถี่	70
3.6 วงจรกำเนิดสัญญาณหมายเลข โทรศัพท์ (Dialer Circuit)	71
3.7 วงจรควบคุมเสียงพูด MC34114	72
3.8 วงจรกรองแถบความถี่ผ่านแบบแอคทีฟ (Active Band Pass Filter)	75
บทที่4 การทดลองและผลการทดลอง	79
4.1 การทดลองเกี่ยวกับส่วนประมวลผล	79
4.2 การทดลองเกี่ยวกับวงจรกำเนิดสัญญาณหมายเลข โทรศัพท์	82
4.3 การทดลองวงจรเอฟ เอส เค มอดูเลชัน	86

	หน้า
4.4 การทดลองวงจรเอฟ เอส เค ดิมมูเลชั่น	88
4.5 การทดลองส่วนวงจรตรวจจับสัญญาณกระดิ่งโดยแสดงผลด้วย LED	89
4.6 การทดลองส่วนแสดงสถานะของเครื่องโทรศัพท์	89
4.7 การทดลองส่วนวงจรกรองแถบความถี่ผ่านแบบแอกทีฟ	92
 บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	 94

หนังสืออ้างอิง

ภาคผนวก

กิจกรรมประกาศ



สารบัญรูป

หน้า

บทที่1 บทนำ

รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของโครงการ	1
--	---

บทที่2 ทฤษฎีหรือหลักการ

รูปที่ 2.1 การเชื่อมต่อระหว่างเครื่องโทรศัพท์กับชุมสายโทรศัพท์	4
รูปที่ 2.2 กราฟลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าของเสียงพูดที่ส่งออกไป ในสายโทรศัพท์	5
รูปที่ 2.3 รูปร่างของสัญญาณซิกแนลลิง (Signaling)	8
รูปที่ 2.4 ระบบการติดต่อกันระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับโทรศัพท์	9
รูปที่ 2.5 แผนผังการทำงานของเครื่องโทรศัพท์ทั่วไป	11
รูปที่ 2.6 วงจรบริดจ์และวงจรป้องกันอันตรายจากสายโทรศัพท์ อันเนื่องจากสัญญาณชั่วขณะ	12
รูปที่ 2.7 วงจรกำเนิดสัญญาณหมายเลข โทรศัพท์แบบหมุน	13
รูปที่ 2.8 ลักษณะของสัญญาณหมายเลขแบบพัลส์	13
รูปที่ 2.9 ความถี่ที่สัมพันธ์กับหมายเลขบนแป้นกด	14
รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของระบบเฟสล็อกคูล	22
รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมของเฟสล็อกคูลในรูปแบบของทรานเฟอร์ฟังก์ชัน	23
รูปที่ 2.12 วงจรฟิลเตอร์อย่างง่าย	24
รูปที่ 2.13 ความถี่ลีดของเฟสล็อกคูล	27
รูปที่ 2.14 ช่วงความถี่ตรวจจับและความถี่ลีด	29
รูปที่ 2.15 สัญญาณแบบต่าง ๆ	30
รูปที่ 2.16 รูปคลื่นของสัญญาณ เอฟ เอส เค	31
รูปที่ 2.17 การชิงโครนัสดีเทคชันของสัญญาณ เอฟ เอส เค	32
รูปที่ 2.18 เอนเวลโลปดีเทคเตอร์	34
รูปที่ 2.19 การแปลงสัญญาณดิจิทัลเพื่อสื่อสารผ่านสายโทรศัพท์	35
รูปที่ 2.20 มาตรฐาน 103 แบบฟูลดูเพล็กซ์อัตราส่งต่ำ	35
รูปที่ 2.21 มาตรฐานของ CCITT V.21 แบบฟูลดูเพล็กซ์อัตราส่งต่ำ	36
รูปที่ 2.22 โครงสร้างภายในของ MCS-51	37
รูปที่ 2.23 ขาต่าง ๆ ของ MCS-51 (DIP40)	38
รูปที่ 2.24 ตำแหน่งของบิตในรีจิสเตอร์ SCON	42

รูปที่ 2.25 ตำแหน่งของบิตในรีจิสเตอร์ TMOD	43
รูปที่ 2.26 ตำแหน่งของบิตในรีจิสเตอร์ IE	46
รูปที่ 2.27 ตำแหน่งของบิตในรีจิสเตอร์ IP	46
รูปที่ 2.28 ขาสัญญาณของคีย์บอร์ด (Keyboard)	47
รูปที่ 2.29 ภาพของสัญญาณเอาต์พุตของคีย์บอร์ด (Make Code) เมื่อกดคีย์ "a"	50
รูปที่ 2.30 ภาพของสัญญาณเอาต์พุตของคีย์บอร์ด (Break Code) เมื่อกดคีย์ "a"	51
รูปที่ 2.31 ค่าตำแหน่งของคีย์บอร์ด	51
รูปที่ 2.32 ตัวอย่างรูปแบบการจัดตำแหน่งการแสดงผล สำหรับ LCD โมดูล 16×2	53
รูปที่ 2.33 รูปแบบของคำสั่ง CLEAR DISPLAY	54
รูปที่ 2.34 รูปแบบของคำสั่ง RETURN HOME	54
รูปที่ 2.35 รูปแบบของคำสั่ง ENTRY MODE SET	54
รูปที่ 2.36 รูปแบบของคำสั่ง DISPLAY ON/OFF CONTROL	55
รูปที่ 2.37 รูปแบบของคำสั่ง CURSOR OR DISPLAY SHIFT	55
รูปที่ 2.38 รูปแบบของคำสั่ง FUNCTION SET	56
รูปที่ 2.39 รูปแบบของคำสั่ง SET CG RAM ADDRESS	57
รูปที่ 2.40 รูปแบบของคำสั่ง SET DD RAM ADDRESS	57
รูปที่ 2.41 รูปแบบของคำสั่ง READ BUSY FLAG AND ADDRESS	57
รูปที่ 2.42 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าและกราฟคุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอด	58
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	
รูปที่ 3.1 การต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	60
รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของโปรแกรมหลัก	62
รูปที่ 3.3 แผนผังการทำงานของโปรแกรมน้อย	64
รูปที่ 3.4 วงจร Sionusoidal FSK Generator	65
รูปที่ 3.5 วงจร เอฟ เอส เค ดีมอดูเลชันโดยใช้ไอซี XR-2211	67
รูปที่ 3.6 วงจรตรวจสอบสัญญาณเรียกเข้า	69
รูปที่ 3.7 วงจรตรวจจับความถี่โดยใช้ไอซี LM567	70
รูปที่ 3.8 หน้าทีของแต่ละขาของไอซี HM91210	71
รูปที่ 3.9 วงจรกำเนิดสัญญาณหมายเลขโทรศัพท์	72
รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมภายในของ MC34114	72
รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมและอุปกรณ์ภายในของ MC34114	73

รูปที่ 3.12 เส้นทางของสัญญาณทางด้านส่ง	73
รูปที่ 3.13 เส้นทางของสัญญาณทางด้านรับ	74
รูปที่ 3.14 วงจรกรองแถบความถี่ผ่านแบบแอกทีฟ	76
รูปที่ 3.15 รูปวงจรรวมแผ่นที่ 1	77
รูปที่ 3.16 รูปวงจรรวมแผ่นที่ 2	78

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

รูปที่ 4.1 สัญญาณเมคโค็ดจากคีย์บอร์ดที่ได้จากการกดปุ่ม “a”	80
รูปที่ 4.2 สัญญาณเมคโค็ดจากคีย์บอร์ดที่ได้จากการกดปุ่ม “n”	80
รูปที่ 4.3 สัญญาณเบรคโค็ดจากคีย์บอร์ดที่ได้จากการกดปุ่ม “a”	81
รูปที่ 4.4 สัญญาณเบรคโค็ดจากคีย์บอร์ดที่ได้จากการกดปุ่ม “n”	81
รูปที่ 4.5 – 4.10 ผลการทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณหมายเลขโทรศัพท์	82
รูปที่ 4.11 – 4.12 ผลการทดลองวงจร เอฟ เอส เค มอดูเลชัน	87
รูปที่ 4.13 – 4.14 ผลการทดลองวงจร เอฟ เอส เค ดีมอดูเลชัน	88
รูปที่ 4.15 – 4.18 ผลการทดลองวงจรส่วนสถานะของเครื่องโทรศัพท์	90
รูปที่ 4.19 – 4.20 ผลตอบสนองของวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน	92

สารบัญตาราง

หน้า

บทที่ 2 ทฤษฎีหรือหลักการ

ตารางที่ 2.1 ค่า $J_n(\beta)$ ที่ค่า β และ n ต่างๆกัน	21
ตารางที่ 2.2 รายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	38
ตารางที่ 2.3 หน้าที่ของพอร์ต 3 (ขาที่ 10-17)	39
ตารางที่ 2.4 การใช้งาน รีจิสเตอร์ SCON	42
ตารางที่ 2.5 บิตกำหนดโหมดการรับส่งข้อมูลอนุกรมด้วยบิต SM0 และ SM1	43
ตารางที่ 2.6 บิตในการควบคุมการใช้งานไทม์เมอร์	44
ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างค่า Baud Rate และค่า Reload Value	45
ตารางที่ 2.8 การใช้งาน รีจิสเตอร์ IE	45
ตารางที่ 2.9 การใช้งาน รีจิสเตอร์ IP	46
ตารางที่ 2.10 ค่าอินเทอร์รัพท์เวกเตอร์	47
ตารางที่ 2.11 ความหมายของแต่ละบิต	48
ตารางที่ 2.12 สแกนโค้ดของคีย์บอร์ด	49
ตารางที่ 2.13 ตำแหน่งขาต่างๆ ที่ใช้เชื่อมต่อกับ LCD	52
ตารางที่ 2.14 การทำงานของคำสั่ง CURSOR OR DISPLAY SHIFT	56
ตารางที่ 2.15 การทำงานของคำสั่ง FUNCTION SET	56

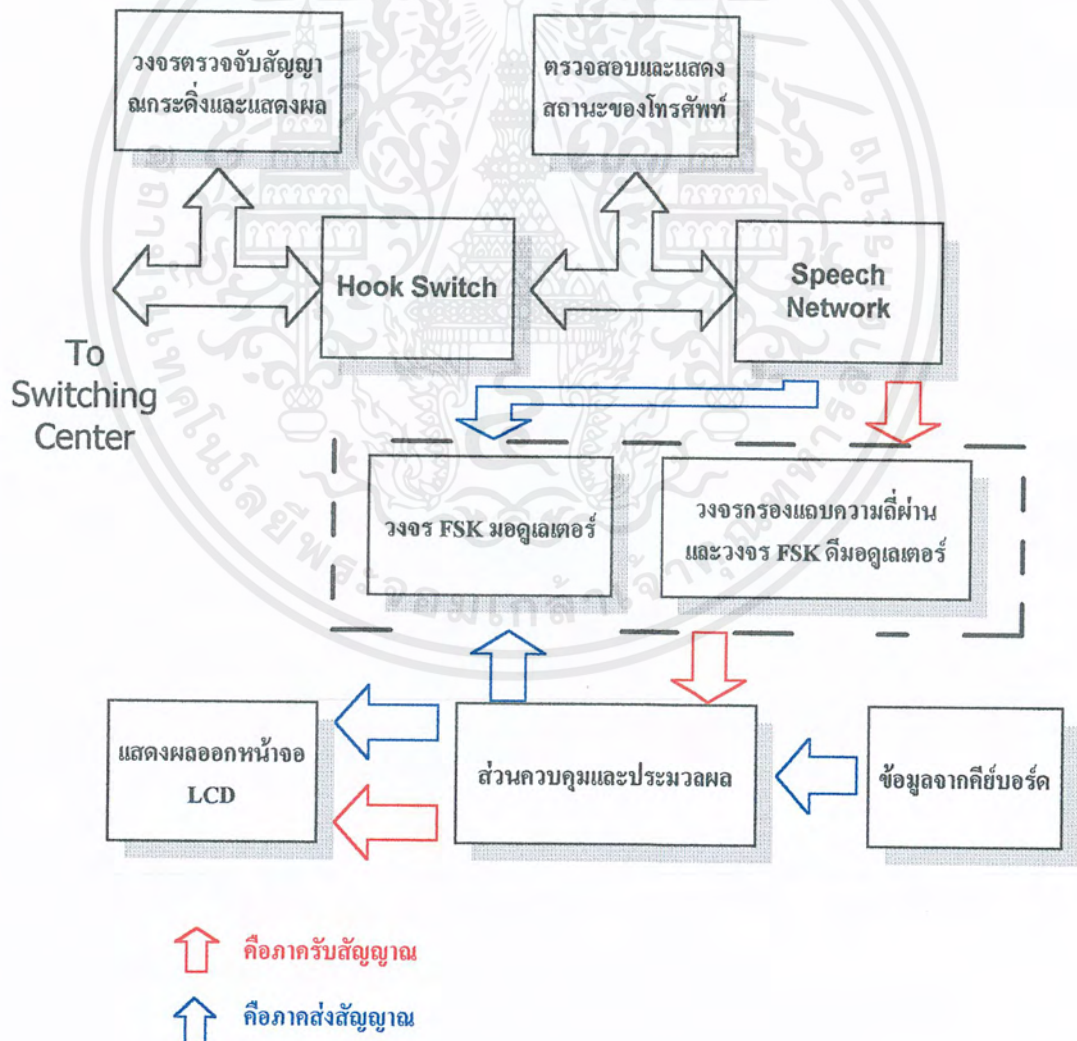
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกค่าความถี่ของแต่ละปุ่มบนแป้นกดหมายเลข	85
---	----

บทที่ 1

บทนำ

โทรศัพท์จัดเป็นอุปกรณ์การติดต่อสื่อสารอย่างหนึ่งที่มีประโยชน์มากอย่างหนึ่ง ในปัจจุบันซึ่งช่วยอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก แต่ยังมีข้อจำกัดสำหรับคนหูหนวก ที่ไม่สามารถจะใช้โทรศัพท์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เสียงในการติดต่อได้ ซึ่งในปัจจุบัน คนหูหนวกจะติดต่อกันผ่านทางวิทยุติดตามตัว โดยใช้รหัสซึ่งเป็นตัวเลข 3 หลักในการแทน ข้อความแต่ละประโยค เช่น รหัส “000” ใช้แทน “สวัสดีครับ” เป็นต้น จะเห็นได้ว่ามีข้อบกพร่องคือความไม่ต่อเนื่องในการติดต่อสื่อสาร ดังนั้น หน่วยงานนี้ จึงได้สร้างโทรศัพท์สำหรับคนหูหนวกเพื่อแก้ข้อบกพร่องดังกล่าว โดยมีบล็อกไดอะแกรมของโครงการเป็นดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงบล็อก ไดอะแกรมของ โครงการ

จากบล็อกไดอะแกรมจะเห็นได้ว่า โครงสร้างหลักของโครงการนี้จะเหมือนกับเครื่องโทรศัพท์ทั่วไป เพื่อให้คนปกติก็สามารถใช้งานโทรศัพท์นี้ได้ด้วย โดยมีการเพิ่มส่วนต่างๆ ดังนี้

1. ส่วนตรวจจับสัญญาณกระดิ่ง จะแสดงผล (ตัวอย่างเช่น LED) ให้คนหูหนวกทราบเมื่อมีผู้เรียกเข้ามา

2. ส่วนตรวจสอบและแสดงสถานะของเครื่องโทรศัพท์ เพื่อแสดงผล (ตัวอย่างเช่น LED) ให้ผู้เรียกทราบว่าขณะนี้เครื่องโทรศัพท์พร้อมที่จะทำการโทรออกหรือไม่ ทางด้านผู้ถูกเรียกสายว่างหรือไม่ โดยการตรวจสอบว่ามีสัญญาณให้หมุน (Dial tone) สัญญาณเรียกกลับ (Ring Back Tone) และ สัญญาณไม่ว่าง (Busy Tone) หรือไม่ตามลำดับ

3. ส่วนที่ใช้ในการติดต่อระหว่างคนหูหนวก แบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

3.1 ทางด้านส่ง จะใช้การส่งข้อความผ่านทางคีย์บอร์ดไปยังส่วนควบคุมและประมวลผล (ซึ่งเราใช้ MCS-51) จากนั้นสัญญาณจะส่งแยกไปแสดงผลที่จอ LCD ที่บรรทัดบนและส่งไปทำการมอดูเลตสัญญาณ โดยใช้เอฟ เอส เค มอดูเลชัน แล้วส่งข้อมูลผ่านสายโทรศัพท์ไปยังคู่สายปลายทาง

3.2 ทางด้านรับ จะนำสัญญาณ เอฟ เอส เค มอดูเลชันจากทางด้านส่ง ผ่านทางคู่สายโทรศัพท์มาทำการดีมอดูเลตสัญญาณ หลังจากนั้นจึงป้อนให้กับส่วนควบคุมและประมวลผล แล้วนำผลที่ได้แสดงออกทางหน้าจอ LCD ที่บรรทัดล่าง เป็นข้อความที่ใช้แทนข้อความที่ส่งมาจากทางด้านส่ง

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 โทรศัพท์ (TELEPHONE)

ในส่วนนี้จะกล่าวถึง ทฤษฎีและหลักการต่างๆเกี่ยวกับเครื่องโทรศัพท์ รวมทั้งจะกล่าวถึงทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่น่าสนใจและมักจะพบในโครงงานโทรศัพท์อิเล็กทรอนิกส์

2.1.1 ส่วนประกอบของระบบโทรศัพท์หรือโครงข่ายโทรศัพท์ ได้แก่

1. **เครื่องโทรศัพท์** ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า แล้วส่งสัญญาณผ่านสายโทรศัพท์ออกไปยังเครื่องโทรศัพท์ของผู้เรียก หรือเปลี่ยนจากสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่เครื่องโทรศัพท์ของผู้รับ และนอกจากนี้ยังทำหน้าที่รับ-ส่งสัญญาณติดต่อระหว่างเครื่องโทรศัพท์ของผู้เข้ากับทางชุมสายโทรศัพท์อีกด้วย

2. **สายโทรศัพท์ (Telephone Line)** เป็นตัวกลางในการลำเลียงสัญญาณไฟฟ้าระหว่างเครื่องโทรศัพท์ของผู้เข้ากับชุมสายโทรศัพท์ หรือระหว่างเครื่องโทรศัพท์ด้วยกัน

3. **ชุมสายโทรศัพท์ (Telephone Exchange)** ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างคู่สายโทรศัพท์เพื่อให้ผู้เรียกและผู้ถูกเรียก สามารถติดต่อถึงกันได้ และนอกจากนี้ยังทำหน้าที่รับส่งสัญญาณที่ใช้ติดต่อสื่อสารไปยังเครื่องโทรศัพท์อีกด้วย

2.1.2 หน้าที่หลักของเครื่องโทรศัพท์ ได้แก่

1. เปลี่ยนสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า แล้วส่งสัญญาณออกไปตามสายโทรศัพท์สำหรับเครื่องโทรศัพท์ของผู้เรียกและในทางกลับกันก็มีหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณเสียงสำหรับเครื่องโทรศัพท์ของผู้รับ

2. ส่งสัญญาณบอกสถานะยกหูโทรศัพท์ (Hook Off) และสัญญาณบอกสถานะวางหู (Hook On) ไปยังชุมสายโทรศัพท์ เพื่อบอกให้ชุมสายโทรศัพท์ทราบสถานะการใช้เครื่องโทรศัพท์ในขณะนั้นๆ

3. ส่งสัญญาณหมายเลขไปยังชุมสายโทรศัพท์ เพื่อบอกให้ทางชุมสายโทรศัพท์ทราบว่าผู้เรียกต้องการจะติดต่อกับใคร

4. รับสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อระหว่างชุมสายกับเครื่องโทรศัพท์ของผู้เข้า (Signaling) เพื่อให้ผู้เข้าจะได้ทราบสถานะในการติดต่อ เช่นสัญญาณเรียก (Ringing Tone) สัญญาณไม่ว่าง (Busy Tone) เป็นต้น

5. ปรับแรงดันอัตโนมัติในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าขึ้น

2.1.3 กลไกการเชื่อมต่อเครื่องโทรศัพท์กับชุมสายโทรศัพท์

2.1.3.1 สัญญาณติดต่อระหว่างชุมสาย (Inter Exchange Signaling)

สัญญาณพื้นฐานมี 5 ประเภท ได้แก่

1. Seizure เป็นสัญญาณ ให้ชุมสายปลายทางทราบว่า คู่สายขณะนี้ถูกใช้งานอยู่ ชุมสายปลายทาง จะทำการจัดเตรียมอุปกรณ์ สำหรับเลขหมายของผู้เรียกที่จะส่งมา

2. Address Information เป็นสัญญาณบอกเลขหมาย หรือ ประเภทของผู้เข้า

3. Answer Signal สัญญาณนี้ใช้เมื่อผู้ถูกเรียก ยกหูรับ หน้าทีหลักของสัญญาณนี้ คือ

3.1 เริ่มต้นคิดเงิน

3.2 ส่งสัญญาณคิดเงิน

3.3 ตัดวงจรการจับเวลาการใช้อุปกรณ์

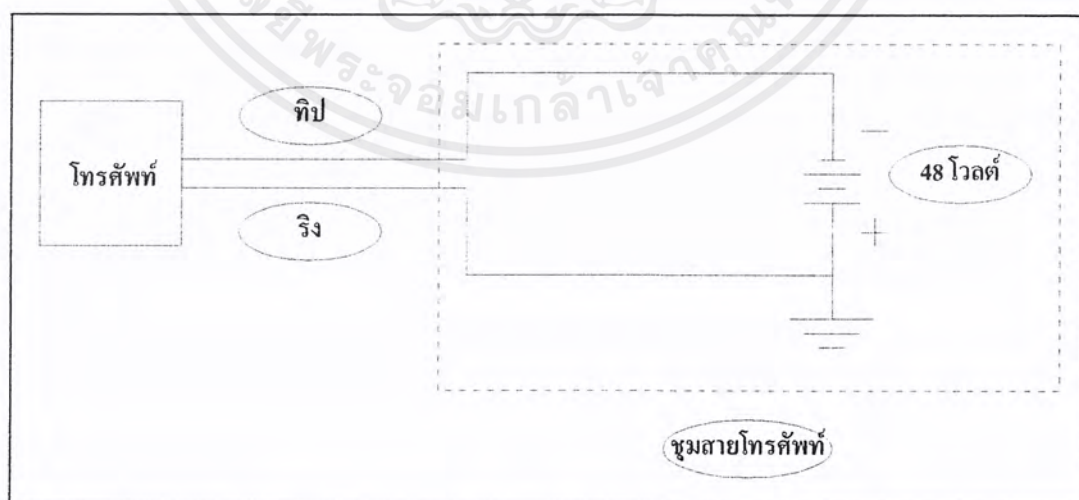
3.4 Clear - Forward จะถูกส่งเมื่อผู้เรียก วางหู ผลของสัญญาณนี้จะทำให้วงจรทางปลายทางทำการยกเลิกการต่อวงจรต่างๆ

3.5 Clear - Back จะถูกส่งเมื่อผู้ถูกเรียก วางหู ผลของสัญญาณนี้จะทำให้ชุมสายต้นทาง เริ่มต้นจับเวลา เมื่อเวลาผ่านไป 90-120 วินาที ชุมสายต้นทางจะยกเลิกการติดต่อ พร้อมกับส่งสัญญาณ Clear - Forward ออกไปเพื่อให้ชุมสายปลายทางยกเลิกเช่นกัน

2.1.3.2 กลไกการเชื่อมต่อเครื่องโทรศัพท์กับชุมสายโทรศัพท์

เครื่องโทรศัพท์จะถูกเชื่อมต่ออยู่กับชุมสายโทรศัพท์ในลักษณะที่เรียกว่าโลคอลลูป (Local Loop) โดยจะเชื่อมต่อกันโดยใช้สายโทรศัพท์สองเส้น คือ ทิป (Tip) มีสีเขียว และริง (Ring) มีสีแดง ซึ่งมีค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ระหว่างคู่สายอยู่ในช่วงประมาณ 500 ถึง 1000 โอห์ม แต่ค่าอิมพีแดนซ์ที่ นิยมใช้กันโดยทั่วไปคือ 600 โอห์ม

ภายในชุมสายโทรศัพท์จะมีแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าไปเลี้ยง เครื่องโทรศัพท์ที่อยู่ปลายทางและเพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบการใช้เครื่องโทรศัพท์ของชุมสาย โทรศัพท์อีกด้วย โดยจะต่อสายทิปเข้าที่ขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟตรง 48 โวลต์ และต่อสายริงเข้าที่ขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งจะถูกต่อลงดิน (Ground) ดังรูปที่ 2.1



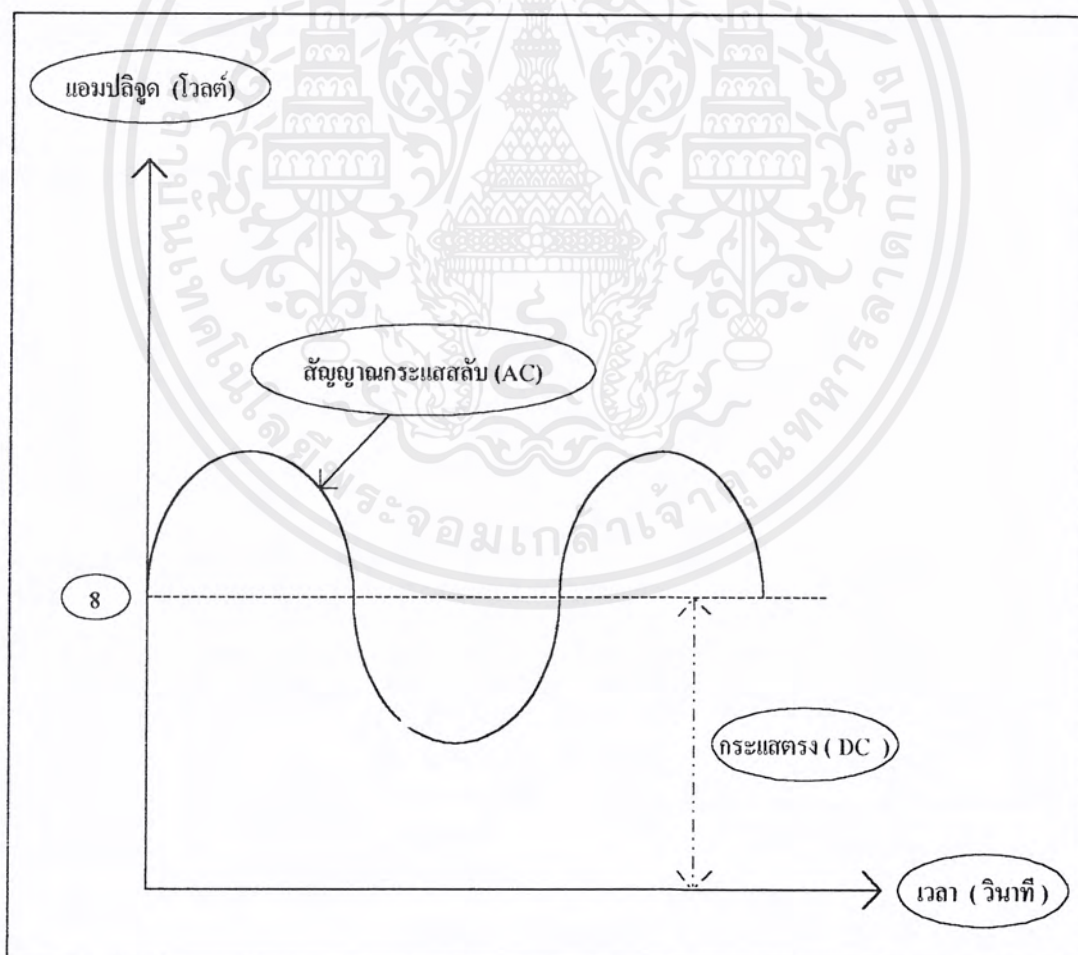
รูปที่ 2.1 การเชื่อมต่อระหว่างเครื่องโทรศัพท์กับชุมสายโทรศัพท์

หุ้มสายโทรศัพท์ที่สามารถตรวจสอบสถานะการใช้เครื่องโทรศัพท์ของผู้เช่าปลายทางได้จากระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงคร่อมสายเทียบกับริงโคย

- สถานะไม่มีการใช้เครื่องโทรศัพท์ (วางหูโทรศัพท์) หมายถึง สุดสวิตช์ในเครื่องโทรศัพท์จะทำการเปิดโลคอลลูป (Opened Local Loop) ทำให้ไม่มีกระแสลูปไหล แรงดันคร่อมคู่สายเทียบกับริงจะมีค่า 48 โวลต์

- สถานะมีการใช้เครื่องโทรศัพท์ (ยกหูโทรศัพท์) หมายถึง สุดสวิตช์ในเครื่องโทรศัพท์จะทำการปิดโลคอลลูป (Closed Local Loop) ทำให้มีกระแสลูปไหลซึ่งมีค่า 20 มิลลิแอมป์ไหลในโลคอลลูป และในขณะนั้นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงคร่อมคู่สายโทรศัพท์จะมีค่าอยู่ในช่วง 4 ถึง 8 โวลต์

ในขณะที่มีการสนทนากันระหว่างผู้เช่านั้น สัญญาณเสียงพูดจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าในลักษณะของกระแสสลับ (AC) ซึ่งสัญญาณดังกล่าวนี้จะถูกส่งไปตามสายโทรศัพท์ โดยจะมีลักษณะที่สัญญาณไฟฟ้าของเสียงพูดที่เป็นกระแสสลับจะขึ้นอยู่กับระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 4 ถึง 8 โวลต์ (ภายในกระแสลูป 20 มิลลิแอมป์) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กราฟลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าของเสียงพูดที่ส่งออกไปในสายโทรศัพท์

2.1.4 ระบบการรับส่งสัญญาณในสายโทรศัพท์

สัญญาณที่ปรากฏในสายโทรศัพท์จะสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ ได้แก่ สัญญาณของเสียงพูดและสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมระบบสวิตซ์ซึ่งใช้ในการติดต่อระหว่างชุมสายโทรศัพท์กับผู้เช่าโดยสัญญาณควบคุมดังกล่าวนี้อาจเป็นได้ทั้งสัญญาณอนาล็อก (Analog Signal) หรือสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal) ก็ได้ เนื่องจากโทรศัพท์ทั้งแบบหมุนและกดปุ่มจะสร้างสัญญาณหมายเลขที่มีรูปแบบต่างกัน ดังนั้นในการส่งสัญญาณออกไปในสายส่งบางครั้งก็อาจจะมีการส่งสัญญาณทั้งสัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิทัลไปพร้อมๆ กันก็เป็นได้

สัญญาณเสียงพูดของคน จัดเป็นสัญญาณต่อเนื่องหรือสัญญาณอนาล็อก ความกว้างของความถี่ของเสียงพูดจะอยู่ในช่วงระหว่าง 100 เฮิรตซ์ ไปจนถึง 6 กิโลเฮิรตซ์ แต่เสียงพูดที่ทำให้คนฟังสามารถรับฟังและสื่อความหมายได้ชัดเจนจะอยู่ในช่วงความถี่ระหว่าง 200 เฮิรตซ์ ไปจนถึง 400 กิโลเฮิรตซ์ โดยย่านความถี่ดังกล่าวนี้เรียกว่า ช่องสัญญาณเสียงพูด (Voice Band Width) หรือ ช่องสัญญาณวีเอฟ (VF Channal) แต่ช่วงความถี่ของเสียงพูดที่ใช้ส่งในระบบโทรศัพท์จะอยู่ในช่วงระหว่าง 300 เฮิรตซ์ ไปจนถึง 3.4 กิโลเฮิรตซ์ เท่านั้น และนอกจากสัญญาณเสียงพูดจะอยู่ในช่วงความถี่ดังกล่าวนี้แล้วสัญญาณควบคุมต่างๆ ก็ล้วนอยู่ในช่วงความถี่ดังกล่าวนี้ด้วยเช่นเดียวกัน

2.1.5 สัญญาณที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้เช่ากับชุมสายโทรศัพท์ (Signaling)

ซิกแนลลิง (Signaling) หมายถึง สัญญาณข้อมูลข่าวสารที่ใช้ในการติดต่อกันระหว่างเครื่องโทรศัพท์ของผู้เช่ากับชุมสายโทรศัพท์หรือระหว่างชุมสายโทรศัพท์ด้วยกันแต่ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะในความหมายแรกเท่านั้น

หน้าที่โดยทั่วไปของสัญญาณที่ใช้กับ โทรศัพท์ในปัจจุบันมีอยู่ 4 หน้าที่ด้วยกัน ได้แก่

1. การเตรียมความพร้อม (Alerting)
2. การส่งที่อยู่ของข่าวสาร (Transmitting Address Information)
3. การตรวจตรา (Supervising)
4. การส่งสัญญาณข่าวสาร (Transmitting Information Signaling)

2.1.5.1 ซิกแนลลิงที่ใช้ส่งสัญญาณจากผู้เช่าไปยังชุมสายโทรศัพท์ ได้แก่

1. สัญญาณบอกสภาวะวงหุโทรศัพท์ (Hook On) หมายถึง ระดับแรงดันไฟตรงคร่อมคู่สายโทรศัพท์ (ที่ปลั๊กบริง) ที่ทางชุมสายโทรศัพท์ตรวจสอบได้ มีค่า 48 โวลต์ ซึ่งจะทำให้ทางชุมสายโทรศัพท์ทราบว่า ขณะนั้นเครื่องโทรศัพท์ที่ปลายทางที่ต่ออยู่ที่ลูปนั้น อยู่ในสภาวะที่จะทำการเรียกเข้าไปได้หรือสายว่าง โดยในขณะดังกล่าวจะเรียกว่าลูปเปิด (Opened Loop) ซึ่งถือว่าตัวเครื่องโทรศัพท์ที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูง (High Impedance)

2. สัญญาณบอกสภาวะยกหูโทรศัพท์ (Hook Off) หมายถึงระดับแรงดันไฟตรงคร่อมคู่สายขณะที่สุดสวิตช์ปิด ที่ทางชุมสายตรวจสอบพบมีค่า 4 ถึง 8 โวลต์ ซึ่งจะทำให้ทางชุมสายทราบว่า ขณะนั้นเครื่องโทรศัพท์ที่ต่ออยู่ที่ลูปนั้น อยู่ในสภาวะกำลังใช้งานอยู่หรือสายไม่ว่าง โดยลักษณะดังกล่าวจะ

เรียกว่าลูปปิด (Closed Loop) ซึ่งถือว่าตัวเครื่องโทรศัพท์ที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ (Low Impedance) และจะมีกระแสลูป 20 มิลลิแอมป์ ไหลวนอยู่ในลูป

3. สัญญาณหมายเลขโทรศัพท์ของผู้รับ หมายถึง สัญญาณหมายเลขของเครื่องโทรศัพท์เครื่องที่เราต้องการจะติดต่อด้วย โดยเครื่องโทรศัพท์ของผู้เรียกจะทำการส่งสัญญาณนี้ไปยังชุมสายโทรศัพท์ จากนั้นทางชุมสายจะทำการติดต่อไปยังเครื่องโทรศัพท์หมายเลขดังกล่าว และเมื่อทำการติดต่อสำเร็จจึงจะทำการเชื่อมต่อเส้นทางสนทนาระหว่างผู้เรียกและผู้ถูกเรียกให้ติดต่อกันได้

2.1.5.2 ซิกแนลลิ่งที่ส่งจากชุมสายโทรศัพท์ไปยังเครื่องโทรศัพท์ของผู้เข้าได้แก่

1. สัญญาณให้หมุน (Dial Tone) คือสัญญาณที่บอกให้ผู้เรียกทราบว่าอุปกรณ์ของชุมสายโทรศัพท์ว่างและพร้อมจะรับสัญญาณหมายเลขของผู้รับ ที่ผู้เรียกต้องการจะติดต่อด้วย จากนั้นผู้เรียกจึงทำการส่งสัญญาณหมายเลขไปยังชุมสายโทรศัพท์ได้ โดยผู้เรียกจะได้ยินเสียงสัญญาณนี้หลังจากยกหูโทรศัพท์และเสียงสัญญาณนี้จะหายไปเมื่อทางชุมสายโทรศัพท์ได้รับสัญญาณหมายเลขนี้แล้ว และสัญญาณให้หมุนนี้จะป็นสัญญาณต่อเนื่อง โดยสัญญาณนี้จะอยู่ในย่านความถี่เสียงพูด

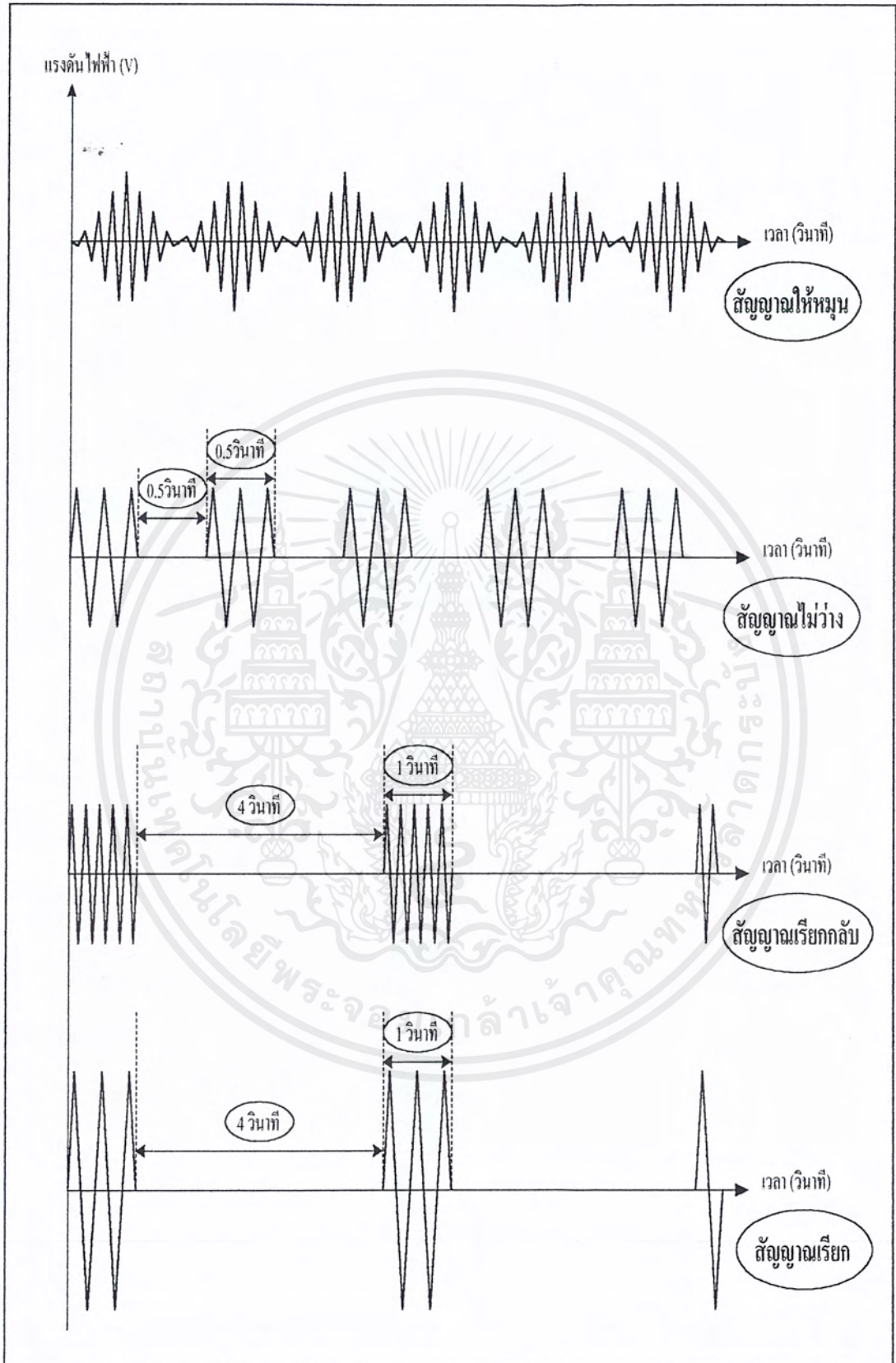
2. สัญญาณบอกความไม่พร้อมของเครื่องผู้รับ (Unobtainable Tone) คือ สัญญาณที่บอกให้ผู้เรียกทราบว่าเครื่องโทรศัพท์ของผู้รับหมายเลขดังกล่าวไม่พร้อมใช้งานหรือยังไม่มี การติดต่อหรือถูกยกเลิกไปแล้ว สัญญาณดังกล่าวนี้ผู้เรียกจะได้ยินหลังจากที่ส่งสัญญาณหมายเลขไปครบแล้วซึ่งจะได้ยินเสียงในลักษณะ ตัน ตัน ตัน ยาว ดังติดต่อกันเรื่อยๆ โดยชุดเสียงสั้นจะส่งสัญญาณเสียงความถี่ 400 เฮิรตซ์ เป็นเวลา 0.1 วินาที แล้วหยุดส่งไปเป็นเวลา 0.1 วินาที และเสียงยาวจะส่งด้วยสัญญาณเสียงความถี่เดียวกันเป็นเวลา 0.3 วินาทีแล้วหยุดส่ง

3. สัญญาณไม่ว่าง (Busy Tone) คือ สัญญาณที่บอกให้ผู้เรียกทราบว่าอุปกรณ์ของชุมสายโทรศัพท์ไม่ว่างถ้าได้ยินเสียงสัญญาณนี้หลังจากยกหูโทรศัพท์ และบอกให้ทราบว่าเครื่องโทรศัพท์เครื่องที่ต้องการจะติดต่อด้วยกำลังใช้งานอยู่หรือไม่ว่างถ้าได้ยินเสียงสัญญาณนี้หลังจากส่งสัญญาณหมายเลขไปเรียบร้อยแล้ว

4. สัญญาณเรียก (Ringing Tone) คือ สัญญาณที่ทางชุมสายโทรศัพท์ส่งไปบอกให้ผู้รับทราบว่าในขณะที่มีผู้ต้องการจะติดต่อด้วย เป็นสัญญาณไม่ต่อเนื่อง ที่มีความถี่ 25 เฮิรตซ์ มีแอมพลิจูด 70 ถึง 90 โวลต์ RMS โดยจะส่งสัญญาณนี้เป็นเวลา 1 วินาที และหยุดส่งสัญญาณเป็นเวลา 4 วินาที

