เครื่องชุมสายโทรศัพท์ปลายทางแบบไร้สาย ใช้เทคนิคเลือกช่องความถี่ที่ว่าง

อิทธิพล พจนสัจ[1] ประภากร สุวรรณะ[2]
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอการออกแบบเครื่องชุมสายโทรศัพท์ปลายทางแบบไร้สายโดยใช้เทคนิคเลือกช่องความถี่ที่ว่างขนาด 4 คู่สายนอก 16 คู่สายใน ส่งผ่านสัญญาณเสียงทางคลื่นความถี่วิทยุ สัญญาณข่าวสารระหว่างตู้ชุมสายโทรศัพท์หลักกับเครื่องโทรศัพท์ตัวลูก ส่งผ่านสัญญาณแบบอะซิงโครนัสด้วยอัตราการส่งข้อมูลเท่ากับ 300 (BAUD RATE) ใช้การเข้ารหัสแบบ FSK รับ-ส่ง ออกอากาศแบบสองทางด้วยความถี่วิทยุ 47 เมกกะเฮริตซ์ และ 72 เมกกะเฮริตซ์ โดยมีคุณสมบัติสามารถทำการตรวจสอบช่องความถี่ใช้งานที่ว่างเพื่อประโยชน์ในการประหยัดช่องความถี่วิทยุ

[1] *นักศึกษาปริญญาโท*
[2] *หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์*

Cordless Pabx Using Scanning Unoccupied Channel Technique

Itipol Potejanasaja[1] **Prapakorn Suwanna**[2]

King Mongkut's Institute of Technology Lardkrabang

Abstract

This paper presents the design of the cordless PABX using scanning unoccupied channel technique for 4 external lines and 16 internal lines, performed by using FSK modulation at asynchronous transmission data rate between the switching base unit to portable units is 300 (baud rate). A full duplex transceiver uses the frequency rang of 47 MHz and 72 MHz bands, by scanning an unoccupied channel for the conserve of radio frequencies.

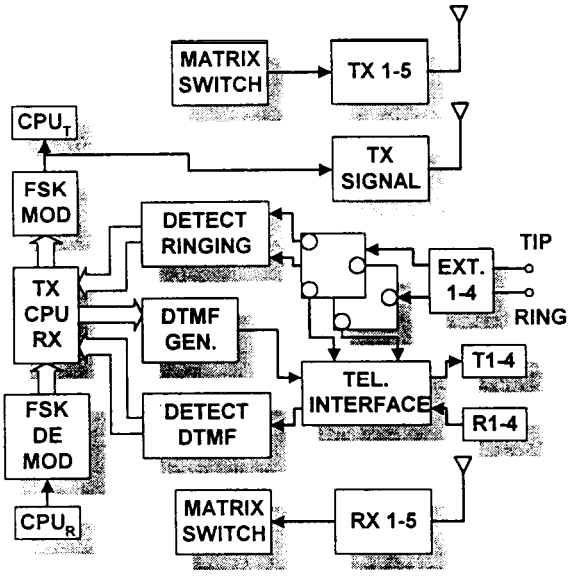
[1] Graduate Student

[2] Head of Electronics Engineering Department

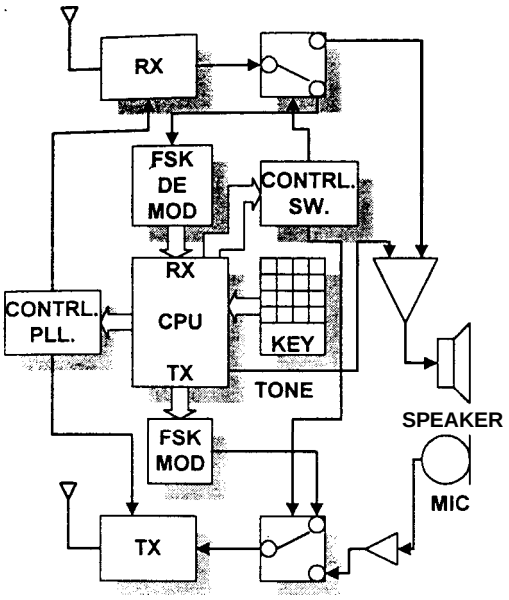
บทนำ

เทคโนโลยีระบบสื่อสารโทรคมนาคมได้มีการพัฒนาก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว โทรศัพท์ซึ่งมีบทบาทมากที่สุดในการติดต่อสื่อสารในชีวิตประจำวัน ได้มีการพัฒนาทั้งด้านเทคนิครูปแบบวิธีการ และสิ่งอำนวยความสะดวก เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพดีที่สุด เครื่องชุมสายโทรศัพท์ปลายทางเป็นอีกรูปแบบของโทรศัพท์ที่ใช้ติดต่อกันภายในตัวอาคาร คือทำหน้าที่เป็นชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่นขนาดเล็ก ๆ ติดต่อระหว่างคู่สายขององค์การโทรศัพท์ กับคู่สายภายในตัวอาคารซึ่งอาจมีเป็นจำนวนมากหรือน้อยขึ้นกับขนาดของเครื่องและการออกแบบจากผู้ผลิต