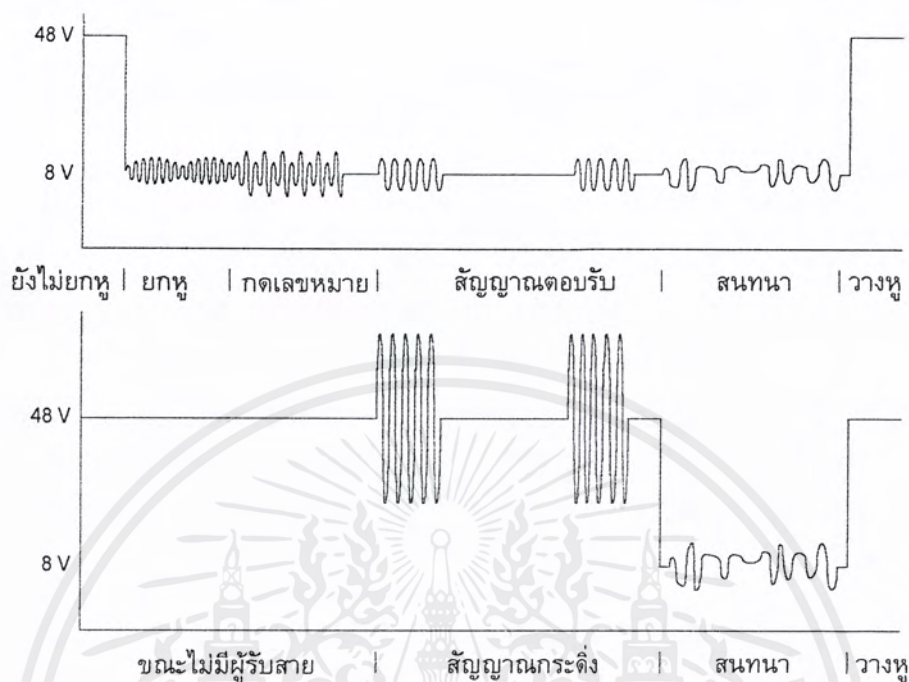
5. สัญญาณเรียกกลับ (Ring Back Tone) คือ สัญญาณที่ทางชุมสายโทรศัพท์ส่งกลับมายังผู้เรียกทราบว่าขณะนี้การเรียกได้ประสบความสำเร็จและกำลังอยู่ในระหว่างรอให้ผู้ถูกเรียกมารับสาย ซึ่งสัญญาณดังกล่าวเป็นสัญญาณไม่ต่อเนื่อง ที่มีความถี่ 400 เฮิรตซ์ โดยจะทำการส่งสัญญาณเป็นเวลา 1 วินาที และหยุดส่งสัญญาณเป็นเวลา 4 วินาที ซึ่งในจังหวะที่เครื่องโทรศัพท์ของผู้รับมีเสียงกริ่งดังนั้นจะเป็นจังหวะเดียวกับที่ทางผู้เรียกไม่ได้ยินเสียงสัญญาณเรียกกลับ และในจังหวะที่ทางผู้เรียกได้ยินเสียงสัญญาณเรียกกลับนั้นก็จะเป็นจังหวะเดียวกับที่ทางเครื่องโทรศัพท์ของผู้รับไม่ได้ยินสัญญาณเสียงกริ่ง

รูปแบบของสัญญาณที่ในการติดต่อระหว่างเครื่องโทรศัพท์กับชุมสายโทรศัพท์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 รูปร่างของสัญญาณซิกแนลถึง (Signaling)

2.1.6 ระบบการติดต่อกันระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับโทรศัพท์



รูปที่ 2.4 ระบบการติดต่อกันระหว่างเครื่องส่ง และเครื่องรับโทรศัพท์

จากรูปที่ 2.4 แสดงระบบการติดต่อกันระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

2.1.6.1 เครื่องส่ง

1. ขณะที่ไม่ได้มีการยกหูโทรศัพท์ จะมีศักดาตกคร่อมสายโทรศัพท์เป็นสัญญาณกระแสตรง 48 โวลต์
2. เมื่อผู้เรียยกยกหูโทรศัพท์ ศักดาจะลดลงเหลือประมาณ 8 โวลต์ พร้อมทั้งมีสัญญาณ Dial tone เมื่อกรหัสสัญญาณความถี่ หมายเลขโทรศัพท์ แล้ว สัญญาณ Dial tone จะหายไป
3. กรหัสสัญญาณหมายเลขโทรศัพท์ รหัสสัญญาณโทรศัพท์จะเป็นสัญญาณ DTMF
4. ขณะที่รอการรับสายจากผู้ถูกเรียก จะมีสัญญาณตอบรับ 2 แบบ เพื่อจะบอกว่าสายว่างหรือ ไม่ คือ Busy tone และ Ring Back tone
5. เมื่อผู้ถูกเรียกรับสายแล้ว สัญญาณจะอยู่ที่ระดับสัญญาณกระแสตรง 8 โวลต์ และมีการกระเพื่อมตามลักษณะความถี่เสียง และ ความดังของเสียงพูด
6. เมื่อผู้เรียก วางหูโทรศัพท์ ขนาดศักดาตกคร่อมสายโทรศัพท์ จะกลับไป 48 โวลต์ ดังเดิม

2.1.6.2 เครื่องรับ

1. ขณะที่ไม่ได้มีการยกหูโทรศัพท์ จะมีศักดาตกคร่อมสายโทรศัพท์เป็นสัญญาณกระแสตรง 48 โวลต์

2. เมื่อมีผู้เรียก เรียกเข้ามา จะมีสัญญาณ Ringing tone เข้ามา ซึ่งจะตรงกับสัญญาณ Ring Back tone ของผู้เรียก

3. เมื่อผู้ถูกเรียกกดรับโทรศัพท์ ขนาดของสีกดาตกร้อมสายโทรศัพท์ จะเหลือประมาณ 8 โวลต์ และจะมีการกระเพื่อม ตามลักษณะความถี่เสียง และความดังของเสียงพูด

4. เมื่อผู้ถูกเรียกวางหูโทรศัพท์ขนาดสีกดาตกร้อมสายโทรศัพท์ จะกลับไป 48 โวลต์ ดังเดิม

2.1.7 แผนผังการทำงานของเครื่อง โทรศัพท์ทั่วไปและคำอธิบายของแต่ละส่วน

ส่วนประกอบหลักของเครื่องโทรศัพท์ ประกอบด้วย

1. วงจรบริดจ์ (Polar Guard Bridge) คือ ทำหน้าที่ให้กระแสไหลผ่านไปเลี้ยงวงจรส่วนต่างๆ ของเครื่องโทรศัพท์ ทำหน้าที่ป้องกันการกลับขั้วของกระแสกลับอันเป็นสาเหตุมาจากการต่อสลับคู่สาย ทำหน้าที่ให้สัญญาณไฟฟ้าของเสียงผ่านไปยังส่วนอื่นได้และนอกจากนี้ยังทำหน้าที่สร้างสภาวะดิน (Ground) ให้แก่วงจรโทรศัพท์อีกด้วย

2. สุกสวิทช์ (Hook) ทำหน้าที่ตัดต่อเครื่องโทรศัพท์เข้ากับคู่สายโทรศัพท์ ซึ่งจะทำให้มีสภาวะขึ้นสองสภาวะได้แก่ ออฟฮุกหรือยกหู และ ออนฮุกหรือวางหู

3. วงจรกำเนิดสัญญาณหมายเลขโทรศัพท์ของผู้รับ (Dialler Circuit) เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณหมายเลขของเครื่องโทรศัพท์ของผู้รับแล้วส่งไปยังชุมสายโทรศัพท์ต่อไป

4. วงจรเสียงพูด (Speech Network) ประกอบด้วย

4.1 วงจรไฮบริดจ์ (Hybrige Circuit) ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณจากระบบสองสาย เป็นระบบสี่สาย

4.2 วงจรควบคุมระดับไซด์โทน (Side Tone Control Circuit) ทำหน้าที่ในการควบคุมระดับไซด์โทนให้อยู่ในระดับที่พอเหมาะ เพื่อให้การสนทนาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ (ไซด์โทน คือ เสียงพูดของตัวเองที่ได้ยินออกที่ลำโพงโทรศัพท์ของเราเอง ซึ่งจะเป็นสิ่งที่กำหนดระดับความดังของเสียงพูดที่พูดออกไป โดยถ้าไซด์โทนเบาเกินไปจะทำให้ผู้พูดนั้นพูดเสียงดังขึ้น และในทางตรงกันข้าม ถ้าไซด์โทนดังเกินไปจะทำให้ผู้พูดนั้นพูดเสียงเบาลงไป)

4.3 วงจรตัดเสียงขณะทำการส่งสัญญาณหมายเลข ทำหน้าที่ในการตัดสัญญาณเสียงจากโมโครโฟนไม่ให้ไปรบกวนสัญญาณหมายเลขที่จะส่งออกไปยังชุมสายโทรศัพท์ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้สัญญาณหมายเลขนั้นเกิดความผิดพลาดไปทำให้ทางชุมสายโทรศัพท์ไม่อาจทำการเรียกไปยังเครื่องโทรศัพท์ของผู้รับได้ถูกต้อง

4.4 วงจรชดเชยความสูญเสียเนื่องจากความยาวของสายส่ง จะทำหน้าที่ในการรักษาระดับความแรงของสัญญาณให้เกือบคงที่ แม้ว่าจะส่งสัญญาณผ่านสายส่งที่มีความยาวเท่าใดก็ตาม

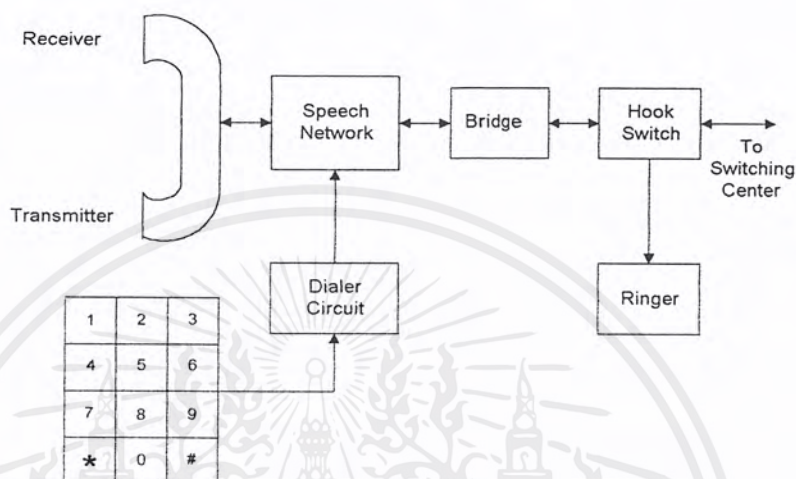
4.5 วงจรปรับความสมดุลของอิมพีแดนซ์ ทำหน้าที่ในการปรับให้อิมพีแดนซ์ของเครื่องโทรศัพท์ให้เกิดความเหมาะสม (ใกล้เคียงกับอิมพีแดนซ์ของสายส่ง) ซึ่งจะทำให้การถ่ายทอดสัญญาณเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

5. วงจรเสียงกริ่งโทรศัพท์ ทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณเรียกที่ส่งมาจากชุมสายโทรศัพท์แล้วสร้างสัญญาณเสียงเรียกเพื่อบอกให้ผู้รับทราบว่าในขณะนี้มีการเรียกเข้ามา

6. วงจรส่งเสียงพูด (Transmitter) ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณเสียงพูดของผู้พูดให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งออกไปยังชุมสายโทรศัพท์ต่อไป โดยในที่นี้จะใช้ไมโครโฟนเป็นอุปกรณ์หลัก

7. วงจรรับเสียงพูด (Receiver) ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าของเสียงให้เป็นสัญญาณเสียง ซึ่งจะใช้ลำโพงเป็นอุปกรณ์หลัก

ซึ่งแผนผังการทำงานของเครื่องโทรศัพท์ทั่วไปจะแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แผนผังการทำงานของเครื่อง โทรศัพท์ทั่วไป

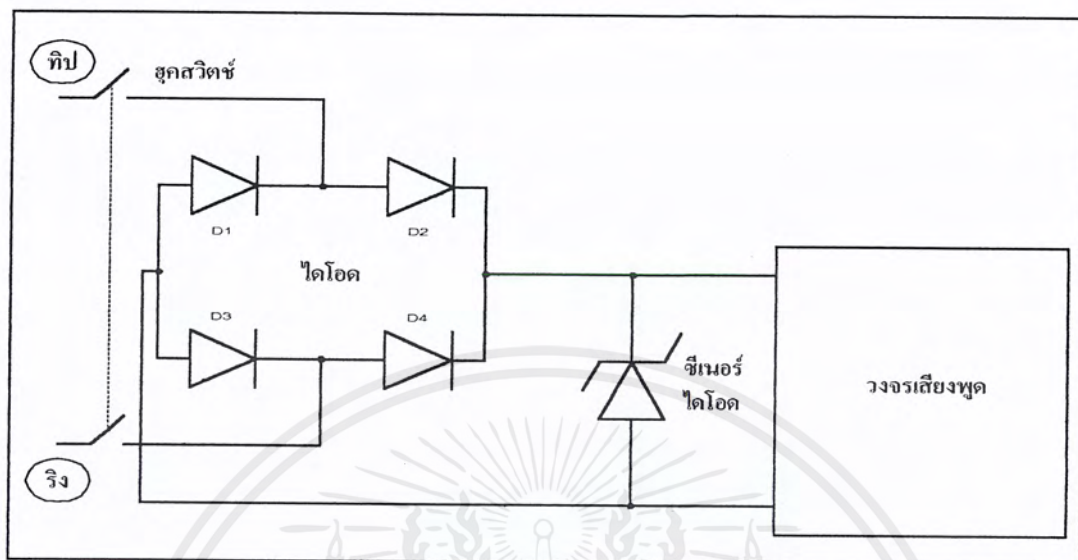
คำอธิบายและรายละเอียดแต่ละวงจรในแผนผังการทำงานของเครื่อง โทรศัพท์ทั่วไป ได้แก่

1. วงจรบริดจ์และวงจรป้องกันอันตรายจากสายโทรศัพท์

1.1 วงจรบริดจ์ทำหน้าที่สำคัญคือ ป้องกันการกลับขั้วของสัญญาณอินพุตที่เป็นไฟตรง ซึ่งเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดการทำงานที่ผิดพลาด จึงมีการใช้วงจรไดโอดบริดจ์เรกติไฟเออร์เข้ามาใช้เพื่อทำให้สัญญาณไฟตรงมีขั้วเดิมตลอดเวลา

1.2 วงจรป้องกันอันตรายจากสายโทรศัพท์ ใช้ป้องกันอันตรายที่เกิดจากสัญญาณชั่วขณะ (Transient Signal) ที่มีระดับแรงดันสูงๆ ซึ่งอาจจะทำอันตรายต่ออุปกรณ์จำพวกสารกึ่งตัวนำ เช่น ทรานซิสเตอร์ หรือไอซีต่างๆ ได้ สำหรับสาเหตุของการเกิดของสัญญาณชั่วขณะดังกล่าวอาจจะมาจากหลายสาเหตุ อาทิเช่น อาจเกิดจากปรากฏการณ์ธรรมชาติเช่นฟ้าผ่า หรืออาจเกิดจากการตัดต่อของอุปกรณ์สวิตชิง หรือเกิดจากของขดลวดเหนี่ยวนำที่แฝงอยู่ในสายโทรศัพท์ ซึ่งส่วนใหญ่อุปกรณ์จำพวกไอซีต่างๆ ยังไม่สามารถสร้างให้มีแรงดันพังทลาย (Breakdown Voltage) ที่มีค่าสูงๆได้เพียงพอที่จะป้องกันอันตรายจากสัญญาณชั่วขณะได้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมียวงจรป้องกัน โดยในที่นี้จะใช้ อุปกรณ์พวกซีเนอร์ไดโอดที่ต่อย้อนทาง (Reverse Bias) มาต่อที่อินพุตของส่วนต่างๆ เพื่อป้องกันอันตรายจากสัญญาณชั่วขณะ ที่มีระดับแรงดันสูงๆได้ โดยใช้หลักการเกี่ยวกับซีเนอร์ไดโอดที่ว่า “เมื่อป้อนระดับแรงดันย้อนกลับที่สูงกว่าระดับแรงดันพังทลายของซีเนอร์ไดโอดแล้วจะทำให้ซีเนอร์ไดโอดเริ่มที่จะนำ

กระแสย้อนกลับ และจะรักษาระดับแรงดันคร่อมตัวมันไว้คงที่เท่ากับระดับแรงดันพังทลายตลอดเวลา ”
จากหลักการดังกล่าวทำให้สามารถนำซีเนอร์ไดโอดไปใช้ในงานรักษาระดับแรงดันไฟตรงให้คงที่ได้



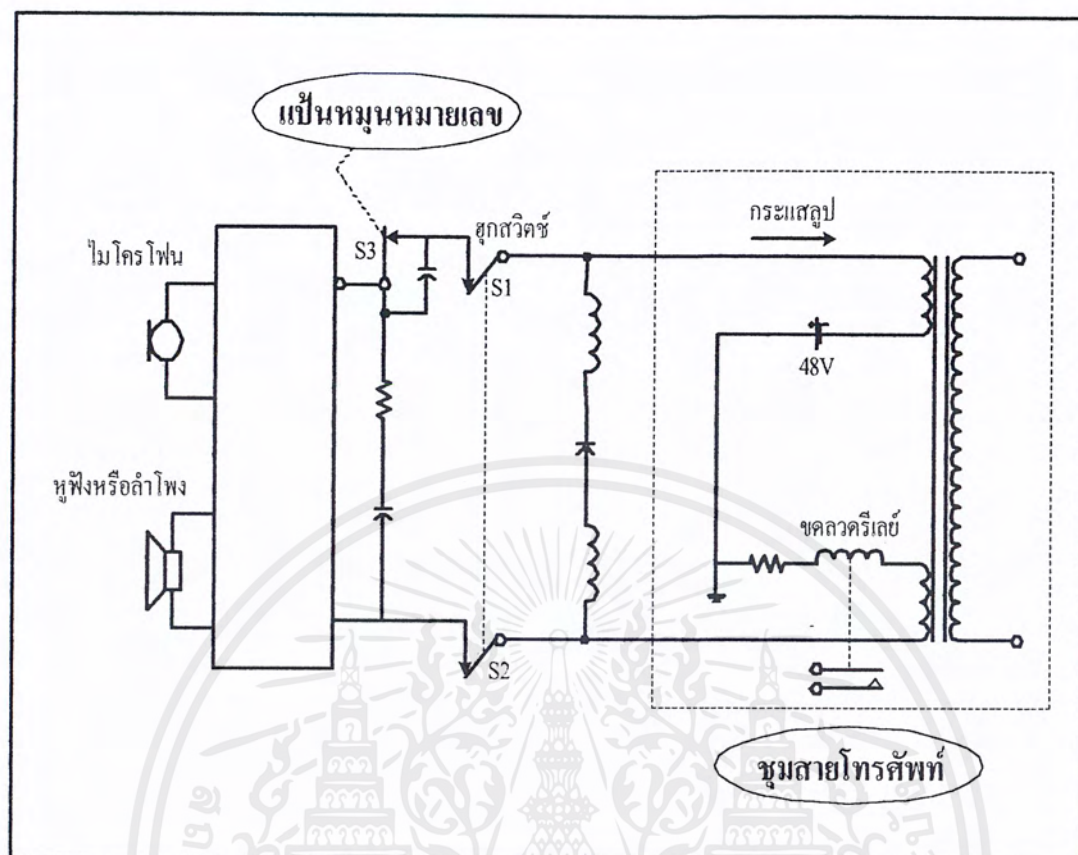
รูปที่ 2.6 วงจรบริดจ์และวงจรป้องกันอันตรายจากสายโทรศัพท์อันเนื่องมาจากสัญญาณชั่วขณะ

2. วงจรกำเนิดสัญญาณหมายเลขโทรศัพท์ของผู้รับ (Dialer Circuit)

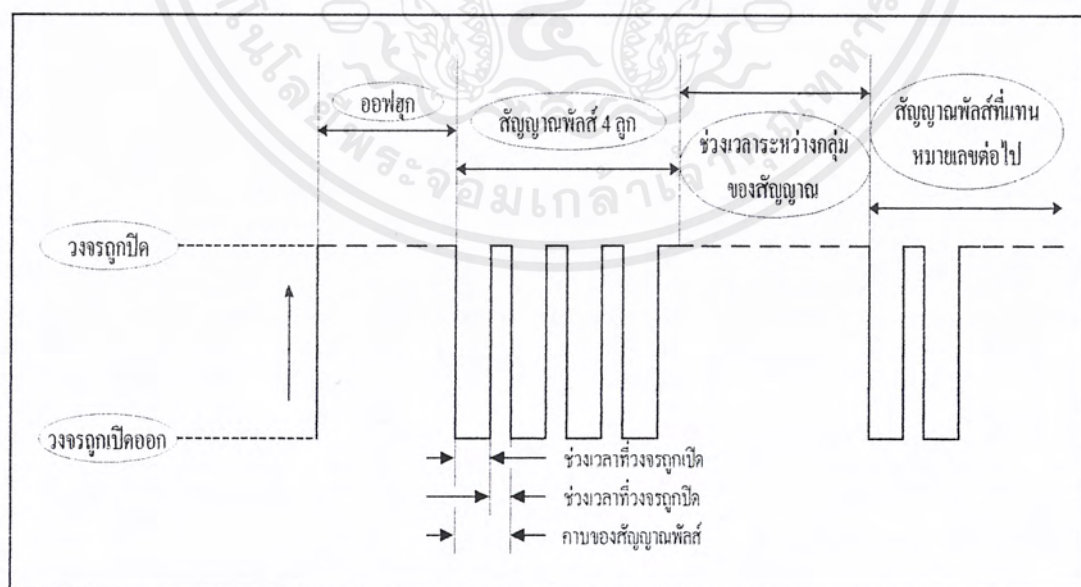
ในขั้นตอนแรกของการที่ผู้เรียกจะติดต่อกับผู้รับ หลังจากที่ยกหูโทรศัพท์แล้วนั้น ผู้เรียกจะต้องทำการส่งสัญญาณหมายเลขตามเบอร์โทรศัพท์ของผู้รับเสียก่อน โดยกระบวนการที่จะสร้างสัญญาณหมายเลขนี้มีสองแบบ คือ แบบหมุนและแบบกดปุ่ม ซึ่งในปัจจุบันแทบไม่เหลือแบบหมุนให้อีกกันอีกแล้ว เพราะโทรศัพท์แบบกดปุ่มมีข้อดีมากกว่า ดังนั้นจะไม่กล่าวถึงรายละเอียดของโทรศัพท์แบบหมุนเท่าใดนักแต่จะเน้นที่โทรศัพท์แบบกดปุ่มมากกว่า

2.1 โทรศัพท์แบบหมุน (Rotary Dial)

โทรศัพท์แบบนี้จะใช้ขบวนพัลส์เป็นสัญญาณหมายเลขส่งไปยังชุมสายโทรศัพท์ โดยสัญญาณพัลส์จะถูกสร้างขึ้นจากการตัดต่อสวิตช์ S3 ที่จะเปิดและปิดวงจรเป็นจำนวนครั้งเท่ากับหมายเลขบนแป้นหมุนหมายเลขโทรศัพท์ เช่น ถ้าหมุนหมายเลข 4 สวิตช์ก็จะเปิดและปิดทั้งหมด 4 ครั้ง ทำให้เกิดพัลส์ทั้งหมด 4 ลูก



รูปที่ 2.7 วงจรกำเนิดสัญญาณหมายเลขโทรศัพท์แบบหมุน



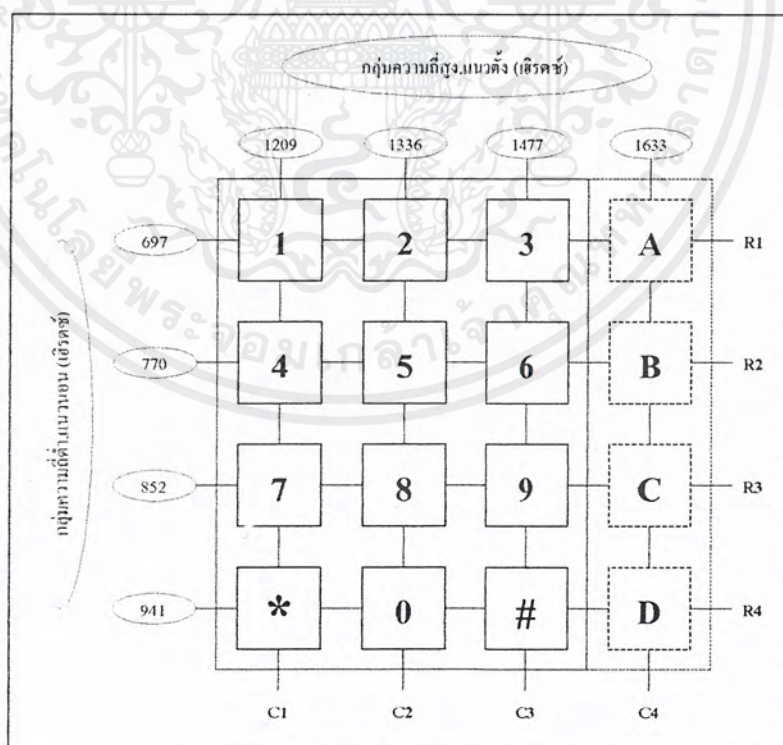
รูปที่ 2.8 ลักษณะของสัญญาณหมายเลขแบบพัลส์

ในการสร้างสัญญาณหมายเลขที่เป็นสัญญาณพัลส์นั้น มีการกำหนดข้อกำหนดต่างๆ ไว้ดังนี้

1. อัตราในการสร้างสัญญาณพัลส์มี 2 อัตรา คือ 10 พัลส์ต่อวินาที และ 20 พัลส์ต่อวินาที
2. คาบของสัญญาณพัลส์ได้มีการกำหนดว่า คาบของสัญญาณพัลส์นั้นต้องไม่ต่ำกว่า 100 มิลลิวินาที ซึ่งได้กำหนดไว้ 2 แบบ ตามอัตราเมค-เบรค (Make-Break) ดังนี้ คือ
 - 2.1 อัตราส่วนเมค-เบรคเป็น 2:3 หรือ 40:60 (ประเทศไทยใช้ระบบนี้)
 - 2.2 อัตราส่วนเมค-เบรคเป็น 1:2 หรือ 33.3:66.7
3. ช่วงระยะห่างของเวลาที่ใช้ในการหมุนหมายเลขแต่ละตัวจะต้องมีค่าประมาณ 0.5 ถึง 3 วินาที

2.2 โทรศัพท์แบบกดปุ่ม (Touch Tone)

โทรศัพท์แบบนี้จะใช้สัญญาณคู่ความถี่ (Dual Tone Multi-Frequency; DTMF) สร้างเป็นสัญญาณหมายเลขเพื่อส่งไปยังชุมสายโทรศัพท์ โดยเมื่อกดปุ่มใดปุ่มหนึ่งบนแป้นกด วงจรก็จะทำการสร้างสัญญาณไซน์ขึ้นคู่หนึ่งแล้วนำมาผสมกัน จากนั้นจึงนำสัญญาณที่ได้จากการผสมส่งไปยังชุมสายโทรศัพท์ต่อไป ซึ่งสัญญาณไซน์คู่ที่สร้างขึ้นนี้จะเป็นสัญญาณในย่านความถี่เสียงพูด โดยจะมีความถี่หนึ่งเป็นความถี่ต่ำและอีกความถี่หนึ่งเป็นความถี่สูง ตัวอย่างเช่น เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 วงจรก็จะทำการสร้างสัญญาณไซน์ขึ้นคู่หนึ่งที่มีความถี่ 770 และ 1477 เฮิรตซ์ จากนั้นนำมาผสมกันแล้วจึงส่งสัญญาณที่ผสมได้ (สัญญาณคิทีเอ็มเอฟ) ออกไปยังชุมสายโทรศัพท์ โดยความถี่ที่สัมพันธ์กับแต่ละแป้นกดแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ความถี่ที่สัมพันธ์กับหมายเลขบนแป้นกด

ข้อควรคำนึงในการเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์แบบกดปุ่มกับสายส่งสัญญาณคือ

1. ระดับแรงดันและกระแสจะต้องรักษาให้มีระดับคงที่ตลอดระยะของสายส่งสัญญาณ
2. ความถี่ที่สร้างขึ้นจะต้องไม่มีความผิดเพี้ยนทั้งคาบและขนาดของสัญญาณ
3. วงจรออสซิลเลเตอร์จะต้องมีอิมพีแดนซ์ที่สมดุล (Matching) กับอิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณ

2.2 การมอดูเลตสัญญาณเอฟเอ็ม

สัญญาณ sinusoidal นั้นสามารถเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูดและเฟสได้ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการดังนี้

$$\phi(t) = a(t) \cos(\omega_c t + \gamma(t)) \quad 2.1$$

ซึ่งเราจะให้ $a(t) = A$ (ค่าคงที่) และ เฟส $\gamma(t)$ เปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนกับ $f(t)$: สัญญาณข้อมูล มุมของสัญญาณ sinusoidal นั้นบอกมาในเทอมของความถี่ หรือ มุมเฟส ถ้ามุมเฟส $\theta(t)$ เพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นตามเวลา ($\theta(t) = \omega_0 t$) เราก็คงจะได้ว่ามีอัตราเร็วเชิงมุม หรือความถี่เป็น ω_0 เรเดียนต่อวินาที ถ้าอัตราเร็วเชิงมุมไม่คงที่เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราเร็วเชิงมุมขณะใดๆ กับมุมได้ดังนี้

$$\theta(t) = \int_0^t \omega_i(\tau) d\tau + \theta_0 \quad 2.2$$

$$\omega_i = \frac{d}{dt}(\theta) \quad 2.3$$

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความถี่ขณะใดๆ หาได้จากอนุพันธ์ของมุมเฟสเทียบกับเวลา ถ้าเฟส $\theta(t)$ เปลี่ยนเป็นเชิงเส้นกับสัญญาณอินพุต $f(t)$ จะได้ว่า

$$\theta(t) = \omega_c t + k_p f(t) + \theta_0 \quad 2.4$$

เมื่อ ω_c , k_p , θ_0 เป็นค่าคงที่ เพราะว่าการเปลี่ยนแปลงเฟสเป็นเชิงเส้นกับ $f(t)$ ดังนั้นจึงเรียกว่า phase modulation (PM) ความถี่ขณะใดๆของสัญญาณ พีเอ็ม เป็น

$$\omega_i = \frac{d}{dt}(\theta) = \omega_c + k_p \frac{d}{dt}(f(t)) \quad 2.5$$

เรายังสามารถทำให้ความถี่เป็นสัดส่วนกับสัญญาณอินพุตดังนี้

$$\omega_i = \omega_c + k_p f(t) \quad 2.6$$

โดย ω_c, k_f เป็นค่าคงที่ และเรียกการมอดคูเลต ชนิดนี้ว่า frequency modulation (FM) โดย มุมเฟสของสัญญาณเอฟเอ็ม คือ

$$\theta(t) = \int_0^t \omega_i(\tau) d\tau = \omega_c t + \int_0^t k_f f(\tau) d\tau + \theta_0 \quad 2.7$$

เปรียบเทียบสมการ จะเห็นว่า พีเอ็ม และ เอฟเอ็ม มีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกัน โดยใน พีเอ็ม มุมเฟสจะแปรผันเป็นเชิงเส้นกับสัญญาณข้อมูล ในขณะที่เอฟเอ็ม มุมเฟสจะแปรผันเป็นเชิงเส้นกับอินทิกรัลของสัญญาณข้อมูล ดังนั้นถ้าเราอินทิกรัลสัญญาณข้อมูลแล้วนำมาใช้กับเฟสมอดคูเลต ก็จะได้ frequency modulated signal เพราะ เอฟเอ็ม และ พีเอ็ม ใกล้เคียงกันมาก การเปลี่ยนแปลงเฟสใดๆจะมีผลอย่างมากต่อความถี่ และในทำนองกลับกัน ในกรณีของสัญญาณ เอฟเอ็ม จะมีความคล้ายคลึงกันระหว่าง สัญญาณข้อมูลและสัญญาณมอดคูเลต แต่ในกรณีนี้เราพูดว่าการมอดคูเลตเป็นเชิงเส้น สำหรับ พีเอ็ม และ เอฟเอ็ม นั้นไม่จริงเสมอไปดังจะแสดงต่อไป

สัญญาณ พีเอ็ม ทัวไป หรือ เอฟเอ็ม สามารถเขียนแทนด้วย

$$\phi_{PM}(t) = Ae^{j\theta(t)} = Ae^{j(\omega_c t + \theta_0)} e^{jk_p f(t)} \quad 2.8$$

ใช้การกระจายอนุกรมสำหรับฟังก์ชัน exponential ในพจน์ของการมอดคูเลตจะได้

$$\phi_{PM}(t) = Ae^{j(\omega_c t + \theta_0)} \left[1 + jk_p f(t) - \frac{1}{2!} k_p^2 f^2(t) - j\frac{1}{3!} k_p^3 f^3(t) + \dots \right] \quad 2.9$$

จากผลที่ได้ทำให้เราสรุปได้ว่า ถ้า $|k_p f(t)| \ll 1$ การมอดคูเลตเชิงมุมในกรณีของ พีเอ็ม จะไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นเราสามารถที่จะคาดได้ว่าการปรากฏของไซด์แบนด์ จะไม่เป็นไปตามหลัก ซูเปอร์โพสิชัน การวิเคราะห์สเปกตรัมและอื่นๆ จะต้องเป็นไปตามรูปสัญญาณโดยเฉพาะ เมื่อเกิดปัญหานั้นเราจะใช้รูปสัญญาณ sinusoidal แม้ว่าจะเป็นรูปคลื่นชนิดอื่นก็ตาม

2.3 เอฟเอ็ม แบนด์แคบ (Narrowband FM)

เงื่อนไขการเป็นเชิงเส้นในสมการ (2.9) รักษาการมอดคูเลตเชิงเส้นสำหรับ เอฟเอ็ม และด้วยเงื่อนไขนี้เป็นการเริ่มต้นที่ดี ในการมอดคูเลตไม่เป็นเชิงเส้นเราจะใช้สัญญาณข้อมูล sinusoidal โดยกำหนดให้

$$f(t) = a \cos \omega_m t \quad 2.10$$

เนื่องจากสัญญาณเอฟเอ็ม ได้

$$\begin{aligned} \omega_i &= \omega_c + k_f f(t) \\ &= \omega_c + a k_f \cos \omega_m t \end{aligned} \quad 2.11$$

เมื่อ k_f เป็น ค่าคงที่การมอดูเลตเอฟเอ็ม โดยทั่วไปจะอยู่ในหน่วยเรเดียนต่อวินาทีต่อโวลต์. กำหนดค่าคงที่ใหม่เรียก peak frequency deviation

$$\Delta\omega = a k_f \quad 2.12$$

เขียนสมการ (2.11) ใหม่ได้

$$\omega_i = \omega_c + \Delta\omega \cos \omega_m t \quad 2.13$$

เฟสของสัญญาณเอฟเอ็มนี้ คือ (จากสมการ 2.7 , โดย $\theta_0 = 0$ เพื่อความสะดวก)

$$\begin{aligned} \theta(t) &= \omega_c t + \frac{\Delta\omega}{\omega_m} \sin \omega_m t \\ &= \omega_c t + \beta \sin \omega_m t \end{aligned} \quad 2.14$$

โดย

$$\beta = \frac{\Delta\omega}{\omega_m} \quad 2.15$$

β เป็นอัตราส่วนไม่มีหน่วยของการเบี่ยงเบนความถี่สูงสุดต่อความถี่สัญญาณข้อมูล

ผลของสัญญาณเอฟเอ็ม คือ

$$\phi_{FM}(t) = A e^{j(\omega_c t + \beta \sin \omega_m t)} \quad 2.16 a$$

$$\text{Re}\{\phi_{FM}(t)\} = a \cos(\omega_c t + \beta \sin \omega_m t) \quad 2.16 b$$

กระจายเทอม exponential modulation ของ สมการ 2.16 a ในรูปอนุกรม จะได้

$$\phi_{FM}(t) = Ae^{j\omega_c t} \left(1 + j\beta \sin \omega_m t - \frac{1}{2!} \beta^2 \sin^2 \omega_m t - \frac{1}{3!} \beta^3 \sin^3 \omega_m t + \dots \right) \quad 2.17$$

จะเห็นได้ชัดว่า แบนด์วิดท์ของ $\phi_{FM}(t)$ ตามสมการ 2.17 นั้นขึ้นอยู่กับค่าของ β เมื่อค่าของ β น้อยๆ จะมีเพียงเทอมของค่าคงที่ และเทอมกำลังหนึ่งที่มีความสำคัญ และ แบนด์วิดท์จะเท่ากับ $2\omega_m$ เมื่อค่าของ β เพิ่มขึ้น เทอมที่มีความสำคัญก็เพิ่มขึ้น เงื่อนไขเมื่อค่า β น้อยพอที่ทำให้ทุกเทอมหลังจากสองเทอมแรกในสมการ 2.17 คัดทิ้งได้คือเงื่อนไขสำหรับ เอฟเอ็มแบนด์แคบ จะสังเกตว่า เอฟเอ็มแบนด์แคบ คือตัวอย่างของการมอดูเลตเชิงเส้น โดยปกติแล้วค่าของ $\beta < 0.3$ เป็นค่าที่เพียงพอสำหรับเงื่อนไขนี้ แม้ว่าบางครั้งจะมีค่าสูงถึง 0.5 ก็ตาม

เมื่อพิจารณา เงื่อนไข แบนด์แคบ สมการ 2.17 จะได้เป็น

$$\phi_{NBFM}(t) = Ae^{j\omega_c t} (1 + j\beta \sin \omega_m t) \quad 2.18$$

เมื่อเปรียบเทียบกับสมการ 2.18 กับสมการสมมูลของสัญญาณเอฟเอ็ม

$$\phi_{AM}(t) = Ae^{j\omega_c t} (1 + m \cos \omega_m t) \quad 2.19$$

จากการเปรียบเทียบสมการ 2.18 และ 2.19 จึงเรียก β ว่า modulation index ของสัญญาณ เอฟเอ็ม

แม้ว่าสัญญาณเอฟเอ็มแบนด์แคบ และ เอฟเอ็ม จะมีความคล้ายคลึงกัน แต่ก็มีแตกต่างกัน อย่างเห็นได้ชัดที่วิธีการมอดูเลต , เอฟเอ็มแบนด์แคบ (และ พีเอ็ม) คล้ายกับ เอฟเอ็ม ในการที่เป็นการมอดูเลตแบบเชิงเส้นและแตกต่างที่การมอดูเลตเป็นแบบ อินเฟสสำหรับ เอฟเอ็ม โดยที่ในแบบเอฟเอ็มแบนด์แคบ เป็นแบบ quadrature ทั้ง 2 ระบบมีแบนด์วิดท์เท่ากับ $2\omega_m$ เพื่อส่งสัญญาณที่มีอัตราเร็ว ω_m rad/sec มอดูเลชันอินเดกซ์ของ เอฟเอ็ม คือ $\beta = \Delta\omega/\omega_m$ และค่าที่เหมาะสมกับ เอฟเอ็มแบนด์แคบ คือ $\beta < 0.3$

2.4 กำลังส่งของสัญญาณเอฟเอ็ม

คุณสมบัติประการหนึ่งของระบบมอดูเลตสัญญาณ คือ กำลังส่งของสัญญาณ ในกรณีของสัญญาณแบบ เอฟเอ็ม และ พีเอ็ม นี้ เนื่องจากแอมพลิจูดของสัญญาณมีค่าคงที่ จะเปลี่ยนแปลงเฉพาะความถี่ หรือเฟสเท่านั้น และการเปลี่ยนแปลงของความถี่และของเฟสนี้จะมีทั้งที่ไปทางด้านบวกและด้านลบ เมื่อเปรียบเทียบกับความถี่และของเฟสของคลื่นพาหะ ดังนั้น เมื่อพิจารณากำลังส่งเฉลี่ยของสัญญาณทั้งสองแบบนี้จะพบว่าจะได้กำลังส่งเป็น

$$P = \frac{A_c^2}{2} \quad 2.20$$

โดยที่จะไม่ขึ้นกับค่าเบี่ยงเบนและค่าเบี่ยงเบนความถี่

2.5 การวิเคราะห์สัญญาณ เอฟเอ็ม ในเทอมความถี่

2.5.1 สเปกตรัมของสัญญาณเอฟเอ็ม ที่ถูกมอดูเลตด้วยสัญญาณความถี่เดียว จากสัญญาณเอฟเอ็ม สามารถเขียนได้ว่า

$$\phi_{FM}(t) = A_c \cos(\omega_c t + \beta \sin \omega_m t) \quad 2.21$$

ต่อไปเราจะกระจายสัญญาณออกเป็นดังนี้

$$\phi_{FM}(t) = A_c [\cos(\beta \sin \omega_m t) \cos \omega_c t - \sin(\beta \sin \omega_m t) \sin \omega_c t] \quad 2.22$$

เนื่องจากทั้ง $\cos(\beta \sin \omega_m t)$ และ $\sin(\beta \sin \omega_m t)$ ล้วนเป็นฟังก์ชันรายคาบที่มีความถี่เชิงมุมเป็น ω_m หรือมีคาบเวลาเท่ากับ $2\pi/\omega_m$ เมื่อเป็นเช่นนั้นตามหลักเกณฑ์ของการวิเคราะห์สัญญาณรายคาบ ฟังก์ชันทั้งสองนี้ย่อมสามารถกระจายให้อยู่ในรูปของอนุกรมฟูเรียร์ที่มีความถี่พื้นฐานเป็นเอฟเอ็ม ได้ เนื่องจาก $\cos(\beta \sin \omega_m t)$ เป็นฟังก์ชันคู่ และ $\sin(\beta \sin \omega_m t)$ เป็นฟังก์ชันคี่ ดังนั้นฟังก์ชันที่เป็นฐานของการกระจายก็จะเป็น $\cos(n\omega_m t)$ และ $\sin(n\omega_m t)$ ตามลำดับ ฟังก์ชันทั้งสองนี้สามารถกระจายในรูปอนุกรมฟูเรียร์ดังต่อไปนี้

$$\cos(\beta \sin \omega_m t) = J_0(\beta) + \sum_{n=\text{even}}^{\infty} 2J_n(\beta) \cos(n\omega_m t) \quad 2.23 \text{ a}$$

$$\sin(\beta \sin \omega_m t) = \sum_{n=\text{odd}}^{\infty} 2J_n(\beta) \sin(n\omega_m t) \quad 2.23 \text{ b}$$

โดยที่ n เป็นเลขจำนวนเต็มที่มีค่าบวกและ $J_n(\beta)$ คือเบสเซลฟังก์ชันประเภทหนึ่งที่มีอันดับเป็น n ซึ่งเขียนได้ในรูปต่อไปนี้

$$J_n(\beta) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} e^{j(\beta \sin \alpha - n\alpha)} d\alpha \quad 2.24$$

เมื่อแทนค่าสมการ 2.23 a และ 2.23 b ลงในสมการ 2.22 ก็จะได้สัญญาณเอฟเอ็ม ที่กระจายอยู่ในรูปอนุกรมฟูเรียร์ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}\phi_{FM}(t) = & A_c J_0(\beta) \cos \omega_c t + \sum_{n=odd}^{\infty} A_c J_n(\beta) [\cos(\omega_c + n\omega_m)t - \cos(\omega_c - n\omega_m)t] \\ & + \sum_{n=even}^{\infty} A_c J_n(\beta) [\cos(\omega_c + n\omega_m)t - \cos(\omega_c - n\omega_m)t]\end{aligned}\quad 2.25$$

และถ้าเราใช้คุณสมบัติของเบสเซลฟังก์ชันที่

$$J_{-n}(\beta) = (-1)^n J_n(\beta) \quad 2.26$$

เราจะเขียนสมการ 2.25 ได้ใหม่ดังนี้

$$\phi_{FM}(t) = A_c \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n(\beta) [\cos(\omega_c + n\omega_m)t] \quad 2.27$$