บทความนี้จึงได้นำเสนอเครื่องชุมสายโทรศัพท์ปลายทางแบบไร้สายใช้เทคนิคเลือกช่องความถี่ที่ว่าง โดยใช้หลักการเลือกช่องความถี่ใช้งานที่ว่าง เพื่อประโยชน์ในการประหยัดช่องความถี่วิทยุ มีผลทำให้แบนด์วิดธ์ของระบบลดลงซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการติดต่อสื่อสารโทรคมนาคมทางคลื่นความถี่วิทยุ ในการออกแบบได้ทำการออกแบบเป็นระบบขนาด 4 คู่สายนอก 16 คู่สายใน โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ตู้สวิทช์ชิ่งชุมสายโทรศัพท์หลัก (SWITCHING BASE UNIT) และเครื่องโทรศัพท์ตัวลูก (PORTABLE UNIT) ดังรูปที่ 1. และ 2. ตามลำดับ (รายละเอียดอธิบายในหัวข้อที่ 3. ส่วนประกอบของระบบ) ทางด้านทฤษฎีหลักการและส่วนประกอบภายในแต่ละส่วนจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป



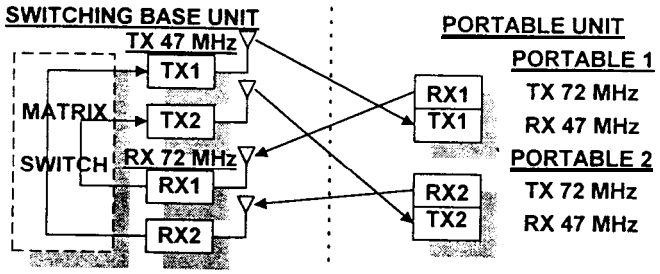
รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมตู้สวิทช์ชิ่งชุมสายโทรศัพท์หลัก



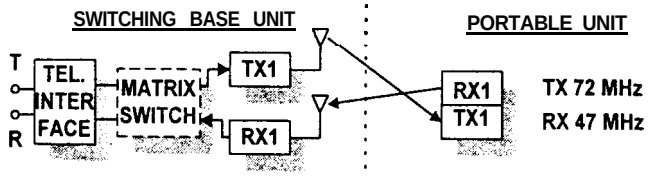
รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมเครื่องโทรศัพท์ตัวลูก

2. หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบระบบ

จากบล็อกไดอะแกรมของตู้สวิทช์ชิ่งชุมสายโทรศัพท์หลัก ความถี่ที่ใช้ รับ-ส่ง มีทั้งหมด 5 คู่ความถี่ และอีก 1 ความถี่สำหรับสัญญาณข้อมูล เพื่อใช้ในการติดต่อบอกข่าวสารระหว่างตู้ชุมสายหลักและโทรศัพท์ตัวลูก ในด้านการจัดสรรความถี่วิทยุ และหลักการจะกล่าวเป็นข้อ ๆ ดังนี้



รูปที่ 3 การติดต่อระหว่างโทรศัพท์ตัวลูก 2 ตัว



รูปที่ 4 การติดต่อระหว่างสายองค์การโทรศัพท์และโทรศัพท์ตัวลูก

2.1 หลักการบริหารความถี่ที่เลือกใช้งานและการเลือกช่องความถี่ใช้งานที่ว่าง

การติดต่อสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุได้อนุญาติให้ใช้ความถี่ 47-72 เมกกะเฮริตซ์ สำหรับโมไบล์ และช่วง 50-54 เมกกะเฮริตซ์ สำหรับวิทยุสมัครเล่น ในระบบที่ออกแบบขึ้นจึงเลือกใช้งานที่ 47 และ 72 เมกกะเฮริตซ์ ในการรับ-ส่งออกอากาศ และ 49 เมกกะเฮริตซ์ สำหรับสัญญาณข่าวสาร ในการติดต่อระหว่างโทรศัพท์ตัวลูก 2 ตัว จะมีการใช้งานความถี่ 2 คู่ ดังรูปที่ 3 ส่วนการติดต่อระหว่างสายองค์การโทรศัพท์กับโทรศัพท์ตัวลูกจะใช้เพียง 1 คู่ความถี่ ดังรูปที่ 4 การเลือกช่องความถี่ใช้งานที่ว่างจะเป็นการตรวจสอบช่องความถี่จากโปรแกรม ภายหลังจากมีการเรียกขอช่องความถี่ในการติดต่อ ซึ่งอาจเป็นระหว่างคู่สายภายใน หรือระหว่างคู่สายภายในกับคู่สายภายนอก โปรแกรมจะทำการตรวจสอบว่ามีคู่ความถี่คู่ไหนที่ว่าง จึงทำการเลือกใช้งานคู่ความถี่นั้น

ทางด้านช่องความถี่ได้กำหนดให้แต่ละช่องมีขนาดแบนด์วิดธ์ 100 กิโลเฮริตซ์ จำนวน 11 ช่องสัญญาณ แต่ในทางทฤษฎีแบนด์วิดธ์ [1] ของช่องสัญญาณในระบบขึ้นกับดัชนีการมอดูเลต ซึ่งในระบบใช้การมอดูเลตทางด้านความถี่

$$D = \frac{f\Delta}{W}$$

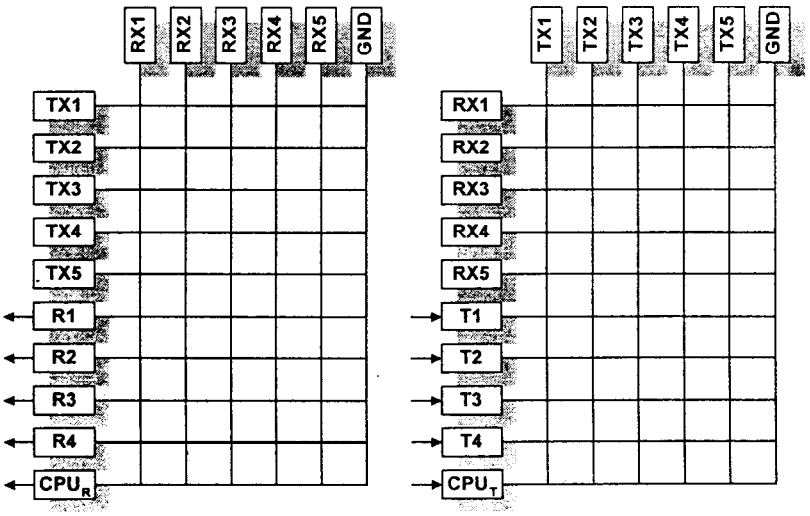
$f\Delta$ = ช่วงความถี่เบี่ยงเบน

W = ความถี่ของสัญญาณมอดูเลต

แบนด์วิดธ์ของสัญญาณรับ-ส่ง (TRANSMISSION BANDWIDTH) มีค่าเท่ากับ

$$B_T = 2M(D)W$$

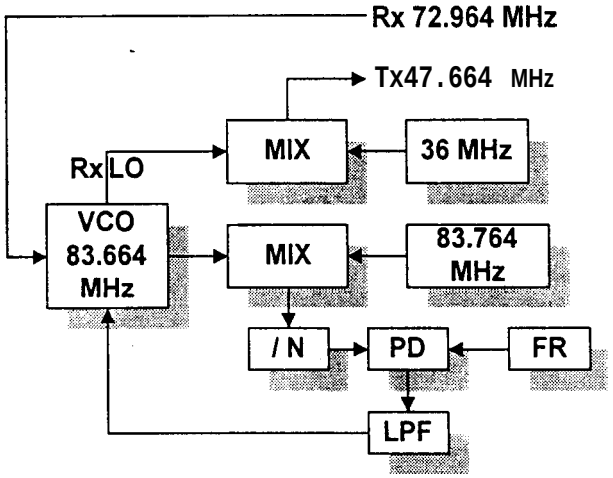
ซึ่ง $M(D)$ เป็นจำนวนคู่ของไซด์แบนด์ตามค่าดัชนีการมอดูเลต ซึ่งหาได้จากกราฟหรือตาราง ในที่นี้ $f\Delta$ ของระบบมีค่าเท่ากับ 5 K W มีค่าสูงสุดเท่ากับ 4 K ค่า $M(D)$ มีค่าประมาณ 3-4 เลือกค่ามากที่สุดคือ 4 เพราะฉะนั้น $B_{T\,max}$ มีค่าเท่ากับ 32 กิโลเฮริตซ์ ซึ่งเป็นแบนด์วิดธ์ที่มากที่สุดของระบบ แต่เนื่องจากระบบได้กำหนดแบนด์วิดธ์ไว้ 100 กิโลเฮริตซ์ จึงไม่ทำให้เกิดการรบกวนของสัญญาณระหว่างช่อง