2.5.2 การคิดแบนด์วิดท์ของสัญญาณเอฟเอ็ม

จากสมการ 2.25 และ 2.27 ซึ่งแสดงการกระจายสัญญาณเอฟเอ็ม ที่ถูกมอดูเลตด้วยสัญญาณเสียงความถี่เดียวในรูปอนุกรมฟูเรียร์จะเห็นได้ว่า ถึงแม้ว่าสัญญาณนั้นจะถูกมอดูเลตด้วยความถี่เอฟเอ็มความถี่เดียว แต่สเปกตรัมจะกระจายออกไปได้ถึง ∞ อย่างไรก็ตามจากข้อสังเกตของเบสเซลฟังก์ชันที่กล่าวไว้จะเห็นได้ว่า $J_n(\beta)$ นั้นจะมีค่าเล็กลงอย่างรวดเร็วเมื่อ $n > \beta$ ตารางที่ 2.1 แสดงค่าของ $J_n(\beta)$ ที่ β ต่างๆกัน ซึ่งเมื่อทำการพิจารณารายละเอียดแล้ว จะเห็นได้ว่า $J_n(\beta)$ ที่ค่า n สูงกว่า $\beta+1$ จะมีค่าลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว นั่นหมายความว่ากำลังของสัญญาณจะอยู่ในช่วงความถี่ที่ $|f-f_c| \leq (\beta+1)f_m$ เป็นส่วนใหญ่ เราอาจจะคำนวณกำลังของสเปกตรัมในช่วงความถี่ดังกล่าวนี้ได้ตามสมการต่อไปนี้

$$P = \sum_{n=-(\beta+1)}^{(\beta+1)} J_n^2(\beta) \frac{A_c^2}{2} \quad 2.28$$

ตารางที่ 2.1 ค่า $J_n(\beta)$ ที่ค่า β และ n ต่างๆกัน

$n \backslash \beta$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.7652	0.2239	-0.26	-0.397	-0.178	0.1506	0.3001	0.1717	-0.09	-0.246
1	0.4401	0.5767	0.339	-0.066	-0.328	-0.277	-0.005	0.2346	0.2453	0.0435
2	0.1149	0.3528	0.486	0.3641	0.0466	-0.243	-0.301	-0.113	0.1448	0.2546
3	0.0196	0.1289	0.309	0.4302	0.3648	0.1148	-0.168	-0.291	-0.181	0.0584
4	0.0025	0.034	0.132	0.2811	0.3912	0.3576	0.1578	-0.105	-0.266	-0.22
5		0.007	0.043	0.1321	0.2611	0.3621	0.3479	0.1858	-0.055	-0.234
6		0.0012	0.011	0.0491	0.131	0.2458	0.3392	0.3376	0.2043	-0.014
7			0.003	0.0152	0.0534	0.1296	0.2336	0.3206	0.3275	0.2167
8				0.004	0.0184	0.0565	0.128	0.2235	0.3051	0.3179
9					0.0055	0.0212	0.0589	0.1263	0.2149	0.2919
10					0.0015	0.007	0.0235	0.0608	0.1247	0.2075
11						0.002	0.0083	0.0256	0.0622	0.1231
12							0.0027	0.0096	0.0274	0.0634
13								0.0033	0.0108	0.029
14								0.001	0.0039	0.012
15									0.0013	0.0045
16										0.0016

ซึ่งถ้าลองทำการแทนค่า $J_n(\beta)$ จากตารางที่ 2.1 ลงในสมการ 30 นี้ เราจะพบว่าค่ากำลังสัญญาณ P ที่ได้จะสูงกว่า $0.98 \frac{A_c^2}{2}$ เสมอ หรือสูงกว่า 98% ของกำลังสัญญาณเสมอเพราะ $\frac{A_c^2}{2}$ คือกำลังสัญญาณรวม ในทางปฏิบัติค่าตัวเลข 98% นั้น เป็นตัวเลขที่ยอมรับได้เพราะมีค่าสูงมากเพียงพอที่ไม่ทำให้สัญญาณที่ตีเทมาได้ผิดเพี้ยนหรือสูญเสียความชัดเจนไป เมื่อยึดหลักดังกล่าวนี้เราอาจสรุปได้ว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณ เอฟเอ็ม ที่ถูกมอดูเลตด้วยความถี่คือ เอฟเอ็ม จะมีค่าดังนี้

$$B = 2(\beta + 1)f_m = 2(\Delta f + f_m) \quad 2.29$$

ผลที่ได้ตามสมการ 2.29 นี้เรียกว่ากฎของคาร์สัน (Carson's rule) ในขั้นตอนการพิจารณาที่กล่าวมาข้างต้นเราพิจารณากรณีที่สัญญาณที่เข้ามามอดูเลตมีความถี่เอฟเอ็ม ความถี่เดียว ในกรณีที่สัญญาณที่เข้ามามอดูเลตมีหลายความถี่หรือมีความถี่กว้างเป็นแถบ สเปกตรัมของสัญญาณ เอฟเอ็ม ที่เกิดขึ้นก็จะสลับซับซ้อนขึ้น อย่างไรก็ตามความถี่สูงสุดของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตก็ยังคงมีผลทำให้สเปกตรัมกระจายกว้างออกไปมากที่สุด ดังนั้นเราจะสามารถอนุมานให้ประยุก์กฎของคาร์สันได้โดยนิยามอัตราเบี่ยงเบนความถี่ D ในรูปของค่าเบี่ยงเบนความถี่สูงสุด Δf_p และแบนด์วิดท์ของสัญญาณในรูปต่อไปนี้

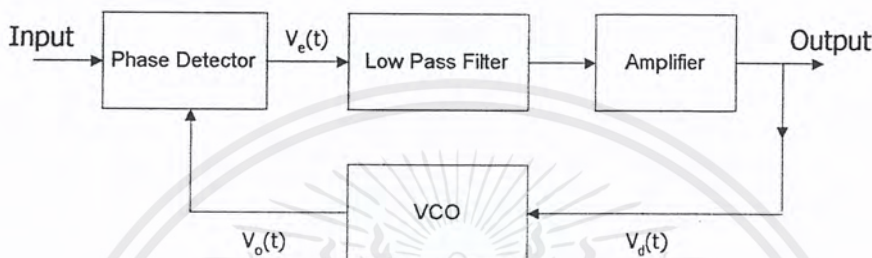
$$D = \frac{\Delta f_p}{W} \quad 2.30$$

ซึ่งตามกฎของคาร์สันจะได้แบนด์วิดท์ของสัญญาณ เอฟเอ็ม เป็น

$$B = 2(D + 1)W = 2(\Delta f_p + W) \quad 2.31$$

2.6 เฟสล็อกคูลูปดีมอดูเลเตอร์ (Phase-Locked Loop Demodulator)

ระบบเฟสล็อกคูลูป คือ ระบบที่มีการป้อนความถี่กลับแบบ Negative Feedback ที่มีลักษณะเด่นของการทำงานอยู่ที่การล็อกกับความถี่ คือ สามารถให้สัญญาณออกที่มีความถี่เท่ากับความถี่ของสัญญาณเข้าได้ในช่วงเวลาอันสั้น และความสามารถในการตามรอยความถี่ (Tracking) คือ เมื่อเกิดการถี่ขึ้นแล้ว และความถี่ของสัญญาณเข้ามีการเปลี่ยนแปลง ระบบเฟสล็อกคูลูปจะยังคงรักษาสภาพการล็อกนั้นอยู่ ซึ่งมีผลให้สัญญาณออกยังคงมีความถี่เท่ากับสัญญาณเข้าที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ไปแล้ว ระบบเฟสล็อกคูลูป สามารถแสดงบล็อกไดอะแกรม ได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 บล็อก ไดอะแกรม ของ ระบบเฟสล็อกคูลูป

ส่วนประกอบที่สำคัญของเฟสล็อกคูลูป ได้แก่

1. Phase Detector เป็นวงจรที่ใช้ในการตรวจจับความต่างเฟสของสัญญาณอินพุต 2 สัญญาณ และให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณความต่างเฟส
2. Low Pass Filter หรือวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ใช้ในการกำจัดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งเป็นสัญญาณความต่างเฟส ที่ออกมาจากเฟสดีเทกเตอร์ เพื่อให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณความถี่ต่ำ เพื่อป้อนให้วงจรขยายสัญญาณต่อไป
3. วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) ใช้ปรับขนาดสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อให้การควบคุมดีขึ้น เอาต์พุตของวงจรนี้จะป้อนให้แก่วงจร VCO
4. Voltage Control Oscillator (VCO) วงจรนี้จะผลิตความถี่ออกมาโดยขึ้นกับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้แก่อินพุต โดยอินพุตจะเป็นสัญญาณจากวงจรขยายสัญญาณและเอาต์พุตจะป้อนให้กับวงจร Phase Detector ต่อไป

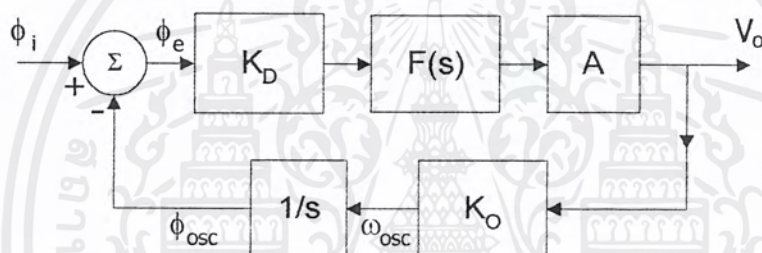
2.6.1 การ ำงานของ เฟสล็อกคูลูป

ขณะที่ยังไม่มีสัญญาณเข้าไปในระบบ แรงดันควบคุม (control Voltage) $V_c(t)$ จะเท่ากับศูนย์ วิธีโอจะทำงานโดยการตั้งความถี่ไว้ที่ f_0 ซึ่งเรียกว่า “Free-running Frequency” ถ้าสัญญาณเข้าไปในระบบ Phase Detector จะทำการเปรียบเทียบเฟส และความถี่ของสัญญาณอินพุตกับความถี่ของ VCO และผลิตแรงดันความถี่เคลื่อน $v_c(t)$ ซึ่งสัมพันธ์กับความแตกต่างของเฟสและความถี่ระหว่างสัญญาณทั้งสอง แรงดันคลาดเคลื่อนนี้จะถูกกรอง และขยายส่งไปยังขาควบคุมของ VCO ในการนี้แรงดันควบคุม $V_c(t)$ จะไปบังคับความถี่ของ VCO ให้เปลี่ยนไปในทิศทางที่จะลดความถี่ที่แตกต่างระหว่าง $V_o(t)$ กับ

สัญญาณที่เข้า ถ้าความถี่ของสัญญาณที่เข้าใกล้เคียงกับ $V_o(t)$ จากการป้อนกลับของ เฟสล็อกคูลูป ทำให้ ล็อกกับสัญญาณที่เข้ามา ขณะที่ทำการล็อกนั้นความถี่ VCO จะเท่ากับสัญญาณอินพุต แต่เฟสยังต่างกันอยู่ มีความจำเป็นต่อการผลิตแรงดันคลาดเคลื่อน (V_d) ที่จะไปคอยปรับความถี่วีซีโอ จากค่า Free-running ให้เท่ากับความถี่ที่เข้ามา ดังนั้น เฟสล็อกคูลูป จะยังคงรักษาสภาพการล็อก การที่ระบบสามารถที่จะปรับตัวเองได้ ทำให้ เฟสล็อกคูลูป สามารถติดตามการล็อกกับสัญญาณที่เข้าไปให้อยู่ในสภาพล็อก เช่นเดิม

เฟสล็อกคูลูป โดยทั่วไปจะสามารถจับความถี่ได้ในช่วงหนึ่ง กล่าวคือในขณะที่ เฟสล็อกคูลูป ทำงานอย่างอิสระ (free running) แล้วเกิดมีสัญญาณความถี่อื่นเข้ามา เฟสล็อกคูลูป ก็จะพยายามติดตามเพื่อ จับความถี่นั้น ช่วงความถี่ที่ เฟสล็อกคูลูป สามารถติดตามจับ ได้ตลอดเวลาเรียกว่า ช่วงความถี่ตรวจับ (Capture Range) และเมื่อ เฟสล็อกคูลูป ติดตามจับความถี่ได้แล้ว ช่วงที่ เฟสล็อกคูลูป จะติดตามจับได้ตลอดเวลาเรียกว่าช่วงความถี่ล็อก (Lock Range) โดยทั่วไปแล้วช่วงความถี่ล็อก จะกว้างกว่า ช่วงความถี่ตรวจับ

2.6.2 การหาทรานเฟอร์ ฟังก์ชัน ของ เฟสล็อกคูลูป



รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมของ เฟสล็อกคูลูป ในรูปแบบของทรานเฟอร์ ฟังก์ชัน

จากรูปที่ 2.11

- K_D = ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของเฟสดีเทคเตอร์
- $F(s)$ = ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของฟิลเตอร์
- A = อัตราการขยายของวงจรรขยายสัญญาณ
- K_O = ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของ วีซีโอ

$$\text{จาก} \quad \omega = \frac{d\theta}{dt} \quad 2.32$$

$$\omega = s\theta \quad 2.33$$

และ

$$\theta = \omega dt \quad 2.34$$

$$\theta = \frac{1}{s}\omega \quad 2.35$$

เนื่องจากเอาต์พุตของวิธีโอ จะเป็นค่าความถี่ที่ขึ้นอยู่กับอินพุตที่เป็นสัญญาณไฟตรง แต่เราต้องการค่าเฟส (ϕ_{osc}) เพื่อที่จะนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต (ϕ_i) ดังนั้น จึงต้องใส่บล็อก $1/s$ เพื่อเปลี่ยน ω_{osc} ให้เป็น ϕ_{osc} ตามสมการ 2.35

จาก

$$\text{ทรานเฟอร์ฟังก์ชัน} = \frac{A}{1 + AF} \quad 2.36$$

เมื่อ A = อัตราการขยายไปข้างหน้า

F = อัตราการขยายป้อนกลับ

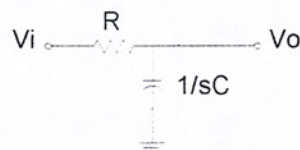
จากรูปที่ 2.11 ทรานเฟอร์ฟังก์ชัน คือ

$$\begin{aligned} \frac{V_o}{\phi_i} &= \frac{K_D F(s) A}{1 + K_D F(s) A \frac{K_o}{s}} \\ &= \frac{s K_D F(s) A}{s + K_D F(s) A K_o} \end{aligned} \quad 2.37$$

โดยปกติเรามักจะให้ตัวแปร อินพุตเป็นความถี่มากกว่าจะเป็นเฟส จากสมการ 2.37 เราจะได้ ทรานเฟอร์ ฟังก์ชัน คือ

$$\begin{aligned} H(s) &= \frac{V_o}{\omega_i} = \frac{V_o}{s \phi_i} \\ &= \frac{K_D F(s) A}{s + K_D K_o A F(s)} \end{aligned} \quad 2.38$$

ถ้าวจรฟิลเตอร์ที่ใช้เป็นดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 วงจรฟิลเตอร์อย่างง่าย

จากรูปที่ 2.12

$$\begin{aligned}
 F(s) &= \frac{V_o}{V_i} \\
 &= \frac{1/sC}{R + 1/sC} \\
 &= \frac{1}{1 + sRC} \\
 &= \frac{1}{1 + \frac{s}{\omega_1}} \quad ; \quad \omega_1 = 1/RC
 \end{aligned} \tag{2.39}$$

แทนค่าสมการ 2.39 ลงในสมการ 2.38

$$H(s) = \frac{V_o}{\omega_i} = \frac{1}{K_o} \left(\frac{1}{1 + \frac{s}{K_v} + \frac{s^2}{\omega_1 K_v}} \right)$$

เมื่อ $K_v = K_p K_o A$

$$H(s) = \frac{1}{K_o} \left(\frac{1}{\frac{s^2}{\omega_n^2} + \frac{2\xi s}{\omega_n} + 1} \right) \tag{2.40}$$

เมื่อ

$$\omega_n = \sqrt{K_v \omega_1}$$

$$\xi = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\omega_1}{K_v}}$$

2.6.3 การหาช่วงความถี่ล้อยอด และ ช่วงความถี่ครวจับ

2.6.3.1 ช่วงความถี่ล้อยอด คือ ระยะเวลาที่เฟสล้อยอดรูป สามารถล้อยอด ค่าความถี่ได้

จากรูปที่ 2.14 จะได้ว่า

$$\phi_e = \phi_i - \phi_{osc}$$

ดังนั้น

$$V_c = K_D(\phi_e - \frac{\pi}{2}) \quad 2.41$$

เมื่อผ่าน Low Pass Filter จะได้ว่า

$$V_o = K_D A(\phi_e - \frac{\pi}{2})$$

ค่า V_o นี้ทำให้ VCO เปลี่ยนความถี่ จาก ω_o เป็น ω และทำให้ ω มีค่าเท่ากับ ω_i ดังนั้น จะได้ว่า

$$\omega = \omega_o + K_o V_o = \omega_i \quad 2.42$$

เมื่อพิจารณา เอาท์พุต จาก Phase Detector จะได้ว่า ค่า V_c จะมีค่ามากที่สุดและน้อยที่สุด เมื่อ $\phi = \pi$ และ $\phi = 0$ ดังนั้น

$$V_{CMax} = \pm K_D \frac{\pi}{2} \quad 2.43$$

และ

$$V_{OMax} = \pm K_D A \frac{\pi}{2} \quad 2.44$$

ทำให้ได้ว่า

$$\begin{aligned} (\omega - \omega_o)_{Max} &= K_o V_{OMax} \\ &= \pm K_o K_D A \frac{\pi}{2} \end{aligned} \quad 2.45$$

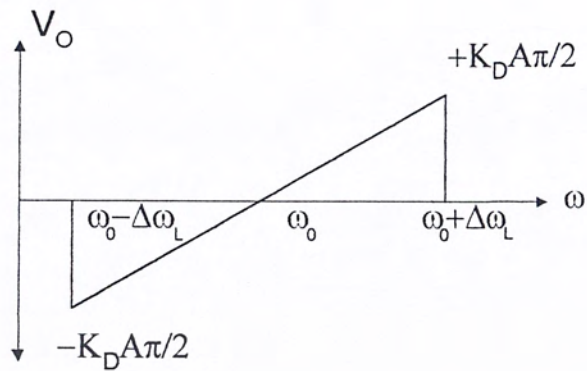
ดังนั้น

$$\omega = \omega_o \pm K_o K_D A \frac{\pi}{2} \quad 2.46$$

$$\omega = \omega_o \pm \Delta\omega_L \quad 2.47$$

$$\Delta\omega_L = K_o K_D A \frac{\pi}{2} \quad 2.48$$

ดังนั้น ช่วงความถี่ล็อก มีค่าเท่ากับ $2\Delta\omega_L$ แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ความถี่ล็อก ของ เฟสล็อกคูลูป

2.6.3.2 ช่วงความถี่ตรวจจับ คือ ระยะที่ เฟสล็อกคูลูป สามารถตรวจจับความถี่ที่

เข้ามาได้

พิจารณาดังนี้

1. ผลต่างเฟสของ ω_i และ ω_{osc} แสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\phi_e &= \phi_i - \phi_{osc} \\ &= (\omega_i t + \theta_i) - (\omega_{osc} t + \theta_{osc}) \\ &= (\omega_i - \omega_{osc})t + \Delta\theta\end{aligned}\tag{2.49}$$

$$\frac{d\phi_e}{dt} = \omega_i - \omega_{osc} \neq \text{Const}\tag{2.50}$$

จะเห็นว่า เอาท์พุท ของ Phase Detector ไม่ใช่ DC Component แต่เป็น สัญญาณแบบสามเหลี่ยม ที่มีค่า amplitude สูงสุดเป็น $K_D \frac{\pi}{2}$ และมี Fundamental frequency เป็น $\omega_i - \omega_{osc}$

2. พิจารณา Low Pass Filter

ถ้าเป็น Simple Low Pass Filter ดังแสดงดังรูปที่ 2.12 จะได้ว่า

$$\tau = RC$$

และ

$$F(\omega) = \frac{1}{1 + j\omega\tau}$$

$$F(\omega) = \frac{1}{1 + j\left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)} \quad 2.51$$

โดยที่ $\omega_1 = \frac{1}{RC}$ และเท่ากับ Cut-off frequency ของ Low Pass Filter

ถ้า $\left(\frac{\omega}{\omega_1}\right) \gg 1$ จะได้ว่า

$$F(\omega) = \frac{1}{j\left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)} = \frac{\omega_1}{j\omega} \quad 2.52$$

ความถี่ $\Delta\omega = \omega_i - \omega_{osc}$ ผ่าน Phase Detector ไป Low Pass Filter ดังนั้นจะได้ว่า

$$F(\omega) = \frac{\omega_i}{\omega_i - \omega_{osc}} \quad 2.53$$

3. พิจารณาค่าศักย์ไฟฟ้าที่ไปขับ VCO ให้ผลิตความถี่
จะได้ว่า

$$V_o = V_c \times F(\omega) \times A$$

และ

$$V_{oMax} = \pm K_D \left(\frac{\pi}{2} \right) \left(\frac{\omega_1}{\Delta\omega} \right) A \quad 2.54$$

ค่า V_{oMax} นี้ไปขับ VCO ทำให้ VCO เปลี่ยนค่าความถี่ไปสูงสุดคือ

$$(\omega - \omega_{osc})_{Max} = \pm K_D K_o \left(\frac{\pi}{2} \right) \left(\frac{\omega_1}{\Delta\omega} \right) A \quad 2.55$$

ถ้าให้ สัญญาณที่เข้ามีค่า ω_i จะได้ว่า

$$(\omega_i - \omega_{OSC})_{Max} = \pm K_D K_O \left(\frac{\pi}{2} \right) \left(\frac{\omega_1}{\omega_i - \omega_{OSC}} \right) A$$

$$(\omega_i - \omega_{OSC})_{Max}^2 = K_D K_O \left(\frac{\pi}{2} \right) (\omega_1) A \quad 2.56$$

ซึ่งค่า $(\omega_i - \omega_{OSC})_{Max}$ ก็คือ ช่วงความถี่มากที่สุดที่สามารถตรวจจับได้ หรือ Capture Range นั้นเอง ดังนั้น

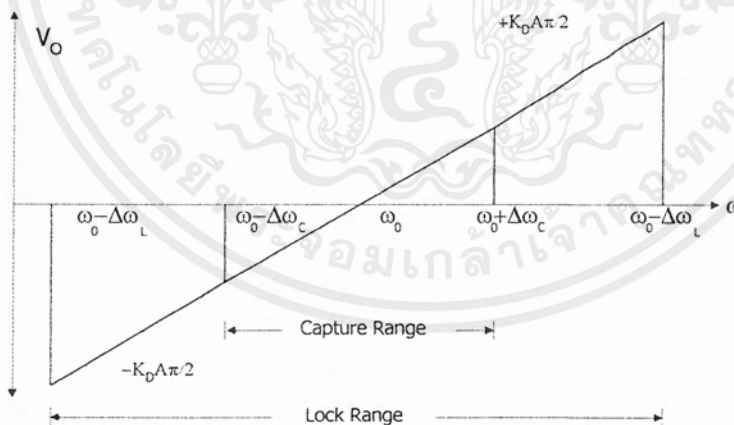
$$\Delta\omega_c^2 = K_D K_O \left(\frac{\pi}{2} \right) (\omega_1) A \quad 2.57$$

$$= \Delta\omega_L \omega_1$$

$$\Delta\omega_c = \pm \sqrt{\Delta\omega_L \omega_1} \quad 2.58$$

ดังนั้น ช่วงความถี่ตรวจจับ มีค่าเท่ากับ $2\Delta\omega_c$

โดยทั่วไปแล้วค่าของช่วงความถี่ล็อก จะกว้างกว่าช่วงความถี่ตรวจจับ แสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ช่วงความถี่ตรวจจับ และช่วงความถี่ล็อก

2.7 มอดูเลชันเทคนิค

ถ้ากล่าวถึงสัญญาณดิจิทัล หรือ สัญญาณอนาล็อกเมื่อเริ่มกำเนิด ก็จะมีถึง “สัญญาณเบสแบนด์” นั่นเอง และตัวกลางในการส่ง ได้แก่ อากาศ เส้นลวด ท่อนำคลื่น ออปติกไฟเบอร์ ฯลฯ ส่วนประสิทธิภาพในการส่งที่ต้องการได้จากระบบการจะได้จากการที่ทำให้สัญญาณคงทนสภาพไว้ก่อนที่

จะถูกส่งไป โดยปกติแล้วสัญญาณเบสแบนด์จะถูกเลื่อนไปที่ความถี่ที่สูงกว่า เพื่อให้การส่งที่มีประสิทธิภาพด้วยการทำการเปลี่ยน แอมพลิจูด เฟส ความถี่ของคลื่นพาหะ ไซน์เวฟความถี่สูง ให้เปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณข่าวสาร กระบวนการที่เลือกคุณลักษณะของการเปลี่ยนแปลงคลื่นพาหะ ไซน์เวฟ เรียกว่า ไซน์เวฟหรือคอนทินิวัสเวฟมอดูเลชัน สัญญาณผลลัพธ์ที่ได้จะไปบนคลื่นพาหะความถี่สูง การเลือกใช้ความถี่สูงเพื่อเพิ่มการส่งผ่านข่าวสารได้มากกว่าที่คลื่นความถี่ต่ำ โดยปรากฏการณ์แม่เหล็กไฟฟ้าที่รู้จักกันอย่างดี คือทฤษฎีของการที่ตัวกระจายพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ (The Antenna) นั้นมีขนาดอย่างน้อยเป็นจำนวนลำดับของความยาวคลื่น ดังนั้น ความถี่ในการส่ง 1 kHz จะมีความยาวคลื่น 300 เมตร ซึ่งจะเป็นไปไม่ได้ในทางปฏิบัติ สำหรับการส่งคลื่นที่ความถี่เสียงเลย แต่ที่ความถี่ในการส่ง 1 MHz คลื่นพาหะสามารถส่งไปได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยความถี่สูงของสายอากาศ 300 ฟุต

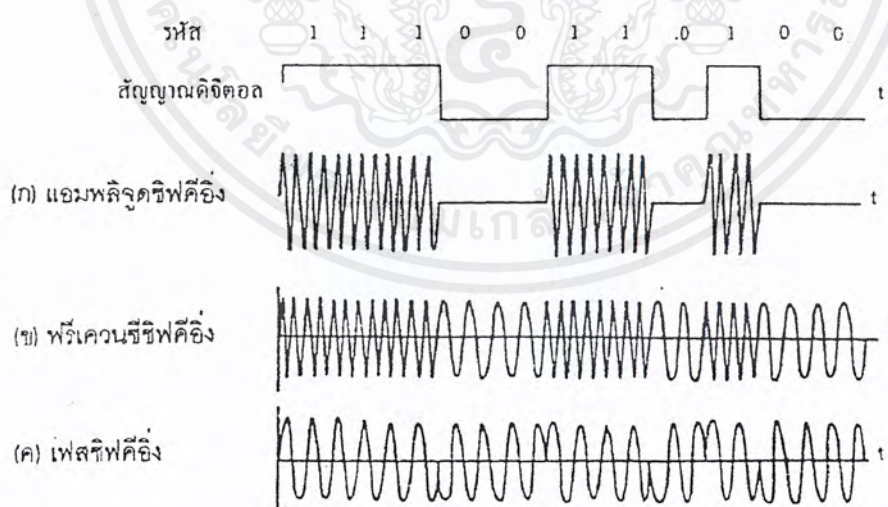
2.7.1 การสื่อสารแบบไบนารีในมอดูเลชันเทคนิค

การสื่อสารแบบไบนารีในมอดูเลชันเทคนิคสามารถแบ่งออกได้ 3 แบบ คือ

1. Amplitude Shift Keying (ASK) หรือ On-Off Keying (OOK) แอมพลิจูดของคลื่นพาหะจะสวิตช์ระหว่างค่าศูนย์ (ถือเป็น OFF แสดง) และระดับแอมพลิจูดค่าหนึ่ง (ถือเป็น ON แสดง)

2. Frequency Shift Keying (FSK) คลื่นพาหะจะสวิตช์ระหว่างความถี่ 2 ความถี่ที่ได้กำหนดไว้แล้ว อาจเป็นการนำสัญญาณแต่ละค่าของสัญญาณไบนารีมามอดูเลตกับ ไซน์เวฟคนละค่าความถี่ หรือทำการสวิตช์ระหว่างค่าความถี่ของสวิตเซอร์ 2 ค่าที่ทำการสลับค่าเฟสให้มีความตรงกัน

3. Phase Shift Keying (PSK) เฟสของคลื่นพาหะจะสวิตช์ระหว่างเฟส π เรเดียน หรือ 180 องศา กับไม่มีการเปลี่ยนเฟสเลย หรืออาจเป็นการกลับขั้วกันของคลื่นพาหะ (เมื่อทำเป็นสัญญาณ ไบนารี) ก็ได้



รูปที่ 2.15 สัญญาณแบบต่าง ๆ

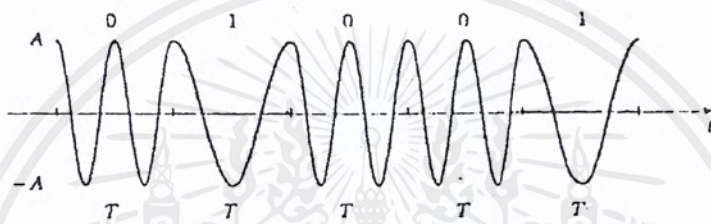
2.7.2 Frequency Shift Keying (FSK)

พิจารณาสัญญาณเรคแทนกู่ค่า 2 สัญญาณนี้

$$f_c(t) = A \cos \omega_1 t \quad 2.59$$

$$f_c(t) = A \cos \omega_2 t \quad 2.60$$

ที่ $-\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2}$



รูปที่ 2.16 รูปคลื่นของสัญญาณ เอฟ เอส เค

โดยพิจารณาให้ค่า 1 ของรหัสไบนารีเป็นความถี่ f_1 และค่า 0 เป็นความถี่ f_2 ดังรูปที่ 2.16 โดยที่ f_1 และ $f_2 \gg 1/T$ หรืออาจแทนสัญญาณ FSK ในรูป $f_1 = f_c - \Delta f$, $f_2 = f_c + \Delta f$ สัญญาณ 2 ความถี่จะมีค่าต่างกันอยู่ $2\Delta f$ เฮิรตซ์ ดังนั้น

$$f_c(t) = A \cos(\omega_1 t \pm \Delta \omega) t ; -\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2} \quad 2.61$$

$\pm \Delta f$: ฟริควเอนซีดีวเิชัน (Frequency deviation)

ถ้าสัญญาณ f_1 และ f_2 เป็นค่าของเลขจำนวนเต็มคูณด้วย $1/T$ และมีเฟสตรงกัน (in phase), สัญญาณ FSK ก็จะเป็นฟังก์ชันคาบเวลาดังรูป และมีแบนด์วิธ $2\Delta f + 2B$ (B เป็นแบนด์วิธของสัญญาณเบสแบนด์) ซึ่งจะทำให้เกิดการพิจารณา 2 กรณี คือ

1. ถ้า $\Delta f \gg B$ แบนด์วิธจะมีค่าเข้าใกล้ $2\Delta f$ นั่นคือ ถ้าใช้สัญญาณความถี่ของ FSK 2 ความถี่แยกห่างกันมากๆ ค่าแบนด์วิธจะมีค่าเท่ากับระยะห่างของความถี่นั้น ไม่เกี่ยวกับความถี่ของสัญญาณเบสแบนด์
2. ถ้า $\Delta f \ll B$ แบนด์วิธจะมีค่าเข้าใกล้ $2B$ ในกรณีนี้แบนด์วิธจะถูกพิจารณาโดยสัญญาณเบสแบนด์

ซึ่งจากในกรณีแรกเราเรียกว่า “Wideband FM” และในกรณีที่ 2 เรียกว่า “Narrowband FM” แบนด์วิธการส่งของสัญญาณ FM (FM transmission bandwidth) โดยทั่วไปจะมากกว่าของสัญญาณ AM (AM transmission bandwidth) อยู่มาก (ปกติจะเท่ากับ 2 เท่าของแบนด์วิธของสัญญาณเบสแบนด์) แต่ที่เลือกใช้ FM กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสัญญาณ FM มีคุณสมบัติทางความถี่ดีกว่าสัญญาณ AM ในสภาพแวดล้อมที่มีสัญญาณรบกวนในการเข้ารหัส PAM (Pulse Amplitude Modulation) ไปเป็นรหัส PCM (Pulse Code Modulation) อาจจะเป็นการเพิ่มแบนด์วิธของระบบ แต่ก็เป็นการเพิ่มความสามารถในการป้องกันสัญญาณรบกวนได้

การวิเคราะห์สัญญาณ FM นั้น ค่าของแบนด์วิธของการส่งจะมีความสัมพันธ์กับค่าแอมพลิจูดของฟริควเอนซีเดิวิเอชัน (Frequency Deviation : Δf) และแบนด์วิธของสัญญาณเบสแบนด์ (B) โดยที่

$$\beta = \Delta f \quad 2.62$$

β : Modulation Index ;

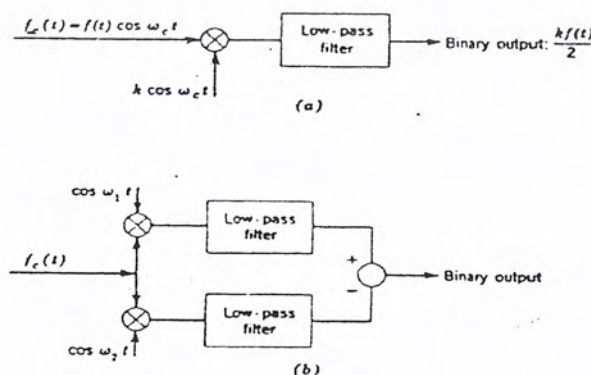
แบนด์วิธของการส่งของสัญญาณ FM (FM transmission bandwidth) : B_T

$$\begin{aligned} B_T &= 2\Delta f + 2B \\ &= 2B(1 + \beta) \end{aligned} \quad 2.63$$

สำหรับ Narrowband FM ค่า $\beta \ll 1$ และ Wideband FM $\beta \gg 1$

2.7.3 การดีเทคสัญญาณไบนารี (Detection of Binary Signals)

การมอดูเลตคลื่นพาหะไซน์เวฟกับสัญญาณเบสแบนด์ให้สัญญาณที่ได้อยู่ในช่วงความถี่ที่ต้องการ กลับมาเป็นขั้นตอนที่เรียกว่าการดีมอดูเลต (Demodulate) ซึ่งอยู่ในขบวนการดีเทคชัน (Detection) และมีวิธีการโดยทั่วไปที่จะทำการดีเทคชันอยู่ 2 วิธี คือ ซิงค์โครนัสหรือโคฮีเรนต์ดีเทคชัน ซึ่งทำการคูณสัญญาณที่รับมาได้จากเครื่องรับเข้ากับสัญญาณความถี่คลื่นพาหะแล้วใช้ตัวกรองความถี่ต่ำกรองสัญญาณที่ได้จากการคูณอีกทีหนึ่ง ส่วนอีกวิธีหนึ่งคือเอนเวลโลปดีเทคชัน



รูปที่ 2.17 การซิงโครนัสดีเทคชันของสัญญาณ เอฟ เอส เค

จากรูปที่ 2.17 ซึ่งต้องการไซน์เวฟ 2 ความถี่ สำหรับการดีเทคแต่ละความถี่ที่ทำการส่งมา เพื่อแปลงกลับมาเป็นสัญญาณเบสแบนด์แบบโบนารีที่เครื่องรับ โดยการทำวิธีแบบซิงค์โครไนส์ สมมุติให้สัญญาณโบนารีที่มีความถี่สูงมีรูปแบบของ AM เป็น $f_c(t)\cos\omega_c t$ (ถ้า $f(t) = \pm 1$) เราจะได้เป็นสัญญาณ PSK และถ้า $f(t)$ เป็น 1 หรือ 0 ก็จะได้สัญญาณ OOK) ถ้าเราคูณสัญญาณนี้ด้วย $k\cos\omega_c t$ (k เป็นค่าคงที่ของการคูณ) เราจะได้

$$kf(t)\cos^2\omega_c t = \frac{k}{2}(1 + \cos 2\omega_c t)f(t) \quad 2.64$$

แต่เทอมของ $f(t)\cos 2\omega_c t$ แทนฟังก์ชัน $f(t)$ ที่ถูกแปลงไปอยู่ที่ความถี่ $2f_c$ ซึ่งเป็นฮาร์โมนิกที่สองของคลื่นพาหะ แต่จะถูกกรองทิ้งไปโดยตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน และจะได้เอาท์พุตเป็น $\frac{k}{2}f(t)$ เป็นสัญญาณเบสแบนด์โบนารีที่ต้องการ (แฟลคเตอร์ค่าคงที่ที่ไม่มีความสำคัญเนื่องจากสามารถเนื่องจากสามารถที่จะลดทอนหรือขยายสัญญาณเอาท์พุตให้ได้ตามที่ต้องการได้)

แต่การสมมุตินั้น เป็นการสมมุติที่ให้ความถี่โลคอล $\cos\omega_c t$ เป็นความถี่เดียวกับสัญญาณคลื่นพาหะที่รับได้ $\cos\omega_c t$ และมีเฟสตรงกัน หรือซิงค์โครไนซ์กัน แต่ถ้าความถี่โลคอลที่ได้เป็น $\cos(\omega_c + \Delta\omega)t$ ผลลัพธ์ที่ได้จากการคูณได้เป็น

$$kf(t)\cos(\omega_c + \Delta\omega)t\cos\omega_c t = \frac{k}{2}[\cos(2\omega_c + \Delta\omega)t + \cos\omega_c t]f(t) \quad 2.65$$

และเอาท์พุตที่วงจรกรองความถี่ต่ำจะได้เป็น $\frac{kf(t)}{2}\cos\Delta\omega$ ถ้า $\Delta\omega$ อยู่ภายในแบนด์ความถี่ของวงจรกรองความถี่นั้น ซึ่งแน่นอนว่าสัญญาณที่ได้จะไม่ใช่สัญญาณที่ต้องการทีเดียวหรือถ้าสัญญาณความถี่โลคอลเป็น $\cos(\omega_c t + \theta)$ เอาท์พุตที่วงจรกรองความถี่ต่ำจะได้เป็น $\frac{kf(t)}{2}\cos\theta$ ซึ่งเป็นสัญญาณเบสแบนด์ที่ต้องการแต่ถูกลดทอนลงทางแอมพลิจูด ถ้า θ เพิ่มขึ้น จะทำให้ $\cos\theta$ มีค่าลดลง และถ้า θ มีค่าเข้าใกล้ $\frac{\pi}{2}$ เอาท์พุตที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับศูนย์ จนถ้า θ มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า $\frac{\pi}{2}$ เอาท์พุตที่ได้จะมีการกลับขั้ว (Reverse sign) เกิดขึ้นดังนั้นความถี่โลคอลที่ผลิตขึ้นในวิธีการซิงโครไนส์ดีเทคชันนี้จะต้องมีความถี่รวมทั้งเฟสตรงกับสัญญาณที่ต้องการดีเทค

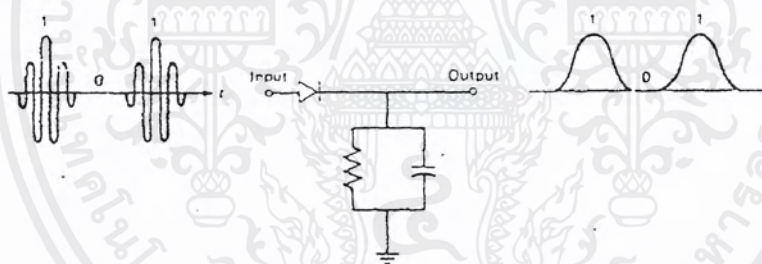
การซิงโครไนส์เฟสนั้นทำค่อนข้างลำบาก โดยเฉพาะถ้าต้องการส่งในระยะเวลาสั้นๆ นั่นคือ คล็อกทางด้านรับที่จะเตรียมทำการซิงโครไนส์ดีเทคชันนี้จะต้องมีค่าตามหลักคล็อกทางด้านส่งอยู่ในช่วงเวลาที่ไซเคิลของสัญญาณคลื่นพาหะ อย่างเช่น ทางด้านส่งมี $f_c = 3 \text{ MHz}$ 1 คาบเวลา จะมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{f_c}$ หรือเท่ากับ $0.3 \mu\text{s}$ ค่าความต่างทางเฟสที่ $\theta < \frac{\pi}{2}$ เรเดียน จะมีค่าน้อยกว่า $0.07 \mu\text{s}$ ซึ่งค่อนข้างลำบากในการจัด

ทำขึ้น และความถี่ของคลื่นพาห้ 100 MHz เฟส $\frac{\pi}{2}$ เรเดียน มีค่าประมาณ 2.5 nS ในขณะที่ความถี่ของคลื่นพาห้ 100 MHz จะต้องให้อยู่ภายใน 2.5 nS สำหรับเฟส $\frac{\pi}{2}$ เช่นกัน

วิธีที่จะทำการชิงโครโนซ์เฟส ประกอบด้วย

1. ความถี่ไหลทจะถูกส่งไปบนคลื่นความถี่สูงของสัญญาณไบนารี ซึ่งจะถูกรอกรองที่ทางด้านรับ และใช้ในการทำชิงโครโนซ์ที่โคคอลลอสซิลเลเตอร์
2. การทำเฟสล็อกคูป(Phase Locked Loop :PLL) เพื่อทำการล็อกขบวนสัญญาณข้อมูลหรือไหลทโทน เพื่อทำการปรับทางเครื่องรับให้มีความต่างเฟสเป็นศูนย์

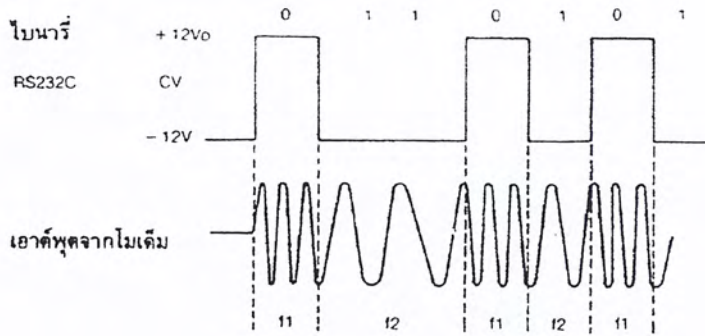
อีกวิธีหนึ่งของการตีเทคชั่น ได้แก่เ็นเวลโลปตีเทคชั่น (Envelope Detection) จะกำจัดเรื่องการทำเฟสชิงโครโนซ์ได้ สัญญาณที่เข้ามาทางด้านรับจะนำไปผ่านอุปกรณ์ที่ไม่ลิเนียร์และวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ตัวอย่างของเอนเวลโลปตีเทคเตอร์ก็คือ วงจรไดโอดฮาฟเวฟเรคตีไฟเออร์ตามด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านโดยใช้ RC ค่าคงที่ของเวลา RC (RC time constant) มีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดกรอบสัญญาณจากคลื่นพาห้หลายๆไซเคิลได้ แต่ก็มึระยะเวลาสั้นพอเมื่อเปรียบเทียบกับคาบเวลาของรหัสไบนารี เพื่อที่จะเกิดการคายประจุได้ทัน เมื่อมีการเปลี่ยนรหัสสัญญาณ วงจรนี้แสดงในรูปที่ 2.18 ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ในสัญญาณ AM



รูปที่ 2.18 เอนเวลโลปตีเทคเตอร์

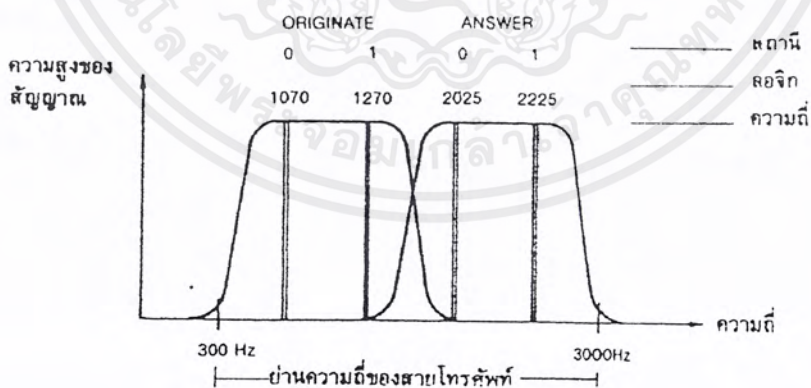
2.8 การส่งสัญญาณดิจิตอลผ่านคู่สายโทรศัพท์

เริ่มแรกการแปลงสัญญาณลอจิกให้เหมาะสมกับการส่งผ่านไปในสายโทรศัพท์ใช้วิธีการที่เรียกว่า frequency shift keying คือ ความถี่เสียงสองความถี่สำหรับแทนสัญญาณลอจิก “0” และ “1” ฝ่ายรับก็พยายามจับเอาสองความถี่ที่ว่ามันมาแปลงเป็นสัญญาณลอจิกกลับคืนมา ความถี่ของเสียงต้องห่างกันพอที่จะแยกออกจากกันได้โดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์และไม่ห่างจนเกินความสามารถของสายโทรศัพท์ที่จะนำพาไปได้ รูปที่ 2.19 แสดงหลักการทำงานของ เอฟ เอส เค