รูปที่ 5 สวิทช์ชิ่งภายในตู้ชุมสายหลักโดยใช้เมตริกซ์สวิทช์ 2 ตัว

2.2 หลักการสวิทช์ชิ่งภายในตู้ชุมสายหลัก

จากที่กล่าวมาในตอนต้นภายในตู้ชุมสายหลัก จะมีระบบสวิทช์ชิ่งเพื่อตัดต่อช่องสัญญาณภายใน ในระบบได้ออกแบบโดยใช้เมตริกซ์ สวิทช์ 2 ตัวในการตัดต่อสัญญาณทั้งการติดต่อระหว่างโทรศัพท์ตัวลูก ระหว่างกัน และการติดต่อระหว่างสายองค์การโทรศัพท์กับโทรศัพท์ตัวลูก ดังรูปที่ 5 เมื่อมีการติดต่อระหว่างโทรศัพท์ตัวลูก 2 ตัว จะมีการต่อจุดบนเมตริกซ์สวิทช์ตัวละ 1 จุด ณ ตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งเท่ากับเป็นการใช้ความถี่ 2 คู่ความถี่ในการติดต่อ ส่วนการติดต่อระหว่างสายองค์การโทรศัพท์กับโทรศัพท์ตัวลูก จะมีการต่อจุดบนเมตริกซ์ สวิทช์ตัวละ 1 จุด ณ ตำแหน่งเดียวกัน แต่เป็นทางแถวของ T1-T4 และ R1-R4 ซึ่งเป็นการใช้ความถี่เพียง 1 คู่ความถี่เท่านั้น โดยในการติดต่อสื่อสารระหว่างโทรศัพท์ตัวลูกหรือสายองค์การโทรศัพท์จะมีการตรวจสอบช่องความถี่ที่ว่างจากโปรแกรมก่อน คือ ระบบที่ออกแบบมีความถี่ศูนย์กลางการใช้งาน เมื่อต้องการติดต่อกันจึงทำการจองช่องความถี่ที่ว่างให้ ซึ่งจะเป็นการประหยัดช่องความถี่วิทยุ และ CPU_R เป็น CPU_T ช่องการติดต่อข่าวสารข้อมูลระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์ของตู้สวิทช์ชิ่งชุมสายหลัก และโทรศัพท์ตัวลูกของช่องความถี่ที่ทำการเลือกช่องติดต่อกันแล้ว

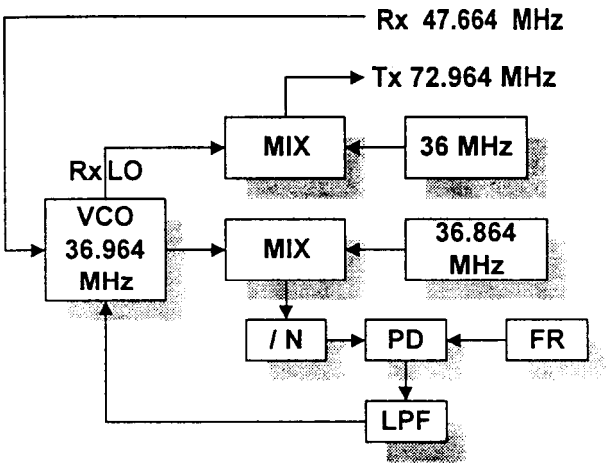


RxLO = Rx Local Oscillator

PD = Phase Detector

FR = Frequency Reference

รูปที่ 6 ระบบ รับ-ส่ง ของตู้สวิทช์ชิ่งชุมสายหลัก



RxLO = Rx Local Oscillator

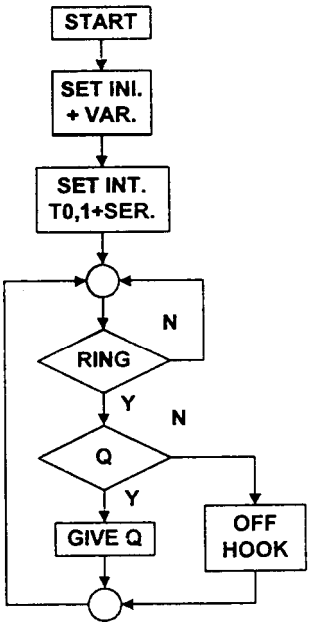
PD = Phase Detector

FR = Frequency Reference

รูปที่ 7 ระบบ รับ-ส่ง ของโทรศัพท์ตัวลูก

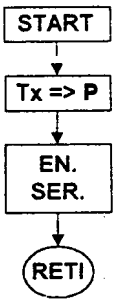
2.3 การออกแบบระบบ รับ-ส่ง แบบเลือกช่องความถี่อัตโนมัติ

ระบบ รับ-ส่ง แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ระบบ รับ-ส่ง ของตู้สวิทช์ชิ่งชุมสายหลัก และระบบ รับ-ส่ง ของโทรศัพท์ตัวลูกซึ่งมีลักษณะคล้ายๆ กัน ดังรูปที่ 6 และรูปที่ 7 การออกแบบจะอธิบายเฉพาะในส่วนของโทรศัพท์ตัวลูก ภาครับ รับความถี่ระหว่าง 47.664-48.564 เมกกะเฮริตซ์ ผสมด้วยความถี่กลาง 10.7 เมกกะเฮริตซ์ ฉะนั้น VCO จึงมีค่า 36.964 เมกกะเฮริตซ์ นำมาผสมกับความถี่ 36.864 เมกกะเฮริตซ์ ทำให้ได้ความถี่เป็นจำนวนเท่าของ 100 กิโลเฮริตซ์ จึงนำไปเข้าระบบเฟสล็อกลูป ซึ่งใช้ความถี่อ้างอิงเท่ากับ 10 กิโลเฮริตซ์ ฉะนั้นตัวหารจึงมีค่าเป็นจำนวนเท่าของ 10 ซึ่งใช้โปรแกรมผ่านทางพอร์ตของไมโครโปรเซสเซอร์ทำให้เลือกช่องความถี่แบบอัตโนมัติได้ ภาคส่งจาก VCO ของภาครับ 36.964 เมกกะ-เฮริตซ์ นำมาผสมกับความถี่ 36.000 เมกกะเฮริตซ์ ทำให้ได้ความถี่ 72.964-73.864 เมกกะเฮริตซ์ ส่งออกอากาศไปสู่สวิทช์ชิ่งชุมสายหลัก สำหรับความถี่ 49.864 เมกกะเฮริตซ์ ใช้เป็นช่องความถี่ของข้อมูลที่ส่งมาจากตู้สวิทช์ชิ่งชุมสายหลัก ไปสู่โทรศัพท์ตัวลูก



T0,1 = Interrupt Timer 0,1 SER. = Interrupt Serial Port Q = Queue

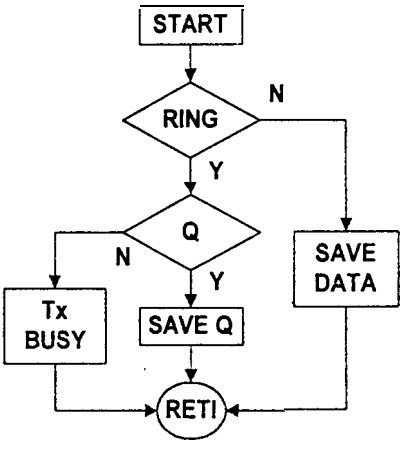
1. โปรแกรมหลัก



P = Portable Unit SER. = Interrupt Serial Port

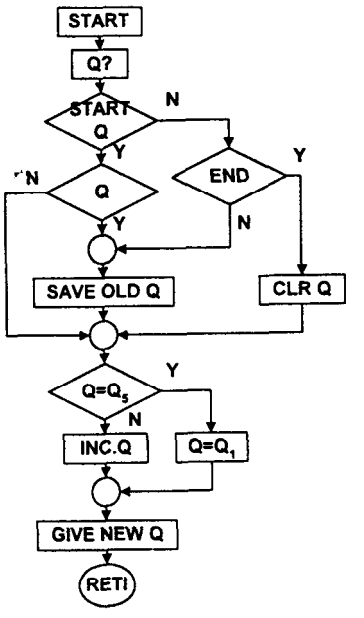
2. โปรแกรมอินเทอร์รัพต์ไทม์เมอร์

ส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม



Q = Queue

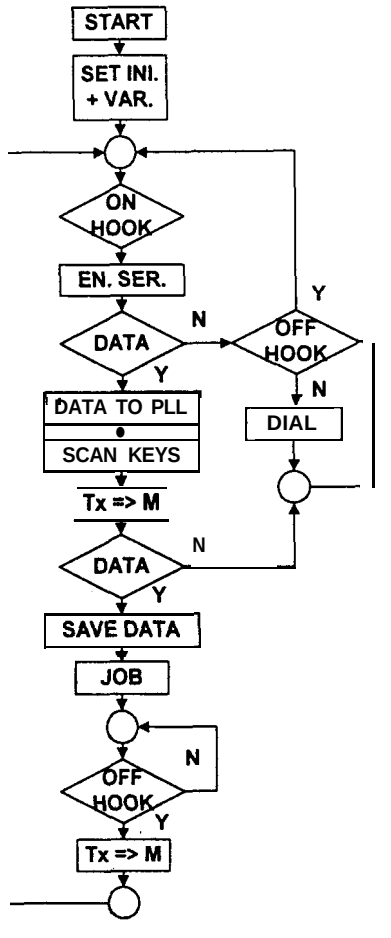
3. โปรแกรมอินเทอร์รัพต์พอร์ตอนุกรม



Q = Queue

4. โปรแกรมอินเทอร์รัพต์ไทม์เมอร์คิว

รูปที่ 8 อัลกอลิทึมของตู้สวิทช์ชิ่งชุมสายโทรศัพท์หลัก



M = Switching Base Unit

รูปที่ 9 อัลกอลิทึมของโทรศัพท์ตัวลูก

2.4 อัลกอลิทึมของโปรแกรมตู้สวิทช์ชิ่งชุมสายหลักและของเครื่องโทรศัพท์ตัวลูก

โปรแกรมแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ โปรแกรมส่วนของตู้สวิทช์ชิ่งชุมสายหลัก และโปรแกรมส่วนของโทรศัพท์ตัวลูกอัลกอลิทึมของตู้สวิทช์ชิ่งชุมสายหลักแสดงดังรูปที่ 8 ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ 1 โปรแกรมหลัก และ 3 โปรแกรมการอินเทอร์รัพต์ดังนี้

1. โปรแกรมหลักทำหน้าที่ตรวจสอบสัญญาณกระดิ่งจากสายองค์การฯ ถ้ามีจึงเก็บสถานะลงในคิวซึ่งจะได้ อธิบายรายละเอียดของคิวในโปรแกรมส่วนที่ 4