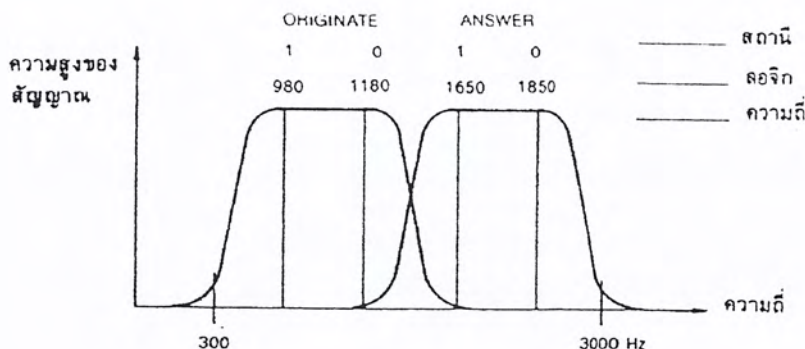


รูปที่ 2.19 การแปลงสัญญาณดิจิทัลเพื่อสื่อสารผ่านสายโทรศัพท์

เนื่องจากแถบความถี่คลื่นที่สายโทรศัพท์ยอมให้ผ่านไปได้อยู่ในช่วง 300 Hz ถึง 3000 Hz เราสามารถแบ่งความถี่ในย่านนั้นออกเป็น 4 คลื่นเสียงที่สำคัญ สำหรับสถานีส่ง 2 เสียงและสถานีรับ 2 เสียง เนื่องจากเราต้องการให้การติดต่อเป็นแบบฟูลดูเพล็กซ์ คือ ทั้งรับและส่งได้ในเวลาเดียวกัน จำเป็นจะต้องแยกสถานีออกเป็นสองฝ่าย ฝ่ายหนึ่งเรียกว่า originate หรือฝ่ายเริ่มการติดต่อ และอีกฝ่ายเรียกว่า answer ฝ่าย originate จะใช้ความถี่สำหรับส่งสองความถี่ สำหรับสัญญาณลอจิก “0” และ “1” ฝ่าย answer จะต้องใช้ความถี่อีกสองความถี่ที่แตกต่างไปจากฝ่ายส่ง เพื่อป้องกันการรบกวนกันเองสำหรับแทนสัญญาณลอจิก “0” และ “1” จะได้รับและส่งในเวลาเดียวกันเป็นฟูลดูเพล็กซ์ได้ ซึ่งมีมาตรฐานอยู่ 2 แห่ง คือ ระบบ CCITT และของบริษัทยักษ์ใหญ่โทรศัพท์ สำหรับการสื่อสารที่มีบอดเรตไม่เกิน 300 Bps ห้องปฏิบัติการวิจัยเบลล์ใช้มาตรฐาน 103 ส่วนไทยเราใช้มาตรฐานของ CCITT V.21 ดังแสดงในรูปที่ 2.20 และ 2.21



รูปที่ 2.20 มาตรฐาน 103 แบบฟูลดูเพล็กซ์ อัตราส่งต่ำ



รูปที่ 2.21 มาตรฐานของ CCITT V.21 แบบฟูลูเพล็กซ์ อัตราส่งต่ำ

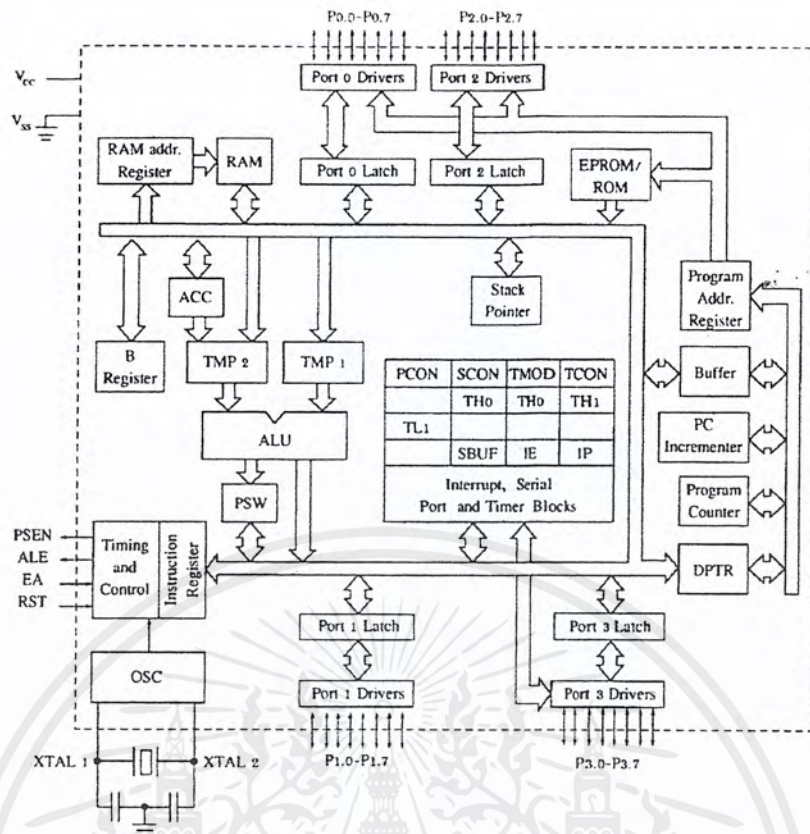
จากรูปจะพบว่าสถานีรับและสถานีส่งใช้ความถี่ต่างกันในการมอดูเลตสัญญาณลอจิก “0” และ “1” การดีมอดูเลตก็ต้องให้ตรงกับความถี่ที่ฝ่ายตรงกันข้ามส่งมา เช่น ในมาตรฐานของ CCITT ฝ่ายเริ่มการติดต่อจะส่งสัญญาณลอจิก “1” ด้วยความถี่ 980 Hz ลอจิก “0” ด้วยความถี่ 1180 Hz ขณะเดียวกันจะต้องรับลอจิก “1” ด้วยความถี่ 1650 Hz และลอจิก “0” ด้วยความถี่ 1850 Hz ในการสื่อสารผ่านสายโทรศัพท์โดยวิธีนี้จำเป็นต้องมีวงจรกรองความถี่เพื่อป้องกันความถี่อื่นหลงเข้ามารบกวนเครื่องรับ

เนื่องจากความถี่ของเสียงที่ใช้มีความถี่ต่ำ การมอดูเลตแบบ FSK ย่อมทำให้การถ่ายโอนข้อมูลเร็วกว่าความถี่นั้นไม่ได้แน่นอน เนื่องจากวงจรรับจะต้องดีเทกให้ได้ว่ามีความถี่เปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นโดยความถี่จะต้องปรากฏให้เห็น 2 ถึง 3 ไซเคิลเป็นอย่างน้อย ลองคำนวณดูง่ายๆ ความถี่ต่ำสุดที่ใช้ในโมเด็มชนิด 103 คือ 1070 Hz ต้องใช้อย่างน้อย 2 ไซเคิลต่อการมอดูเลต 1 บิต จะเห็นว่าการถ่ายโอนข้อมูลจะน้อยกว่า 600 บิตต่อวินาทีได้ยาก

2.9 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

2.9.1 สถาปัตยกรรมและ โครงสร้างภายในของ MCS-51

ภายใน MCS-51 ประกอบด้วยโครงสร้างต่างๆ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบควบคุมได้ง่ายและมีประสิทธิภาพโดยโครงสร้างภายในของ MCS-51 จะมีสถาปัตยกรรมภายในเป็นดังนี้



รูปที่ 2.22 โครงสร้างภายในของ MCS-51

2.9.2 คุณสมบัติที่สำคัญของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีด้วยกันหลายเบอร์ขึ้นกับโครงสร้างภายในของมัน บางเบอร์จะมีหน่วยความจำภายในเป็นแบบ ROM บางเบอร์เป็นแบบ EPROM บางเบอร์มี RAM ภายใน 128 ไบต์ บางเบอร์มี 256 ไบต์ เป็นต้น ซึ่งรายละเอียดจะศึกษาได้จากคู่มือของมันโดยตรง และลักษณะของขาต่างๆจะเหมือนกัน คุณสมบัติที่สำคัญมีดังนี้

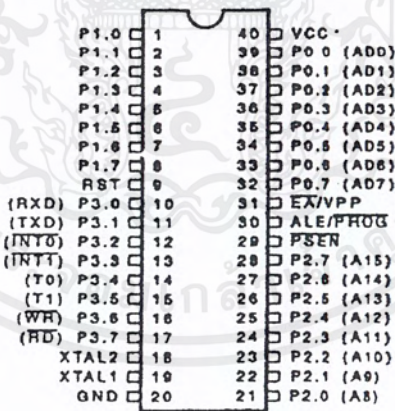
1. ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในการสร้าง โดยมีทั้งประเภท HMOS CMOS และ CHMOS ทำงานด้วยแหล่งจ่ายไฟ +5 Vdc เพียงแหล่งเดียว
2. มีหน่วยความจำโปรแกรม (Program memory) ขนาด 4 กิโลไบต์สำหรับเบอร์ 8051 และ 8031 สำหรับเบอร์ 8052 มีหน่วยความจำถึง 8 กิโลไบต์
3. มีหน่วยประมวลผลขนาด 8 บิต
4. สามารถติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกทั้งหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลได้สูงสุด 64,000 ไบต์
5. มีพอร์ตรับส่งข้อมูลแบบสองทาง (Full Duplex) จำนวน 4 พอร์ต พอร์ตละ 8 บิตและสามารถอ้างถึงได้ในระดับบิตและมีลักษณะที่ค้างข้อมูลไว้ได้ (Latch)
6. มีพอร์ตสำหรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม แบบ Full Duplex เลือกได้ 4 โหมด
7. รับอินเทอร์รัพท์ได้ 6 แหล่ง 5 เวกเตอร์ สำหรับเบอร์ 8052 ขึ้นไปมี 8 แหล่ง 6 เวกเตอร์

- 8. มีวงจรรอสซิทเลเตอร์และวงจรรนาฬิกาบนชิพ
- 9. สามารถประมวลผลทีละบิตได้
- 10. สามารถอ้างหน่วยความจำแบบบิตได้ 210 ตำแหน่ง

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

เบอร์	หน่วยความจำโปรแกรม บนชิพ	หน่วยความจำข้อมูลบน ชิพ	จำนวน TIMERS
8051	4K ROM	128 bytes	2
8031	-	128 bytes	2
8751	4K EPROM	128 bytes	2
8052	8K ROM	256 bytes	3
8032	-	256 bytes	3
8752	8K EPROM	256 bytes	3

2.9.3 การจัดขาต่างๆของ MCS-51



รูปที่ 2.23 ขาต่างๆ ของ MCS-51 (DIP40)

ไอซี ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ถ้าโครงสร้าง IC เป็นแบบ DIP จะมีขาทั้งหมด 40 ขา โดยขาต่างๆ จะแบ่งเป็นกลุ่มได้ 4 กลุ่ม คือ

- 1. กลุ่มขาไฟเลี้ยงและสัญญาณนาฬิกา
- 2. ใช้เป็นขาพอร์ตอินพุต เอาท์พุต ทั้งแบบขนานและแบบอนุกรม

- 3. ขาสัญญาณควบคุมตัวมัน
 - 4. ขาสำหรับอ้างตำแหน่งหน่วยความจำ
- ความหมายของขาต่างๆ มีดังนี้

(ถ้ามีเครื่องหมาย $\overline{X}$ แสดงว่าขา นั้นจะทำงานเมื่อสัญญาณเป็น 0 Active Low)

1. พอร์ต 0

คือ ขาที่ 32-39 มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P0.7-P0.0) ใช้งานได้ 2 หน้า ที่ คือ แอคเตสบัส และ คาค้า บัส เมื่อต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก หรือเป็นไอโอพอร์ท ถ้าต้องการให้เป็นอินพุตพอร์ทต้อง ส่งลอจิก “1” ไปยังพอร์ตนีจะมีผลทำให้ Q ของ D-FF เป็น “0” ทำให้ FET ตัวล่างมีสถานะ OFF สัญญาณ ที่ใช้อ่านอินพุตพอร์ทแลทช์ โดยส่งสัญญาณ READ LATCH ไปกระตุ้นที่ Tri-State Buffer ตัวบน และ การอ่าน Port (pin) จะใช้สัญญาณ Read (pin)

2. พอร์ต 1

คือ ขาที่ 1-8 มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P1.0-P1.7) มีโครงสร้างคล้าย พอร์ต 0 แต่จะใช้ความต้านทาน ภายในพลูอัพแทน (Internal Pull Up Register)

3. พอร์ต 2

คือ ขาที่ 21-28 มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P2.0-P2.7) มีโครงสร้างคล้าย พอร์ต 0 โดยมี FET ตัวล่างตัว เดียว ส่วนด้านบนใช้ความต้านทานพลูอัพแทน (Internal Pull Up) พอร์ตนีทำงาน 2 หน้า ที่ คือ สามารถใช้ เป็นแอคเตสบัสขนาด 8 บิต (A15-A8) และเป็นไอโอพอร์ทใช้งานทั่วไป เมื่อจะใช้งานเป็นอินพุตพอร์ท ต้องส่งลอจิก “1” มาที่พอร์ตนี ก่อน เพื่อบังคับให้ FET อยู่ในสภาวะ OFF

4. พอร์ต 3

คือ ขาที่ 10-17 มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P3.0-P3.7) มีโครงสร้างคล้าย พอร์ต 1 ทำงาน ได้ 2 หน้า ที่ คือ เป็นไอโอพอร์ท ถ้าจะโปรแกรมให้เป็นอินพุตพอร์ทต้องส่งลอจิก “1” มาที่พอร์ตนี ก่อน และอีกหน้า ที่ หนึ่งก็คือ ใช้ส่งสัญญาณควบคุมออกมา และรับสัญญาณเข้าไป ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 หน้า ที่ของพอร์ท 3 (ขาที่ 10-17)

บิต	ชื่อ	หน้าที่
P3.0	RXD	ใช้รับข้อมูลทางพอร์ทอนุกรม
P3.1	TXD	ใช้ส่งข้อมูลทางพอร์ทอนุกรม
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$	อินเทอร์รัพท์ภายนอกหมายเลข 0
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$	อินเทอร์รัพท์ภายนอกหมายเลข 1
P3.4	T0	ตัวจับเวลา / ตัวนับ ตัวที่ 0
P3.5	T1	ตัวจับเวลา / ตัวนับ ตัวที่ 1
P3.6	$\overline{\text{WR}}$	สัญญาณเขียนข้อมูลหน่วยความจำภายนอก
P3.7	$\overline{\text{RD}}$	สัญญาณอ่านข้อมูลหน่วยความจำภายนอก

5. $\overline{\text{PSEN}}$ (Program Store Enable)

คือ ขาที่ 29 ขานี้จะแอกทีฟเมื่อ MCS-51 ต้องการอ่านคำสั่งจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก โดยปกติถ้าหน่วยความจำภายนอกเป็น EPROM ขา $\overline{\text{PSEN}}$ จะต่อกับขาเอาต์พุต Enable (OE) ของ EPROM ขานี้จะไม่ส่งสัญญาณในขณะที่ติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก

6. ALE (Address Latch Enable)

คือ ขาที่ 30 เนื่องจากพอร์ต 0 สามารถใช้เป็นขาอ้างตำแหน่งและขาข้อมูล MCS-51 จะมีขา ALE ใช้มัลติเพล็กซ์สัญญาณแอดเดรสของพอร์ต 0 ในการใช้งานระบบ MCS-51 นั้น จะต้องมีอุปกรณ์มาต่อกับพอร์ต 0 ที่ทำหน้าที่ Latch สัญญาณ Address Bus เมื่อ MCS-51 ต้องการติดต่อหน่วยความจำภายนอก MCS-51 จะส่งสัญญาณ Address Bus ออกมาก่อนทางพอร์ต 0 จากนั้นจะส่งสัญญาณ ALE มา Latch อุปกรณ์ภายนอก ให้เก็บค่า Address Bus ของพอร์ต 0 ไว้เพื่อใช้พอร์ต 0 เป็น Data Bus ต่อไป นอกจากนี้ ขานี้ยังทำหน้าที่รับพัลส์ในการโปรแกรม (Program Pulse Input) สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในเป็น EPROM

7. EA (External Access)

คือ ขาที่ 31 ขานี้จะใช้กับเบอร์ที่มีหน่วยความจำภายใน ถ้าเป็นลอจิก 1 ให้อ่านโปรแกรมจากหน่วยความจำโปรแกรมภายใน แต่ถ้าเป็นลอจิก 0 ให้ MCS-51 ทำโปรแกรมโดยอ่านจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (ถ้าขา EA เป็น 0 ขา $\overline{\text{PSEN}}$ จะแอกทีฟ)

8. RST (Reset)

คือ ขาที่ 9 จะใช้ในการรีเซ็ต MCS-51 โดยจะให้ขานี้เป็นลอจิก 1 อย่างน้อย 2 แมกซ์ซีคล็อก ในขณะที่ย่อสวิตช์เลเตอร์ทำงานอยู่จึงจะรีเซ็ตระบบได้

9. ความถี่สัญญาณนาฬิกาบนชิป (On-chip Oscillator Inputs)

เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์บนชิป ได้แก่ ขา 18-19 โดยต่อคริสตัลเข้ากับขานี้ โดยปกติมักจะใช้คริสตัลความถี่ 12 Mhz (ความถี่ของคริสตัลนี้จะทำให้เวลาในการทำงานของ MCS-51 เร็วขึ้นหรือช้าลงได้โดย $1 \text{ Machine cycle} = 12/f_{\text{XTAL}}$) กับตัวเก็บประจุหรืออาจใช้สัญญาณนาฬิกาจาก TTL Clock Source ต่อกับ XTAL1 และ XTAL2

10. Power Connections

ใน MCS-51 จะใช้แหล่งจ่ายไฟ +5 V ต่อเข้ากับขา Vcc (ขา 40) ส่วนขา Vss (ขา 20) จะต่อลงกราวด์

2.9.4 หน่วยความจำ (Memory)

ในระบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS 51 จำเป็นต้องมีหน่วยความจำซึ่งประกอบด้วย

1. หน่วยความจำโปรแกรม (ROM, Read Only Memory)

หน่วยความจำโปรแกรมของ 8051 เป็นบริเวณหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลและคำสั่งใช้งานต่างๆ ซึ่งแม้ว่าจะไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบ ข้อมูลเหล่านี้ก็ยังคงไม่สูญหาย สำหรับใน เบอร์ 89S8252 นั้นจะมีส่วนของ ROM อยู่ 2 ส่วน คือ

1. EEPROM โดย EEPROM จะเป็นหน่วยความจำที่สามารถลบและเขียนใหม่ด้วย

ไฟฟ้า ทำให้สะดวกในการใช้งาน โดยสามารถลบและเขียนใหม่ได้ประมาณ 100,000 ครั้ง

2. Flash Memory จะมีลักษณะเหมือน EEPROM แต่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้เร็วกว่า โดยสามารถลบและเขียนใหม่ได้ประมาณ 1,000 ครั้ง

2. หน่วยความจำข้อมูล (RAM, Random Access Memory)

หน่วยความจำข้อมูลมีหน้าที่สำหรับเก็บข้อมูล หรือตัวแปรที่เกิดขึ้นในขณะที่กำลังประมวลผล โปรแกรมไว้ชั่วคราว โดยพื้นฐานแล้วหน่วยความจำข้อมูลจัดเป็นหน่วยความจำ RAM แบบสแตติก ดังนั้น เมื่อไม่มีการจ่ายไฟให้กับระบบ ก็จะมีผลทำให้ข้อมูลที่จัดเก็บไว้ภายในหน่วยความจำนี้สูญหายไป

3. พอร์ตอินพุต / เอาท์พุตของ MCS-51

ใช้ส่งข้อมูลเข้าและออกจากตัว MCS-51 โดยมีทั้งแบบขนานและแบบอนุกรมได้แก่

3.1 ไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์ 0 และ 1

สามารถใช้ให้ทำการนับจำนวนไชนเคลของสัญญาณที่ต่อจากภายนอก MCS-51 ($C/\bar{T} = 0$) หรือจำนวนไชนเคลของสัญญาณนาฬิกาภายใน MCS-51 ก็ได้ ($C/\bar{T} = 1$) โดยสามารถเลือกใช้โดยการควบคุมรีจิสเตอร์ TMOD ความเร็วสูงสุดที่สามารถนับได้คือ 500 kHz เมื่อทำงานที่ความถี่ 12 MHz

3.2 อินพุต / เอาท์พุตพอร์ตแบบขนาน

มีทั้งหมด 4 พอร์ต (P0-P3) พอร์ตละ 8 บิต โดยจะรับส่งข้อมูล ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัลเข้าหรือออกจากตัว MCS-51 โดยบางพอร์ตจะทำงานมากกว่า 1 อย่างได้

3.3 พอร์ตอนุกรม (Serial Port)

ใน MCS-51 มีพอร์ตสื่อสารข้อมูลอนุกรม UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) อยู่ภายในอยู่แล้ว ทำให้ใช้งานได้ง่ายขึ้นได้หลายแบบทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้งาน โดยการงานมีทั้งหมด 4 โหมด โดยมี 3 โหมดที่เป็น UART ได้แก่

1. 8-Bit Shift Register (โหมด 0) ในโหมดนี้จะใช้ขา RXD ในการรับส่งข้อมูลโดยต่ออยู่กับชิฟต์รีจิสเตอร์ (Shift Register) ภายนอก ส่วนขา TXD จะใช้เป็น Output Shift Clock เพื่อกำหนดจังหวะในการรับและส่งข้อมูลให้กับชิฟต์รีจิสเตอร์ภายนอก ซึ่งการส่งหรือรับข้อมูลจะเริ่มที่บิตต่ำสุด (LSB) ก่อน โดยมีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล (Baud Rate) เป็น 1/12 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์

2. 8-Bit UART with Variable Baud Rate (โหมด 1) ในโหมดนี้เป็นการรับส่งข้อมูลแบบ 10 บิต โดยมี บิตเริ่มต้น 1 บิตซึ่งจะเป็น "0" ข้อมูล 8 บิตและบิตลงท้ายอีก 1 บิตซึ่งจะเป็น "1" ซึ่งในการส่งนั้นจะเขียนข้อมูลที่ต้องการส่งลงไปในรีจิสเตอร์ SBUF และส่งออกทางขา TXD ส่วนการรับข้อมูล จะรับเข้ามาทางขา RXD โหมดนี้สามารถกำหนดอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลในการรับส่งได้ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

3. 9-Bit UART with Fixed Baud Rate (โหมด 2) ในโหมดนี้จะส่งข้อมูลทั้งหมด 11 บิตโดยจะส่งบิตเริ่มต้นและข้อมูล 8 บิตต่อด้วยบิตที่สามารถโปรแกรมได้เองอีก 1 บิต ตามด้วยบิตลงท้าย โดยบิตที่โปรแกรมได้นี้มักจะเป็นบิตตรวจสอบ (Parity Bit) โดยในการส่งข้อมูลจะต้องเขียนบิตนี้ลงไปบิต TB8 ในรีจิสเตอร์ SCON ส่วนในการรับข้อมูลนั้นบิตนี้จะถูกเก็บไว้ในบิต RB8 สำหรับในโหมดนี้ไม่สามารถกำหนดอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลได้โดยจะมีอยู่สองค่าคือ 1/64, 1/32 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ โดย

กำหนดได้จากบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ PCON (SMOD = 1 จะได้ Baud Rate=1/32, SMOD = 0 จะได้ Baud Rate=1/64)

4. 9-Bit UART with Variable Baud Rate (โหมด3) การทำงานในโหมดนี้จะคล้ายกับโหมด 2 แต่สามารถกำหนดอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลได้

รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม มีดังนี้

1. SBUF (Serial Data Buffer) ใช้ในการรับและส่งชุดข้อมูลอนุกรม โดยตัวซีพียูจะทำการควบคุมการใช้งานรีจิสเตอร์ SBUF ทั้งในการรับและส่งชุดข้อมูลโดยอัตโนมัติ ไม่สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต

2. SCON (Serial Port Control Register)

SCON.7 SCON.6 SCON.5 SCON.4 SCON.3 SCON.2 SCON.1 SCON.0

SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI
-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

รูปที่ 2.24 ตำแหน่งของบิตในรีจิสเตอร์ SCON

สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต โดยการกำหนดโหมด ซึ่งจะกำหนดที่บิต SM0 SM1 และจะมีบิต REN เป็นบิตกำหนดว่าจะให้รับข้อมูลจากภายนอกได้หรือไม่

ตารางที่ 2.4 การใช้งาน รีจิสเตอร์ SCON

ชื่อบิต	รายละเอียด
SM0	บิตเลือกโหมดการใช้งานพอร์ตสื่อสารข้อมูลอนุกรม 'ต่ำ'
SM1	บิตเลือกโหมดการใช้งานพอร์ตสื่อสารข้อมูลอนุกรม 'สูง'
SM2	บิตเลือกโหมดการใช้งานพอร์ตสื่อสารข้อมูลอนุกรม โดย SM2 จะเป็นการใช้งานโหมด 1 และ 3
REN	REN = 1 ตัวซีพียูรับข้อมูลจากภายนอกได้ REN = 0 ตัวซีพียูไม่รับข้อมูลจากภายนอก
TB8	บิตข้อมูลบิตที่ 9 ซึ่งจะถูกส่งออกไปในการทำงานของพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมโหมด 2 และ 3
RB8	บิตข้อมูลบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาจากภายนอกในการทำงานของพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมโหมด 2 และ 3
TI	บิตบอกสถานะในการส่งข้อมูลอนุกรมทำงานโดยอัตโนมัติ
RI	บิตบอกสถานะในการรับข้อมูลอนุกรมทำงานโดยอัตโนมัติ

ในการรับข้อมูลแบบอนุกรม บิต REN จะต้องถูกกำหนดค่าให้เป็น “1” (ยกเว้นโหมดที่ 0) เพื่ออนุญาตให้รับ ข้อมูลได้ นอกจากนี้ยังมีบิต TB8, RB8, TI และ RI โดยบิต TI และ RI จะมีค่าเป็น “1” เมื่อมีการส่งหรือรับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ตามลำดับ เมื่อต้องการจะส่งหรือรับข้อมูลใหม่ต้องมีการเคลียร์ค่าที่บิตนี้ก่อน ตำแหน่งของบิตและการใช้งานนั้นเป็นไปตามตารางที่ 2.4 และ 2.5

ตารางที่ 2.5 บิตกำหนดโหมดการรับส่งข้อมูลอนุกรมด้วยบิต SM0 และ SM1

SM0	SM1	โหมดการรับส่งข้อมูลอนุกรม
0	0	โหมด 0
0	1	โหมด 1
1	0	โหมด 2
1	1	โหมด 3

3. TMOD (Timer/Counter Mode Control Register)

ไทม์เมอร์ 1				ไทม์เมอร์ 0			
GATE	C/T	M1	M0	GATE	C/T	M1	M0

รูปที่ 2.25 ตำแหน่งของบิตในรีจิสเตอร์ TMOD

ใช้ในการกำหนด Baud Rate ของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม โดยจะต้องเลือกใช้ไทม์เมอร์ตัวใดตัวหนึ่งก่อน เนื่องจากมี 2 ตัวโดยทั่วไปใช้เบอร์ 1 และต้องมีการเลือกโหมดเป็น โหมด 2 (8 Bit Auto Reload Mode) (โดยการจะให้ ไทม์เมอร์ 1 เริ่มทำงานนั้นจะต้องมีการเซตบิต TR1 ในรีจิสเตอร์ TCON) โดยจะใช้ร่วมกับรีจิสเตอร์ PCON (ไม่สามารถควบคุมได้ในระดับบิต) ซึ่งมีบิต SMOD โดยถ้า SMOD = 1 ค่า Baud Rate ที่ได้จะมีค่าเป็น 2 เท่าจากปกติ นอกจากนี้ยังมี รีจิสเตอร์อีกตัวหนึ่งคือ TH0, TH1 จะใช้เก็บค่า Reload Value ซึ่งใช้ในการกำหนดค่า Baud Rate ด้วย โดยค่าบอดเรดของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมแต่ละ โหมดมีความสัมพันธ์กับค่าของ TH0 TH1 และ SMOD ดังสมการต่อไปนี้

โหมด 0 :

$$\text{Baud Rate} = \frac{F_{osc}}{12}$$

2.65

$$\text{โหมด 2 :} \quad \text{Baud Rate} = \frac{2^{\text{SMOD}} \times F_{\text{osc}}}{64} \quad 2.66$$

$$\text{โหมด 1, 3 :} \quad \text{Baud Rate} = \frac{2^{\text{SMOD}} \times F_{\text{osc}}}{32 \times 12 \times [256 - (\text{TH1})]} \quad 2.67$$

$$\text{TH1} = 256 - \left[\frac{2^{\text{SMOD}} \times F_{\text{osc}}}{384 \times \text{Baud Rate}} \right] \quad 2.68$$

โดยที่ F_{osc} : Oscillator Frequency

โดยตำแหน่งของบิตและการใช้งานของรีจิสเตอร์ TMOD นั้นเป็นไปตามตารางที่ 2.6 และค่าบอดเรด และค่า Reload Value เป็นไปตามตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.6 บิตในการควบคุมการใช้งาน ไทม์เมอร์

ชื่อบิต	รายละเอียด
GATE	เท่ากับ 0 จะสามารถเลือกใช้งาน ไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ได้
C/T	บิตเลือกการใช้งาน ไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์โดย เท่ากับ 1 หมายถึงใช้งานเป็นเคาน์เตอร์นับพัลส์ภายนอกที่ขา TX (T0, T1) เท่ากับ 0 หมายถึงใช้งานเป็น ไทม์เมอร์นับการทำงานของแมชชีน ไซเคิล
M0	บิตเลือกโหมดการใช้งาน ไทม์เมอร์ 0 และ ไทม์เมอร์ 1
M1	บิตเลือกโหมดการใช้งาน ไทม์เมอร์ 0 และ ไทม์เมอร์ 1

ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างค่า Baud Rate และค่า Reload Value

Baud Rate	ความถี่คริสตัล	SMOD	TH1 Reload Value	Baud Rate ที่ได้รับ	%ความคลาดเคลื่อน
9600	12.000 MHz	1	-7 (F9H)	8923	7%
2400	12.000 MHz	0	-13 (F3H)	2404	0.16%
1200	12.000 MHz	0	-26 (E6H)	1202	0.16%
9300	11.059 MHz	1	-3 (FDH)	19200	0%
9600	11.059 MHz	0	-3 (FDH)	9600	0%
2400	11.059 MHz	0	-12 (F4H)	2400	0%
1200	11.059 MHz	0	-24 (E8H)	1200	0%

2.9.5 ระบบอินเทอร์รัพท์ของ MCS-51

ใน MCS-51 มีอินเทอร์รัพท์ที่แตกต่างกันทั้งหมด 5 แบบคือ

1. $\overline{\text{INT0}}$ เป็นสัญญาณจากภายนอก (IE0)
2. $\overline{\text{INT1}}$ เป็นสัญญาณจากภายนอก (IE1)
3. อินเทอร์รัพท์จาก Timer 0 (TF0)
4. อินเทอร์รัพท์จาก Timer 1 (TF1)
5. อินเทอร์รัพท์จากการส่งข้อมูลแบบอนุกรม (RI, TI)

ตารางที่ 2.8 การใช้งาน รีจิสเตอร์ IE

ชื่อย่อ	รายละเอียด
EA	ใช้ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพท์ทั้งหมด
-	ไม่ได้ถูกใช้งาน (สำรองไว้ใช้ใน MCS-51 เบอร์ใหม่ๆ ในอนาคต)
ET2	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพท์ของไทม์เมอร์ 2 เมื่อเกิดโอเวอร์โฟลว (มีใช้เฉพาะ MCS-51 บางเบอร์ที่มีไทม์เมอร์ 2 เช่น 8052)
ES	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพท์ของพอร์ตสื่อสารอนุกรม
ET1	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพท์ของไทม์เมอร์ 1 เมื่อเกิดโอเวอร์โฟลว
EX1	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพท์ภายนอกชนิด 1
ET0	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพท์ของไทม์เมอร์ 0 เมื่อเกิดโอเวอร์โฟลว
EX0	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพท์ภายนอกชนิด 0

IE.7	IE.6	IE.5	IE.4	IE.3	IE.2	IE.1	IE.0
EA	-	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0

รูปที่ 2.26 ตำแหน่งของบิตในรีจิสเตอร์ IE

การที่จะทำให้ MCS-51 ทำงานในลักษณะอินเทอร์รัพท์นั้นจะต้องมีการ เซตค่าต่างๆในรีจิสเตอร์ IE (Interrupt enable) และนอกจากนี้ยังมีการจัดลำดับความสำคัญของอินเทอร์รัพท์ด้วยโดยสามารถกำหนดได้ที่ รีจิสเตอร์ IP (Interrupt Priority) โดยจะแสดงไว้ในตารางที่ 2.8 และ 2.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.9 การใช้งาน รีจิสเตอร์ IP

ชื่อบิต	รายละเอียด
-	ไม่ได้ถูกใช้งาน (สำรองไว้ใช้ใน MCS-51 เบอร์ใหม่ๆ ในอนาคต)
-	ไม่ได้ถูกใช้งาน (สำรองไว้ใช้ใน MCS-51 เบอร์ใหม่ๆ ในอนาคต)
PT2	กำหนดความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพท์ของไทม์เมอร์2
PS	กำหนดความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพท์ของพอร์ตสื่อสารอนุกรม
PT1	กำหนดความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพท์ของไทม์เมอร์1
PX1	กำหนดความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพท์ภายนอกชนิด 1
PT0	กำหนดความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพท์ของไทม์เมอร์0
PX0	กำหนดความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัพท์ภายนอกชนิด 0

IP.7	IP.6	IP.5	IP.4	IP.3	IP.2	IP.1	IP.0
-	-	PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PX0

รูปที่ 2.27 ตำแหน่งของบิตในรีจิสเตอร์ IP

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถบริการอินเทอร์รัพท์ โดยการจำแนกตามแหล่งที่มาของสัญญาณ (Signal Source) ของสัญญาณอินเทอร์รัพท์นั้นๆ โดยแต่ละอินเทอร์รัพท์จะมีเวกเตอร์ของตัวเองดังนี้

ตารางที่ 2.10 ค่าอินเทอร์รัพท์เวกเตอร์

ชนิดของอินเทอร์รัพท์	อินเทอร์รัพท์เวกเตอร์
IE0	0003H
TF0	000BH
IE1	0013H
TF1	001BH
RI, TI	0023H

2.10 คีย์บอร์ด (Key Board)

คีย์บอร์ดเป็นอุปกรณ์อินพุตที่เชื่อมต่อผู้ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยตรง คีย์บอร์ดจะเชื่อมต่อผ่านหัวต่อแบบ DIN สายเชื่อมโยงของคีย์บอร์ดโดยทั่วไปประกอบด้วยสายสัญญาณต่างๆ ดังนี้

1. สัญญาณนาฬิกา (Keyboard Clock)
2. สัญญาณข้อมูลของคีย์บอร์ด (Keyboard Data)
3. ไม่ได้ถูกใช้งาน
4. กราวนด์ (Ground)
5. +5 V
6. เฟรมกราวนด์ (Frame Ground)



รูปที่ 2.28 ขาสัญญาณของคีย์บอร์ด

2.10.1 การส่งข้อมูลของคีย์บอร์ด (Data Transmission)

การส่งข้อมูลจากคีย์บอร์ดไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์จะผ่านทางสายสัญญาณค่าๆ การส่งจะส่งทีละ 11 บิต โดยมีบิตข้อมูล (Data bit) 8 บิต บิตพาริตี (Parity bit) 1 บิต และบิตเริ่ม (Start bit) กับบิตหยุด (Stop bit) อีกอย่างละ 1 บิต ข้อมูลที่ถูกส่งออกมาเป็นแบบอนุกรมซึ่งเรียงลำดับดังนี้

ตารางที่ 2.11 ความหมายของแต่ละบิต

Bit	Function
11	Stop bit (always 1)
10	Parity bit (odd parity)
9	Data bit 7 (most –significant)
8	Data bit 6
7	Data bit 5
6	Data bit 4
5	Data bit 3
4	Data bit 2
3	Data bit 1
2	Data bit 0(least-significant)
1	Start bit (always 0)

คีย์บอร์ดจะทำการตรวจสอบคีย์ที่ถูกกดทุกครั้งและจะทำการส่งค่าสแกนโค้ด (scan code) ของค่าคีย์ที่ถูกกดออกไปตามลำดับ และในขณะที่คีย์บอร์ดยังไม่ถูกเรียกใช้โดยระบบ คีย์บอร์ดจะทำการเก็บค่าสแกนโค้ดที่ได้ในขณะนั้นไว้ในบัฟเฟอร์

Buffer จะมีขนาด 16 ไบต์ แบบ First-In-First-Out (FIFO) ซึ่งสแกนโค้ด จะถูกเก็บไว้จนกระทั่งระบบพร้อมที่จะรับค่าของสแกนโค้ดเข้าไป ภาวะ Buffer Overrun จะเกิดขึ้นเมื่อสแกนโค้ดเข้าไปหลายๆค่า ที่ถูกนำมาเก็บไว้ในบัฟเฟอร์มีขนาดเกิน 16 ไบต์ โดยที่ Overrun code จะถูกนำไปเก็บในไบต์ที่ 17 ถ้าคีย์บอร์ดยังถูกกดอีกค่าสแกนโค้ดที่เพิ่มขึ้นมาก็จะสูญหายไป เมื่อคีย์บอร์ดได้รับสัญญาณที่ให้ส่งค่าสแกนโค้ดในบัฟเฟอร์ไปสู่ระบบ ค่าสแกนโค้ดก็จะถูกส่งออกไปส่วนค่าข้อมูลใหม่ก็จะเข้ามาในบัฟเฟอร์ทุกครั้งที่มีการกด การกดคีย์ค้างเอาไว้จะทำให้เกิดค่าสแกนโค้ดแบบต่อเนื่องซึ่งอาจจะทำให้เกิดการ โอเวอร์รัน (overrun) ได้

คีย์กเว้นคีย์ “PAUSE” คีย์ทุกครั้งจะมีค่ารหัสสองค่าคือ ค่าเมคโค้ด (Make code) และค่าเบรคโค้ด (Break code) ค่าเมคโค้ดจะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ของคีย์บอร์ดเมื่อคีย์ถูกกดและค่าเบรคโค้ดจะส่งออกมาเมื่อมีการปล่อยคีย์บอร์ด

ค่าสแกนโค้ดที่ใช้ในคีย์บอร์ดจะมีอยู่ทั้งหมดสามเซตแต่ระบบจะกำหนดให้เซตที่สองเป็นเซตที่ถูกใช้ตามปกติ ดังนั้น จะกล่าวถึงเฉพาะเซตที่สองเท่านั้น ค่าสแกนโค้ดจะถูกกำหนดด้วยค่าสแกนโค้ดที่ถูกส่งออกไปเมื่อมีการกดคีย์ และค่าเบรคโค้ดซึ่งจะถูกส่งออกไปเมื่อมีการปล่อยคีย์ ค่าเบรคโค้ดจะประกอบด้วยข้อมูลขนาดสองไบต์ โดยไบต์แรกจะเป็นค่าเบรคโค้ดพรีฟิกซ์ (Break code prefix) ซึ่งมีค่าเท่ากับ FOH และไบต์ที่สองมีค่าเท่ากับค่าสแกนโค้ดของคีย์นั้นๆ ซึ่งค่าสแกนโค้ดของคีย์บอร์ดแต่ละตัวนั้นแสดงไว้ในตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 สแกนโค้ดของคีย์บอร์ด

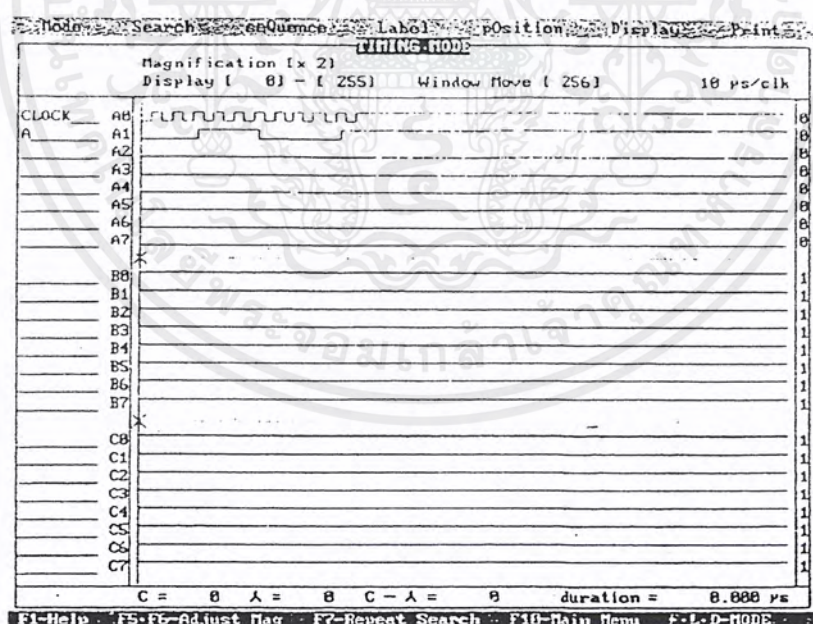
Key number	Make code	Break code	Key number	Make code	Break code
1	0E	F0 0E	47	22	F0 22
2	16	F0 16	48	21	F0 21
3	1E	F0 1E	49	2A	F0 2A
4	26	F0 26	50	32	F0 32
5	25	F0 25	51	31	F0 31
6	2E	F0 2E	52	3A	F0 3A
7	36	F0 36	53	41	F0 41
8	3D	F0 3D	54	49	F0 49
9	3E	F0 3E	55	4A	F0 4A
10	46	F0 46	57	59	F0 59
11	45	F0 45	58	14	F0 14
12	4E	F0 4E	60	11	F0 11
13	55	F0 55	61	29	F0 29
15	66	F0 66	62	E0 11	F0 E0 11
16	0D	F0 0D	64	E0 14	F0 E0 14
17	15	F0 15	90	77	F0 77
18	1D	F0 1D	91	6C	F0 6C
19	24	F0 24	92	68	F0 68
20	2D	F0 2D	93	69	F0 69
21	2C	F0 2C	96	75	F0 75
22	35	F0 35	97	73	F0 73
23	3C	F0 3C	98	72	F0 72
24	43	F0 43	99	70	F0 70
25	44	F0 44	100	7C	F0 7C
26	4D	F0 4D	101	7D	F0 7D
27	54	F0 54	102	74	F0 74
28	5B	F0 5B	103	7A	F0 7A
29	5D	F0 5D	104	71	F0 71
30	58	F0 58	105	7B	F0 7B
31	1C	F0 1C	106	79	F0 79
32	1B	F0 1B	108	E0 5A	F0 E0 5A
33	23	F0 23	110	76	F0 76
34	2B	F0 2B	112	05	F0 05
35	34	F0 34	113	06	F0 06
36	33	F0 33	114	04	F0 04
37	3B	F0 3B	115	0C	F0 0C
38	42	F0 42	116	03	F0 03
39	4B	F0 4B	117	0B	F0 0B
40	4C	F0 4C	118	83	F0 83
41	52	F0 52	119	0A	F0 0A
42	5D	F0 5D	120	01	F0 01
43	5A	F0 5A	121	09	F0 09
44	12	F0 12	122	78	F0 78
45	61	F0 61	123	07	F0 07
46	1A	F0 1A	125	7E	F0 7E