2. โปรแกรมอินเทอร์รัพต์ไทม์เมอร์เพื่อส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม เมื่อถึงเวลาที่กำหนด T จึงทำการส่งช่องความถี่ที่ว่างไปยังโทรศัพท์ตัวลูกตัวใด ๆ ที่เรียกขอการติดต่อ จากนั้นจะอนุญาติให้อินเทอร์รัพต์พอร์ตอนุกรมเกิดขึ้นได้เพื่อรับข้อมูลจากโทรศัพท์ตัวลูกตัวใด ๆ ที่ต้องการส่งข้อมูลกลับมายังตู้ชุมสายหลัก ซึ่งก็คือ โปรแกรมในส่วนที่ 3

3. โปรแกรมอินเทอร์รัพต์พอร์ตอนุกรม จากโปรแกรมส่วนที่ 2 ซึ่งอนุญาติให้การอินเทอร์รัพต์เกิดขึ้นได้ เมื่อรับข้อมูลได้จึงนำมาเก็บสถานะในคิว หรือ อาจเป็นการเก็บข้อมูลการติดต่อระหว่างโทรศัพท์ตัวลูกกับตู้ชุมสายหลักก็ได้

4. โปรแกรมอินเทอร์รัพต์ไทม์เมอร์คิว ได้กำหนดให้มีคิวจำนวน 5 คิว หรือ 5 งาน โดยใช้การอินเทอร์รัพต์ของไทม์เมอร์ ในการอ่านคิว เริ่มต้นคิว เปลี่ยนคิวรีเซตคิว และดูว่าคิวจบงานแล้วหรือยัง

อัลกอริทึมส่วนของโทรศัพท์ตัวลูกแสดงดังในรูปที่ 9. เป็นการตรวจสอบการยกหูโทรศัพท์ เมื่อมีจึงอนุญาติให้การอินเทอร์รัพต์พอร์ตอนุกรมเกิดขึ้นได้ เพื่อรอรับช่องความถี่ที่จะใช้ในการสื่อสารข้อมูลในช่วงแรกของการติดต่อ เพื่อให้ตู้ชุมสายหลักรับรู้สถานะการติดต่อของโทรศัพท์ตัวลูกผ่านทางคีย์ของโทรศัพท์ แล้วจึงรอการตอบรับข้อมูลกลับมาจากตู้ชุมสายหลักเพื่อให้สถานะการทำงานกับโทรศัพท์ตัวลูกนั้น ๆ

3. ส่วนประกอบของระบบ

จากที่กล่าวมาระบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ตู้สวิทช์ชิ่งชุมสายโทรศัพท์หลัก และเครื่องโทรศัพท์ตัวลูก จะแยกกล่าวเป็นข้อ ๆ ดังนี้

3.1 ตู้สวิทช์ชิ่งชุมสายโทรศัพท์หลัก

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 1. ส่วนการติดต่อกับสายองค์การโทรศัพท์ประกอบด้วยวงจรตรวจสอบสัญญาณกระดิ่ง (DETECT RINGING) เพื่อตัดต่อเข้าวงจรเชื่อมต่อทางโทรศัพท์ (TELEPHONE INTERFACE) ซึ่งทำหน้าที่แยกสัญญาณเป็นรับ-ส่งอิสระจากกัน วงจรตรวจจับสัญญาณ DTMF (DETECT DTMF) เมื่อผู้ติดต่อจากภายนอกทราบหมายเลขของเครื่องโทรศัพท์ภายใน และวงจรกำเนิดสัญญาณ DTMF เมื่อโทรศัพท์ตัวลูกต้องการติดต่อกับสายองค์การโทรศัพท์ ส่วนสวิทช์ชิ่งภายในตู้ชุมสายโทรศัพท์ซึ่งได้อธิบายในหัวข้อ

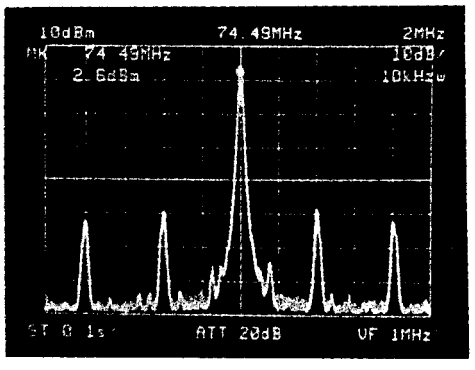
ก่อนทำการควบคุมจากโปรแกรมผ่านทางพอร์ตของไมโครฯ Z80-180 และใช้พอร์ตอนุกรมสื่อสารรับ-ส่งข้อมูลกับโทรศัพท์ตัวลูกตามมาตรฐาน CCITT V.21 [2] อัตราการส่งข้อมูล 300 (BAUD RATE) เข้ารหัส FSK ด้านส่ง สัญญาณ 1 เท่ากับ 980 Hz สัญญาณ 0 เท่ากับ 1180 Hz ด้านรับ สัญญาณ 1 เท่ากับ 1650 Hz สัญญาณ 0 เท่ากับ 1850 Hz ส่งผ่านข่าวสารข้อมูลทางช่องความถี่ 49 MHz เพื่อบอกช่องความถี่ใช้งานที่ว่างแก่โทรศัพท์ตัวลูก หลังจากนั้นการติดต่อสื่อสารจึงเริ่มขึ้น ช่องความถี่ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารเป็นแบบสองทาง 5 คู่ ความถี่