2.10.2 สัญญาณนาฬิกาและสัญญาณข้อมูลของคีย์บอร์ด

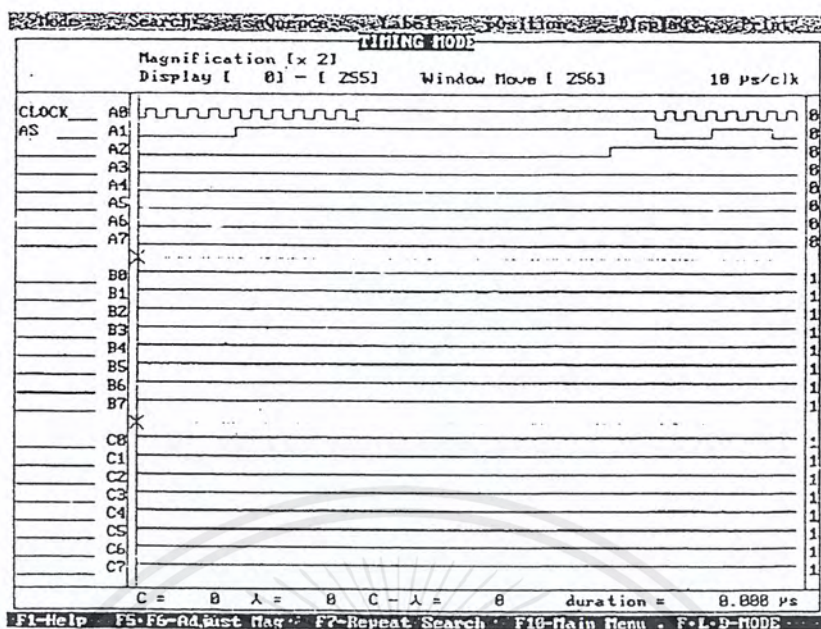
คีย์บอร์ดและระบบจะติดต่อสื่อสารผ่านสายสัญญาณนาฬิกาและสายสัญญาณข้อมูล ซึ่งที่ต้นสายเหล่านี้จะเป็นอุปกรณ์ประเภทโอเพ่นคอลเลคเตอร์ (Open collector) ในขณะที่คีย์บอร์ดยังไม่มีการติดต่อสื่อสารผ่านระบบ สายสัญญาณนาฬิกาและสายสัญญาณข้อมูลจะมีสถานะเป็นแอคทีฟ (Active Level) โดยสถานะแอคทีฟจะมีค่าศักดาอย่างน้อยสุด +2.4 โวลต์ แต่จะไม่มากกว่า +5.5 โวลต์ และมีลอจิกเป็น 1 โดยที่ศักดาจะวัดระหว่างจุดกำเนิดสัญญาณและกราวด์ ส่วนสถานะอินแอคทีฟ (Inactive Level) จะมีค่าอย่างน้อยสุดเป็นศูนย์แต่จะไม่มากกว่า +0.7 โวลต์

เมื่อคีย์บอร์ดมีการรับหรือส่งข้อมูลกับระบบ คีย์บอร์ดจะสร้างสัญญาณนาฬิกาขึ้นมากับค่าข้อมูล ระบบสามารถป้องกันคีย์บอร์ดจากการส่งค่าข้อมูลโดยการป้อนค่าให้สัญญาณนาฬิกามีค่าเป็นลอจิกศูนย์ซึ่งในช่วงนี้ค่าสัญญาณข้อมูลจะมีค่าหนึ่งหรือศูนย์ก็ได้

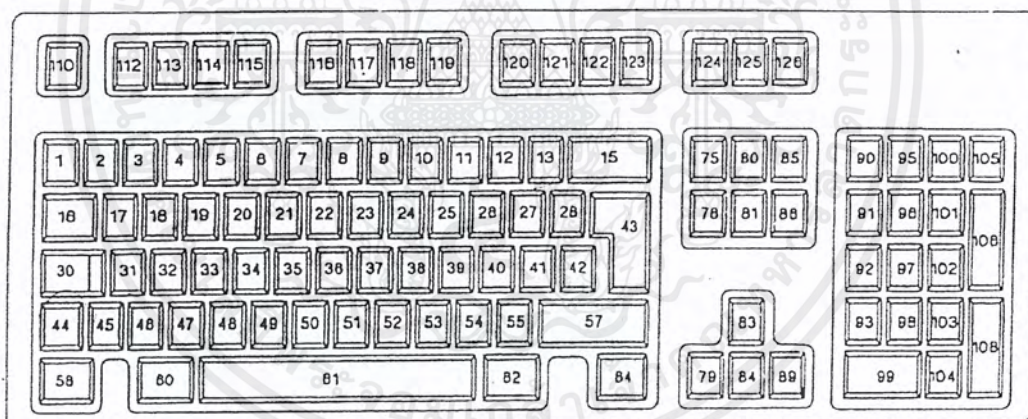
ในการส่งข้อมูลของคีย์บอร์ด จะส่งสัญญาณข้อมูลออกมาพร้อมๆ กับสัญญาณนาฬิกา โดยสัญญาณนาฬิกาจะซิงโครไนซ์กับสัญญาณข้อมูล โดยสัญญาณข้อมูลจะถูกส่งออกมาแบบอนุกรมซึ่งประกอบด้วยเมกโค้ดและเบรกโค้ด เช่น กดคีย์อักษร “A” คีย์บอร์ดก็จะทำการส่งเมกโค้ดออกมาคือ 1C และเมื่อปล่อยคีย์ คีย์บอร์ดก็จะส่งเบรกโค้ดออกมาคือ F0 1C โดยรูปแบบการส่งสแกนโค้ดของคีย์บอร์ดจะประกอบด้วยจำนวนบิตทั้งหมด 11 บิต คือ start bit, 8 bits scan code, parity bit และ stop bit ซึ่งตัวอย่างสัญญาณที่ได้แสดงดังรูป 2.29



รูปที่ 2.29 ภาพของสัญญาณเอาต์พุตของคีย์บอร์ด (Make Code) เมื่อกดคีย์ “A”



รูปที่ 2.30 ภาพของสัญญาณเอาต์พุตของคีย์บอร์ด (Brake Code) เมื่อกดคีย์ "A"



รูปที่ 2.31 ค่าตำแหน่งของคีย์บอร์ด

2.11 LCD (Liquid Crystal Display)

LCD ที่นิยมนำมาใช้งานนั้นพอจะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. Character LCD Module
2. Graphic LCD Module

โดยองค์ประกอบสำคัญของ LCD ทั้ง 2 ประเภท ก็จะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนด้วยกัน โดยส่วนแรกก็คือ **Dot Metrix Display** จะเป็นลักษณะของชั้นของผลึกแก้วที่มีสารซึ่งเป็นของเหลวพิเศษ

อยู่ระหว่างชั้นผลึก โดยจะถูกแบ่งแยกออกเป็น Dot เล็กๆ จำนวนมากเรียกว่า Dot Matrix Display ของเหลวที่ว่่านีจะมีคุณสมบัติทึบแสง เมื่อมีแรงดันตกคร่อมตัวมันหรือ Dot นั้นๆ จากคุณสมบัตินี้จึงถูกนำมาใช้ในการแสดงผลและส่วนที่สองคือส่วนของ **Driver** ที่ใช้ในการขับ Dot Matrix Display ให้ทึบแสงหรือโปร่งแสงตามสัญญาณที่ได้รับมาจากส่วนที่สามคือส่วนของ **Controller** ซึ่งเป็นหัวใจหลักในการควบคุมการทำงานที่มาจากส่วนต่างๆ รวมกัน ทั้งหมดจึงถูกเรียกว่า LCD Module โดยบางรุ่นอาจจะมีส่วนของแหล่งกำเนิดแสงสว่างที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแสดงผล หรือที่เรียกกันว่าแบ็กไลท์ (backlight) เป็นอุปกรณ์เพิ่มเติมขึ้นมา

โดยในการใช้งาน LCD Module นั้น ไม่ว่าจะเป็นประเภทใด จำเป็นที่จะต้องศึกษาหรือเข้าใจการทำงานของอุปกรณ์ควบคุม LCD Module ซึ่งก็คือส่วนของ Controller นั้นเอง โดย Controller ที่จะกล่าวถึงนี่จะเป็น IC เบอร์ HD 44780 ของบริษัท HITACHI Semiconductor เป็นส่วนควบคุมการแสดงผลให้กับ LCD Module

ตารางที่ 2.13 ตำแหน่งขาต่างๆ ที่ใช้เชื่อมต่อกับ LCD

ขา	สัญลักษณ์	ฟังก์ชัน
1	GND	กราวด์
2	Vcc	+5 โวลต์
3	Vo	ปรับความเข้มด้วยแรงดัน (0-5 โวลต์)
4	RS	เลือกรีจิสเตอร์ (0=รีจิสเตอร์คำสั่งหรือแฟลกแสดงสถานะการทำงานและตัวนับแอดเดรส; 1=รีจิสเตอร์ค่าคำ)
5	R/W	เลือกการอ่านหรือเขียน (0= เขียน; 1=อ่าน)
6	E	อินาเบิลการอ่านหรือเขียน LCD
7	D0	ค่าอินพุต/เอาต์พุตบิตต่ำสุด
8	D1	ค่าอินพุต/เอาต์พุตบิตที่ 2
9	D2	ค่าอินพุต/เอาต์พุตบิตที่ 3
10	D3	ค่าอินพุต/เอาต์พุตบิตที่ 4
11	D4	ค่าอินพุต/เอาต์พุตบิตที่ 5
12	D5	ค่าอินพุต/เอาต์พุตบิตที่ 6
13	D6	ค่าอินพุต/เอาต์พุตบิตที่ 7
14	D7	ค่าอินพุต/เอาต์พุตบิตสูงสุด

IC HD 44780 นั้นจะประกอบด้วยหน่วยความจำภายในตัว 2 ชนิดคือ

1. Character Generator Rom หรือ (CGROM)
2. Character Generator Ram หรือ (CGRAM)

โดย CGROM นั้นจะถูกทางบริษัทผู้ผลิตโปรแกรมสัญลักษณ์ตัวอักษรที่เป็นมาตรฐานเอาไว้ภายใน เช่น ภาษาอังกฤษ, ตัวเลข, สัญลักษณ์มาตรฐานต่างๆ เอาไว้เป็นที่ทราบกันแล้วว่า ROM ที่เกิดจากการโปรแกรมจากทางบริษัทผู้ผลิตนั้น ไม่สามารถที่จะทำการแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงใดๆ ได้

ในส่วน CGRAM นั้นจะเป็นส่วนที่สามารถทำให้ผู้ใช้ทำการเขียนโปรแกรมควบคุมและสร้างสัญลักษณ์ต่างๆ ลงไปได้ตามความต้องการ แต่จะสูญหายไปเมื่อไม่มีการจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ LCD ซึ่งการใช้งาน CGRAM นี้จะต้องมีการเรียกข้อมูลขึ้นมาใหม่ทุกครั้งเมื่อมีการจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ LCD (Power On)

สุดท้ายที่จะต้องคำนึงถึงเสมอเมื่อมีการใช้งาน LCD โมดูล โดยในที่นี้จะกล่าวถึงการใช้อ IC HD 44780 เป็นคอนโทรลเลอร์ โดยการส่งข้อมูลหรือคำสั่งต่างๆ ไปยังตัวคอนโทรลเลอร์จะกระทำได้อีกเมื่อคอนโทรลเลอร์ได้ทำคำสั่งก่อนหน้านี้เสร็จสิ้นแล้วเท่านั้น จึงจะรับข้อมูลหรือคำสั่งใหม่ที่ส่งมาต่อไป ซึ่งเราจะสามารถตรวจสอบหรือทราบได้ว่าตัวคอนโทรลเลอร์พร้อมที่จะรับข้อมูลหรือคำสั่งได้ 2 วิธี

1. ใช้การตรวจเช็คแฟล็กว้าง (BF) ของคอนโทรลเลอร์

โดยวิธีนี้มีข้อเสียคือ เมื่อใช้งานกับ MCU ที่มีความเร็วมากๆ จะเกิดการผิดพลาดขึ้นในการตรวจเช็ค และขึ้นคอนในการเขียนโปรแกรมการตรวจเช็คก็ค่อนข้างยุ่งยาก แต่มีความแน่นอนสูงในการทำงาน

2. ใช้การหน่วงเวลา

โดยวิธีนี้เนื่องจากคอนโทรลเลอร์จะใช้เวลาในการรับคำสั่งและประมวลผลมีค่าเวลาประมาณไม่เกิน 2 ms (ที่ความถี่ 270 KHz ซึ่งเป็นฐานเวลาภายในตัวคอนโทรลเลอร์) ซึ่งเป็นค่าเวลาสูงสุดในการทำงานของ Controller ต่อ 1 คำสั่ง ฉะนั้นเมื่อมีการหน่วงเวลาที่ครอบคลุมช่วงเวลานี้แล้วละก็ จะไม่เกิดการผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลหรือคำสั่งไปยังคอนโทรลเลอร์เลย วิธีนี้จึงเป็นที่นิยมใช้กันมากเนื่องจากเขียนโปรแกรมการใช้งานได้ง่ายกว่าวิธีแรกนั่นเอง

การจัดตำแหน่งการใช้งานบนหน้าจอ LCD โมดูล ที่เรามองเห็น โดยการจัดตำแหน่งที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นของ LDC โมดูล ชนิด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด ซึ่งประโยชน์ของตำแหน่งต่างๆ เหล่านี้จะช่วยให้เราสามารถสั่งให้แสดงสัญลักษณ์หรือตัวอักษรต่างๆ ที่เราต้องการ (ตัวอักษรและสัญลักษณ์ภายใน CGROM) ให้ไปแสดงบนหน้าจอแสดงผลของ LCD โมดูล โดยการใช้งาน LCD โมดูล นั้นผู้อ่านจำเป็นต้องทราบการจัดตำแหน่งของ LCD โมดูล ที่นำมาใช้งานด้วยเสมอ

รูปแบบการจัดหาแอดเดรส การแสดงผลของหน้าจอ LCD โมดูล ชนิด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด

80H	81H	82H	83H	84H	85H	86H	87H	88H	89H	8AH	8BH	8CH	8DH	8EH	8FH
C0H	C1H	C2H	C3H	C4H	C5H	C6H	C7H	C8H	C9H	CAH	CBH	CCH	CDH	CEH	CFH

รูปที่ 2.32 ตัวอย่างรูปแบบการจัดตำแหน่งการแสดงผลสำหรับ LCD โมดูล 16×2

รูปแบบการจัดตำแหน่งการแสดงผลข้างต้นแต่ละบริษัทแต่ละประเภท หรือรุ่นของ LCD โมดูล อาจจะไม่เหมือนกัน โดยรูปแบบการจัดตำแหน่งข้างต้นเป็นตัวอย่างรูปแบบของ LCD โมดูล 16×2 ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมาก และพบเห็นมากในท้องตลาด

รายละเอียดของคำสั่ง HD44780

1. CLEAR DISPLAY

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

รูปที่ 2.33 รูปแบบของคำสั่ง CLEAR DISPLAY

คำสั่งนี้จะเป็นการเขียนช่องว่างหรือ SPACE (ASCII 20H) เข้าไปใน DD RAM ทั้งหมด และทำการ SET DD RAM ADDRESSER ไปที่ตำแหน่งแรก ตัวเคอร์เซอร์ (CURSOR) จะกลับไปอยู่ตำแหน่งบนสุดซ้ายมือของจอภาพ SET I/D = 1, S ไม่มีการเปลี่ยน

2. RETURN HOME

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	*

* : No effect

รูปที่ 2.34 รูปแบบของคำสั่ง RETURN HOME

คำสั่งนี้จะทำการ SET DD RAM ADDRESSER ไปที่ตำแหน่งแรก ตัวเคอร์เซอร์จะกลับไปอยู่ตำแหน่งบนสุดซ้ายมือโดยข้อมูลบนจอภาพจะยังคงเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลง

3. ENTRY MODE SET

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S

รูปที่ 2.35 รูปแบบของคำสั่ง ENTRY MODE SET

บิต I/D : โดยจะเป็นตัวกำหนดให้ว่าเมื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลแล้วจะทำให้ DD RAM ADDRESS เพิ่มขึ้นหนึ่งหรือลดลงหนึ่งโดยอัตโนมัติ

I/D=1 จะเพิ่มค่า DD RAM ADDRESS

I/D=0 จะลดค่า DD RAM ADDRESS

บิต S : เป็นตัวกำหนดการแสดงผลโดย

S = 1 สามารถเลื่อนสัญลักษณ์ได้

S = 0 เคอร์เซอร์จะถูกเลื่อนไปทางขวาหลังจากการแสดงผลของสัญลักษณ์

4. DISPLAY ON/OFF CONTROL

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	1	D	C	B

รูปที่ 2.36 รูปแบบของคำสั่ง DISPLAY ON/OFF CONTROL

บิต D : เป็นบิตให้เปิดปิดหน้าจอภาพโดย

D = 1 จะเปิดหน้าจอภาพ

D = 0 จะปิดหน้าจอภาพ

บิต C : เป็นบิตควบคุมการแสดงผลเคอร์เซอร์โดย

C = 1 จะแสดงเคอร์เซอร์

C = 0 จะไม่แสดงเคอร์เซอร์

ตัว CURSOR จะอยู่ LINE ที่ 8 ในแบบ 5x7 DOT และจะอยู่ LINE ที่ 11 ในแบบ 5x10 DOT

บิต B : เป็นบิตควบคุมการกระพริบของเคอร์เซอร์

B = 1 เคอร์เซอร์กระพริบ (โดยมีระยะเวลาการกระพริบประมาณ 379.2 ms)

B = 0 เคอร์เซอร์ไม่กระพริบ

5. CURSOR OR DISPLAY SHIFT

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	S/C	R/L	*	*

* : No effect

รูปที่ 2.37 รูปแบบของคำสั่ง CURSOR OR DISPLAY SHIFT

เป็นคำสั่งกำหนดให้ตำแหน่งเคอร์เซอร์หรือข้อมูลไปเกิดทางซ้ายหรือขวาโดยไม่ต้องใช้คำสั่งเขียนหรืออ่านโดย

ตารางที่ 2.14 การทำงานของคำสั่ง CURSOR OR DISPLAY SHIFT

S/C	R/L	การทำงาน
0	0	ทำการเลื่อนเคอร์เซอร์ไปจากตำแหน่งเดิมไปซ้ายมือ 1 ตำแหน่ง
0	1	ทำการเลื่อนเคอร์เซอร์ไปจากตำแหน่งเดิมไปขวามือ 1 ตำแหน่ง
1	0	ทำการเลื่อนสัญลักษณ์พร้อมทั้งเคอร์เซอร์ไปจากตำแหน่งเดิมไปซ้ายมือ 1 ตำแหน่ง
1	1	ทำการเลื่อนสัญลักษณ์พร้อมทั้งเคอร์เซอร์ไปจากตำแหน่งเดิมไปขวามือ 1 ตำแหน่ง

6. FUNCTION SET

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*
* : No effect									

รูปที่ 2.38 รูปแบบของคำสั่ง FUNCTION SET

บิต DL : เป็นการกำหนดโหมดอินเตอร์เฟซ

DL = 1 โหมดอินเตอร์เฟซแบบ 8 บิต

DL = 0 โหมดอินเตอร์เฟซแบบ 4 บิต

บิต N : เป็นการกำหนดจำนวนบรรทัดที่แสดงผล

N = 1 แสดง 2 บรรทัด (ในกรณีมากกว่า 2 บรรทัด ก็ให้ SET N = 1 เช่นกัน)

N = 0 แสดง 1 บรรทัด

บิต F : เป็นการกำหนดขนาดความละเอียดในการแสดงผล

F = 1 แสดงผลในโหมดความละเอียด 5x10 จุด

F = 0 แสดงผลในโหมดความละเอียด 5x7 จุด

ตารางที่ 2.15 การทำงานของคำสั่ง FUNCTION SET

N	F	จำนวนบรรทัด	ขนาดตัวอักษร	Duty factor	หมายเหตุ
0	0	1	5 × 7 จุด	1/8	-
0	1	1	5 × 10 จุด	1/11	-
1	*	2	5 × 7 จุด	1/16	ไม่สามารถแสดงตัวอักษรขนาด 5 × 10 จุด ที่จำนวนบรรทัดเท่ากับ 2

* : No effect

7. SET CG RAM ADDRESS

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	1	A _{CG}	A _{CG}	A _{CG}	A _{CG}	A _{CG}	A _{CG}

รูปที่ 2.39 รูปแบบของคำสั่ง SET CG RAM ADDRESS

ใน HD44780 นั้นจะมีหน่วยความจำอยู่ 2 ชุด คือ DISPLAY DATA RAM (DD RAM) จำนวน 80x8 บิต และ CHARACTER GENERATOR RAM (CG RAM) จำนวน 512 บิต และ 7200 บิต คำสั่งนี้จะเป็นการกำหนดแอดเดรสใน CG RAM โดยต้องทำการกำหนดแอดเดรสก่อนเขียนหรืออ่านข้อมูลจาก CG RAM ด้วย

8. SET DD RAM ADDRESS

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	1	A _{DD}	A _{DD}	A _{DD}	A _{DD}	A _{DD}	A _{DD}	A _{DD}

รูปที่ 2.40 รูปแบบของคำสั่ง SET DD RAM ADDRESS

เป็นคำสั่งกำหนดค่าแอดเดรสใน DD RAM ในการเขียนหรืออ่านค่าจาก DD RAM (DD RAM คือส่วนที่จะแสดงผลหน้าจอ LCD) โดยจำนวนแอดเดรสที่จะเกิดขึ้นบนจอ LCD จะอยู่กับกำหนดค่า N ด้วย

N = 1 (2 บรรทัด) แอดเดรสจะอยู่ที่ 80H-8FH สำหรับบรรทัดที่ 1 และ C0H-CFH สำหรับบรรทัดที่ 2

N = 0 (1 บรรทัด) แอดเดรสจะอยู่ที่ 80H-8FH

9. READ BUSY FLAG AND ADDRESS

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	1	BF	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC

รูปที่ 2.41 รูปแบบของคำสั่ง READ BUSY FLAG AND ADDRESS

คำสั่งนี้ใช้เมื่อต้องการตรวจสอบสถานะการทำงานของ LCD โมดูล โดยการเช็คสถานะของบิต BF (Busy Flag) โดย

BF = 1 LCD โมดูลยังไม่พร้อมที่จะรับข้อมูลชุดต่อไป เนื่องจากการประมวลผลในคำสั่งที่ผ่านมา ยังไม่เสร็จสิ้น

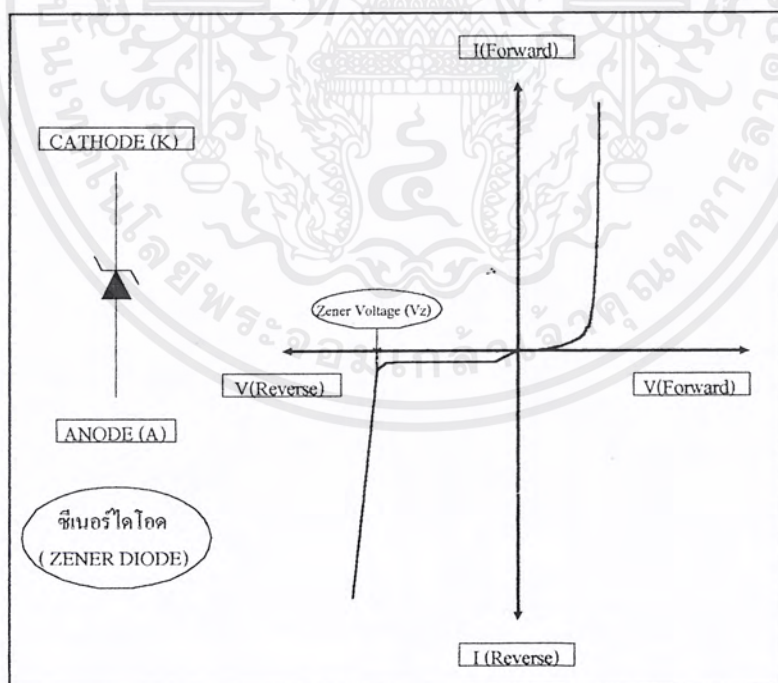
BF = 0 LCD โมดูลพร้อมที่จะรับคำสั่งใหม่หรือชุดข้อมูลใหม่ได้แล้ว

2.12 ซีเนอร์ไดโอด (ZENER DIODE)

ซีเนอร์ไดโอดเป็นไดโอดชนิดพิเศษที่แตกต่างจากไดโอดธรรมดาตรงที่ขณะทำการไบแอสย้อนกลับ (Reverse Bias) ให้แก่ซีเนอร์ไดโอดจนถึงค่าแรงดันซีเนอร์ (Zener Voltage; V_z) จะทำให้มีกระแสย้อนกลับ (Reverse Current) ไหลผ่านรอยต่อพี-เอ็น (P-N Junction) จากขั้วแคโทดไปยังขั้วแอโนดและมีระดับแรงดันตกคร่อมไดโอดที่คงที่ (ประมาณเท่ากับแรงดันซีเนอร์) ซึ่งคุณสมบัติประการนี้เองที่ทำให้สามารถนำซีเนอร์ไดโอดไปใช้ในวงจรรักษาระดับแรงดันให้คงที่ (Zener Regulated Power Supply) ได้

การผลิตซีเนอร์ไดโอดให้มีแรงดันซีเนอร์ค่าต่างๆ จะใช้กรรมวิธีการเติมสารเจือ (Dopping) โดยถ้าต้องการแรงดันซีเนอร์ต่ำ ก็จะเติมสารเจือจำนวนมาก และถ้าต้องการแรงดันซีเนอร์สูง ก็จะเติมสารเจือเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งโดยทั่วไปซีเนอร์ไดโอดจะมีค่าแรงดันซีเนอร์ที่ใช้งานได้ดีในช่วง 2.4 ถึง 200 โวลต์ ความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$ ถึง $\pm 20\%$ ทนกำลังได้ตั้งแต่ 0.25 ถึง 50 วัตต์

สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของซีเนอร์ไดโอดและกราฟคุณสมบัติ (Characteristic Curve) ของซีเนอร์ไดโอดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.42



รูปที่ 2.42 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าและกราฟคุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอด

โดยทั่วไปซีเนอร์ไดโอดจะรักษาระดับแรงดันคร่อมตัวมันให้คงที่เท่ากับแรงดันซีเนอร์ได้ (กรณีไบแอสย้อนกลับ) ถ้าปริมาณกระแสย้อนกลับ (I_z) มีค่าไม่เกินค่าพิกัดกระแสย้อนกลับสูงสุดของ ซีเนอร์ไดโอด (I_{zm}) ซึ่งจะระบุอยู่ในเอกสารข้อมูล (Data Sheet) ของซีเนอร์ไดโอดแต่ละเบอร์ แต่หลังจากค่ากระแสย้อนกลับที่ไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดมีค่าเกินค่าพิกัดกระแสย้อนกลับสูงสุดของซีเนอร์ไดโอดแล้ว จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมซีเนอร์ไดโอดมีค่าไม่คงที่ (โดยทั่วไปจะมีค่ามากกว่าแรงดันซีเนอร์) ซึ่งอาจทำให้ซีเนอร์ไดโอดเสียหายได้



บทที่ 3

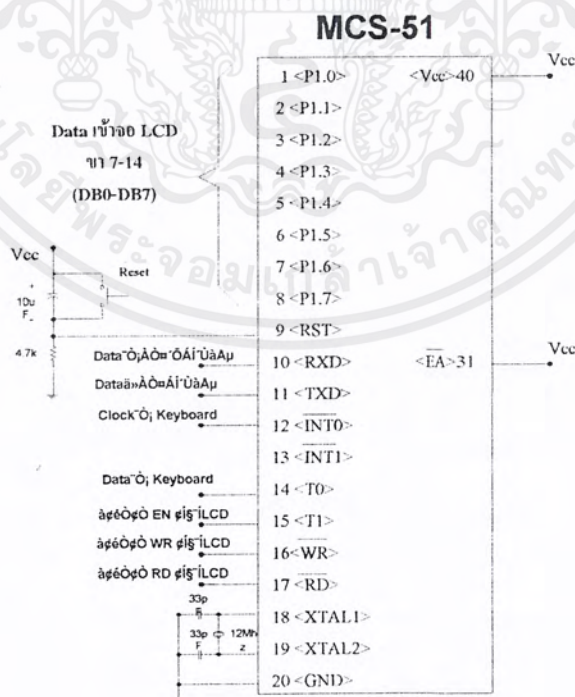
การคำนวณและการสร้าง

3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

3.1.1 หน้าที่หลักของ MCS-51

ในโครงงานนี้ MCS-51 จะมีหน้าที่หลักอยู่ 2 ประการคือ

1. การส่งข้อมูลจากคีย์บอร์ดซึ่งต่อเข้ากับพอร์ต 3.5 (ขาที่ 14) ของ MCS-51 ไปยังปลายทาง MCS-51 จะทำการรับค่าเมคไค์ดจากคีย์บอร์ดมาประมวลผลและแสดงผลที่จอ LCD (ซึ่งต่อขาเข้าเข้ากับพอร์ต 1 ของ MCS-51) บรรทัดบน และ ส่งเมคไค์ดชุดเดียวกันนี้ผ่านพอร์ตอนุกรม (TXD) (ซึ่งจะใช้การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมในโหมด 1 ด้วยอัตราบอด 300 Bps) ไปยังภาคมอดูเลตสัญญาณแบบ เอฟ เอส เค เพื่อแปลงสัญญาณดิจิทัลที่ออกจาก MCS-51 ให้เป็นสัญญาณอนาลอกก่อนที่จะส่งข้อมูลผ่านสายโทรศัพท์ไปยังผู้รับที่ปลายทาง โดยในการรับค่าจากคีย์บอร์ดนั้นจะใช้สัญญาณคล็อกจากคีย์บอร์ดซึ่งต่ออยู่กับขา INT0 (ขาที่ 12) เป็นสัญญาณอินเตอร์รัปต์ภายนอกชนิดที่ 0 เพื่อให้ MCS-51 ทำการรับค่าเมคไค์ดจากคีย์บอร์ด
2. การรับข้อมูลจากพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม MCS-51 ทางด้านปลายทางจะทำการรรับค่าเมคไค์ดที่ส่งมาจากต้นทางผ่านทางพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม (RXD) เพื่อไปแสดงผลที่จอ LCD บรรทัดล่าง ซึ่งการต่อวงจรจะเป็นดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

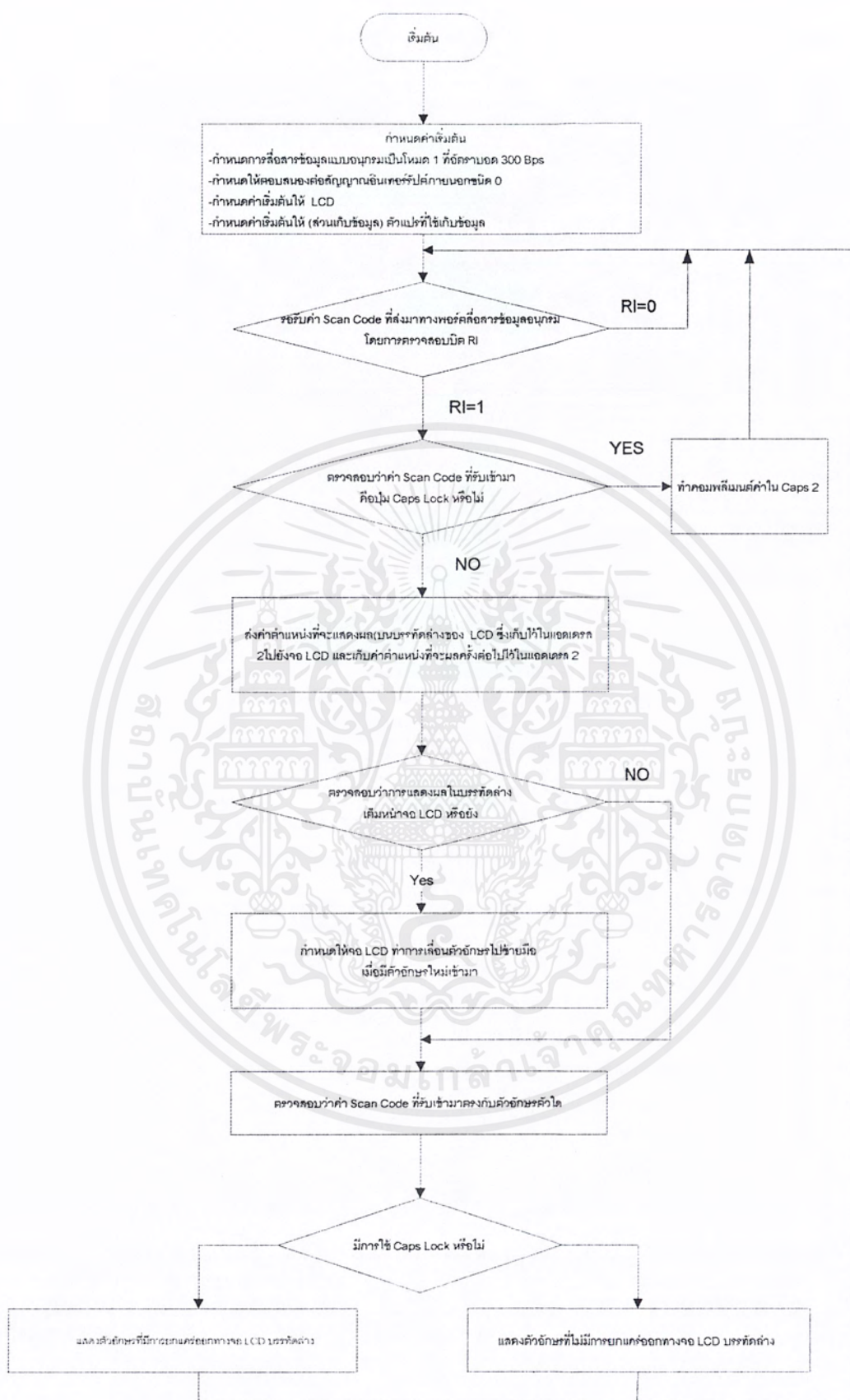
3.1.2 แผนผังการทำงานของ MCS-51

แผนผังการทำงาน (Flow Chart) ของ MCS-51 จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

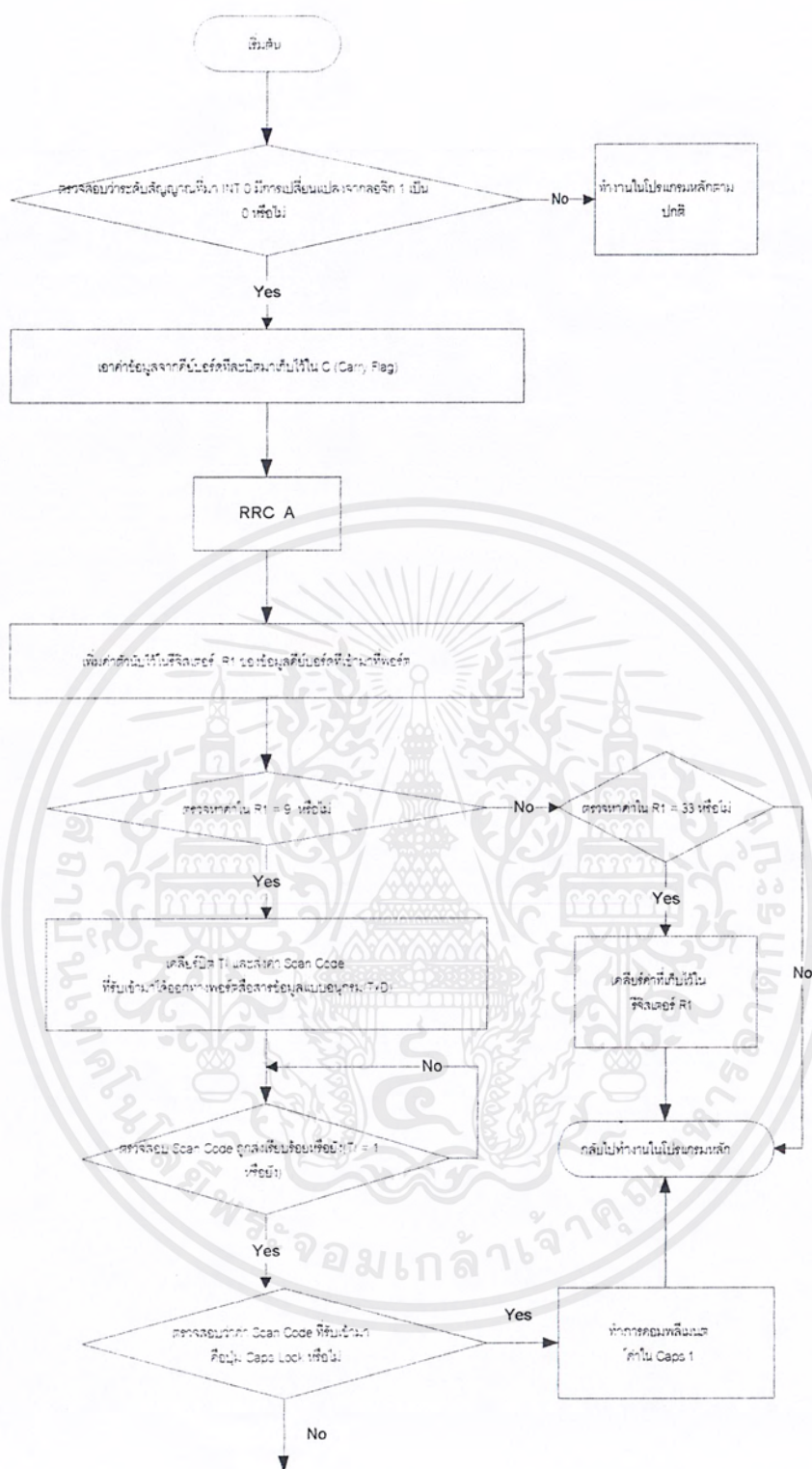
1. โปรแกรมหลัก ซึ่งจะใช้สำหรับการกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆ ให้กับ MCS-51 และอุปกรณ์ที่ต่อใช้งานร่วมกับ MCS-51 และรอรับค่าเมคโค๊ดที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมของ MCS-51 จากคันทาง (ด้านส่ง) เพื่อมาแสดงผลที่จอ LCD บรรทัดล่างของด้านปลายทาง (ด้านรับ) ซึ่งมีแผนผังการทำงานดังรูปที่ 3.2

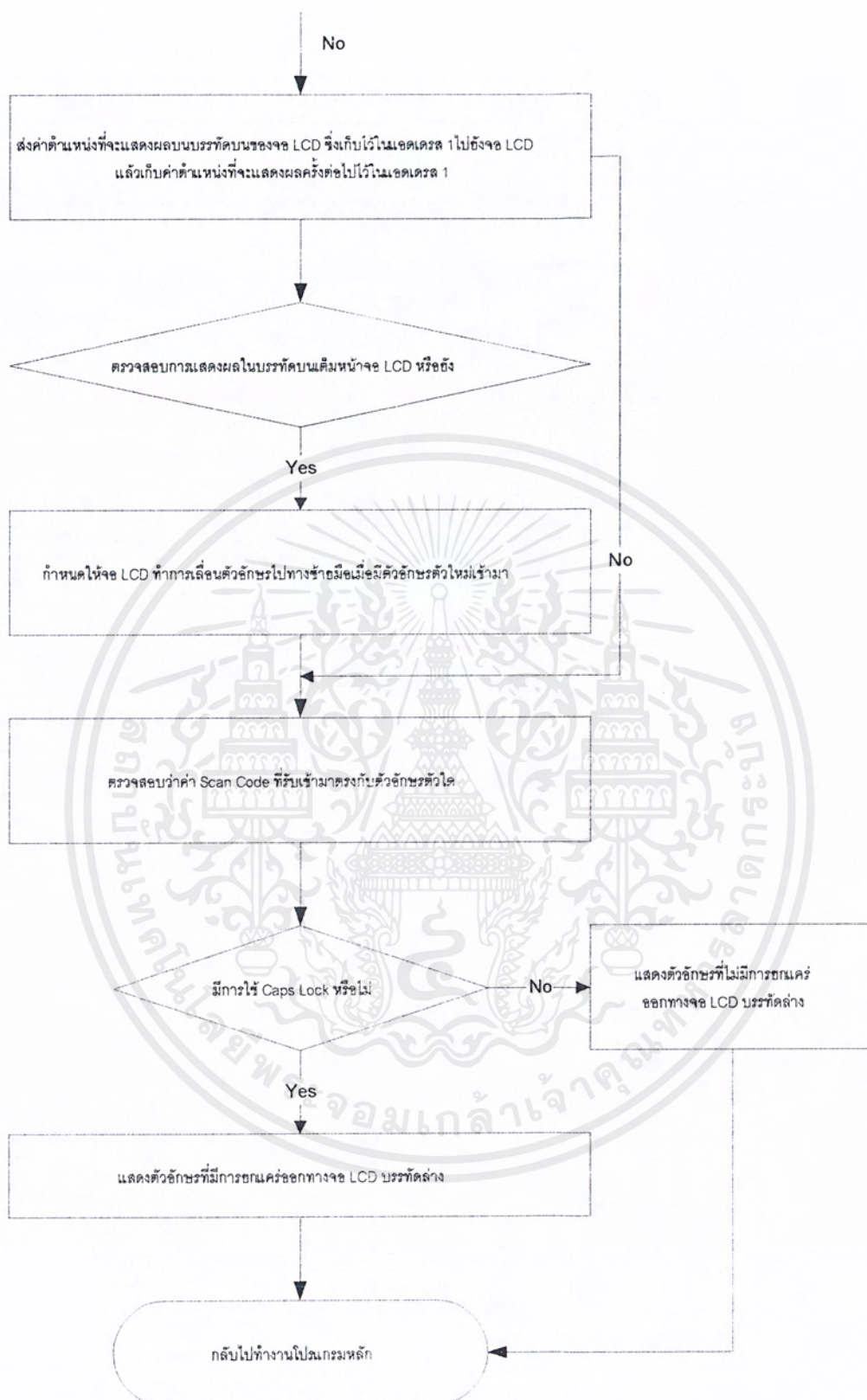
2. โปรแกรมย่อย ซึ่งใช้การอินเทอร์รัปต์ภายนอกชนิดที่ 0 จากสัญญาณคล็อกของคีย์บอร์ด สำหรับการรับค่าเมคโค๊ดของคีย์บอร์ด เพื่อมาแสดงผลที่จอ LCD บรรทัดบนของด้านคันทาง (ด้านส่ง) และส่งค่าเมคโค๊ดที่ได้นี้ผ่านพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมของ MCS-51 ไปยังปลายทาง (ด้านรับ) ซึ่งมีแผนผังการทำงานดังรูปที่ 3.3





รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของโปรแกรมหลัก





รูปที่ 3.3 แผนผังการทำงานของโปรแกรมย่อย

จากแผนผังการทำงานของโปรแกรมข้างต้น เราสามารถหาค่าที่ต้องโหลดไปไว้ยังรีจิสเตอร์ TH1 เพื่อให้ได้อัตราบอดในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมโหมด 1 มีค่าเท่ากับ 300 Bps ได้จากสมการที่ 2.68 ในบทที่ 2 โดยกำหนดให้ความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้มีค่าเท่ากับ 12 MHz และ SMOD มีค่าเท่ากับ “0” ดังนี้

จากสมการที่ 2.68

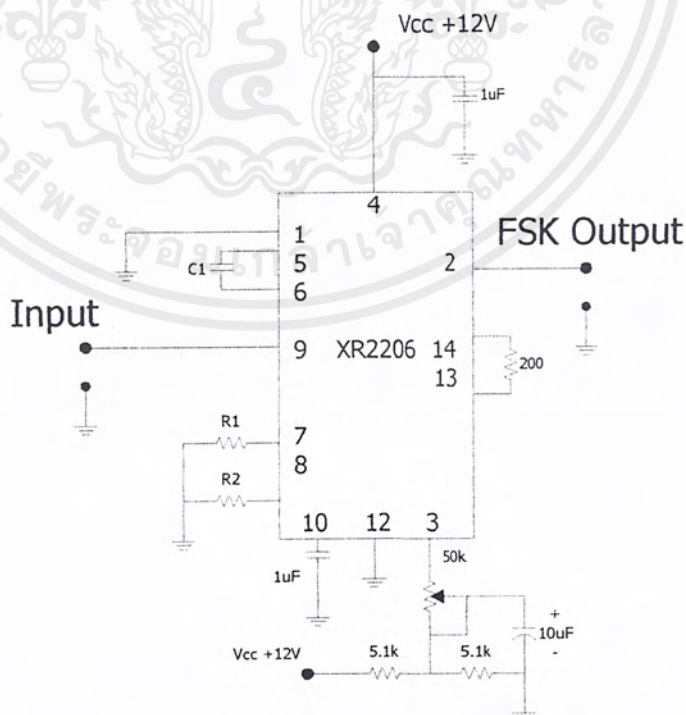
$$TH1 = 256 - \left[\frac{2^{SMOD} \times F_{osc}}{384 \times \text{Baud Rate}} \right] \quad 3.1$$

$$= 256 - \left[\frac{2^0 \times (12 \times 10^6)}{384 \times 300} \right]$$

$$\therefore TH1 \cong 152$$

ค่าของ TH1 ที่ได้จากสมการที่ 3.1 นั้น เป็นค่าในระบบเลขฐานสิบ ซึ่งเมื่อแปลงเป็นค่าในระบบเลขฐานสิบหกจะมีค่าเท่ากับ 98H ดังนั้น ในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมโหมด 1 ที่อัตราบอดมีค่าเท่ากับ 300 Bps จะต้องโหลดค่า 98H ให้กับ TH1

3.2 วงจรกำเนิดสัญญาณ เอฟ เอส เค (Sinusoidal FSK Generator)



รูปที่ 3.4 วงจร Sinusoidal FSK Generator

ไอซี XR-2206 ทำงานร่วมกับไทม์มิงรีจิสเตอร์ (Timing Register) R_1 และ R_2 ที่ต่อกับขา 7 และขา 8 ตามลำดับ ตัวต้านทานตัวใดทำงานจะขึ้นกับสัญญาณอินพุตที่เข้ามาจากขา 9

ถ้าอินพุตที่เข้ามาที่ขา 9 เป็นระดับแรงดันไฟกระแสตรง $V_{in} \geq 2V$ มีเพียง R_1 เท่านั้นที่ถูกกระตุ้น

ถ้าอินพุตที่เข้ามาที่ขา 9 เป็นระดับแรงดันไฟกระแสตรง $V_{in} \leq 2V$ มีเพียง R_2 เท่านั้นที่ถูกกระตุ้น

สัญญาณอินพุตที่ขา 9 มี 2 ระดับคือ $V_L = 0V$ และ $V_H = 5V$

ทางด้านส่ง

กรณีอินพุต $V_L = 0V$

$$f_1 = \frac{1}{R_1 C} \quad 3.2$$

กำหนดให้ผลิตชาชน์เวฟความถี่ 1,270 Hz และ $C = 0.01 \mu F$

$$R_1 = \frac{1}{1270 \times 0.01 \times 10^{-6}}$$

$$\therefore R_1 = 78.74 k\Omega$$

กรณีอินพุต $V_H = 5V$

$$f_2 = \frac{1}{R_2 C} \quad 3.3$$

กำหนดให้ผลิตชาชน์เวฟความถี่ 1,070 Hz และ $C = 0.01 \mu F$

$$R_2 = \frac{1}{1070 \times 0.01 \times 10^{-6}}$$

$$\therefore R_2 = 93.46 k\Omega$$

ทางด้านรับ

กรณีอินพุต $V_L = 0V$ จากสมการที่ 3.2

$$f_1 = \frac{1}{R_1 C}$$

กำหนดให้ผลิตชาชน์เวฟความถี่ 2,225 Hz และ $C = 0.01 \mu F$

$$R_1 = \frac{1}{2225 \times 0.01 \times 10^{-6}}$$

$$\therefore R_1 = 45 \text{ k}\Omega$$

กรณีอินพุต $V_{in} = 5 \text{ V}$ จากสมการที่ 3.3

$$f_2 = \frac{1}{R_2 C}$$

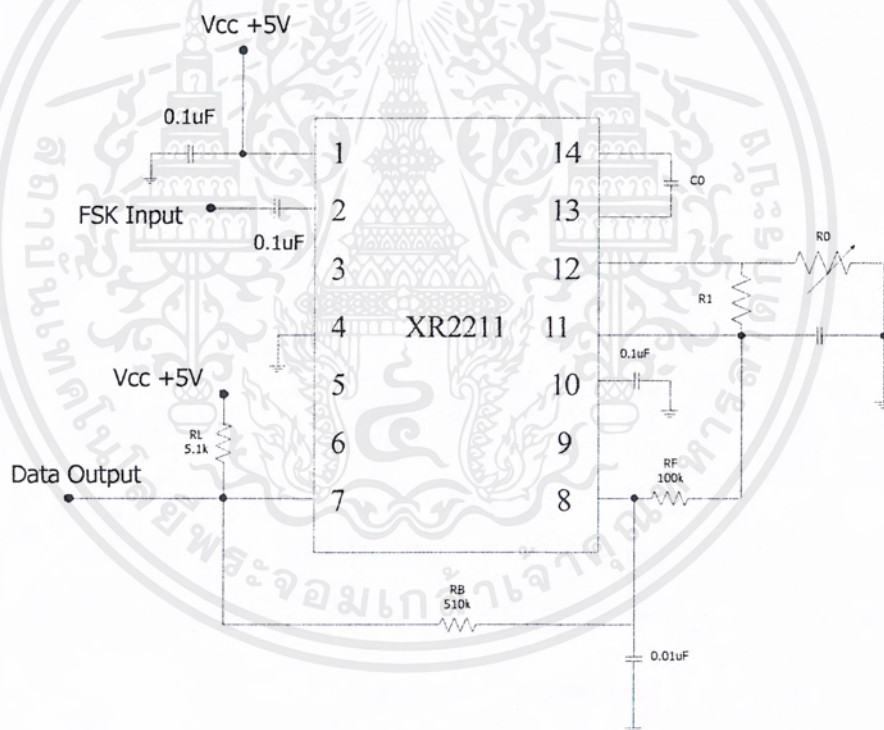
กำหนดให้ผลิตชาวน์แวลความถี่ $2,025 \text{ Hz}$ และ $C = 0.01 \mu\text{F}$

$$R_2 = \frac{1}{2025 \times 0.01 \times 10^{-6}}$$

$$\therefore R_2 = 49.38 \text{ k}\Omega$$

3.3 วงจร เอฟ เอส เค ดีมอดคูเลชัน

ไอซีที่ใช้สำหรับวงจรนี้คือ ไอซี XR-2211 แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรเอฟเอสเคดีมอดคูเลชันโดยใช้ไอซี XR-2211

จากวงจรเอฟเอสเคดีมอดคูเลเตอร์ ในรูปที่ 3.5

ทางด้านส่ง

สามารถคำนวณหาค่าความถี่กลางของ PLL

จาก

$$f_o = \frac{f_1 + f_2}{2} \quad 3.4$$

$$= \frac{1270 + 1070}{2} \text{ Hz}$$

$$\therefore f_o = 1,170 \text{ Hz}$$

จาก

$$f_o = \frac{1}{R_o C_o} \quad 3.5$$

ให้ $C_o = 0.047 \mu\text{F}$

$$\therefore R_o \cong 18.1 \text{ k}\Omega$$

คำนวณหาค่า R_1 จาก

$$R_1 = R_o \frac{f}{f_1 - f_2} \quad 3.6$$

$$= 18.1 \text{ k} \times \frac{1170}{1270 - 1070}$$

$$\therefore R_1 = 106 \text{ k}\Omega$$

คำนวณหาค่า C_1 จาก

$$C_1 = C_o/4 \quad 3.7$$

$$= 0.047/4$$

$$\therefore C_1 = 0.018 \mu\text{F} : \text{กรณี } \xi = 1/2$$

คำนวณหาค่า C_F จาก

$$C_F = \frac{3}{\text{อัตราขยาย}} \quad 3.8$$

$$= \frac{3}{300}$$

$$\therefore C_F = 0.01 \mu\text{F} : \text{กรณี } R_F = 100 \text{ k}\Omega \quad R_B = 510 \text{ k}\Omega$$

ทางด้านรับ

สามารถคำนวณหาค่าความถี่กลางของ PLL

จากสมการที่ 3.4

$$f_o = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

$$= \frac{2225 + 2025}{2} \text{ Hz}$$

$$\therefore f_o = 2,125 \text{ Hz}$$

จากสมการที่ 3.5

$$f_o = \frac{1}{R_o C_o}$$

ให้ $C_o = 0.033 \mu\text{F}$

$$\therefore R_o \cong 14.26 \text{ k}\Omega$$

คำนวณหาค่า R_1 จากสมการที่ 3.6

$$R_1 = R_o \frac{f}{f_1 - f_2}$$

$$= 14.26 \text{ k} \times \frac{2125}{2225 - 2025}$$

$$\therefore R_1 = 151 \text{ k}\Omega$$

คำนวณหาค่า C_1 จากสมการที่ 3.7

$$C_1 = C_o/4$$

$$= 0.033/4$$

$$\therefore C_1 = 0.008 \mu\text{F} : \text{กรณี } \xi = 1/2$$

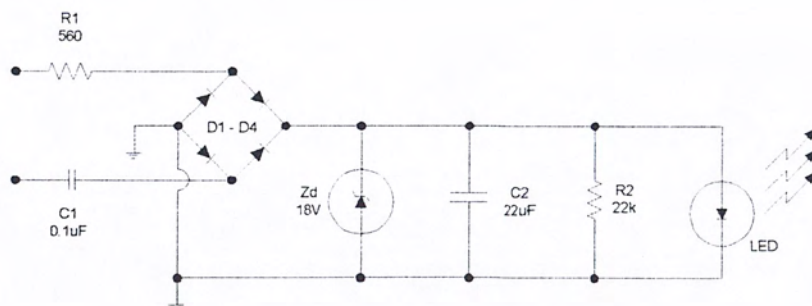
คำนวณหาค่า C_F จากสมการที่ 3.8

$$C_F = \frac{3}{\text{อัตราบิด}}$$

$$= \frac{3}{300}$$

$$\therefore C_F = 0.01 \mu\text{F} : \text{กรณี } R_F = 100 \text{ k}\Omega \quad R_B = 510 \text{ k}\Omega$$

3.4 วงจรตรวจสอบสัญญาณเรียกเข้า (RINGING TONE DETECTOR CIRCUIT)

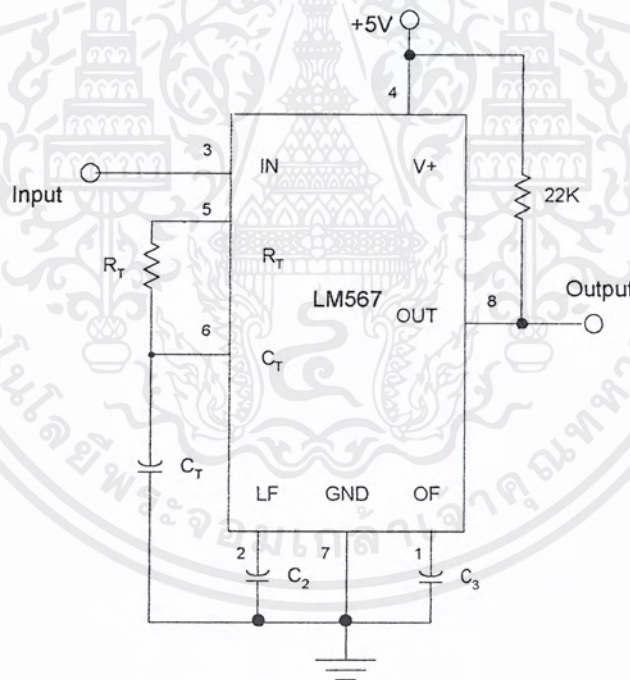


รูปที่ 3.6 วงจรตรวจสอบสัญญาณเรียกเข้า

จากรูปที่ 3.6 เป็นวงจรตรวจสอบสัญญาณเรียกเข้า (Ringing tone detector circuit) ซึ่งสัญญาณเรียกเข้า (Ringing tone) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า สัญญาณกระดิ่ง สัญญาณเรียกเข้านี้จะมีขนาดของสัญญาณประมาณ 90 – 110 Vp-p มีความถี่ 25 Hz วงจรนี้จะทำการตรวจสอบสัญญาณกระดิ่งว่ามีสัญญาณกระดิ่งเข้ามาหรือไม่ แล้วจะแสดงผลออกมาทาง LED

การทำงานของวงจรเริ่มจากสัญญาณเสียงเรียกเข้าจากสายโทรศัพท์จะผ่านวงจรบริดจ์(Bridge Rectifier) ซึ่งประกอบด้วย ไดโอด D1-D4 สัญญาณเมื่อผ่านวงจรบริดจ์แล้วจะเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง ประมาณ 20 โวลต์ และจะรักษาระดับแรงดันให้คงที่ด้วยซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) ให้เหลือแรงดันประมาณ 18 โวลต์ และจะถูกลดแรงดันโดยตัวต้านทาน R3 เพื่อป้อนให้กับ LED เป็นส่วนแสดงผล ตัวต้านทาน R1 และตัวเก็บประจุ C1 จะเป็นตัว Coupling สัญญาณเรียกเข้า และจำกัดกระแสและแรงดันของสัญญาณเรียกเข้า ตัวต้านทาน R2 และ ตัวเก็บประจุ C2 ทำหน้าที่กรองสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นกระแสตรงที่เรียบยิ่งขึ้น แรงดันไฟตกคร่อม R2 จะถูกจ่ายให้กับ LED

3.5 ไอซี LM567



รูปที่ 3.7 วงจรตรวจจับความถี่โดยใช้ไอซี LM567

วงจรนี้ทำหน้าที่ตรวจสอบความถี่ที่เข้ามาว่าตรงกับค่าที่เราต้องการหรือไม่ ถ้าตรงจะให้เอาท์พุตเป็นระดับสัญญาณไฟตรง เป็น 0 โวลต์ ถ้าความถี่ที่เข้ามามีค่าไม่ตรงกับค่าที่ตั้งไว้ จะให้เอาท์พุตเป็นระดับสัญญาณไฟตรง เป็น 5 โวลต์ ซึ่งในโครงงานนี้ใช้ ไอซี LM567 ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับความถี่ โดยอาศัยการทำงานของ เฟสล็อกคัล

ซึ่งคุณสมบัติค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบ ในวงจร ไอซี LM567 กำหนดได้ดังนี้

$$f_{osc} = \frac{1}{1.4 R_T C_T} \quad 3.9$$

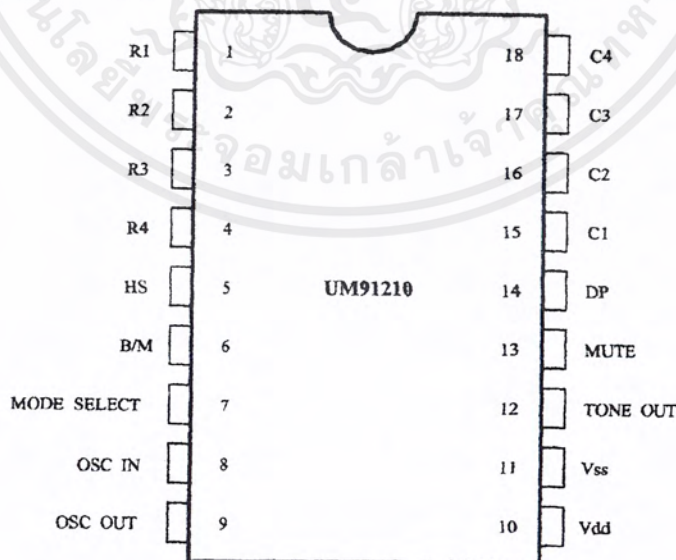
โดย R_T ควรจะมีค่าระหว่าง 2K-20K

$$C_2 \geq \frac{130}{f_{osc}} \text{ uF}$$

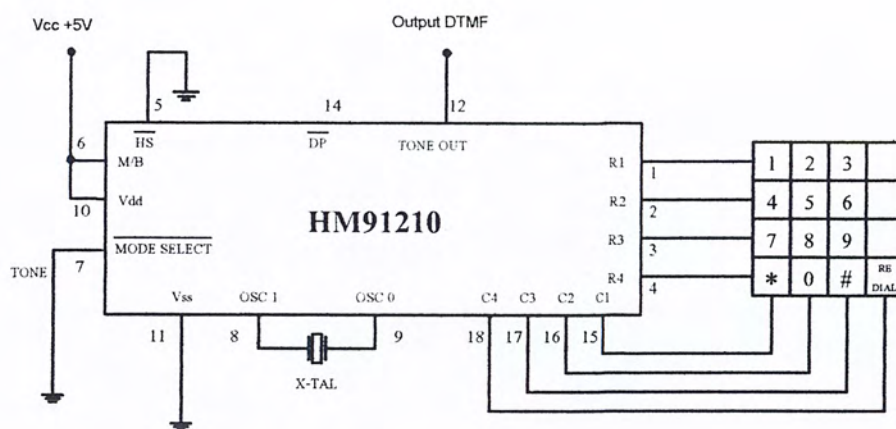
$$C_3 \geq \frac{260}{f_{osc}} \text{ uF}$$

3.6 วงจรกำเนิดสัญญาณหมายเลขโทรศัพท์ (Dialer Circuit)

วงจรส่วนนี้ทำหน้าที่ในการกำเนิดสัญญาณหมายเลขโทรศัพท์ แล้วส่งไปยังชุมสายโทรศัพท์ เพื่อบอกให้ทางชุมสายโทรศัพท์ทราบว่าเราต้องการจะติดต่อกับใคร ซึ่งในโครงงานใช้ไอซีเบอร์ HM91210 ซึ่งสามารถสร้างสัญญาณหมายเลขได้ทั้งในระบบสัญญาณพัลส์และในระบบสัญญาณความถี่คู่ (DTMF) ไอซีเบอร์นี้จะใช้งานร่วมกับเป็นกดโทรศัพท์แบบเมตริกซ์ และจะใช้คริสตอลที่ผลิตความถี่มาตรฐาน 3.579545 เมกะเฮิร์ตซ์ เมื่อปุ่มใดปุ่มหนึ่งบนแป้นคีย์โทรศัพท์ถูกกด ไอซี HM91210 จะสามารถตรวจสอบได้ว่าปุ่มใดถูกกดจากลอจิกของแถวและหลักนั้นที่ต่างก็เป็นลอจิก 0 ทั้งคู่



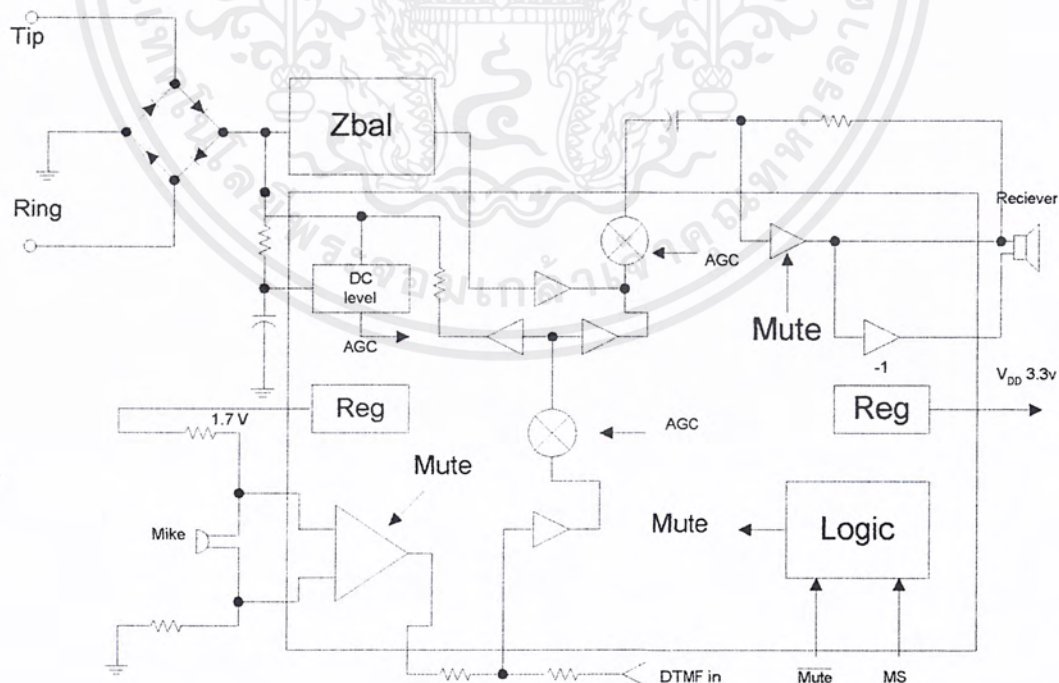
รูปที่ 3.8 หน้าทีของแต่ละขาของไอซี HM91210



รูปที่ 3.9 วงจรกำเนิดสัญญาณหมายเลขโทรศัพท์

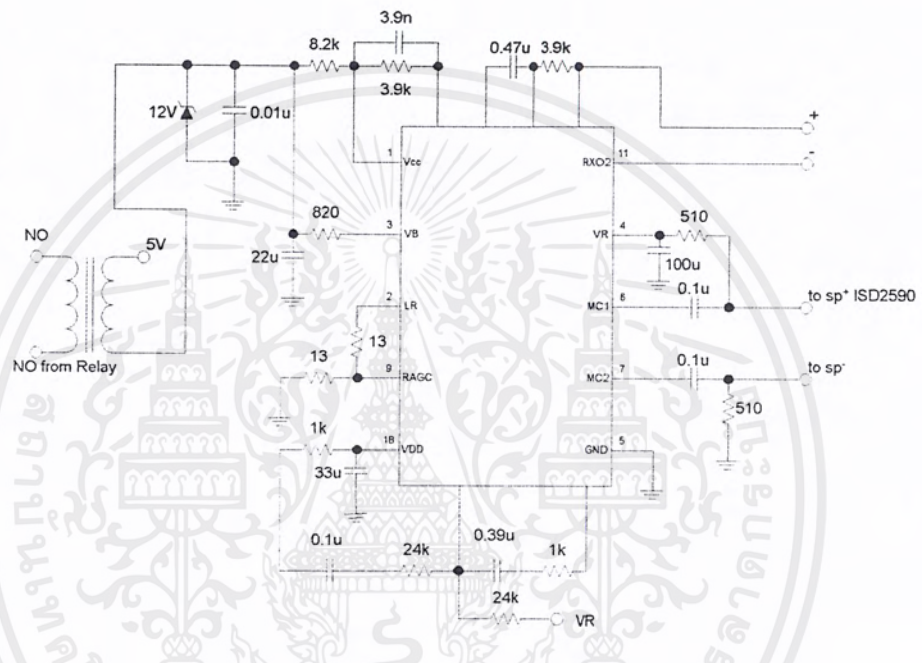
3.7 วงจรควบคุมเสียงพูด MC34114

วงจรควบคุมเสียงพูดแบบสองทิศทาง (two way speech circuit) เป็นอีกส่วนหนึ่งภายในเครื่องโทรศัพท์ที่จัดว่ามีความสำคัญต่อการทำงานของตัวเครื่องโทรศัพท์ เพราะเป็นส่วนที่ทำงานเกี่ยวกับสัญญาณเสียงพูดที่เราพูดผ่านไมโครโฟน หรือสัญญาณเสียงที่จะได้ยินจากคู่สนทนา ข้อสำคัญของการออกแบบวงจรนี้ คือ การแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายส่งสัญญาณจากหูสายกับอิมพีแดนซ์ของวงจร ซึ่งจะต้องมีความใกล้เคียงกันมากที่สุดเพื่อประสิทธิภาพของการส่งสัญญาณ

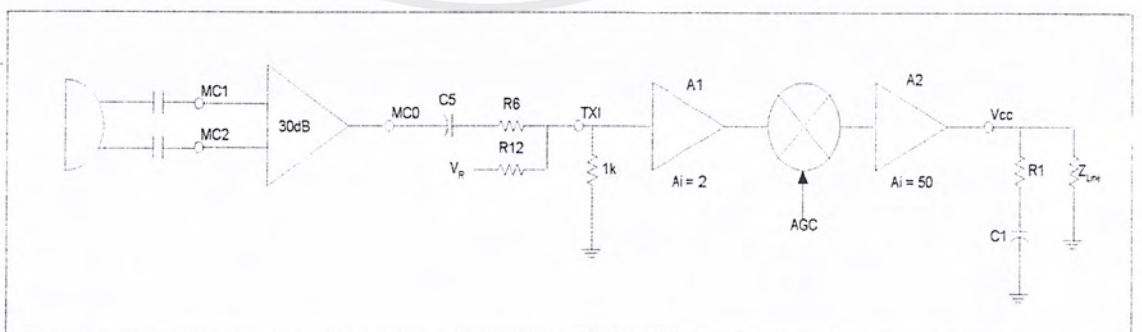


รูปที่ 3.10 บล็อกไคอะแกรมภายในของ MC34114

ไอซี MC34114 มีบล็อกไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 3.10 ประกอบด้วยวงจรควบคุมเสียงพูดที่มีวงจรไฮบริดจ์ วงจรเชื่อมต่อไฟฟ้ากระแสตรงที่ต่ออยู่กับสายที่ปกับริง สามารถปรับแต่งอัตราขยายสัญญาณของด้านส่ง ด้านรับและไซด์โทน (sidetone : การที่เสียงพูดของผู้พูดสามารถได้ยินตรงส่วนของหูฟัง เพื่อให้ทราบได้ว่าเราควรจะพูดดังค่อยขนาดไหนในการติดต่อกัน) มีส่วนวงจรชดเชยผลอันเนื่องมาจากความยาวของสายส่งสัญญาณ ที่อัตราขยายเปลี่ยนแปลงตามกระแสในลูป รวมทั้งวงจรขยายไมโครโฟนแบบผลต่างเพื่อที่จะลดการรบกวนเนื่องจากความถี่วิทยุ



รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมและอุปกรณ์ภายนอกของ MC34114



รูปที่ 3.12 เส้นทางของสัญญาณทางด้านส่ง

วงจรในการส่งสัญญาณ

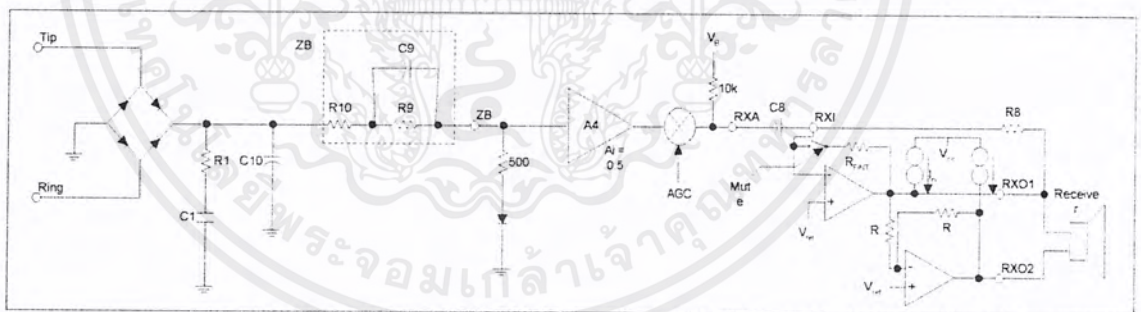
วงจรที่ใช้ในการส่งสัญญาณออกไปมีอุปกรณ์ดังรูป แรงดันเอาต์พุตที่ MC0 ถูกเปลี่ยนไปเป็น กระแสเข้า TXI โดย C_5, R_6 และความต้านทานภายในของ TXI 1 กิโลโอห์ม A_1 และ A_2 คือ อุปกรณ์ขยายกระแสที่มีอัตราขยายรวมกันเป็น 100 วงจรควบคุมเกนอัตโนมัติที่เข้ามามีค่าเป็น 1 เมื่อมี กระแสลูปน้อย และลดลงเป็น 0.5 เมื่อกระแสลูปมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นจะทำให้อัตราการขยายจาก TXI ไป จนถึง V_{CC} มีค่าตั้งแต่ 100 ถึง 50 เป็นผลทำให้กระแสที่ V_{CC} กระทำต่อ R_1 และอิมพีแดนซ์ของสายส่ง (ประมาณ 600 โอห์ม) ก่อให้เกิดแรงดันที่ V_{CC} และเช่นกันที่ชั่วทวิกับริงระดับแรงดันระหว่างขา $MC_1 - MC_2$ และชั่วทวิกับริงมีค่าตามสมการ

$$G_{TX} = \frac{Am \times 100 \times AGC \times (R_1 // Z_{LINE})}{R_6 + 100} \quad 3.10$$

เมื่อ Am เป็นอัตราการขยายของอุปกรณ์ขยายไมโครโฟน (31:1 โวลต์/โวลต์) ที่กระแสลูปค่าน้อย ๆ G_{TX} มีค่าเป็น 84 โวลต์/โวลต์ (38.5 ดีบี) และมีค่าเป็น 42 โวลต์/โวลต์ (32.5 ดีบี) ที่กระแสลูปค่ามาก ๆ สัญญาณ V_{CC} กลับเฟสกับกับสัญญาณที่ TXI แต่มีเฟสเดียวกันกับสัญญาณ MC_1

วงจรในการรับสัญญาณ

วงจรที่ใช้รับสัญญาณเข้ามามีอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 เส้นทางของสัญญาณทางด้านรับ

R_1 ซึ่งโดยปกติมีค่า 600 โอห์ม จะเป็นตัวกำหนดจุดสิ้นสุดของสายส่ง (เป็น return loss) ของสัญญาณที่ส่งมาจากชั่วทวิและริง สัญญาณที่ได้รับจะสร้างไฟฟ้ากระแสสลับผ่าน ZB เน็ตเวิร์ค (Balance Impedance Network) และ ความต้านทาน 500 โอห์ม ที่ขา ZB A_1 จะลดกระแสแสดงครึ่งหนึ่ง แล้วส่งต่อไปให้วงจรควบคุมเกนอัตโนมัติ แล้วผ่าน C_8 ไปยัง RXI (จุดรวมอัตราการขยาย ซึ่งถ้า C_8 มีค่ามาก RXA จะเปรียบเป็นกราวด์เสมือนไม่มีไฟฟ้ากระแสสลับไหลผ่านความต้านทานภายใน 10 กิโลโอห์ม) แรงดันที่ RXO1 ถูกกำหนดโดยกระแสจาก C_8 และความต้านทานป้อนกลับ R_8 ออปแอมป์ตัวที่

สอง (ที่ขา RXO_2) มีการกำหนดไว้แล้วว่าให้การขยายแบบกลับขั้วและมีอัตราขยายเป็น 1 (Inverting Unity Gain) อัตราการขยายแรงดันจากขั้วที่ปกับกรังไปยัง $RXO_1 - RXO_2$ มีค่าตามสมการต่อไปนี้

$$G_{RX} = \frac{R_s \times AGC}{Z_B + 500} \quad 3.11$$

$$\text{เมื่อ } Z_B = R_{10} + R_9 // C_9 = R_{10} + R_9$$

เมื่อมีค่าของอุปกรณ์ตามรูปที่ 3.13 อัตราการขยายจะมีค่าประมาณ 0.495 โวลต์/โวลต์ (-6.1 ดีบี) เมื่อกระแสในลูปมีค่าน้อย และอัตราการขยายกลายเป็นประมาณ 0.25 โวลต์/โวลต์ (-12 ดีบี) เมื่อมีกระแสในลูปสูง

เมื่อ MC34114 อยู่ในระหว่างการส่งสัญญาณเลขหมายออก (MUTE มีค่าเป็น 0) อัตราการขยายของวงจรภาครับจะลดลงเพราะมีการต่อ R_{FINT} ที่มีค่า 1.0 กิโลโอห์ม ขนานกับ R_s อัตราการลดลงของสัญญาณจะมีค่าดังสมการต่อไปนี้

$$G_{RXM} = 20 \times \text{Log} \left[\frac{(R_s + R_{FINT})}{R_{FINT}} \right] \quad 3.12$$

เมื่อขา MUTE กลับไปสู่สถานะ 1 อีกครั้ง จะมีการหน่วงเวลาประมาณ 11 มิลลิวินาที ก่อนที่ความดันทานจะถูกทำให้กลับเป็นสภาวะเดิม เพราะเหตุว่า จะได้ป้องกันสัญญาณทรานส์เซียนส์อันเนื่องมาจากการส่งสัญญาณแบบพัลส์ อันเป็นเหตุให้เกิดเสียงคลั่งขึ้นที่หูฟัง

แรงดันไบอัสที่ขา RXI , RXO_1 และ RXO_2 มีค่าประมาณ 0.65 โวลต์ กระแสไบอัสที่ขา RXI มีค่าประมาณ 50 นาโนแอมป์ แรงดันสูงสุดที่ RXO_1 และ RXO_2 อยู่ในเทอมของความดันทานของหูฟัง และกระแส I_{rx} นี้หาได้จากสมการ

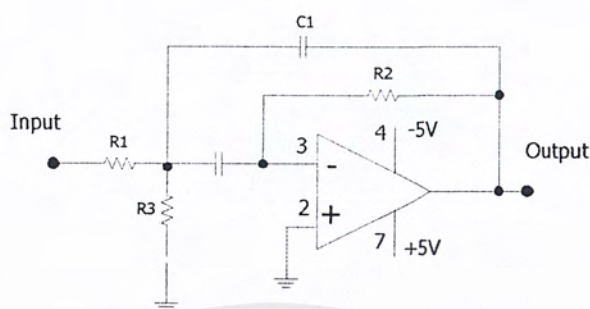
$$I_{rx} = \frac{(V_r \times 50 \times AGC)}{(R_{12} + 1000)} \quad 3.13$$

โดยในโครงงานนี้ ในส่วนของภาคส่งสัญญาณผ่านคู่สายโทรศัพท์ เราจะใช้วงจร เอฟ เอส เค มอดูเลชัน แทนไมโครโฟน และในส่วนของภาครับสัญญาณผ่านคู่สายโทรศัพท์ เราจะใช้ใช้วงจร เอฟ เอส เค ดิมอดูเลชัน ซึ่งต่อผ่านวงจรกรองความถี่แบบต่ำผ่าน แทนลำโพงหรือหูฟัง ดังในรูปที่ 3.15

3.8 วงจรกรองแถบความถี่ผ่านแบบแอคทีฟ (Active Band Pass Filter)

ในการออกแบบวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน เราจะต้องทำการกำหนดค่าอัตราการขยายสัญญาณ (Gain; K) อันดับ (Order) ของวงจรกรองความถี่ ความถี่คัตออฟบน (Upper Cutoff Frequency) และ

ความถี่คัตออฟล่าง (Lower Cutoff Frequency) ซึ่งในทางปฏิบัติเราจะพิจารณาความถี่กลาง (Center Frequency; F_c) และแบนด์วิดท์ (Bandwidth; BW) แทนความถี่คัตออฟ



รูปที่ 3.14 วงจรกรองแถบความถี่ผ่านแบบแอกทีฟ

จากรูปที่ 3.14 เพื่อความสะดวกในการคำนวณเราจะกำหนดให้ $C_1=C_2=C$ โดยในย่านความถี่เสียงนั้นเรานิยมใช้ค่า $C=0.01\mu\text{F}$ เราจะสามารถหาค่าของ R_1, R_2, R_3 ได้จากสมการต่อไปนี้

$$R_1 = \frac{Q}{2\pi F_c K} \quad 3.14$$

$$R_2 = \frac{2Q}{2\pi F_c C} \quad 3.15$$

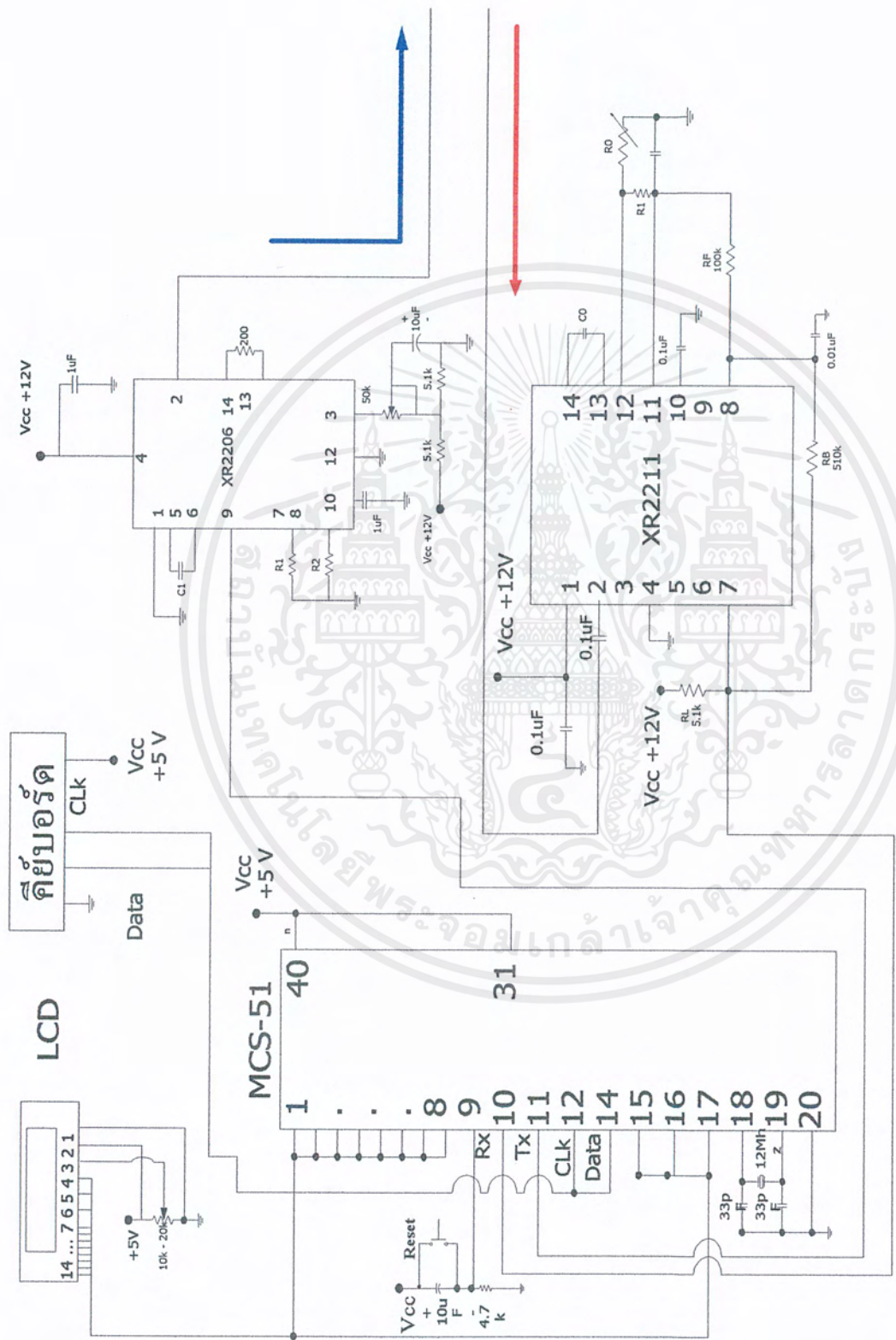
$$R_3 = \frac{Q}{2\pi F_c C (2Q^2 - K)} \quad 3.16$$

โดย

$$Q = \frac{F_c}{BW} \quad 3.17$$

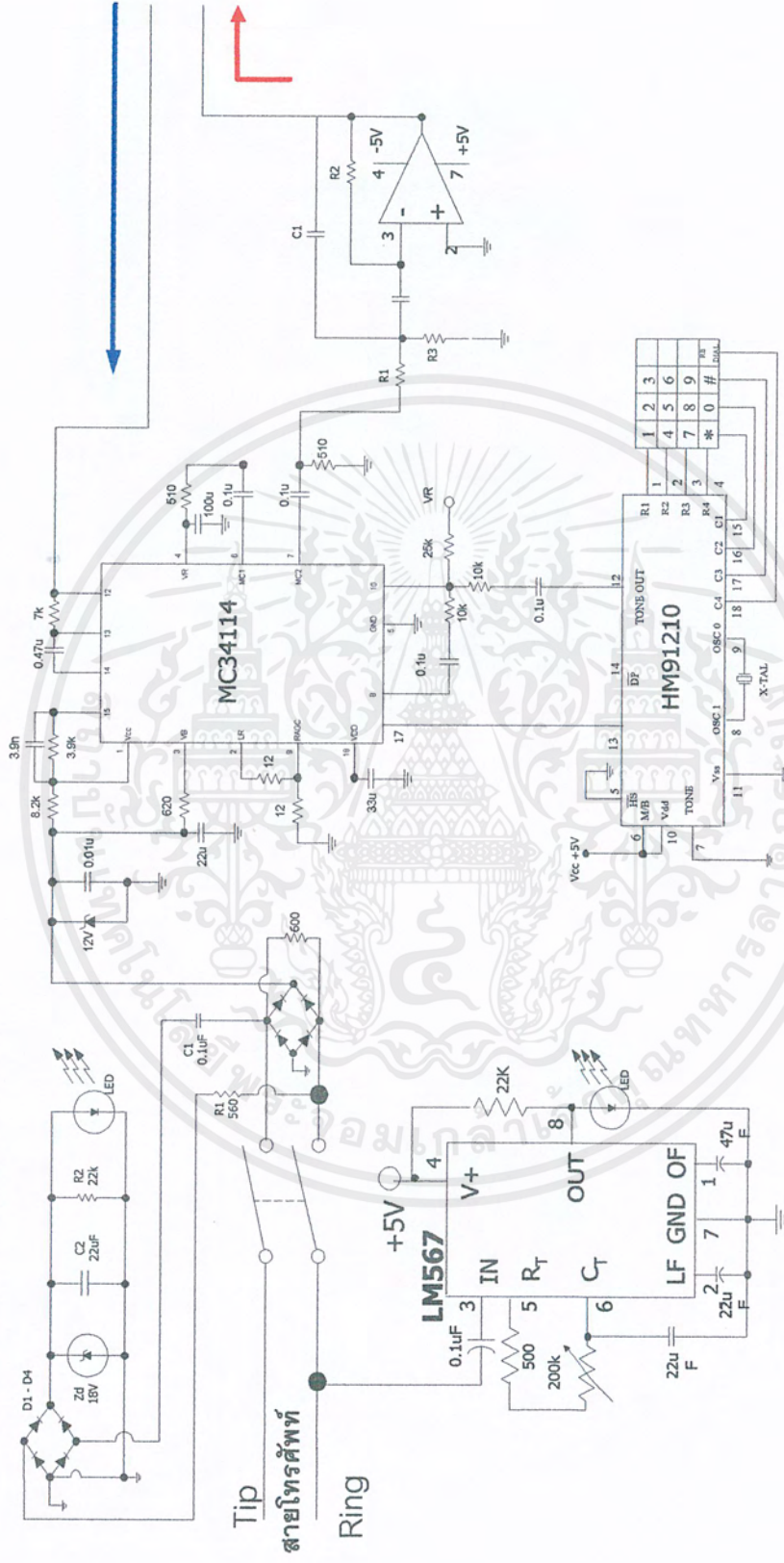
โดยในโครงงานนี้จะทำการออกแบบวงจรกรองแถบความถี่ผ่านจำนวน 2 ชุด ซึ่งจะสอดคล้องกับมาตรฐาน 103 คือ

1. ความถี่กลาง = 1,100 Hz แบนด์วิดท์ = 300 Hz อัตราการขยายสัญญาณ = 1
2. ความถี่กลาง = 2,125 Hz แบนด์วิดท์ = 300 Hz อัตราการขยายสัญญาณ = 1



รูปที่ 3.15 รุปวงจรรวมแผ่นที่ 1

ส่วนตรวจสอบสัญญาณกระดิ่ง



รูปที่ 3.16 ชุดวงจรแผ่นที่ 2

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในโครงการนี้ การทดลองจะแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้