3.2 เครื่องโทรศัพท์ตัวลูก

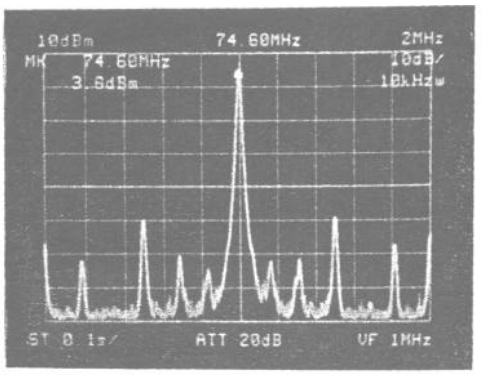
จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2. ได้เลือกใช้ไมโครฯ 8051 ในเครื่องโทรศัพท์ตัวลูก ใช้พอร์ตอนุกรมสื่อสารข้อมูลมีลักษณะเช่นเดียวกับตู้สวิทช์ชิ่งโทรศัพท์หลัก เพื่อติดต่อกับตู้ชุมสายหลัก พอร์ตที่กำหนดประกอบด้วย คีย์บอร์ด 0-9 และ ฮุคสวิทช์ พอร์ตข้อมูลโปรแกรมเฟสล็อกลูป พอร์ตสัญญาณโทรศัพท์ 4 สัญญาณ เพื่อใช้กับโทรศัพท์ตัวลูกเอง และส่วนต่อเข้าไมโครโฟน และลำโพง ตามลำดับ

4. ผลการทดลอง

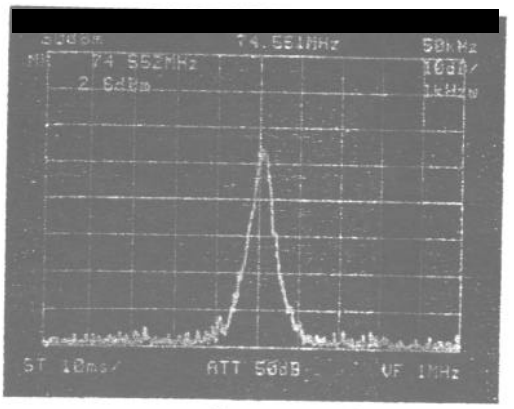
ผลการทดสอบของภาครับ-ส่ง แสดงดังรูป รูปที่ 10. เป็นสเปคตรัมของภาคส่งที่ความถี่ 73.364 เมกกะเฮริตซ์ และ รูปที่ 11. เป็นสเปคตรัมที่ความถี่ของช่องสัญญาณถัดมาคือ 73.464 เมกกะเฮริตซ์ รูปที่ 12. เป็นสเปคตรัมของภาคส่งเมื่อไม่มีสัญญาณอินพุท เปรียบเทียบกับ รูปที่ 13. เมื่อมอดูเลตด้วยสัญญาณคลื่นไซน์ 5 กิโลเฮริตซ์ รูปที่ 14. เป็นสัญญาณเอาท์พุททางภาครับเมื่อให้สัญญาณอินพุทเป็นคลื่นไซน์ 5 กิโลเฮริตซ์ เปรียบเทียบกับ รูปที่ 15. ซึ่งให้อินพุทเป็นคลื่นจัตุรัส 5 กิโลเฮริตซ์ และ รูปที่ 16. ให้สัญญาณอินพุทเป็นคลื่นจัตุรัส 1 กิโลเฮริตซ์ ซึ่งผลการทดลอง รับ-ส่ง ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ



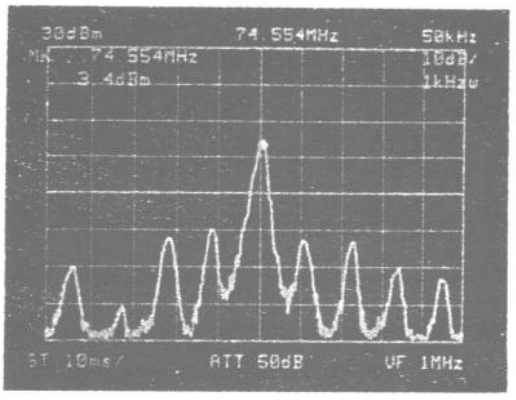
รูปที่ 10. สเปคตรัมความถี่ของภาคส่งที่ความถี่ 73.364 MHz



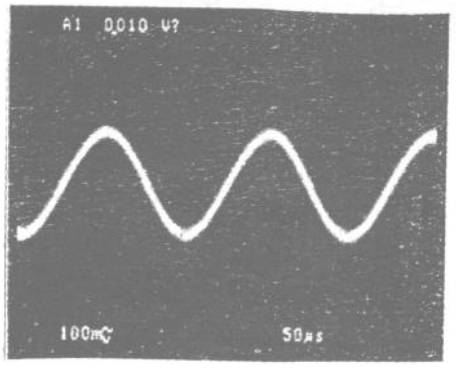
รูปที่ 11. สเปคตรัมความถี่ของภาคส่งที่ความถี่ 73.464 MHz