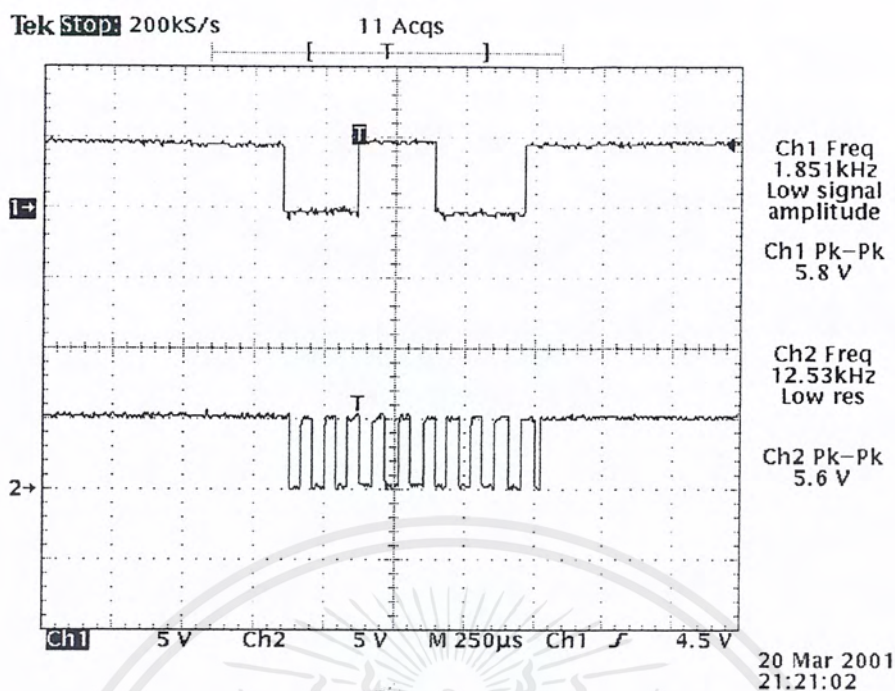
4.1 การทดลองเกี่ยวกับส่วนประมวลผล

ในโครงการนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นส่วนประมวลผล โดยในส่วนของการส่งจะทำการรับค่าเมคไค์ดจากคีย์บอร์ดไปแสดงผลที่บรรทัดบนของจอ LCD ทางด้านต้นทาง (ผู้ส่ง) และส่งข้อมูลที่ได้รับผ่านพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมไปยังปลายทาง ส่วนของการรับจะทำการรับค่าเมคไค์ดที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารแบบอนุกรมไปแสดงผลที่บรรทัดล่างของจอ LCD ทางด้านปลายทาง (ผู้รับ)

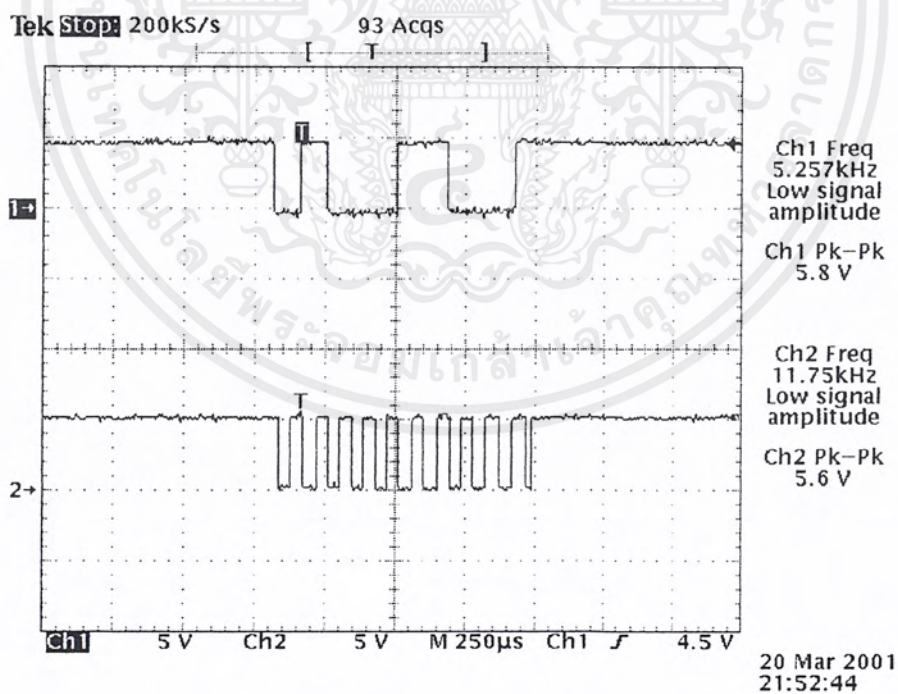
4.1.1 วิธีการในการทดลอง

1. ต่อดวงจรดังรูปที่ 3.1 จำนวน 2 ชุด
2. ทำการเชื่อมต่อสายจากพอร์ตส่งข้อมูลแบบอนุกรมของ MCS-51 ทางด้านต้นทางไปยังพอร์ตรับข้อมูลแบบอนุกรมของ MCS-51 ทางด้านปลายทาง
3. ทำการกดแป้นคีย์บอร์ดปุ่มต่างๆ โดยใช้เซนแนลที่ 1 ของออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่ออกมาจากขาขาของคีย์บอร์ด และเซนแนลที่ 2 ของออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณคล็อกของคีย์บอร์ด
4. ทำการบันทึกผล ค่าเมคไค์ด และ เบอร์คไค์ด ของการกดคีย์บอร์ดปุ่มต่างๆ และ สังเกตค่าที่แสดงบนจอ LCD ทางด้านต้นทางและปลายทาง

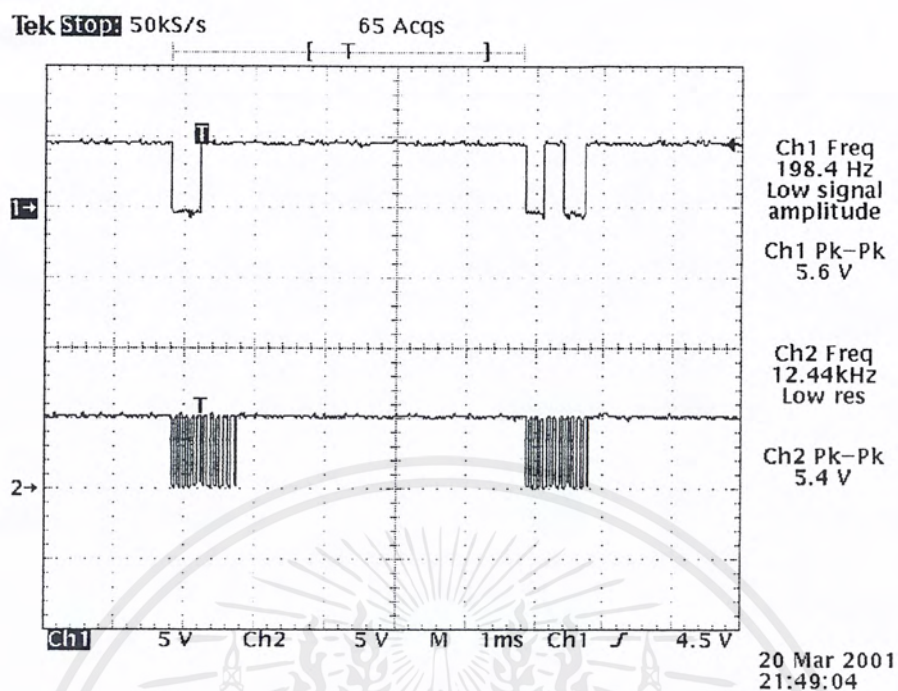
4.1.2 ผลการทดลอง



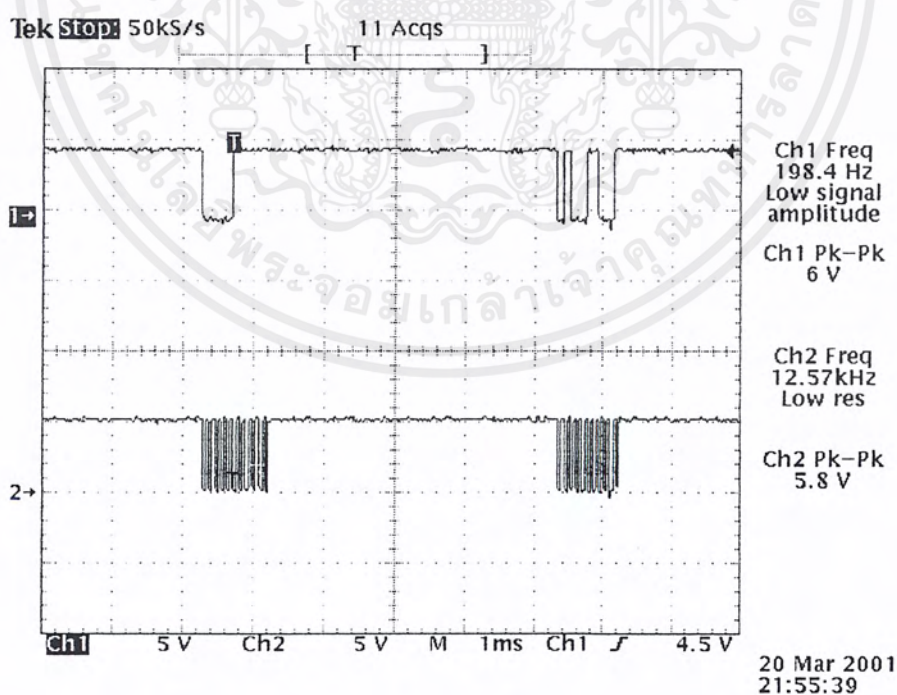
รูปที่ 4.1 CH1 : สัญญาณเมคโค็ดจากคีย์บอร์ดที่ได้จากการกดปุ่ม “a”
CH2 : สัญญาณคล็อกที่ได้จากคีย์บอร์ด



รูปที่ 4.2 CH1 : สัญญาณเมคโค็ดจากคีย์บอร์ดที่ได้จากการกดปุ่ม “n”
CH2 : สัญญาณคล็อกที่ได้จากคีย์บอร์ด



รูปที่ 4.3 CH1 : สัญญาณเบรคโด้คจากคีย์บอร์ดที่ได้จากการกดปุ่ม “a”
CH2 : สัญญาณคล็อกที่ได้จากคีย์บอร์ด



รูปที่ 4.4 CH1 : สัญญาณเบรคโด้คจากคีย์บอร์ดที่ได้จากการกดปุ่ม “n”
CH2 : สัญญาณคล็อกที่ได้จากคีย์บอร์ด

4.1.3 สรุปผลการทดลองตอนที่ 4.1

จากการทดลองนี้จะพบว่า สัญญาณเอาต์พุตจากคีย์บอร์ดเป็นไปตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 และในส่วนของการรับส่งเมคไค์ผ่านผ่านพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมของ MCS-51 สามารถทำงานได้ โดยในส่วนของการรับส่งจะแสดงตัวอักษรที่กดจากคีย์บอร์ดที่บรรทัดบนของจอ LCD ของด้านต้นทาง และในส่วนของการปลายทางสามารถรับค่าเมคไค์ของการกดคีย์บอร์ดจากต้นทางซึ่งส่งผ่านพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมาแสดงผลที่บรรทัดล่างของจอ LCD ของด้านปลายทางได้ถูกต้อง

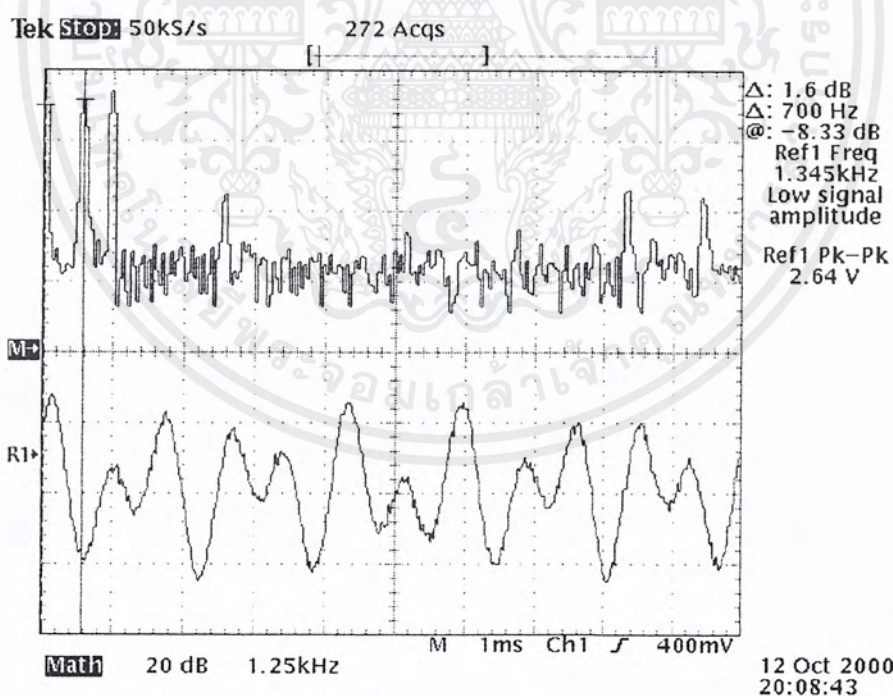
4.2 การทดลองเกี่ยวกับวงจรกำเนิดสัญญาณหมายเลขโทรศัพท์

ในโครงการนี้โทรศัพท์จะใช้ไอซีเบอร์ HM91210 ซึ่งเป็นไอซีสำเร็จในการสร้างสัญญาณ DTMF แล้วส่งผ่านสายโทรศัพท์ออกไปยังชุมสายโทรศัพท์ต่อไป

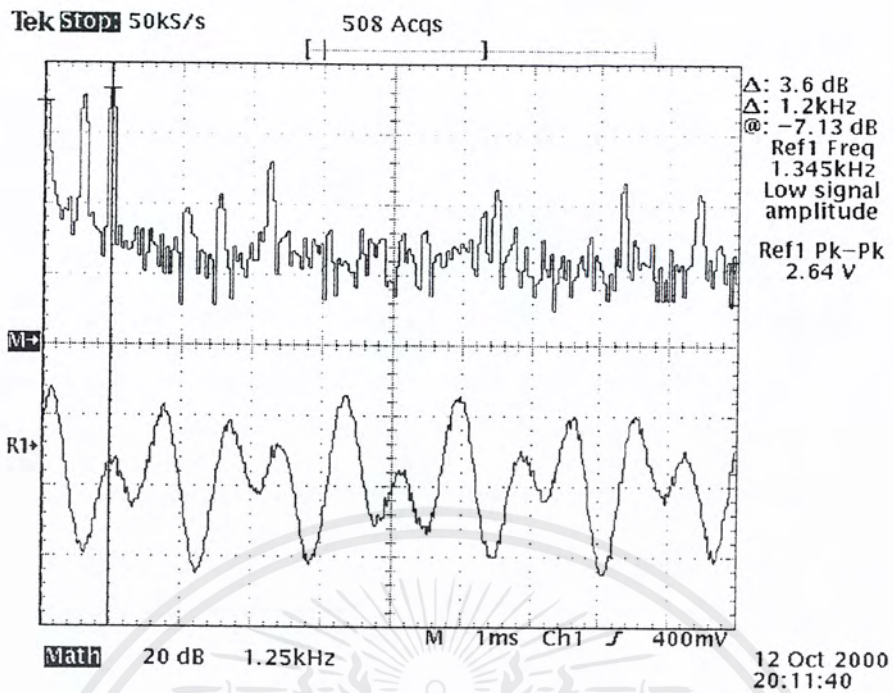
4.2.1 วิธีการในการทดลอง

1. คำนวณจรัญรูปที่ 3.8
2. ทำการกดเป็นหมายเลข 1 สังเกตผล แล้วบันทึกผล
3. ใช้ฮอสซิลโลสโคปวัดสัญญาณหมายเลขที่ถูกส่งออกมา
4. ทำการทดลองโดยลองทำการกดเป็นหมายเลข 1,2,9 สังเกตผล แล้วบันทึกผล

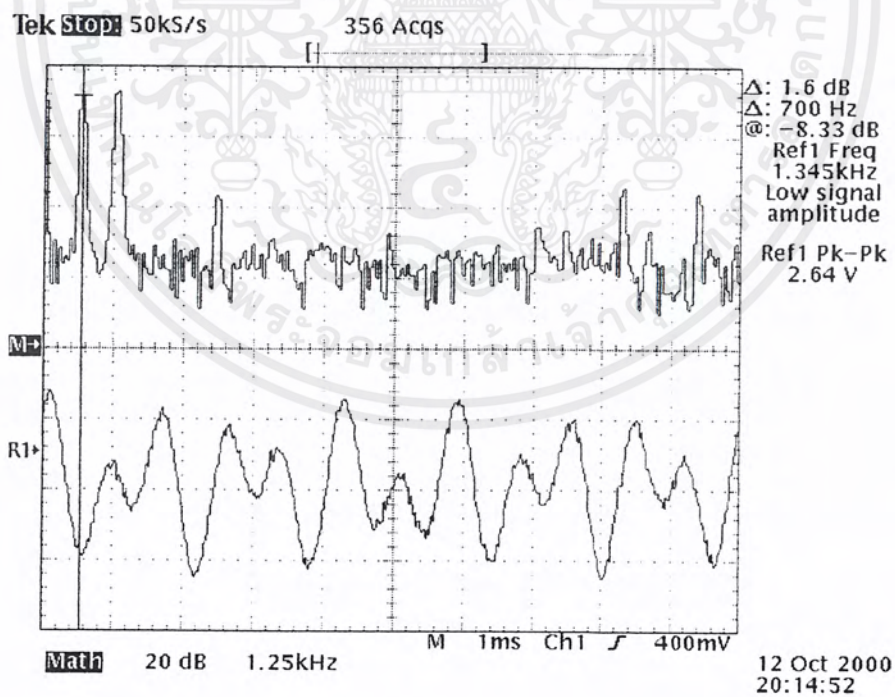
4.2.2 ผลการทดลอง



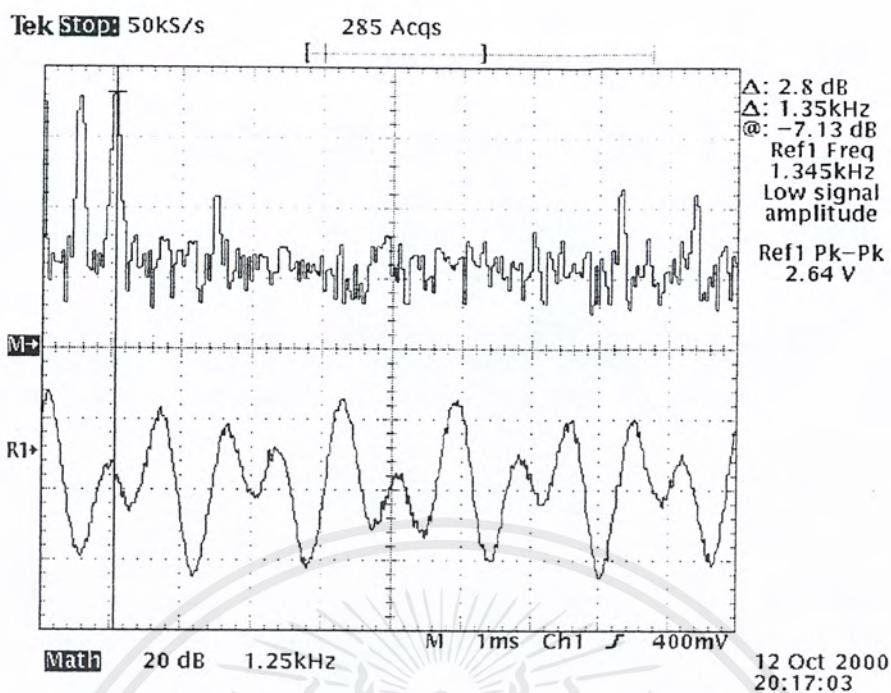
รูปที่ 4.5 รูปสัญญาณและสเปกตรัมของสัญญาณความถี่ โดยวัดผลที่องค์ประกอบทางความถี่ต่ำ เมื่อกดเป็นหมายเลข 1



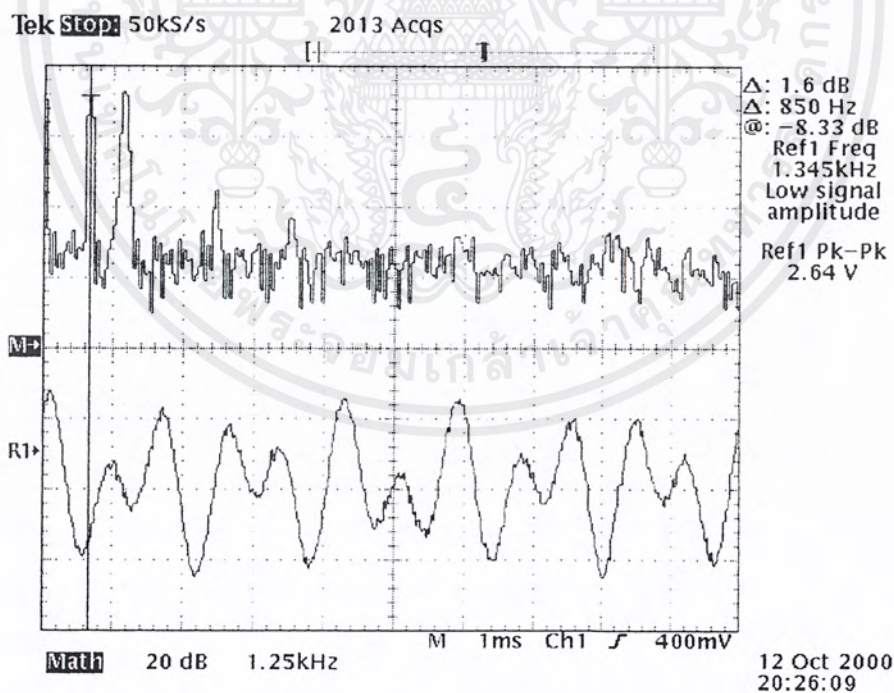
รูปที่ 4.6 รูปสัญญาณและสเปกตรัมของสัญญาณDTMF โดยวัดผลที่องค์ประกอบทางความถี่สูง เมื่อกดเป็นหมายเลข 1



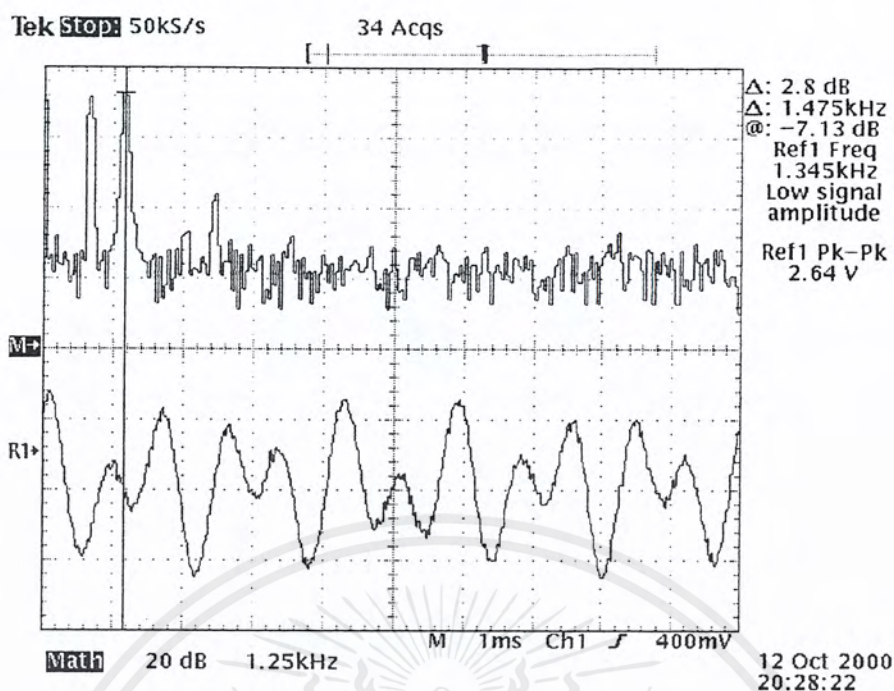
รูปที่ 4.7 รูปสัญญาณและสเปกตรัมของสัญญาณDTMF โดยวัดผลที่องค์ประกอบทางความถี่ต่ำเมื่อกดเป็นหมายเลข 2



รูปที่ 4.8 รูปสัญญาณและสเปกตรัมของสัญญาณความถี่คู่ โดยวัดผลที่องค์ประกอบทางความถี่สูง เมื่อกดเป็นหมายเลข 2



รูปที่ 4.9 แสดงรูปสัญญาณและสเปกตรัมของสัญญาณความถี่คู่ โดยวัดผลที่องค์ประกอบทางความถี่ต่ำ เมื่อกดเป็นหมายเลข 9



รูปที่ 4.10 รูปสัญญาณและสเปกตรัมของสัญญาณความถี่คู่ โดยวัดผลที่องค์ประกอบทางความถี่สูง เมื่อทดสอบเป็นหมายเลข 9

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกค่าความถี่คู่ของแต่ละปั๊มบนเป็นกคหมายเลข

หมายเลข	ความถี่ต่ำ (เฮิรตซ์)		ความถี่สูง (เฮิรตซ์)		ความผิดพลาด (%)	
	ค่ามาตรฐาน	ค่าจากการทดลอง	ค่ามาตรฐาน	ค่าจากการทดลอง	ความถี่ต่ำ	ความถี่สูง
1	697	700	1209	1200	0.4304	0.7444
2	697	700	1336	1345	0.4304	0.6691
3	697	700	1447	1450	0.4304	0.2073
4	770	775	1209	1200	0.6494	0.7444
5	770	775	1336	1345	0.6494	0.6691
6	770	775	1447	1475	0.6494	0.2073
7	852	850	1209	1200	0.2347	0.7444
8	852	850	1336	1345	0.2347	0.6691
9	852	850	1447	1475	0.2347	0.2073
10	941	950	1209	1200	0.9564	0.7444
11	941	950	1336	1345	0.9564	0.6691
12	941	950	1447	1475	0.9564	0.2073

4.2.3 สรุปผลการทดลองตอนที่ 4.2

จากการทดลองนี้จะพบว่า วงจรกำเนิดสัญญาณหมายเลขโทรศัพท์ในระบบโทนหรือ DTMF นี้สามารถที่จะสร้างสัญญาณความถี่ของแต่ละปุ่มได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสังเกตจากความถี่ที่วัดได้กับค่าความถี่มาตรฐานของแต่ละปุ่มทั้งความถี่ต่ำและความถี่สูงต่างมีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์

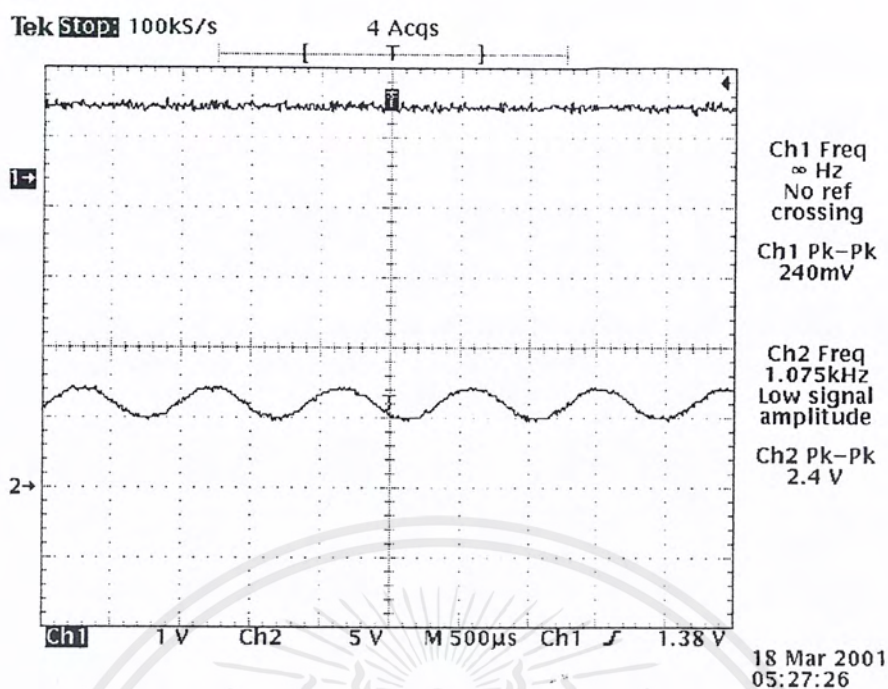
4.3 การทดลองวงจร เอฟ เอส เค มอดูเลชัน

ในโครงงานนี้จะใช้ไอซี เบอร์ XR2206 ในการมอดูเลตสัญญาณไบনারีเป็นสัญญาณไซน์เวฟ 2 ความถี่ โดยในการทดลองจะให้รหัส “0” แทนด้วยสัญญาณไซน์เวฟความถี่ 1,270 Hz และรหัส “1” แทนด้วยสัญญาณไซน์เวฟความถี่ 1,070 Hz

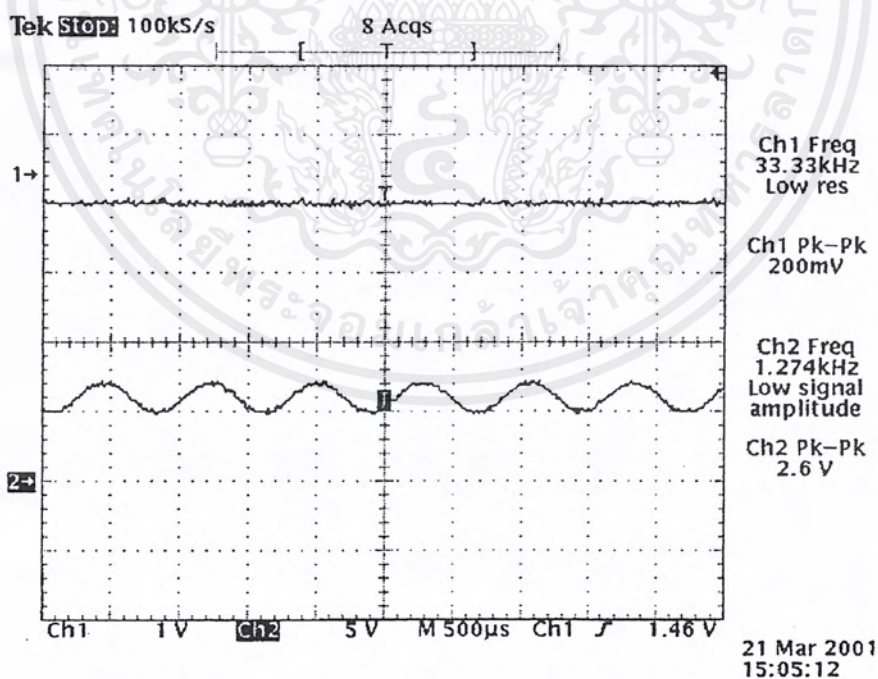
4.3.1 วิธีการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 3.4
2. ป้อนสัญญาณอินพุตที่เป็นรหัสไบনারีโดยขั้นแรกจะทำการป้อนรหัส “0” (คือป้อนไฟดิซี 0 โวลต์ แล้วใช้เซนแนลที่ 1 ของออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณอินพุตนี้
3. ใช้เซนแนลที่ 2 ของออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 2 ของวงจร
4. ป้อนสัญญาณอินพุตที่เป็นรหัสไบনারีโดยทำการป้อนรหัส “1” (คือป้อนไฟดิซี +1.5 โวลต์ แล้วใช้เซนแนลที่ 1 ของออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณอินพุตนี้
5. ใช้เซนแนลที่ 2 ของออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 2 ของวงจร

4.3.2 ผลการทดลอง



รูปที่ 4.11 CH1 : สัญญาณอินพุต (รหัส "1") ที่ป้อนเข้าขา 9 ไอซี XR2206
CH2 : สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากขา 2 ของไอซี XR2206



รูปที่ 4.12 CH1 : สัญญาณอินพุต (รหัส "0") ที่ป้อนเข้าขา 9 ไอซี XR2206
CH2 : สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากขา 2 ของไอซี XR2206

4.3.3 สรุปผลการทดลองตอนที่ 4.3

จากผลการทดลอง จะเห็นว่าวงจร FSK มอดูเลชั่น สามารถทำการมอดูเลตรหัสไบนารีที่เข้ามาได้สัญญาณตามที่ต้องการ

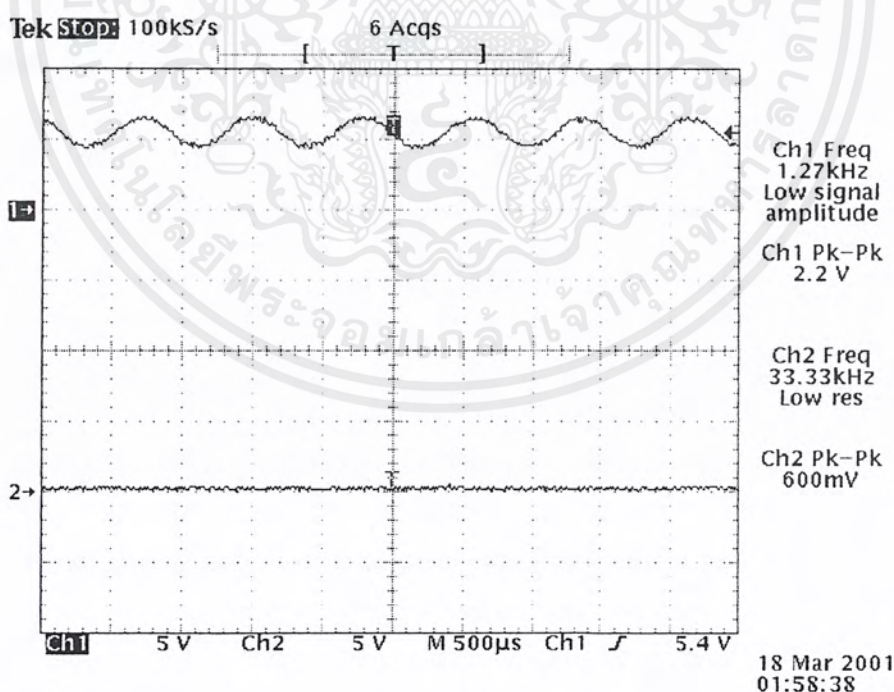
4.4 การทดลองวงจร FSK คีมอดูเลชั่น

ในโครงการนี้จะใช้ไอซี เบอร์ XR2211 ในการคีมอดูเลตสัญญาณกลับไปเป็นรหัสไบนารีตามเดิม โดยในการทดลองสัญญาณไซน์เวฟความถี่ 1,270 Hz จะให้รหัส "0" แทนด้วย และสัญญาณไซน์เวฟความถี่ 1,070 Hz จะให้รหัส "1"

4.4.1 วิธีการทดลอง

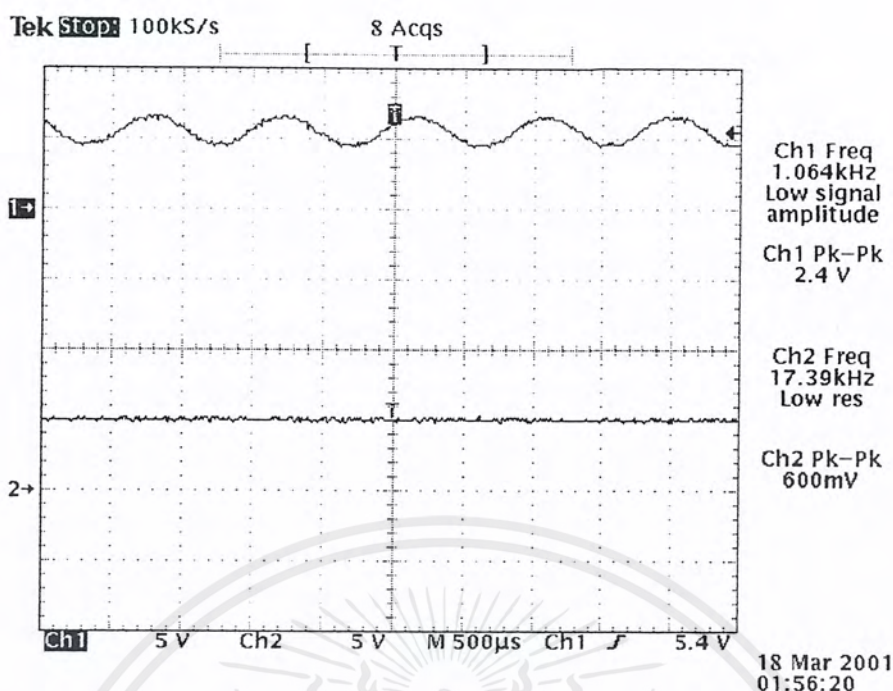
1. ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 3.5
2. ป้อนสัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณไซน์โดยขั้นแรกจะทำการป้อนสัญญาณไซน์เวฟความถี่ 1,270 Hz แล้วใช้เซนแนลที่ 1 ของออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณอินพุตนี้
3. ใช้เซนแนลที่ 2 ของออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 7 ของวงจร
4. ป้อนสัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณไซน์โดยป้อนสัญญาณไซน์เวฟ ความถี่ 1,070 Hz แล้วใช้เซนแนลที่ 1 ของออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณอินพุตนี้
5. ใช้เซนแนลที่ 2 ของออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 7 ของวงจร

4.4.2 ผลการทดลอง



รูปที่ 4.13 CH1 : สัญญาณอินพุต (สัญญาณไซน์ความถี่ 1,270 Hz) ที่ป้อนเข้าขา 2 ไอซี XR2211

CH2 : สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากขา 7 ของไอซี XR2211



รูปที่ 4.14 CH1 : สัญญาณอินพุต (สัญญาณไซน์ความถี่ 1,070 Hz) ที่ป้อนเข้าขา 2 ไอซี XR2211

CH2 : สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากขา 7 ของไอซี XR2211

4.4.3 สรุปผลการทดลองตอนที่ 4.4

จากผลการทดลอง จะเห็นว่า ส่วนของวงจร FSK คีมอดูเลชัน สามารถทำการคีมอดูเลตรหัสไบนารีกลับมาเป็นไปตามที่ต้องการได้

4.5 การทดลองส่วนวงจรตรวจจับสัญญาณกระดิ่งโดยแสดงผลด้วย LED

ทดลองโดยทำการต่อวงจรตรวจจับสัญญาณกระดิ่งเข้ากับคู่สายโทรศัพท์ แล้วต่อเข้ากับคู่สายโทรศัพท์ โดยให้โทรศัพท์อยู่ในสถานะวางหู เมื่อทดลองทำการเรียกเข้าไปยังเลขหมายที่ต่อคู่สายเข้ากับวงจรตรวจจับสัญญาณกระดิ่งซึ่งแสดงผลด้วย LED ก็จะมี LED สว่างและดับสลับกันขณะมีสายเรียกเข้า

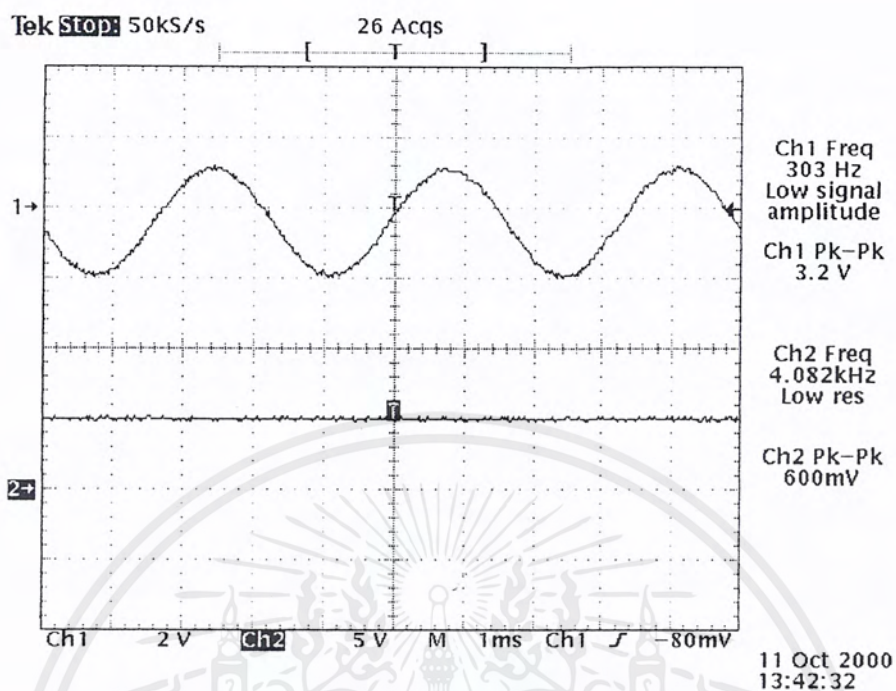
4.6 การทดลองส่วนแสดงสถานะของเครื่องโทรศัพท์

ในโครงการนี้จะใช้ไอซี LM567 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้ทำงานเป็นวงจรตรวจจับสัญญาณให้หมุนสัญญาณไม่วาง และสัญญาณเรียกกลับ ซึ่งมีความถี่ประมาณ 400 Hz

4.6.1 วิธีการทดลอง

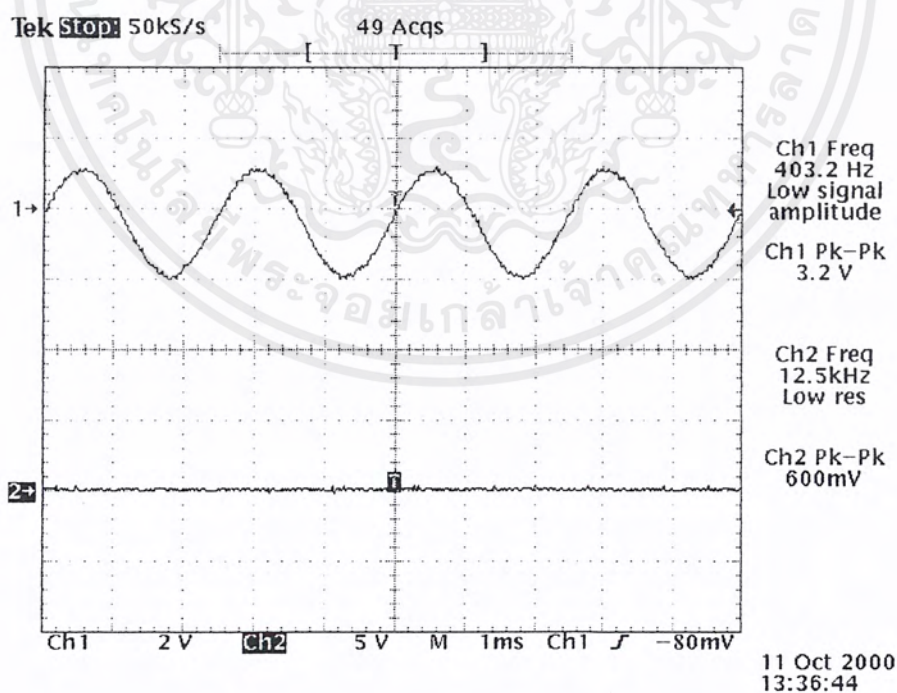
1. ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 3.7
2. ทำการป้อนสัญญาณอินพุตเข้าที่ขา 3 ของไอซี แล้วใช้แขนแนลที่ 1 ของออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณอินพุตนี้
3. ใช้แขนแนลที่ 2 ของออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 8 ของไอซี

4.6.2 ผลการทดลอง



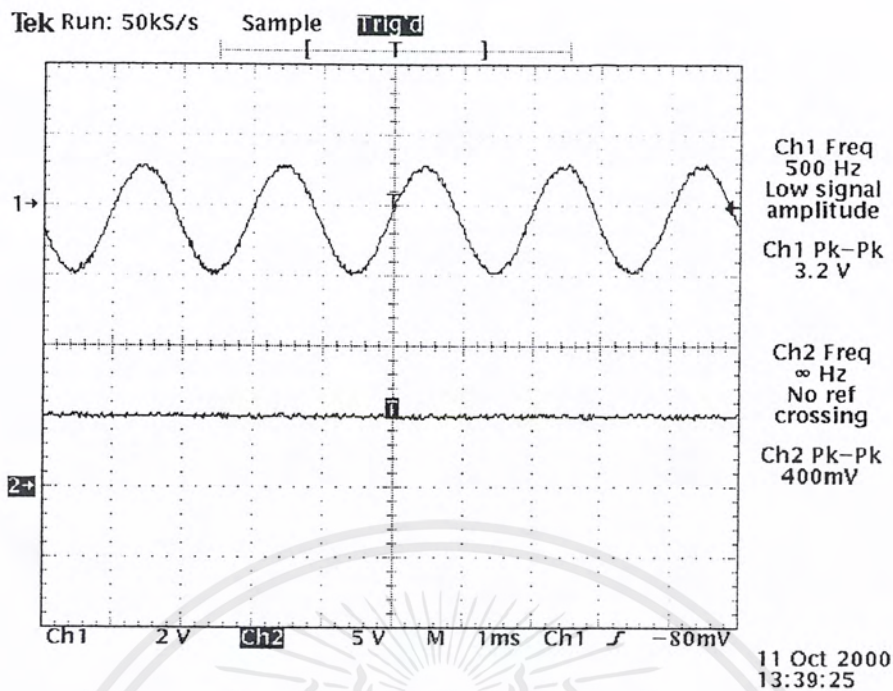
รูปที่ 4.15 CH1 : สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าขา 3 ของไอซี LM567

CH2 : สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากขา 8 ของไอซี LM567



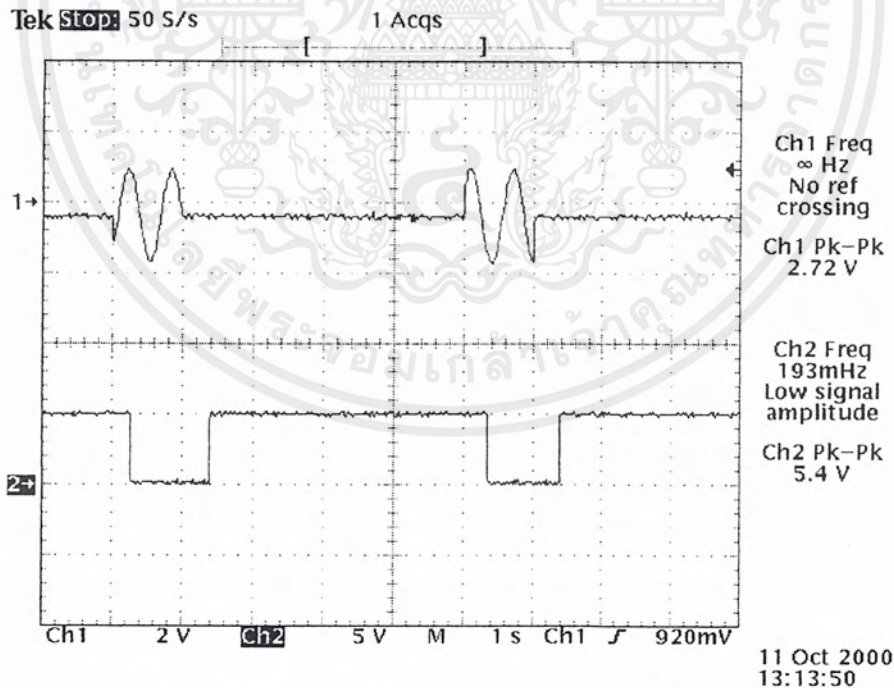
รูปที่ 4.16 CH1 : สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าขา 3 ของไอซี LM567

CH2 : สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากขา 8 ของไอซี LM567



รูปที่ 4.17 CH1 : สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าขา 3 ของไอซี LM567

CH2 : สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากขา 8 ของไอซี LM567



รูปที่ 4.18 CH1 : สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าขา 3 ของไอซี LM567

(ซึ่งเป็นสัญญาณที่ใช้ทดลองแทนสัญญาณเรียกกลับ)

CH2 : สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากขา 8 ของไอซี LM567

4.6.3 สรุปผลการทดลองตอนที่ 4.6

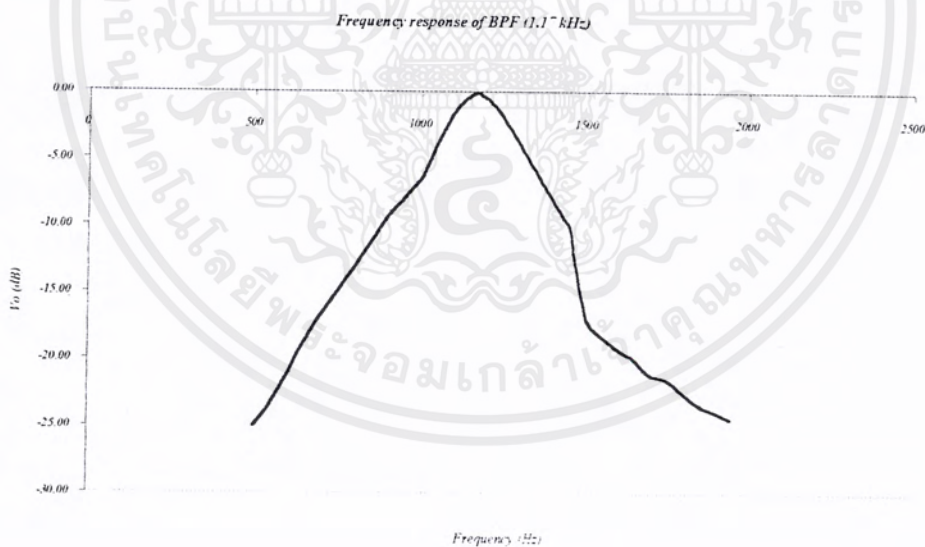
วงจรในส่วนนี้สามารถทำงานได้ดี โดยเมื่อป้อนสัญญาณอินพุตที่มีความถี่ 400 Hz จะได้เอาต์พุตเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่า 0 V. (สถานะต่ำ) และเมื่อป้อนสัญญาณอินพุตที่มีความถี่ช่วงอื่นที่ไม่ใช่ 400 Hz จะได้สัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่า +5 V. (สถานะสูง) ซึ่งเราจะเอาค่าลอจิกที่ได้ไปใช้ในการแสดงผลให้ผู้ผู้ใช้โทรศัพท์ทราบสถานะของโทรศัพท์ในขณะนั้น

4.7 การทดลองส่วนวงจรกรองแถบความถี่ผ่านแบบแอคทีฟ

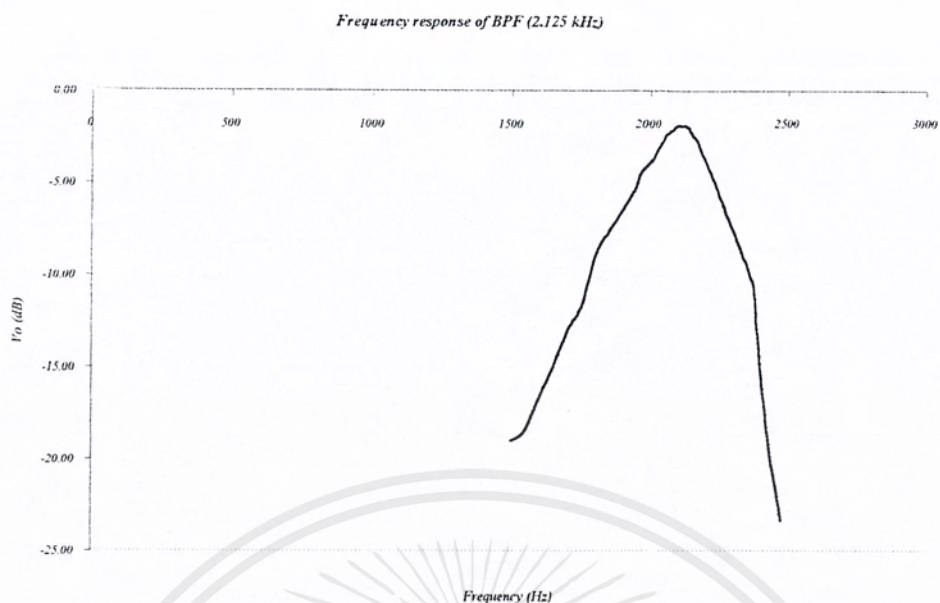
4.7.1 วิธีการทดลอง

1. ทำการป้อนสัญญาณชาน์เนลแอมป์ลิจูด 0.5 โวลต์ ที่ค่าความถี่ต่างๆ เป็นอินพุตให้วงจรกรองแถบความถี่ผ่านชุดที่ 1
2. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณชาน์เนลแอมป์ลิจูดที่ได้ แล้วทำการบันทึกค่าขนาดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้
3. นำผลการทดลองที่ได้จากข้อ 2 มาทำการพลอตกราฟผลตอบสนองความถี่
4. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1-3 กับวงจรกรองแถบความถี่ผ่านชุดที่ 2

4.7.2 ผลการทดลอง



รูปที่ 4.19 ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองแถบความถี่ผ่านชุดที่ 1



รูปที่ 4.20 ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองแถบความถี่ผ่านชุดที่ 2

4.7.3 สรุปผลการทดลองตอนที่ 4.7

จากผลการทดลอง จะเห็นว่าวงจรกรองความถี่ทั้งสองชุดสามารถทำการกรองแถบความถี่ของสัญญาณในย่านที่ต้องการได้

บทที่ 5

บทสรุปและวิจารณ์

จากที่ได้ทำการศึกษาและทดลองในแต่ละส่วน จะเห็นได้ว่า วงจรส่วนต่างๆ สามารถทำงานได้ดี เมื่อต่อให้ทำงานร่วมกัน ก็สามารถรับส่งข้อมูลระหว่างกันได้ โดยเมื่อเชื่อมต่อโครงงานนี้เข้ากับคู่สาย โทรศัพท์ก็สามารถทำการโทรออก และสื่อสารระหว่างด้านต้นทางและปลายทางได้ โดยแสดงเป็นข้อความผ่านทางหน้าจอ LCD ของแต่ละด้านเมื่อมีการกดคีย์บอร์ดในขณะที่มีการติดต่อระหว่างกัน ในส่วนของวงจรตรวจจับสัญญาณเพื่อแสดงสถานะของเครื่องโทรศัพท์ ก็สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ ซึ่งจะใช้ LED ในการแสดงผล เมื่อมีสายเรียกเข้า LED ก็จะติดและดับสลับกันเพื่อแสดงให้ทราบว่า มีสายเรียกเข้ามา

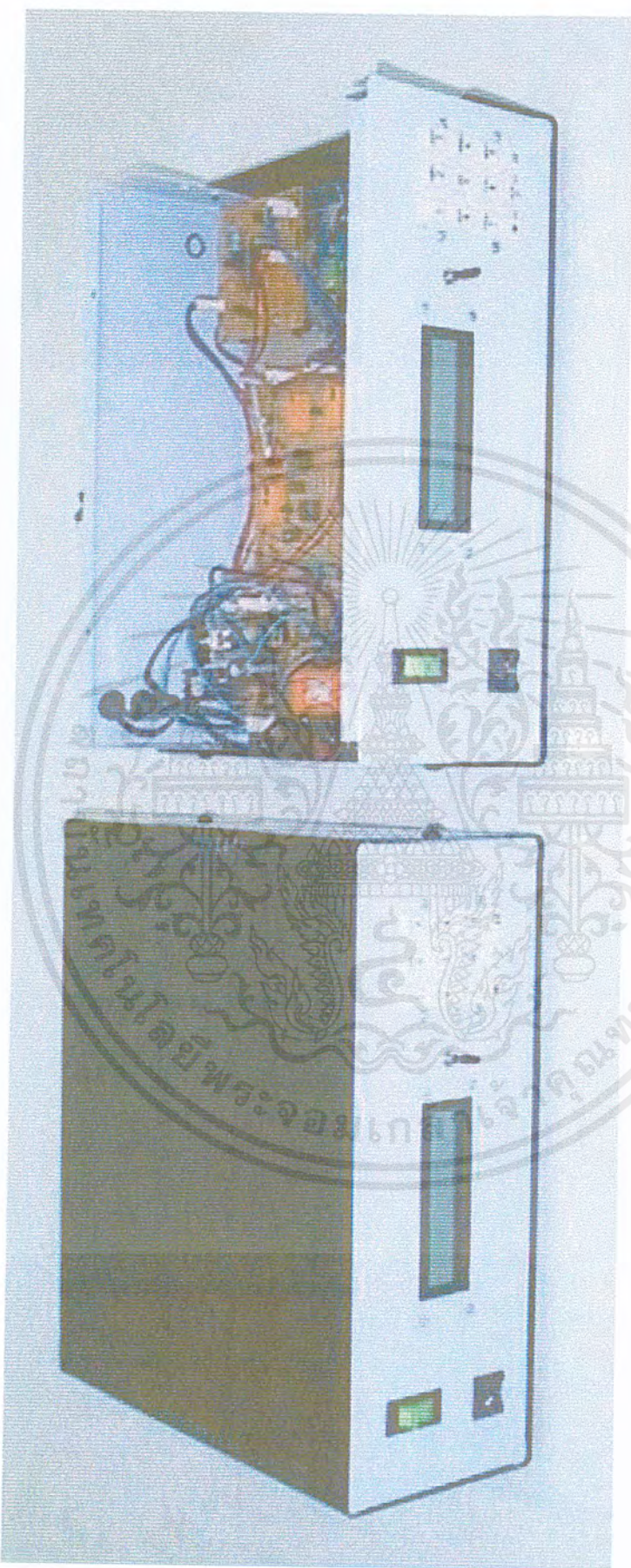


หนังสืออ้างอิง

- [1] รศ.ดร. วิวัฒน์ กิรานนท์ วิศวกรรมการสื่อสาร พิมพ์ครั้งที่ 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2540
- [2] รศ. สมยศ จุณณะปิยะ การประยุกต์การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 พิมพ์ครั้งที่ 2 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2541
- [3] วันสุระ ศรีใจดี ประยุกต์/ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ภาคปฏิบัติ สำนักพิมพ์ดวงกมล (2520) จำกัด
- [4] ประเมษฐ์ ประณยานันท์ ปิยพงศ์ เผ่าวนิช คู่มือและการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
- [5] ชีรวัฒน์ ประกอบผล การประยุกต์การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนคำรณสนับสนุน เทคนิคอุตสาหกรรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) 2541
- [6] ดร. มงคล เดชนครินทร์ ดร. ชาศรี ศรีไพพรรณ อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน ทฤษฎีพร้อมตัวอย่าง การคำนวณ บ. ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด
- [7] ชัยวัฒน์ สัมพรจิตรวิไล คู่มืออิเล็กทรอนิกส์ บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
- [8] นภัทร วัฒนเทพินทร์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ บริษัท สกายบุ๊คส์ จำกัด
- [9] Sedra / Smith , Microelectronic , third edition , Oxford
- [10] เกียรติศักดิ์ ฐานิกเกษกร ประวิทย์ โคมทองชูสกุล 110 โครงการไอซี สำนักพิมพ์ ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ กรุงเทพมหานคร

ภาคผนวก





รูปเครื่องโทรศัพท์สำหรับคนหูหนวก

ส่วนของโปรแกรมที่ใช้ใน MCS-51

```

;*****LCD*****
LCD EQU P1
RS EQU P3.5
RW EQU P3.6
E EQU P3.7
ADDR1 EQU 30H      ;ADDRESS FOR LCD LINE1
ADDR2 EQU 31H      ;ADDRESS FOR LCD LINE2
;*****KEYBOARD*****
;R1=No. of BIT RECEIVED FROM KEYBOARD
;R3=CHECK CAPS LOCK
CAPS1 EQU 32H      ;CHECK CAPS LOCK FOR TX (00H=NO CAPS; FFH=USE CAPS)
CAPS2 EQU 33H      ;CHECK CAPS LOCK FOR RX (00H=NO CAPS; FFH=USE CAPS)
;R4=No. of DATA DISPLAY ON LCD (FOR CHECK DATA DISPLAY ON LCD FULL)
FULL1 EQU 34H      ;CHECK No. OF DATA DISPLAY ON LCD LINE1
FULL2 EQU 35H      ;CHECK No. OF DATA DISPLAY ON LCD LINE2
CLK EQU P3.2
DATA EQU P3.4
KEYB EQU 36H        ;STORE "MAKE CODE" THAT RECEIVED FROM KEYBOARD
;*****RECEIVED DATA FROM SERIAL PORT*****
SERIAL EQU 37H;DATA RECEIVED FROM SERIAL PORT AT RX

ORG 0000H
JMP INIT

ORG 0003H
JMP TX

INIT:
;*****SET INITIAL FOR SERIAL TRANSMISSION MODE 1, 300 BPS*****
LCALL DELAY
MOV     SCON,#01010011B ;Serial model SM0=0 SM1=1 SM2=0 REN=1 TI=1
RI=1
MOV     PCON,#00H      ;SCON=0 No double Baud rate
MOV     TMOD,#20H      ;Set timer1 in mode2 (00100000B) auto reload
MOV     TH1,#98H       ;Set Baud rate 300 bps
SETB    TR1            ;Start timer1
CLR TI;
CLR RI;
;*****SET INITIAL FOR INTO*****
SETB EA
SETB EX0
SETB ITO
;*****SET INITIAL FOR LCD*****
CLR E
LCALL DELAY
CLR RS
CLR RW
MOV A,#00111000B      ;MODE=8 BIT, 2 LINES, RES.5*7
LCALL LCDSET
LCALL DELAY
MOV A,#00001111B      ;DISPLAY ON, CURSON ON&BLINK
LCALL LCDSET
LCALL DELAY
MOV A,#00000001B      ;CLEAR DISPLAY
LCALL LCDSET
LCALL DELAY

```



```

;*****SET INITIAL COUNTER&CHECK CAPS LOCK&LCD FULL&ADDRESS FOR
DISPLAY DATA ON LCD
MOV R1,#00H          ;SET COUNTER
MOV R3,#00H          ;SET CHECK CAPS LOCK
MOV CAPS1,#00H
MOV CAPS2,#00H
MOV R4,#00H          ;SET No. DATA ON LCD
MOV FULL1,#00H
MOV FULL2,#00H
MOV ADDR1,#80H
MOV ADDR2,#0C0H
JMP RX

;*****RECEIVED "MAKE CODE" FROM KEYBOARD TO DISPLAY ON LCD LINE1
;AND SEND VIA SERIAL PORT*****
TX:
MOV C,DATA           ;RECEIVE DATA FROM KEYBOARD
RRC A                 ;ROTATE DATA RECEIVED FROM KEYBOARD
INC R1                ;INCREASE No. of BIT RECEIVED FROM KEYBOARD

CHECK1: CJNE R1,#09H,CHECK2 ;CHECK FOR DATA IN ACC.="MAKE CODE"
        MOV KEYB,A          ;SAVE MAKE CODE TO KEYB
        CLR TI              ;READY TO SEND DATA VIA SERIAL PORT
        MOV SBUF,A          ;SEND DATA IN ACC. TO TXD
        WAIT_T: JNB TI,WAIT_T ;WAIT UNTIL FINISH TRINSMIT DATA
        JMP DISP_LINE1
CHECK2: CJNE R1,#20H,RETURN  ;CHECK FOR END OF SCAN CODE
CLEAR:  MOV R1,#00H          ;CLEAR No. of BIT RECEIVED FROM KEYBOARD
RETURN: RETI                ;BACK TO MAIN PROGRAM(RX)

DISP_LINE1:
CHK_CAPS1: CJNE A,#58H,SET_ADDR1 ;CHECK FOR CAPS LOCK
            MOV R3,CAPS1
            MOV A,R3
            CPL A
            MOV R3,A
            MOV CAPS1,R3
            JMP RETURN
SET_ADDR1:  MOV A,ADDR1 ;SET ADDRESS FOR DISPLAY ON LCD LINE1
            LCALL LCDSET
            LCALL DELAY
            INC A;SET ADDRESS FOR NEXT DISPLAY ON LCD LINE1
            MOV ADDR1,A
INC_R41:    MOV R4,FULL1
            INC R4
            MOV FULL1,R4
CHK_LCDFULL1: CJNE R4,#11H,BACKSPACE1;CHECK FOR LCD LINE1 FULL
            MOV A,#00000111B
            LCALL LCDSET
            LCALL DELAY
            DEC R4
            MOV FULL1,R4
BACKSPACE1: MOV A,KEYB
            CJNE A,#66H,DISPA
            DEC R4
            DEC R4
            MOV FULL1,R4
            MOV A,ADDR1
            DEC A

```

```

        LCALL LCDSET
        LCALL DELAY
        DEC A
        MOV ADDR1,A
        MOV A,#00000100B ;DISPLAY IN LEFT DIRECTION
        LCALL LCDSET
        LCALL DELAY
        MOV A,#' '
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        MOV A,#' '
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        MOV A,#00000110B ;CURSOR RIGHT AS DATA DISPLAY
        LCALL LCDSET
        LCALL DELAY
        JMP RETURN

RETURN1: RETI

DISPA:  CJNE A,#1CH,DISPB ;DISPLAY CHARACTER ON LCD
        CJNE R3,#00H,DISPA1 ;CHECK FOR CAPS LOCK
        MOV A,#'a'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN1
        CLR RI
        JMP RX
DISPA1: MOV A,#'A'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN1
        CLR RI
        JMP RX
DISPB:  CJNE A,#32H,DISPC
        CJNE R3,#00H,DISPB1
        MOV A,#'b'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN1
        CLR RI
        JMP RX
DISPB1: MOV A,#'B'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN1
        CLR RI
        JMP RX
DISPC:  CJNE A,#21H,DISPD
        CJNE R3,#00H,DISPC1
        MOV A,#'c'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN1
        CLR RI
        JMP RX
DISPC1: MOV A,#'C'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN1
        CLR RI

```



```

        JMP RX

RETURN2:    RETI

DISPD:     CJNE A, #23H, DISPE
           CJNE R3, #00H, DISPD1
           MOV A, #'d'
           LCALL LCDWRITE
           LCALL DELAY
           JNB RI, RETURN2
           CLR RI
           JMP RX
DISPD1:    MOV A, #'D'
           LCALL LCDWRITE
           LCALL DELAY
           JNB RI, RETURN2
           CLR RI
           JMP RX
DISPE:     CJNE A, #24H, DISPF
           CJNE R3, #00H, DISPE1
           MOV A, #'e'
           LCALL LCDWRITE
           LCALL DELAY
           JNB RI, RETURN2
           CLR RI
           JMP RX
DISPE1:    MOV A, #'E'
           LCALL LCDWRITE
           LCALL DELAY
           JNB RI, RETURN2
           CLR RI
           JMP RX
DISPF:     CJNE A, #2BH, DISPG
           CJNE R3, #00H, DISPF1
           MOV A, #'f'
           LCALL LCDWRITE
           LCALL DELAY
           JNB RI, RETURN2
           CLR RI
           JMP RX
DISPF1:    MOV A, #'F'
           LCALL LCDWRITE
           LCALL DELAY
           JNB RI, RETURN2
           CLR RI
           JMP RX

RETURN3:    RETI

DISPG:     CJNE A, #34H, DISPH
           CJNE R3, #00H, DISPG1
           MOV A, #'g'
           LCALL LCDWRITE
           LCALL DELAY
           JNB RI, RETURN3
           CLR RI
           JMP RX
DISPG1:    MOV A, #'G'
           LCALL LCDWRITE
           LCALL DELAY
           JNB RI, RETURN3

```

```

        CLR RI
        JMP RX
DISPH:  CJNE A, #33H, DISPI
        CJNE R3, #00H, DISPH1
        MOV A, #'h'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN3
        CLR RI
        JMP RX
DISPH1: MOV A, #'H'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN3
        CLR RI
        JMP RX
DISPI:  CJNE A, #43H, DISPJ
        CJNE R3, #00H, DISPI1
        MOV A, #'i'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN3
        CLR RI
        JMP RX
DISPI1: MOV A, #'I'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN3
        CLR RI
        JMP RX
RETURN4: RETI
DISPJ:  CJNE A, #3BH, DISPK
        CJNE R3, #00H, DISPJ1
        MOV A, #'j'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN4
        CLR RI
        JMP RX
DISPJ1: MOV A, #'J'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN4
        CLR RI
        JMP RX
DISPK:  CJNE A, #42H, DISPL
        CJNE R3, #00H, DISPK1
        MOV A, #'k'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN4
        CLR RI
        JMP RX
DISPK1: MOV A, #'K'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN4
        CLR RI
        JMP RX

```



```

DISPL:      CJNE A, #4BH, DISPM
            CJNE R3, #00H, DISPL1
            MOV A, #'l'
            LCALL LCDWRITE
            LCALL DELAY
            JNB RI, RETURN4
            CLR RI
            JMP RX
DISPL1:     MOV A, #'L'
            LCALL LCDWRITE
            LCALL DELAY
            JNB RI, RETURN4
            CLR RI
            JMP RX

RETURN5:    RETI

DISPM:      CJNE A, #3AH, DISPM
            CJNE R3, #00H, DISPM1
            MOV A, #'m'
            LCALL LCDWRITE
            LCALL DELAY
            JNB RI, RETURN5
            CLR RI
            JMP RX
DISPM1:     MOV A, #'M'
            LCALL LCDWRITE
            CALL DELAY
            JNB RI, RETURN5
            CLR RI
            JMP RX
DISPN:      CJNE A, #31H, DISPO
            CJNE R3, #00H, DISPN1
            MOV A, #'n'
            CALL LCDWRITE
            LCALL DELAY
            JNB RI, RETURN5
            CLR RI
            JMP RX
DISPN1:     MOV A, #'N'
            LCALL LCDWRITE
            LCALL DELAY
            JNB RI, RETURN5
            CLR RI
            JMP RX
DISPO:      CJNE A, #44H, DISPP
            CJNE R3, #00H, DISPO1
            MOV A, #'o'
            LCALL LCDWRITE
            LCALL DELAY
            JNB RI, RETURN5
            CLR RI
            JMP RX
DISPO1:     MOV A, #'O'
            LCALL LCDWRITE
            LCALL DELAY
            JNB RI, RETURN5
            CLR RI
            JMP RX

RETURN6:    RETI

```

```

DISPP:      CJNE A, #4DH, DISPQ
            CJNE R3, #00H, DISPP1
            MOV A, #'p'
            LCALL LCDWRITE
            LCALL DELAY
            JNB RI, RETURN6
            CLR RI
            JMP RX
DISPP1:     MOV A, #'P'
            LCALL LCDWRITE
            LCALL DELAY
            JNB RI, RETURN6
            CLR RI
            JMP RX
DISPQ:      CJNE A, #15H, DISPR
            CJNE R3, #00H, DISPQ1
            MOV A, #'q'
            LCALL LCDWRITE
            LCALL DELAY
            JNB RI, RETURN6
            CLR RI
            JMP RX
DISPQ1:     MOV A, #'Q'
            LCALL LCDWRITE
            LCALL DELAY
            JNB RI, RETURN6
            CLR RI
            JMP RX
DISPR:      CJNE A, #2DH, DISPS
            CJNE R3, #00H, DISPR1
            MOV A, #'r'
            LCALL LCDWRITE
            LCALL DELAY
            JNB RI, RETURN6
            CLR RI
            JMP RX
DISPR1:     MOV A, #'R'
            LCALL LCDWRITE
            LCALL DELAY
            JNB RI, RETURN6
            CLR RI
            JMP RX
RETURN7:    RETI
DISPS:      CJNE A, #1BH, DISPT
            CJNE R3, #00H, DISPS1
            MOV A, #'s'
            LCALL LCDWRITE
            LCALL DELAY
            JNB RI, RETURN7
            CLR RI
            JMP RX
DISPS1:     MOV A, #'S'
            LCALL LCDWRITE
            LCALL DELAY
            JNB RI, RETURN7
            CLR RI
            JMP RX
DISPT:      CJNE A, #2CH, DISPU
            CJNE R3, #00H, DISPT1

```



```

MOV A, #'t'
LCALL LCDWRITE
LCALL DELAY
JNB RI, RETURN7
CLR RI
JMP RX
DISPT1: MOV A, #'T'
LCALL LCDWRITE
LCALL DELAY
JNB RI, RETURN7
CLR RI
JMP RX
DISPU: CJNE A, #3CH, DISPV
CJNE R3, #00H, DISPU1
MOV A, #'u'
LCALL LCDWRITE
LCALL DELAY
JNB RI, RETURN7
CLR RI
JMP RX
DISPU1: MOV A, #'U'
LCALL LCDWRITE
LCALL DELAY
JNB RI, RETURN7
CLR RI
JMP RX
RETURN8: RETI
DISPV: CJNE A, #2AH, DISPW
CJNE R3, #00H, DISPV1
MOV A, #'v'
LCALL LCDWRITE
LCALL DELAY
JNB RI, RETURN8
CLR RI
JMP RX
DISPV1: MOV A, #'V'
LCALL LCDWRITE
LCALL DELAY
JNB RI, RETURN8
CLR RI
JMP RX
DISPW: CJNE A, #1DH, DISPX
CJNE R3, #00H, DISPW1
MOV A, #'w'
LCALL LCDWRITE
LCALL DELAY
JNB RI, RETURN8
CLR RI
JMP RX
DISPW1: MOV A, #'W'
LCALL LCDWRITE
LCALL DELAY
JNB RI, RETURN8
CLR RI
JMP RX
DISPX: CJNE A, #22H, DISPY
CJNE R3, #00H, DISPX1
MOV A, #'x'
LCALL LCDWRITE

```

```

        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN8
        CLR RI
        JMP RX
DISPX1:  MOV A, #'X'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN8
        CLR RI
        JMP RX

RETURN9:  RETI

DISPY:   CJNE A, #35H, DISPZ
        CJNE R3, #00H, DISPY1
        MOV A, #'y'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN9
        CLR RI
        JMP RX
DISPY1:  MOV A, #'Y'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN9
        CLR RI
        JMP RX
DISPZ:   CJNE A, #1AH, DISP1
        CJNE R3, #00H, DISPZ1
        MOV A, #'z'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN9
        CLR RI
        JMP RX
DISPZ1:  MOV A, #'Z'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN9
        CLR RI
        JMP RX
DISP1:   CJNE A, #69H, DISP2
        MOV A, #'1'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN9
        CLR RI
        JMP RX
DISP2:   CJNE A, #72H, DISP3
        MOV A, #'2'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN9
        CLR RI
        JMP RX

RETURN10: RETI

DISP3:   CJNE A, #7AH, DISP4
        MOV A, #'3'
        LCALL LCDWRITE

```



```

        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN10
        CLR RI
        JMP RX
DISP4:  CJNE A,#6BH,DISP5
        MOV A,#'4'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN10
        CLR RI
        JMP RX
DISP5:  CJNE A,#73H,DISP6
        MOV A,#'5'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN10
        CLR RI
        JMP RX
DISP6:  CJNE A,#74H,DISP7
        MOV A,#'6'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN10
        CLR RI
        JMP RX
DISP7:  CJNE a,#6CH,DISP8
        MOV A,#'7'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN10
        CLR RI
        JMP RX
DISP8:  CJNE A,#75H,DISP9
        MOV A,#'8'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN10
        CLR RI
        JMP RX
RETURN11: RETI
DISP9:  CJNE A,#7DH,DISP0
        MOV A,#'9'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN11
        CLR RI
        JMP RX
DISP0:  CJNE A,#70H,SYMBOL1
        MOV A,#'0'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN11
        CLR RI
        JMP RX
SYMBOL1: CJNE A,#0EH,SYMBOL2
        MOV A,#''
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN11

```

```

        CLR RI
        JMP RX
SYMBOL2: CJNE A, #16H, SYMBOL3
        CJNE R3, #00H, SYMBOL2A
        MOV A, #'1'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN11
        CLR RI
        JMP RX
SYMBOL2A: MOV A, #'!'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN11
        CLR RI
        JMP RX
SYMBOL3: CJNE A, #1EH, SYMBOL4
        CJNE R3, #00H, SYMBOL3A
        MOV A, #'2'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN11
        CLR RI
        JMP RX
RETURN12: RETI
SYMBOL3A: MOV A, #'@'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN12
        CLR RI
        JMP RX
SYMBOL4: CJNE A, #26H, SYMBOL5
        CJNE R3, #00H, SYMBOL4A
        MOV A, #'3'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN12
        CLR RI
        JMP RX
SYMBOL4A: MOV A, #'#'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN12
        CLR RI
        JMP RX
SYMBOL5: CJNE A, #25H, SYMBOL6
        CJNE R3, #00H, SYMBOL5A
        MOV A, #'4'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN12
        CLR RI
        JMP RX
SYMBOL5A: MOV A, #'$'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI, RETURN12
        CLR RI
        JMP RX

```



```

SYMBOL6:    CJNE A, #2EH, SYMBOL7
             CJNE R3, #00H, SYMBOL6A
             MOV A, #'5'
             LCALL LCDWRITE
             LCALL DELAY
             JNB RI, RETURN12
             CLR RI
             JMP RX
SYMBOL6A:   MOV A, #'%'
             LCALL LCDWRITE
             LCALL DELAY
             JNB RI, RETURN12
             CLR RI
             JMP RX

RETURN13:   RETI

SYMBOL7:    CJNE A, #36H, SYMBOL8
             CJNE R3, #00H, SYMBOL7A
             MOV A, #'6'
             LCALL LCDWRITE
             LCALL DELAY
             JNB RI, RETURN13
             CLR RI
             JMP RX
SYMBOL7A:   MOV A, #'^'
             LCALL LCDWRITE
             LCALL DELAY
             JNB RI, RETURN13
             CLR RI
             JMP RX
SYMBOL8:    CJNE A, #3DH, SYMBOL9
             CJNE R3, #00H, SYMBOL8A
             MOV A, #'7'
             LCALL LCDWRITE
             LCALL DELAY
             JNB RI, RETURN13
             CLR RI
             JMP RX
SYMBOL8A:   MOV A, #'&'
             LCALL LCDWRITE
             LCALL DELAY
             JNB RI, RETURN13
             CLR RI
             JMP RX
SYMBOL9:    CJNE A, #3EH, SYMBOL10
             CJNE R3, #00H, SYMBOL9A
             MOV A, #'8'
             LCALL LCDWRITE
             LCALL DELAY
             JNB RI, RETURN13
             CLR RI
             JMP RX
SYMBOL9A:   MOV A, #'*'
             LCALL LCDWRITE
             LCALL DELAY
             JNB RI, RETURN13
             CLR RI
             JMP RX

RETURN14:   RETI

```

```

SYMBOL10:  CJNE A, #46H, SYMBOL11
            CJNE R3, #00H, SYMBOL10A
            MOV A, #'9'
            LCALL LCDWRITE
            LCALL DELAY
            JNB RI, RETURN14
            CLR RI
            JMP RX
SYMBOL10A:  MOV A, #'('
            LCALL LCDWRITE
            LCALL DELAY
            JNB RI, RETURN14
            CLR RI
            JMP RX
SYMBOL11:  CJNE A, #45H, SYMBOL12
            CJNE R3, #00H, SYMBOL11A
            MOV A, #'0'
            LCALL LCDWRITE
            LCALL DELAY
            JNB RI, RETURN14
            CLR RI
            JMP RX
SYMBOL11A:  MOV A, #')'
            LCALL LCDWRITE
            LCALL DELAY
            JNB RI, RETURN14
            CLR RI
            JMP RX
SYMBOL12:  CJNE A, #4EH, SYMBOL13
            CJNE R3, #00H, SYMBOL12A
            MOV A, #'-'
            LCALL LCDWRITE
            LCALL DELAY
            JNB RI, RETURN14
            CLR RI
            JMP RX
SYMBOL12A:  MOV A, #'_'
            LCALL LCDWRITE
            LCALL DELAY
            JNB RI, RETURN14
            CLR RI
            JMP RX
RETURN15:  RETI
SYMBOL13:  CJNE A, #55H, SYMBOL27
            CJNE R3, #00H, SYMBOL13A
            MOV A, #'='
            LCALL LCDWRITE
            LCALL DELAY
            JNB RI, RETURN15
            CLR RI
            JMP RX
SYMBOL13A:  MOV A, #'+'
            LCALL LCDWRITE
            LCALL DELAY
            JNB RI, RETURN15
            CLR RI
            JMP RX
SYMBOL27:  CJNE A, #54H, SYMBOL28

```



```

        CJNE R3,#00H,SYMBOL27A
        MOV A,#'['
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN15
        CLR RI
        JMP RX
SYMBOL27A: MOV A,#'{'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN15
        CLR RI
        JMP RX
SYMBOL28:  CJNE A,#5BH,SYMBOL40
        CJNE R3,#00H,SYMBOL28A
        MOV A,#']'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN15
        CLR RI
        JMP RX
SYMBOL28A: MOV A,#'}'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN15
        CLR RI
        JMP RX
RETURN16: RETI
SYMBOL40:  CJNE A,#4CH,SYMBOL41
        CJNE R3,#00H,SYMBOL40A
        MOV A,#';'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN16
        CLR RI
        JMP RX
SYMBOL40A: MOV A,#':'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN16
        CLR RI
        JMP RX
SYMBOL41:  CJNE A,#52H,SYMBOL53
        CJNE R3,#00H,SYMBOL41A
        MOV A,#'''
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN16
        CLR RI
        JMP RX
SYMBOL41A: MOV A,#'""
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN16
        CLR RI
        JMP RX
SYMBOL53:  CJNE A,#41H,SYMBOL54
        CJNE R3,#00H,SYMBOL53A
        MOV A,#','

```

```

        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN16
        CLR RI
        JMP RX
SYMBOL53A: MOV A,#'<'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN16
        CLR RI
        JMP RX

RETURN17: RETI

SYMBOL54: CJNE A,#49H,SYMBOL55
        CJNE R3,#00H,SYMBOL54A
        MOV A,#'.'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN17
        CLR RI
        JMP RX
SYMBOL54A: MOV A,#'>'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN17
        CLR RI
        JMP RX
SYMBOL55: CJNE A,#4AH,SPACEBAR
        CJNE R3,#00H,SYMBOL55A
        MOV A,#'/'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN17
        CLR RI
        JMP RX
SYMBOL55A: MOV A,#'?'
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN17
        CLR RI
        JMP RX
SPACEBAR: CJNE A,#29H,RETURN17
        MOV A,#' '
        LCALL LCDWRITE
        LCALL DELAY
        JNB RI,RETURN17
        CLR RI
        JMP RX

;*****RECEIVE DATA FROM SERIAL PORT & DISPLAY ON LCD*****
RX:
WAIT_R: JNB RI,WAIT_R;WAIT UNTIL FINISH RECEIVE DATA FROM SERIAL PORT
MOV A,SBUF
MOV SERIAL,A

DISP_LINE2:
CHK_CAPS2: CJNE A,#58H,SET_ADDR2 ;CHECK FOR CAPS LOCK
        MOV R3,CAPS2
        MOV A,R3

```



```

CPL A
MOV R3,A
MOV CAPS2,R3
JMP RX
SET_ADDR2:    MOV A,ADDR2 ;SET ADDRESS FOR DISPLAY ON LCD LINE2
               LCALL LCDSET
               LCALL DELAY
               INC A ;SET ADDRESS FOR NEXT DISPLAY ON LCD LINE2
               MOV ADDR2,A
INC_R42:      MOV R4,FULL2
               INC R4
               MOV FULL2,R4
CHK_LCDFULL2: CJNE R4,#11H,BACKSPACE2 ;CHECK FOR LCD LINE2 FULL
               MOV A,#00000111B
               LCALL LCDSET
               LCALL DELAY
               DEC R4
               MOV FULL2,R4
BACKSPACE2:   MOV A,SERIAL
               CJNE A,#66H,JMP_DISPA
               DEC R4
               DEC R4
               MOV FULL2,R4
               MOV A,ADDR2
               DEC A
               LCALL LCDSET
               LCALL DELAY
               DEC A
               MOV ADDR2,A
               MOV A,#00000100B;DISPLAY IN LEFT DIRECTION
               LCALL LCDSET
               LCALL DELAY
               MOV A,#' '
               LCALL LCDWRITE
               LCALL DELAY
               MOV A,#' '
               LCALL LCDWRITE
               LCALL DELAY
               MOV A,#00000110B;CURSOR RIGHT AS DATA DISPLAY
               LCALL LCDSET
               LCALL DELAY
               JMP RX
JMP_DISPA:    JMP DISPA

```

;*****PROGRAM USED WITH LCD*****

```

LCDSET:
CLR RS
CLR RW
MOV LCD,A
LCALL ENABLE
LCALL DELAY
RET

```

```

LCDWRITE:
SETB RS
CLR RW
MOV LCD,A
LCALL ENABLE
LCALL DELAY
RET

```

```
ENABLE:  
SETB E  
NOP  
NOP  
CLR E  
RET
```

```
DELAY:  
MOV R0,#0FFH  
LOOP:  
NOP  
NOP  
DJNZ R0,LOOP  
RET
```

```
END
```



กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณสิริพร สมรรถากร และทุกๆ คนในครอบครัวซึ่งมีแต่ความรัก ความห่วงใย ดูแลเอาใจใส่ คอยอบรมบ่มนิสัย และเป็นกำลังใจให้กับลูกเสมอมา จนกระทั่งประสบความสำเร็จในการศึกษาระดับปริญญาตรี ศ.ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์ รศ.ดร.วิภา แสงพิสุทธิ์ และอาจารย์ทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน ที่คอยให้คำแนะนำและประสิทธิประสาทวิชาความรู้ต่างๆ ให้ตลอดระยะเวลาที่ทำโครงการ อ.กังวาล ทรัพย์อาจิณ สำหรับความคิดริเริ่มในโครงการนี้ คุณวิเลศ เจคิยานุวัตร ที่คอยให้คำปรึกษา และตรวจแก้รายงานฉบับนี้ คุณสุนีย์ หวังเกียรติกำจร สำหรับความห่วงใย กำลังใจ และเสบียงซึ่งมีให้ข้าพเจ้าเสมอมา พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พี่บัว พี่มด พี่แนน พี่ขวัญ พี่หนึ่ง สำหรับความช่วยเหลือ ความห่วงใย กำลังใจ และคำแนะนำที่มีให้เสมอ ขอขอบคุณ นส.รชนิมุข ปรีชาผล สำหรับความเข้าใจ ความห่วงใย กำลังกาย และกำลังใจที่มีให้ข้าพเจ้าเสมอมาตลอดเวลา 4 ปีที่ได้รู้จักกัน ขอขอบพระคุณผู้พิการทางทุทุกท่านและบุคคลอื่นๆ ที่มีได้กล่าวถึงในที่นี้ซึ่งเป็นกำลังใจและแรงผลักดันจนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยไม่รู้ตัว สุดท้ายนี้ขอขอบคุณโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย สำหรับช่วงเวลาแห่งความทรงจำ และหลายสิ่งหลายอย่างที่ผมไม่สามารถหาได้จากที่ใด

นาย นรวิวัฒน์ หิรัญธัญจาเลิศ

สุดท้ายนี้ ในอันดับแรกเหนือสิ่งอื่นใด ต้องขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้เลี้ยงดูอบรมสั่งสอนกระผมมาตลอด รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำปรึกษาตลอดการทำโครงการ ศ.ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์ รศ.ดร.วิภา แสงพิสุทธิ์ และอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาให้กับลูกศิษย์คนนี้ พี่ๆ น้องๆ ทุกคน โดยเฉพาะ พี่บัว พี่มด พี่หนึ่ง ที่ให้การช่วยเหลือมาตลอด เพื่อนๆ ทุกคน สุดท้ายนี้ขอขอบคุณโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย ที่ให้ทุกสิ่งทุกอย่างที่มีค่ามากมายตลอดระยะเวลา 6 ปี

นาย เทพวิฑูรย์ กุลธรรมโยธิน