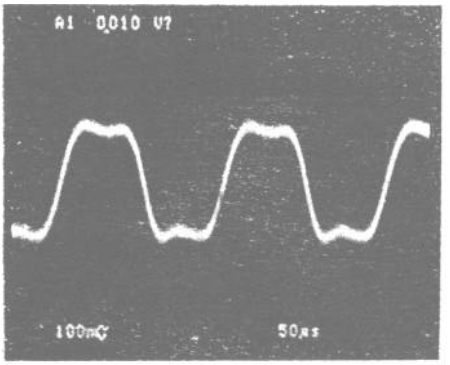
รูปที่ 12. สเปคตรัมความถี่ของภาคส่งเมื่อไม่มีสัญญาณอินพุท



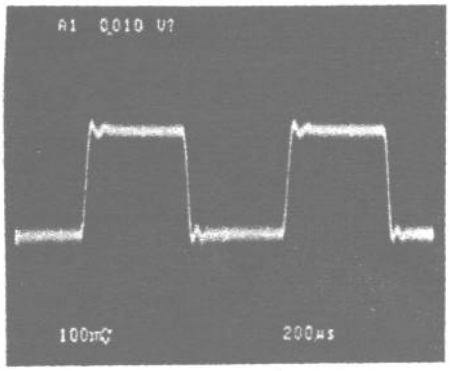
รูปที่ 13. สเปคตรัมความถี่ของภาคส่งเมื่อมอดูเลต sine 5 KHz



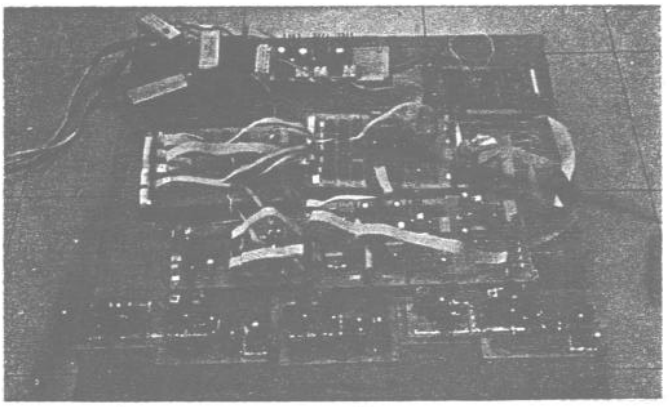
รูปที่ 14. สัญญาณเอาท์พุทของภาครับเมื่อให้อินพุทเป็น sine 5 Khz



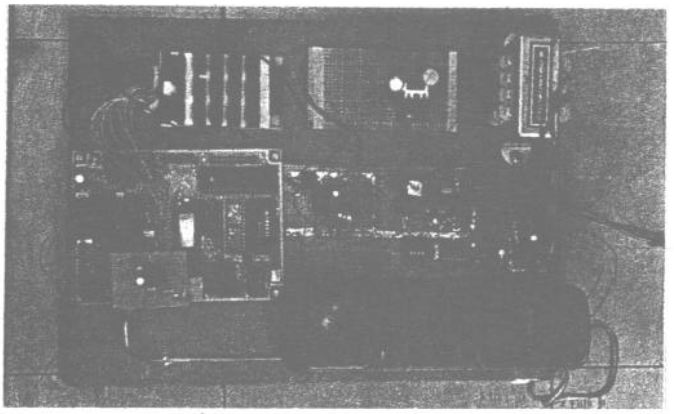
รูปที่ 15. สัญญาณเอาท์พุทของภาครับเมื่อให้อินพุทเป็น square 5 Khz



รูปที่ 16. สัญญาณเอาท์พุทของภาครับเมื่อให้อินพุทเป็น square 1 Khz



รูปที่ 17. ภาพถ่ายตู้สวิทช์ชิ่งชุมสายโทรศัพท์หลัก



รูปที่ 18. ภาพถ่ายโทรศัพท์ตัวลูก

บทสรุป

จากผลการทดลองการส่งข้อมูลทางคลื่นความถี่วิทยุที่ได้ทำการออกแบบขึ้น จะเห็นได้ว่าสามารถกระทำได้อย่างสมบรูณ์เป็นที่น่าพอใจ เป็นระบบที่ออกแบบเพื่อให้ใช้งานได้สะดวก อีกทั้งระบบคลื่นความถี่วิทยุที่ออกแบบมีคุณสมบัติประหยัดช่องความถี่วิทยุ นอกจากนี้สามารถนำไปพัฒนาเป็นระบบโทรศัพท์ที่มีการส่งข้อมูลดิจิตอลทางคลื่นความถี่วิทยุต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. Carlson, A.B., 1988, Communication Systems, 3rd ed., New York, McGraw-Hill.
2. Roden, M.S., 1988, *Digital* Communication Systems Design, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall.