

การออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

ปริญญานิพนธ์

ของ

นิยม สังขวิเชียร

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา

ธันวาคม 2542

ลิขสิทธิ์เป็นของ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

บทคัดย่อ
ของ
นิยม สังขวิเชียร

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
ธันวาคม 2542

นิยม สังขวิเชียร (2542). **การออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารข้อมูลของโทรศัพท์**

ขนาด 32 ช่องสัญญาณ. ปรินต์งานพิมพ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม : ดร. ไพรัช วงศ์ยุทธไกร, นายเดชพร ด้านพิทักษ์กุล.

การออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารข้อมูลของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ โดยการออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด 2 แอมแปร์ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด 250 มิลลิแอมแปร์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชนิดที่เลือกค่าแรงดันขาออกได้ 2 ระดับคือ 5 โวลต์ และ 1 โวลต์ สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด 250 มิลลิแอมแปร์ และส่วนประกอบของชุดมัลติเพล็กซ์&ดีมัลติเพล็กซ์ประกอบขึ้นเป็นเครื่องมัลติเพล็กซ์ที่ใช้ในระบบสื่อสารข้อมูลของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ โดยให้สัญญาณขาออกเป็น จี 703 ขนาด 32 ช่องสัญญาณ (2.048 Mb/s) โดยการนำไปใช้งานกับระบบสื่อสารข้อมูลของโทรศัพท์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบโทรคมนาคมโดยทำการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารข้อมูลของโทรศัพท์ ซึ่งต้องเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ (International Telecommunication Union - Transmission) เพื่อนำไปใช้งานตามความต้องการต่อไป

ผลการทดลองสรุปได้ว่า การออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารข้อมูลของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. อัตราความเร็วของการส่งในสายสูงสุด 2.048 Mb/s + 3 ppm
2. อัตราความเร็วสูงสุดในการส่งข้อมูล 2.048 Mb/s + 3 ppm
3. รหัสของการส่งสัญญาณของสาย เอชดีบี-3
4. ค่าความต้านทานในสาย 75 โอห์ม ร้อยละ 5 / 120 โอห์ม ร้อยละ 5
5. ค่าแรงดันสูงสุดในขณะที่ทำงานปกติ 3.26 โวลต์
6. ค่าแรงดันสูงสุดในขณะที่ไม่มีการทำงาน 0.206 โวลต์
7. ความกว้างของพัลส์ปกติ 252.2 เอ็มเอส
8. อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและต่ำสุด 1 โวลต์
9. อัตราความสูญเสียของสัญญาณที่ความถี่ 1024 kHz 5 dB
10. การสูญเสียป้อนกลับที่ความถี่ 1024 kHz = 21.374 dB
11. จำนวนของการสูญเสียสายเคเบิล 4 เส้น
12. ค่าเฉลี่ยกำลังขาออก 15.5 dBm
13. ค่าสูญเสียของการสูญเสีย 19 dB @ 150 kHz
14. ค่าความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสตรงของการสูญเสีย 150 โอห์ม

**A DESIGN AND CONSTRUCTION OF 32 CHANNELS DIGITAL MULTIPLEXERING &
DEMULTIPLEXING TRANSMISSION TELEPHONE SYSTEMS.**

AN ABSTRACT

BY

NIYOM SANGKAWICHEN

**Presented in partial fulfillment of the requirements for the Master of
Education degree in Industrial Education
at Srinakharinwirot University
December 1999**

Niyom Sangkawichien. (1999). ***A Design and Construction of 32 Channels Digital Multiplexing & Demultiplexing Transmission Telephone Systems***. Master thesis, M.A. (Industrial Education). Bangkok : Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee : Dr. Pairust Vongyuttakrai , Mr. Dejporn Danpitakkul

In order to design and construction of 32 digital Channels multiplexing & demultiplexing in telephone transmission systems. three equipments were designed and construction. The first equipment functions as source of power supply of 220 voltage 50 hertz of alternative current and power supply of 48 voltages of direct current, with maximum supply capacity of 2 amperes. The second equipment functions as source of power supply of 48 voltage of direct current, with maximum supply capacity of 250 milliampere. It also functions as source of power supply of direct current where pressure can be chosen in 2 levels between 5 voltage and 1 voltage, with a maximum supply capacity of 250 milliamperes. The third equipment is the composed of 32 digital channels multiplexing and demultiplexing which can be used in telephone transmission systems. The 32 channels G. 703 (2.048 Mb/s) is used as an output in digital. This apparatus is sued in transmission systems of a telephone used in telecommunications systems. It's efficiency is tested in the telephone's transmission systems in accordance with the standard specified by International Telecommucation Union - Transmission (ITU-T) for future use and benefits.

The result of the experiment shows that the 32 digital channels multiplexing & demultiplexing in telephone transmission systems have detail loud the following.

1. Line Rate 2.048 Mb/s + 3 ppm
2. Data Rate 2.048 Mb/s + 3 ppm
3. Line Code HDB-3
4. Line Impedance 75 Ohms 5% / 120 Ohms 5 %
5. Norminal peak voltage of a mark 3.26 V.
6. Peak voltage of a space 0.206 V.
7. Norminal pulse width 252.2 ns.
8. Ratio of the amplitudes (positive & negative) 1 V.
9. Allowable cable Loss at 1024 khz 5 dB
10. Return Loss at 1024 KHz = 21.374 dB
11. Number of Loops 4 Wire
12. Average Output Power 15.5 dbm
13. Loop Loss 19 dB @150 kHz
14. Loop Impedance 150 Ohms

ปริญญานิพนธ์

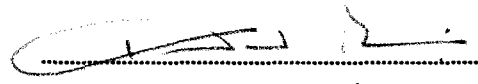
เรื่อง

การออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

ของ

นายนิยม สังขวิเชียร

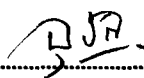
ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

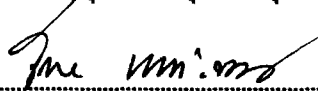
 คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)
วันที่ 24 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2542

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

 ประธาน
(ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)

 กรรมการ
(นายเดชพร ด้านพิทักษ์กุล)

 กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(ดร.อุปวิทย์ สุวคันธกุล)

 กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงด้วยความเมตตา ให้คำแนะนำ แก่ไข ดุแลและให้กำลังใจอย่างดียิ่ง จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ ศลโกสุม และ ดร.ไพฑูรย์ โพธิสาร ที่ได้จัดให้มีการสัมมนาเค้าโครงปริญญานิพนธ์ขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร ที่สละเวลาเป็นประธานควบคุมปริญญานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำ แก่ไข ดุแลให้กำลังใจและให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณเดชพร ด้านพิทักษ์กุล หัวหน้าหน่วยงานมัลติเพล็กซ์ กองเทคนิคระบบสื่อสาร สัญญาณ ส่วนบริหารโครงข่ายโทรคมนาคม ฝ่ายโครงข่ายโทรคมนาคม องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย กรุงเทพมหานคร ที่สละเวลาเป็นกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำ แก่ไข ดุแลให้กำลังใจและให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร.อุพิทย สุวคันธกุล อาจารย์วิโรจน์ เอ็งสุโสภณ อาจารย์สุดใจ เหง้าศรีไพร และ อาจารย์สุจิต วัชรเฝ้า ที่กรุณาร่วมเป็นกรรมการสอบให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ และให้แนวคิดรวมไปถึงกำลังใจในการดำเนินงานเพื่อให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณปริญญายวงวงศ์สุนทร คุณธีรธรรม เปลื้องประดิษฐ์ เจ้าหน้าที่งานระบบอุปกรณ์ มัลติเพล็กซ์ กองระบบอุปกรณ์สื่อสาร สัญญาณ ส่วนบริหารโครงข่ายโทรคมนาคม ฝ่ายโครงข่ายโทรคมนาคม องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย กรุงเทพมหานคร ที่กรุณาให้ข้อมูลข้อเสนอแนะต่าง ๆ รวมไปถึงสถานที่อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ ในการออกแบบและสร้างและให้แนวคิดรวมไปถึงกำลังใจในการดำเนินงานเพื่อให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณประณัฐ สุขวราพงศ์ คุณสมบัติ สุนทรบัญญัติ คุณวัชรพงษ์ เอี่ยมสำอางค์ และเจ้าหน้าที่ หน่วยระบบสื่อสาร สัญญาณทางสายที่ 1 กองระบบสื่อสาร สัญญาณที่ 1 ส่วนระบบตอนในที่ 1 ฝ่ายนครหลวงที่ 1 องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย กรุงเทพมหานคร ที่กรุณาให้ข้อมูลข้อเสนอแนะต่าง ๆ รวมไปถึงสถานที่อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ ในการออกแบบและสร้างและให้แนวคิดรวมไปถึงกำลังใจในการดำเนินงานเพื่อให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณนพดล โรจพิมาน คุณทรงชัย ยิ่งยงเจริญ และเจ้าหน้าที่กองทดสอบอุปกรณ์ โทรคมนาคม ฝ่ายวิจัยและพัฒนาเทคนิค องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี ที่กรุณาให้ข้อมูลข้อเสนอแนะต่าง ๆ รวมไปถึงสถานที่อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ สำหรับการทดสอบตามมาตรฐาน ไอทียู-ที ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณบุญเสริม สุขสุภาพ คุณชาญชัย บุญชู และคุณนวลลักษณ์ ไวยโชติ ที่ได้ให้คำปรึกษาช่วยเหลือติดต่อประสานงาน สนับสนุนด้านข้อมูล และให้กำลังใจจนทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงด้วยความเรียบร้อย

อนึ่ง ผู้วิจัยได้รับการสนับสนุนและให้กำลังใจเป็นอย่างยิ่ง จากคณาจารย์และกรรมการบริหารหลักสูตรสาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษาทุกท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณนิสิตรุ่นพี่ เพื่อนร่วมรุ่น และรุ่นน้อง ปรียญาโท หลักสูตรวิชา
อุตสาหกรรมศึกษาทุกท่าน ที่ให้กำลังใจและบุคคลอื่นที่ไม่สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมดที่มีส่วนช่วยเหลือแนะนำ
สนับสนุน และให้กำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ผู้วิจัยขอโน้มรำลึกถึงพระคุณของบิดามารดา ครู - อาจารย์ อันเป็นที่เคารพรักสูงสุดให้ทั้งความรู้
กำลังใจ กำลังทรัพย์ และผู้ที่จะมีได้คือ นายถนอม - นางเจิม สังขวิเชียร และนางเริ่ม จันทิปะ ที่ให้
ความช่วยเหลือสนับสนุนในการทำปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลงได้ อันพระคุณนี้หาที่เปรียบมิได้

นิยม สังขวิเชียร

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
ความสำคัญของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า.....	3
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	5
สมมติฐานในการวิจัย.....	5
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
หลักการเบื้องต้นของโทรศัพท์.....	6
ชุมสายโทรศัพท์.....	6
ข่ายสายท้องถิ่น.....	7
หลักการของระบบมัลติเพล็กซ์.....	9
การมัลติเพล็กซ์.....	9
การดีมัลติเพล็กซ์.....	12
วิธีมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามความถี่.....	14
วิธีมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลา.....	14
การถอดรหัส.....	15
การเข้ารหัส.....	31
หลักการของระบบสื่อสารสัญญาณ	33
สัญญาณอนาล็อก.....	34
สัญญาณดิจิตอล.....	34
สัญญาณรบกวน.....	36
โลเคิลลูป (Local Loop) สัญญาณจากโทรศัพท์.....	36
ระบบส่งสัญญาณมัลติเพล็กซ์แบบการแบ่งความถี่.....	37
ระบบส่งสัญญาณมัลติเพล็กซ์แบบการแบ่งเวลา.....	43
คุณสมบัติของอุปกรณ์วงจรและสายเคเบิล.....	49
ข้อดีของวงจรในตระกูล TTL	49
สายเคเบิลโทรศัพท์ประเภทต่าง ๆ	49
อาร์เอส-449 (RS-449).....	62
เครื่องนับความถี่	65
เกณฑ์ของระบบสื่อสารสัญญาณของสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ(ITU-T).....	66
เกณฑ์ของระบบสื่อสารสัญญาณ 2.048 Mbit/s.....	66

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2(ต่อ) เกณฑ์ของ High Density Bipolar (HDB - 3).....	70
เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	71
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	76
เกณฑ์ข้อกำหนดของการออกแบบและการสร้างเครื่องในการวิจัย.....	76
ลำดับขั้นตอนในการวิจัย.....	77
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	90
ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองใช้เครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณ ของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ.....	91
5 สรุป อภิปรายผล ข้อเสนอแนะ.....	97
สรุปผลการวิจัย.....	100
อภิปรายผล.....	103
ข้อเสนอแนะ.....	104
บรรณานุกรม.....	106
ภาคผนวก.....	110
ภาคผนวก ก หนังสือขอความร่วมมือเพื่อการวิจัย.....	111
ภาคผนวก ข รายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์	115
ภาคผนวก ค การทดสอบและภาพประกอบเกี่ยวกับการสร้าง.....	134
ภาคผนวก ง คู่มือการใช้เครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ.....	144
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	151

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงการใช้คู่สายโทรศัพท์ และประโยชน์ที่ได้รับ.....	7
2 การเปรียบเทียบระหว่างเลขรหัสแบบต่าง ๆ ที่มีขนาด 4 บิต.....	20
3 การเปรียบเทียบระหว่างเลขรหัสแบบต่าง ๆ ที่มีจำนวนบิตมากกว่า 4 บิต ใน 1 เวิร์ด.....	21
4 เอ้าพุทท์ของวงจรนับแบบ Twisted-Ring Johnson เทียบกับเลขฐานสิบ.....	27
5 คุณสมบัติของการอัด (การขยาย) 15 ตอน (Segment).....	47
6 การไม่สมดุลของค่า Capacitance.....	52
7 แสดงความต้านทานลวดตัวนำ.....	60
8 แสดงการเปรียบเทียบหน้าที่ของเข็มตามมาตรฐาน EIA RS-232C, EIA RS-49 และ ITU-T V.24.....	63
9 แสดงรายละเอียดเกณฑ์มาตรฐานของเครื่องมัลติเพล็กซ์ทางด้านอินพุต-เอ้าพุต.....	88
10 แสดงรายละเอียดเกณฑ์มาตรฐานของเครื่องมัลติเพล็กซ์ทางด้านรับ-ส่งสัญญาณ.....	89
11 การทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ เป็น แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 2 แอมแปร์ และแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 2 แอมแปร์ เป็นแหล่งจ่ายกระแสกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 250 มิลลิ- แอมแปร์ เป็นแหล่งจ่ายกระแสกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์ และเป็น แหล่งจ่ายกระแสกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 1 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์ ของเครื่องมัลติเพล็กซ์ ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ.....	91
12 การทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลของเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของ โทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ.....	93
13 การทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลของการรับ-ส่ง ของเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบ สื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ.....	116
14 แสดงรายละเอียดของตัวเก็บประจุ.....	116
15 แสดงรายละเอียดของไดโอด.....	116
16 แสดงรายละเอียดของทรานซิสเตอร์.....	116
17 แสดงรายละเอียดของตัวเก็บประจุ.....	117
18 แสดงรายละเอียดของตัวต้านทาน.....	117
19 แสดงรายละเอียดของไดโอด.....	119
20 แสดงรายละเอียดของทรานซิสเตอร์.....	120
21 แสดงรายละเอียดไอซี.....	120
22 แสดงรายละเอียดตัวเก็บประจุ.....	121
23 แสดงรายละเอียดตัวความต้านทาน.....	122
24 แสดงรายละเอียดไดโอด.....	126
25 แสดงรายละเอียดของทรานซิสเตอร์.....	126
26 แสดงรายละเอียดไอซี.....	127

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	5
2 Msh Shaped Network.....	7
3 Star Shaped Network.....	8
4 ข่ายสายท้องถิ่น.....	9
5 แสดงแผนภูมิการทำงานของ Multiplex (MUX).....	10
6 แสดงวงจรลอจิกของมัลติเพล็กซ์แบบ 2 อินพุต.....	10
7 แสดงวงจรลอจิกของมัลติเพล็กซ์แบบ 4 อินพุต.....	11
8 แสดงแผนภูมิการทำงานของ Demultiplex (DEMUX).....	12
9 การทำงานของดีมัลติเพล็กซ์แบบสัญญาณคล็อก.....	13
10 แสดงการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามความถี่ (FDM).....	14
11 แสดงวิธีมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลา (TDM).....	14
12 แสดงระบบแบบ TDM โดยใช้ IC.....	15
13 แสดงแผนภูมิของอุปกรณ์ถอดรหัสแบบแอกติฟ HIGH	16
14 แสดงอุปกรณ์ถอดรหัสที่มี 3 อินพุต และมีเอาต์พุตจำนวน $2^3 = 8$ เอาต์พุต.....	16
15 (1) แมทริกซ์อ้างอิงและ (2) ตาราง Karnaugh Map สำหรับวงจรถอดรหัสขนาด 2 บิต.....	17
16 ไคอะแกรมของวงจรถอดรหัสเลขฐานสองขนาด 2 บิต เป็นเลขฐานสิบ (2-Line-To-4-Line Decoder).....	18
17 แมทริกซ์อ้างอิงสำหรับวงจรถอดรหัสเลขฐานสองขนาด 3 บิต.....	19
18 ไคอะแกรมของวงจรถอดรหัสเลขฐานสองขนาด 3 บิต (3-Line-To-8-Line Decoder).....	19
19 แมทริกซ์อ้างอิงสำหรับวงจรถอดรหัสเลข BCD เป็นฐานสิบ.....	22
20 ไคอะแกรมของวงจรรหัสเลข BCD เป็นฐานสิบที่มีการตรวจจับความผิดพลาด ของข้อมูลอินพุต.....	23
21 ตาราง Karnaugh Map สำหรับวงจรถอดรหัส BCD เป็นฐานสิบที่ไม่มีการตรวจจับ ความผิดพลาดของข้อมูลอินพุต.....	23
22 ไคอะแกรมของวงจรถอดรหัส BCD เป็นฐานสิบไม่มีการตรวจจับ ความผิดพลาดของข้อมูลอินพุต.....	24
23 วงจรในส่วนของอินพุต Strobe ที่ใช้สำหรับวงจรถอดรหัส BCD เป็นฐานสิบ ที่มีการตรวจจับความผิดพลาดของข้อมูลอินพุต (ภาพประกอบ 20).....	25
24 วงจรถอดรหัส BCD เป็นฐานสิบที่มีขาอินพุต Strobe	25
25 วงจร Strobe ที่สามารถแลตช์ข้อมูลอินพุตไว้ได้.....	26
26 ตาราง Karnaugh Map สำหรับวงจรถอดรหัส Twisted-Ring Johnson.....	27
27 ไคอะแกรมของวงจรถอดรหัส Twisted-Ring-Johnson.....	28
28 (1) การจัดเซกเมนต์ของหน่วยแสดงผลแบบ 7-Segment (2) ตารางแสดงรูปแบบการติดและระดับของแต่ละเซกเมนต์เพื่อแสดงตัวเลข 0 ถึง 9.....	29

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

29	ตาราง Karnaugh Map สำหรับแต่ละเอาต์พุตของวงจรถอครหัส BCD เป็นสัญญาณสำหรับขับหน่วยแสดงผลแบบ 7-Segment.....	30
30	ไดอะแกรมของวงจรถอครหัส BCD เป็นสัญญาณสำหรับขับหน่วยแสดงผลแบบ 7-Segment	31
31	แสดงแผนภูมิของอุปกรณ์เข้ารหัส.....	32
32	แสดงวงจรลอจิก.....	33
33	คุณลักษณะพื้นฐานของการส่งสัญญาณอนาลอก	34
34	คุณลักษณะพื้นฐานของการส่งสัญญาณดิจิทัล.....	35
35	แสดงแถบความถี่ของโทรศัพท์.....	36
36	แสดงโลเคิลูป.....	37
37	แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง ลูป - ทรีนค์ ที่ชุมสายปลายทาง	37
38	ผังของระบบโทรศัพท์แบบใช้คลื่นพาหะ	38
39	ความหมายทางกายภาพของแอมพลิจูดโมดูลেশัน	39
40	องค์ประกอบความถี่เชิงมุมของคลื่นพาหะแอมพลิจูดโมดูลีเตด.....	40
41	สเปกตรัมความถี่เชิงมุมของคลื่นพาหะที่ถูกโมดูลีเตดด้วยกระแสวิ่ง	40
42	สัญลักษณ์แทนคลื่นพาหะที่ถูกโมดูลีเตดด้วยกระแสวิ่ง	40
43	หลักการของระบบส่งสัญญาณเชิงเกลไซค์แบนด์ (SSB)	41
44	วงจรพื้นฐานของโมดูลีเตอ์โมดูลีเตอ์วงแหวน	41
45	วงจรเทียบเท่าของโมดูลีเตอ์วงแหวน	42
46	วงจรเทียบเท่าอีกชนิดหนึ่งของโมดูลีเตอ์วงแหวน	42
47	คลื่นพาหะที่ถูกโมดูลีเตอ์โดยโมดูลีเตอ์วงแหวน	42
48	ผังแสดงอุปกรณ์ส่งสัญญาณของเครื่องจักรชั้นแนลและการจัดช่วงความถี่	43
49	ผังแสดงระบบส่งสัญญาณมัลติเพล็กซ์แบ่งเวลา	44
50	การเอาตัวอย่างและการจัดมัลติเพล็กซ์	45
51	การเอาตัวอย่างและการมัลติเพล็กซ์	45
52	คุณสมบัติของการอัด (การขยาย)	46
53	กระบวนการพัลส์ชั่วเดียวและสองชั่ว	48
54	แสดงการแบ่งของข้อมูลของแต่ละวิธี	48
55	ฉนวนที่หุ้มเป็นกระดาษ	50
56	แสดงสายเคเบิลที่เปลือกหุ้มเป็นตะกั่วและลวดตัวนำรวมกันเป็นแบบ Unit	51
57	ลวดตัวนำจัดเป็นแบบชั้น ๆ (Inyer type).....	51
58	การจัด Unit	51
59	คุณสมบัติสายส่ง	52
60	เปรียบเทียบ Breakdown Voltage	53
61	ค่าแสดงเปรียบเทียบ Electrosstatic Unbalance	54

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
62 (1) โครงสร้างสาย Stalpeth (2) การจัดเป็น Units	55
63 0.5 มม. 1800-paur PEF-LAP Junction Cable	56
64 สายเคเบิล 0.32 มม. 4,000 คู่	57
65 การพันเกลียวแต่ละชั้นมีทิศทางตรงกันข้าม	57
66 ระดับของฟองอากาศและค่า Dielectrie ของ PEF-Insulation	58
67 การเปรียบเทียบค่าสูญเสียของสายแบบที่ Insulation เป็นกระดาษกับที่ Insulation เป็น PEF	58
68 สาย CCP-P-SS ในแบบ S-Z	59
69 การพันเกลียวในแบบ S-Z และประกอบเป็น Unit	60
70 แสดงคุณสมบัติของสายส่ง	61
71 ลักษณะของเต้าเสียบที่ใช้ในการเชื่อมต่อทางกายภาพมาตรฐานของ อาร์เอส-449	63
72 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องนับอิเล็กทรอนิกส์	66
73 ความกว้างของพัลส์ปกติ 219-269 เอ็มเอส.....	68
74 2.048 Mbit/s Frame Structure	69
75 ความสัมพันธ์ระหว่างรหัส AMI และ HDB-3	71
76 แสดงขั้นตอนในดำเนินการการวิจัย	77
77 วงจรสมมูลของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชนิดมีแรงดันขาออก 48 โวลต์ 2 แอมแปร์	80
78 วงจรสมมูลของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ เป็น 1 โวลต์ และ 5 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์	80
79 วงจรสมมูลของชุดมัลติเพล็กซ์&ดีมัลติเพล็กซ์	81
80 วงจรสมมูลของภาครับ-ภาคส่งการสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของ โทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ	81
81 วงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 2 แอมแปร์.....	84
82 วงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 2 แอมแปร์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ± 1 โวลต์ และ ± 5 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์	85
83 วงจรชุดมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ.....	86
84 แสดงการวัดเกณฑ์มาตรฐานของเครื่องมัลติเพล็กซ์ทางด้านอินพุต-เอาพุต.....	87
85 แสดงการวัดเกณฑ์มาตรฐานของเครื่องมัลติเพล็กซ์ทางด้านรับ-ส่งสัญญาณ.....	88
86 สัญญาณเอาต์พุตของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ± 48 โวลต์.....	135
87 สัญญาณเอาต์พุตของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ± 5 โวลต์.....	135
88 สัญญาณเอาต์พุตของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ± 1 โวลต์.....	136

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

89	สัญญาณอินพุตที่ป้อนให้เครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ ขนาด 32 ช่องสัญญาณ (2.048 Mb/s หรือ 269 ns).....	136
90	สัญญาณเอาต์พุตของเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ ขนาด 32 ช่องสัญญาณ (2.048 Mb/s หรือ 252.2 ns).....	137
91	การผสมสัญญาณของเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ ขนาด 32 ช่องสัญญาณ (2.048 Mb/s).....	137
92	แผนวงจรอุปกรณ์ของเครื่องมัลติเพล็กซ์.....	137
93	แผนวงจรและอุปกรณ์วงจรพิมพ์ที่พร้อมประกอบเชื่อมโยงเข้าด้วยกัน.....	138
94	การวางแผนวงจรและอุปกรณ์กล่องตามความเหมาะสม.....	139
95	การทดสอบการทำงานของเครื่องมัลติเพล็กซ์โดยใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบ.....	140
96	การทดสอบการใช้งานของเครื่องมัลติเพล็กซ์กับอุปกรณ์โทรคมนาคมในระบบสื่อสารของ โทรศัพท์.....	141
97	อุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดสอบเครื่องมัลติเพล็กซ์.....	142
98	เครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณที่สมบูรณ์.....	143
99	ด้านหน้าของเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ.....	147
100	ด้านหลังของเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ.....	148
101	ภายในของเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ.....	145

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

การสื่อสารไร้พรมแดน (Global information) ส่งผลต่อชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชนสังคมในแต่ละภูมิภาค มีความต้องการรับรู้ข่าวสารถึงกันอย่างสะดวกรวดเร็ว โดยการติดต่อสื่อสารผ่านโครงข่ายโทรศัพท์ การติดต่อสื่อสารในปัจจุบันมีความต้องการที่สูงขึ้นของข้อมูลข่าวสารที่ผ่านโครงข่ายโทรศัพท์ไม่ได้จำกัดอยู่ที่ใช้บริการโทรศัพท์พื้นฐานเท่านั้น แต่ยังมีความต้องการข้อมูลสารสนเทศที่เป็นได้ทั้งเสียงและภาพอย่างพร้อมกัน อย่างที่เรียกว่าบริการมัลติมีเดีย เพื่อให้ข้อมูลสารสนเทศที่เป็นได้ทั้งเสียงและภาพอย่างพร้อมกัน อย่างที่เรียกว่ามัลติมีเดีย เพื่อให้องค์กรโทรศัพท์สามารถทดลองการให้บริการต่างๆ ก่อนให้บริการในเชิงพาณิชย์ (Field Trial Service) และการพัฒนาบริการใหม่ (New Service) ที่จะเกิดขึ้นบนโครงข่ายวงจรรวดเร็วสูง (องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย(ทศท.)2540: 3)

แนวโน้มของการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีโทรคมนาคม สัญญาณและวงจรรวดเร็วก้าวหน้าเปลี่ยนแปลงเป็นดิจิทัล จะเป็นสื่อของระบบโทรคมนาคมที่พัฒนาเข้าสู่ลักษณะทางด่วนข้อมูล (Information Superhighway) ที่สามารถรองรับการส่งถ่ายข้อมูลภาพและเสียงได้พร้อมกันในเวลาเดียวกัน ด้วยปริมาณมากและความเร็วสูง โครงข่ายโทรคมนาคมและอุปกรณ์สื่อสารต่างๆ อาทิคอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ โทรศัพท์ จะรวมกันเป็นโครงข่ายเดียวที่เชื่อมโยงถึงกันได้หมด อุปกรณ์ปลายทางจะมีขนาดเล็กลงมากสามารถพกพาได้อย่างสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น (แผนวิสาหกิจองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย ฉบับที่4พ.ศ. 2540-2544:2)

องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย มีภารกิจหลักในการดำเนินการรับผิดชอบโทรคมนาคมหลักของประเทศและมีโครงข่ายโทรคมนาคมครอบคลุมทั่วประเทศ ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญสำหรับกิจการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีสารสนเทศของประเทศ ให้บริการเทคโนโลยีสารสนเทศโดยกำหนดแนวทางการดำเนินงานขยายโครงข่ายโทรคมนาคมด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัย ให้มีความสามารถรับส่งข้อมูลและให้บริการได้ทุกรูปแบบเป็นจำนวนมากด้วยความเร็วสูงโดยมีแผนงานและโครงการต่างๆ รองรับเพื่อให้มีการบริการได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลอย่างเต็มที่ เช่น มีโครงการที่จะขยายระบบสื่อสารสัญญาณทั่วประเทศโดยวางเคเบิลใยแก้วนำแสง หรือโครงข่ายที่เป็นไมโครเวฟหรือสารเคเบิล ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัยสามารถให้บริการด้านโทรคมนาคมและเทคโนโลยีสารสนเทศทุกประเภท(ทศท.2539: 7)

การวิจัยและข้อกำหนดต่อการพัฒนาโทรคมนาคมและแนวทางการปรับตัวขององค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทยในอนาคต การเปลี่ยนแปลงทางระบบเศรษฐกิจที่เกิดจากแรงผลักดันต่างๆ ทั้งจากภายในและภายนอกประเทศ ส่งผลให้มีการเปิดกว้างและปรับตัวเพื่อรับกระแสความต้องการและการเปลี่ยนแปลงต่างๆ โดยเฉพาะการเปิดแข่งขันเสรีในทุกบริการ ทำให้มีแนวโน้มการขยายตัวของเศรษฐกิจโลกและประเทศจะขยายตัวเพิ่มมากขึ้น มีการรับและแลกเปลี่ยนข่าวสารข้อมูลเกิดการเลียนแบบพฤติกรรมกันระหว่างสังคมบริการสื่อสารโทรคมนาคมก้าวเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อวิถีการดำเนินชีวิตของประชาชนมากขึ้น การขยายตัวและโอกาสทางการศึกษาที่สูงขึ้น ทำให้ประชาชนได้เรียนรู้และปรับตัวเข้ากับเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่นำมาใช้มากขึ้น ในขณะเดียวกันก็ต้องการเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าและทันสมัยยิ่งขึ้นไปอีก ความต้องการดังกล่าวเป็นโอกาสที่จะต้องพัฒนาและนำเทคโนโลยีโทรคมนาคมสมัยใหม่ เข้าให้บริการในประเทศมากขึ้นรวมทั้งนโยบายของรัฐ ที่ต้องการให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางของภูมิภาคนี้ ก็นับเป็นปัจจัยสำคัญที่มีส่วนกระตุ้นการพัฒนาเทคโนโลยีโทรคมนาคม (ทศท.2540 : 2 - 3)

การสื่อสารทางโทรศัพท์นับเป็นสิ่งที่จำเป็นและเป็นสาธารณูปโภคที่สำคัญอย่างหนึ่ง เพราะสามารถติดต่อกันได้อย่างกว้างขวาง โทรศัพท์จึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในวงการธุรกิจและสังคมอื่นๆ ทุกชนิด ดังจะเห็นได้จากความต้องการของผู้ใช้ที่มีความต้องการมากขึ้นอย่างรวดเร็ว จนไม่สามารถให้บริการทันกับความต้องการได้ ทั้งนี้เพราะการลงทุนสูงมาก และรวมทั้งการบำรุงรักษาทางสายให้ใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง งบประมาณการลงทุนทางด้านเทคนิคประมาณร้อยละ 60 จะใช้ไปกับงานด้านสายตอนนอก ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 40 เป็นส่วนของงานตอนใน ดังนั้นจะเห็นว่างบประมาณการลงทุนส่วนใหญ่อยู่ที่งานสายตอนนอก จึงถือได้ว่างานสายตอนนอกเป็นงานที่สำคัญอันดับหนึ่งของกิจการโทรศัพท์ การวางแผนงานด้านโครงข่ายทางสาย การติดตั้งรวมทั้งการบำรุงรักษาจึงต้องกระทำกันอย่างรอบคอบ และถูกหลักเกณฑ์เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและคุ้มกับการลงทุน งานสายตอนนอกที่นอกเหนือไปจากงานวางแผนโครงข่ายทางสายยังถูกแบ่งย่อยออกเป็นงานสร้างทางสาย งานตัดต่อเคเบิล งานติดตั้งเครื่องโทรศัพท์ และงานบำรุงรักษาทางสาย (ธวัชชัย เลื่อนฉวี.2533 : 183-184)

ดังนั้นจากปัญหาที่ผู้ใช้บริการด้านโทรศัพท์และการสื่อสารสารสนเทศเกี่ยวกับระบบมัลติเพล็กซ์ของระบบสื่อสารข้อมูลของโทรศัพท์ที่ใช้ส่วนมากจะเป็นอุปกรณ์มัลติเพล็กซ์ ซึ่งนำมาใช้ในการสื่อสารข้อมูลกับระบบสื่อสารข้อมูลของโทรศัพท์เพราะอุปกรณ์มัลติเพล็กซ์ที่ใช้นั้นจะเป็นการนำเข้ามาจากต่างประเทศและมีราคาแพงเมื่อรวมค่าแรงงานและค่าใช้จ่ายต่างๆ แล้วจะต้องสูญเสียงบประมาณเป็นจำนวนมากในการใช้จ่ายเกี่ยวกับการสื่อสารข้อมูลของอุปกรณ์มัลติเพล็กซ์ที่จะนำมาใช้ในการส่งสัญญาณโทรศัพท์เพื่อการติดต่อสื่อสารทั้งสิ้น ส่วนมากจะเป็นส่วนราชการ บริษัท และหน่วยงานต่าง ๆ ที่มีความจำเป็นต้องใช้โทรศัพท์เป็นจำนวนมาก ในการติดต่อสื่อสารกับหน่วยงานต่าง ๆ นั้น จะมีชุมสายขนาดย่อยภายในหรือที่เรียกว่าตู้สาขา (Private Automatic Branch Exchange) ซึ่งสถานที่เหล่านี้เป็นสถานที่ที่มีขนาดใหญ่ มีอาคาร และมีห้องเป็นจำนวนมาก จำเป็นต้องมีการกระจายสายโทรศัพท์ออกไป ดังนั้นจะต้องมีการเดินสายจากตู้สาขา ไปยังจุดต่อ (Extension) ที่ต่างๆ จึงมีความจำเป็นต้องเพิ่มจุดต่อ ในอาคารโดยมีการเดินสายเพิ่มขึ้น บางครั้งอาจจะทำไม่ได้หรือกระทำได้ยากลำบาก อันเนื่องมาจากมีความจำเป็นต้องต่อสายหนึ่งสายต่อหนึ่งจุดต่อ ในกรณีที่มีจุดต่อมาก ก็จำเป็นต้องใช้สายเป็นจำนวนมาก จะทำให้สิ้นเปลืองงบประมาณและยากต่อการบำรุงรักษาและการตรวจสอบ โดยทั่วไปแล้วสายโทรศัพท์ภายนอกอาคารเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพง เมื่อรวมค่าแรงและค่าใช้จ่ายแล้ว จะต้องสูญเสียงบประมาณเป็นจำนวนมาก สำหรับการทำการวิจัยในครั้งนี้ได้พยายามที่จะแก้ปัญหา โดยใช้สายที่มีอยู่เดิมให้สามารถใช้งานได้กับจำนวนจุดต่อเป็นจำนวนมาก โดยใช้หลักการของการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามความถี่ (Frequency Division Multiplex(FDM)) และแบบแบ่งตามเวลา(Time Division Multiplex (TDM))

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดว่า การใช้หลักการและคุณสมบัติของการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามความถี่และแบบแบ่งตามเวลา (FDM-TDM) ของช่องสัญญาณในการติดต่อสื่อสารระหว่างจุดต่อกับจุดต่อเมื่อนำเอาหลักการและคุณสมบัติของการมัลติเพล็กซ์มาใช้ โดยการออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารข้อมูลของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณขึ้นมาใช้ทดแทน ก็สามารถแก้ปัญหาเรื่องการสื่อสารสารสนเทศ งบประมาณที่ใช้ในการลงทุนรวมไปถึงการใช้สายโทรศัพท์ ที่จำเป็นต้องใช้สายเป็นจำนวนมากเพื่อลดจำนวนสายโทรศัพท์ลงได้ และยังสะดวกในการบำรุงรักษา และการใช้บริการด้านการสื่อสารข้อมูลทั้งภาพและเสียงของโทรศัพท์ได้อีกด้วย

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. ออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ
2. ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ ตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ (International Telecommunication Union –Transmission. ITU-T)

ความสำคัญของการวิจัย

ได้เครื่องมัลติเพล็กซ์ที่ใช้ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณพร้อมคู่มือการติดตั้ง ซึ่งสามารถนำไปใช้ต่อเชื่อมขยายสัญญาณจากศูนย์ใช้งานไปยังชุมชนต่างๆ ตามความต้องการของผู้ใช้บริการ

ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้การวิจัยในการออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ครั้งนี้บรรลุตามจุดมุ่งหมายที่วางไว้ดังนี้

1. โดยการออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ ซึ่งมีคุณสมบัติและประสิทธิภาพตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ มีส่วนประกอบดังนี้

1.1 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์(Volts.V) 50 เฮิร์ตซ์(Hertz)เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (Alternating Current – Directing Current. AC-DC) ชนิดที่มีแรงดันไฟฟ้าขาออกได้ 48 โวลต์ (Volts.V) สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด 2 แอมแปร์(Amp. A) จำนวน 1 ชุด

1.2 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์(V) เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชนิดที่เลือกค่าที่มีแรงดันไฟฟ้าขาออกได้ 2 ระดับ คือ 1 โวลต์(V) และ 5 โวลต์(V) สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด 250 มิลลิแอมแปร์(Milliamp. mA) จำนวน 1 ชุด

1.3 ชุดมัลติเพล็กซ์&ดีมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ จำนวน 1 ชุด

2. ตัวแปรที่จะศึกษา เป็นการศึกษาถึงค่าความผิดพลาดตามคุณสมบัติที่ใช้ในการสื่อสารด้านโทรคมนาคมที่ได้ประสิทธิภาพตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ มีรายละเอียดดังนี้

2.1 อัตราความเร็วของการส่งในสายสูงสุด $2.048 \text{ Mb/s} \pm 50 \text{ ppm}$

2.2 อัตราความเร็วสูงสุดในการส่งข้อมูล $2.048 \text{ Mb/s} \pm 50 \text{ ppm}$

2.3 รหัสของการส่งสัญญาณของสาย เอชดีบี-3

2.4 ค่าความต้านทานในสาย 75 โอห์ม ร้อยละ 5 /120 โอห์ม ร้อยละ 5

2.5 ค่าแรงดันสูงสุดในขณะทำงานปกติ 2.14-2.60 โวลต์

2.6 ค่าแรงดันสูงสุดในขณะที่ไม่มีการทำงาน -0.237 ถึง +0.237 โวลต์

2.7 ความกว้างของพัลส์ปกติ 219-269 เอ็มเอส

2.8 อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและต่ำสุด 0.95-1.05 โวลต์

2.9 อัตราความสูญเสียของสัญญาณที่ความถี่ 1024 kHz 0-6 dB

- 2.10 การสูญเสียป้อนกลับที่ความถี่ $1024 \text{ kHz} \geq 18 \text{ dB}$
- 2.11 จำนวนของการลูบใช้สายเคเบิล 4 เส้น
- 2.12 ค่าเฉลี่ยกำลังขาออก $13 - 14 \text{ dBm}$
- 2.13 ค่าสูญเสียของการลูบ $38 \text{ dB @ } 150 \text{ kHz}$
- 2.14 ค่าความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสตรงของการลูบ 135 โอห์ม

นิยามศัพท์เฉพาะ

การออกแบบเครื่องมัลติเพล็กซ์

หมายถึง การกำหนดลักษณะวงจรของอุปกรณ์ไฟฟ้า - อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสัมพันธ์กับการใช้ของวัสดุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้สามารถใช้ในการรับ-ส่ง ข่าวดารข้อมูล

การสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์

หมายถึง การประกอบวัสดุอุปกรณ์ไฟฟ้า - อิเล็กทรอนิกส์เข้าด้วยกันและบรรจุลงในกล่องชุดเดียวกันโดยจัดให้มีความสอดคล้องและสัมพันธ์กันตามการออกแบบที่กำหนด

อุปกรณ์มัลติเพล็กซ์

หมายถึง การรวมสัญญาณหลายๆ จุด เข้าด้วยกันและส่งรวมกันไปโดยใช้ช่องสัญญาณช่องเดียวและหลายช่องสัญญาณ

อุปกรณ์ดีมัลติเพล็กซ์

หมายถึง การแยกสัญญาณจากจุดจุดเดียวออกเป็นสัญญาณหลายๆจุดและส่งไปในช่องสัญญาณช่องเดียวและหลายช่องสัญญาณ

สัญญาณที่ใช้

หมายถึง สัญญาณตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ ที่ใช้รับ-ส่งข้อมูล ข่าวดารจากจุดจุดหนึ่งไปยังอีกจุดจุดหนึ่ง โดยอาศัยส่งผ่านสื่อกลางในการนำพาสัญญาณ

ช่องสัญญาณ

หมายถึง ขนาดของสัญญาณที่ใช้ในการรับ - ส่ง สัญญาณได้น้อยได้มากเท่าที่ช่องสัญญาณนั้นกำหนดไว้ การรับ-ส่ง สัญญาณได้ไม่เกิน 32 ช่องสัญญาณ

ประสิทธิภาพของสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ

หมายถึง ข้อกำหนดมาตรฐานของระบบสื่อสารสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารทั่วโลก เป็นการกำหนดมาตรฐานของระบบสื่อสารสัญญาณที่ใช้ในการมัลติเพล็กซ์ ที่กำหนดมาตรฐานและทำหน้าที่ควบคุมให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารยอมตามข้อกำหนดในการใช้งานของระบบ

ระยะทางของสายโทรศัพท์

หมายถึง ความยาวของสายเคเบิลทองแดงที่ใช้ในการเชื่อมโยงระหว่างอุปกรณ์มัลติเพล็กซ์ มีหน่วยเป็นเมตร

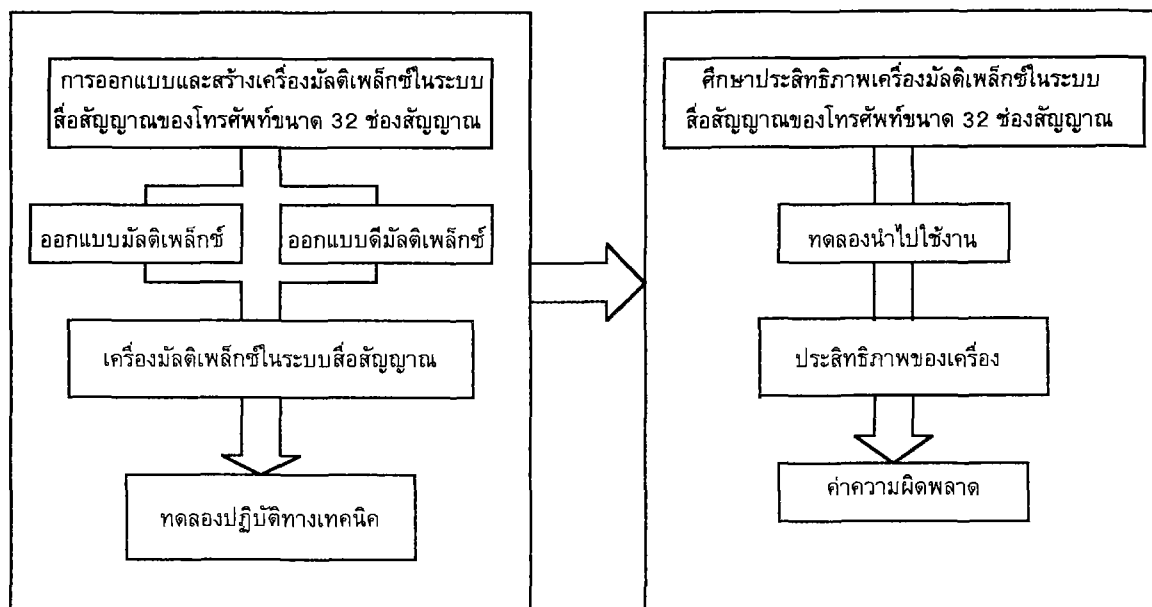
ค่าความต้านทานของระยะทาง

หมายถึง ค่าที่เกิดขึ้นในระยะทางของสายโทรศัพท์ที่ใช้ในการเชื่อมโยงอุปกรณ์มัลติเพล็กซ์ มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

ค่าความผิดพลาด

หมายถึง ค่าที่เกิดขึ้นในช่วงที่ใช้รับ-ส่งสัญญาณของการมัลติเพล็กซ์ ที่อยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

สมมติฐานในการวิจัย

เครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ ที่ใช้ในการสื่อสาร
ด้านโทรคมนาคมได้ประสิทธิภาพตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. หลักการเบื้องต้นของโทรศัพท์
2. หลักการของระบบมัลติเพล็กซ์
3. หลักการของระบบสื่อสารสัญญาณ
4. คุณสมบัติของอุปกรณ์วงจรและสายเคเบิล
5. เกณฑ์ของระบบสื่อสารสัญญาณของสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ
6. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. หลักการเบื้องต้นของโทรศัพท์

เครื่องโทรศัพท์ (Telephone Set) ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่สำคัญคือเครื่องส่ง (Transmitter) เครื่องรับ (Receiver) กระดิ่ง (Ringer) Hook Switch และหน้าปัดสำหรับหมุน/กดหมายเลข (Dial) สำหรับเครื่องส่งและเครื่องรับ รวมเรียกกันว่าปากพูดหูฟัง (Handset) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนพลังงานเสียง ที่เกิดจากการพูด ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า และเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับ ให้กลับไปเป็นพลังงานเสียงอีกครั้งหนึ่ง โดยเราจะใช้ Transmitter เป็นตัวเปลี่ยนพลังงานเสียง ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า และ Receiver เป็นตัวเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า (รัวชัย เลื่อนฉวี. 2533 : 11)

1.1 ชุมสายโทรศัพท์

ชุมสายโทรศัพท์ ที่มีเครื่องโทรศัพท์ของผู้เข้าต่อเข้าโดยตรง ได้แก่ ชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่น (Local Exchange) และตู้สาขา Private Automatic Branch Exchange (PABX) นั้นเป็น ชุมสายโทรศัพท์ที่ไม่มีเครื่องโทรศัพท์ของผู้เข้าต่อเข้าโดยตรง ได้แก่ ชุมสายโทรศัพท์ต่อผ่านท้องถิ่น (Tandem Exchange) และชุมสายโทรศัพท์ต่อผ่านทางไกล (Transit Exchange)(รัวชัย เลื่อนฉวี. 2533 : 20)

1.1.1 ชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่น (Local Exchange)

หมายถึง ชุมสายโทรศัพท์ที่มีเครื่องโทรศัพท์ของผู้เข้าต่อเข้าโดยตรง ชุมสายโทรศัพท์แบบนี้มีขนาดตั้งแต่เป็นร้อยๆ เลขหมาย จนถึงหมื่นเลขหมายหรือมากกว่า จากการที่ได้กล่าวถึงโครงข่ายท้องถิ่นและทรานสิทแล้วต่อไปจะกล่าวคือ ชุมสายโทรศัพท์ ท้องถิ่นโดยหลักการแล้ว ชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่นก็คือหุ่นยนต์ที่ทำงานตามคำสั่งของผู้เข้าฝ่ายเรียกที่ส่งสัญญาณมาให้ เมื่อผู้เข้าฝ่ายเรียกยกหูขึ้น เครื่องรับของชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่นจะเริ่มทำงาน รับสัญญาณจากฝ่ายเรียกที่หมุนมา และทำการต่อกับผู้เข้าฝ่ายถูกเรียก โดยผ่านชุมสายท้องถิ่นเดียวกันหรือชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่นอื่นหรือชุมสายต่อผ่านของผู้เข้าฝ่ายถูกเรียก (ประกิจ ดังดิสนนท์. 2537 : 99)

1.1.2 ตู้สาขา

หมายถึง ชุมสายโทรศัพท์ ที่มีลักษณะคล้ายกันกับชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่น แต่ใช้ติดต่อกับภายในสำนักงาน โดยไม่ต้องผ่านชุมสายท้องถิ่น ตู้สาขาจะเป็นชุมสายโทรศัพท์ ที่มีการบริการพิเศษ (Facilities) แก่หมายเลขภายใน (Extension) ได้หลายอย่าง ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าตู้สาขานั้นๆ มีขีดความสามารถเป็นอย่างไร การบริการพิเศษดังกล่าว ได้แก่ การย่อเลขหมาย (Abbreviated Dialling) การเรียกกลับอัตโนมัติ (Automatic Callback) และการประชุมทางโทรศัพท์ (Conference Call) การโอนการเรียก

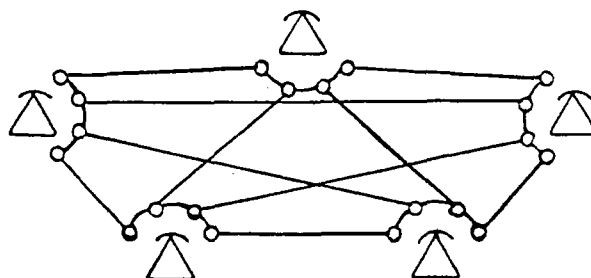
(Transfer of Call) การโอนโทรศัพท์ติดตามตัว (Follow Me) นอกจากนี้ ในกรณีที่ตู้สาขาได้ทำการต่อเนื่องกับชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่น ทำให้โทรศัพท์เลขหมายภายใน สามารถติดต่อไปยัง เลขหมายภายนอกได้ โดยผ่านชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่น และในทำนองเดียวกัน โทรศัพท์จากเลขหมายภายนอกก็จะสามารถเรียกเข้าไปยังเลขหมายภายใน โดยผ่านตู้สาขาได้ ซึ่งตู้สาขาจะมีขนาด ตั้งแต่ไม่ถึงสิบเลขหมายจนถึงหมื่นเลขหมาย หรือมากกว่า

1.1.3 ชุมสายโทรศัพท์ต่อผ่านทางไกล

หมายถึง ชุมสายโทรศัพท์ที่ไม่มีเลขหมายโทรศัพท์ของผู้เข้าต่อเข้ามา โดยตรง แต่จะบริการการเรียกระหว่างชุมสายท้องถิ่นด้วยกัน การเรียกระหว่างโทรศัพท์ 2 เลขหมาย อาจเรียกผ่านไปยังชุมสายต่อผ่านหลายๆ ชุมสายได้ ชุมสายต่อผ่านยังแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ ชุมสายต่อผ่านท้องถิ่น (Tandem Exchange) ซึ่งเป็นชุมสายโทรศัพท์ที่ใช้สำหรับต่อผ่านภายในข่ายสายท้องถิ่น (Local Network) หนึ่งๆ เท่านั้น เช่น การเรียกภายในกรุงเทพมหานคร เป็นต้น และชุมสายต่อผ่านทางไกล (Transit Exchange) อันได้แก่ ชุมสายโทรศัพท์ ที่ใช้สำหรับต่อผ่านไปยังข่ายสายท้องถิ่น (Local Network) อื่น ๆ เช่น การเรียกจากชลบุรีมายังกรุงเทพมหานคร เป็นต้น (มณูญ สุขเกษม. 2520 : 76-78)

1.2 ข่ายสายท้องถิ่น (Local Network)

โทรศัพท์ที่ใช้ในระยะเริ่มแรก เป็นข่ายสายที่มีลักษณะที่ทุกๆ Station จะต่อถึงกันทั้งหมด ดังภาพประกอบ 2 เมื่อมีโทรศัพท์ของผู้เข้าเลขหมายหนึ่ง ต้องการเรียกไปยังโทรศัพท์เลขหมายอื่น ก็สามารถทำได้โดยการเลือกสวิทช์เรียกไปยังเลขหมายนั้นข่ายสายแบบนี้ เหมาะที่จะใช้ในหน่วยงานเล็กๆ ซึ่งจำนวนโทรศัพท์ไม่มากนัก จำนวนคู่สายที่ใช้สามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร



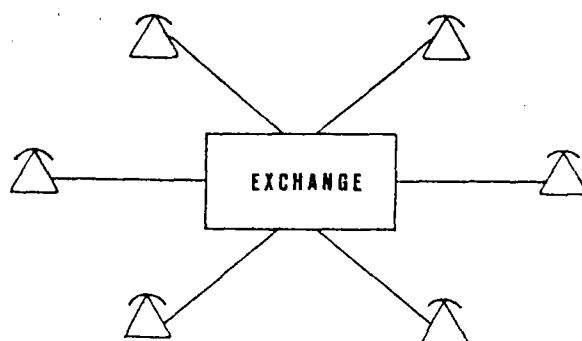
ภาพประกอบ 2 Mesh Shaped Network

$$\text{จำนวนคู่สายทั้งหมด} = n(n-1)/2 \quad \text{เมื่อ } n = \text{จำนวนเครื่องโทรศัพท์}$$

ตาราง 1 แสดงการใช้คู่สายโทรศัพท์ และประโยชน์ที่ได้รับ

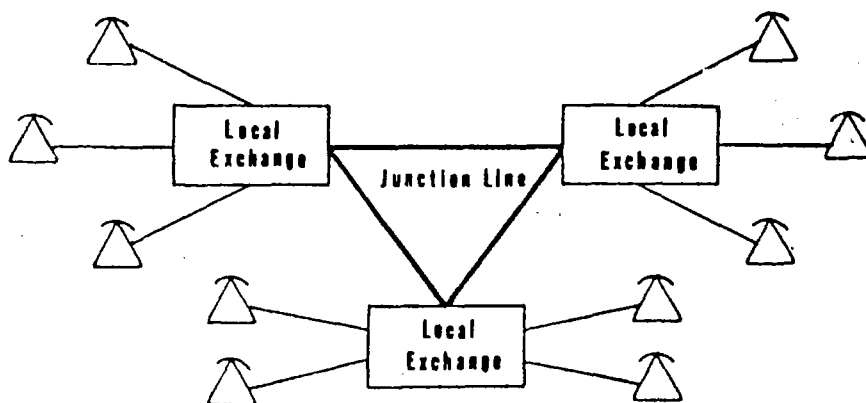
จำนวนเครื่องโทรศัพท์ n	จำนวนคู่สายทั้งหมด $n(n-1)/2$	ประโยชน์การใช้งานสูงสุด ร้อยละ
2	1	100
5	10	20
10	45	11.1
50	1125	2.22

จากตาราง 1 จะเห็นได้ว่าถ้าจำนวนเครื่องโทรศัพท์เพิ่มขึ้น จำนวนคู่สายที่ถูกใช้ทั้งหมดใน Mesh Shaped Network จะเพิ่มมากขึ้นอย่างมากมาย แต่ประโยชน์การใช้งานของคู่สายที่ถูกใช้ในเวลาเดียวกันจะน้อยลง เช่น ถ้ามีจำนวนเครื่องโทรศัพท์ 10 เครื่อง ต่อกันแบบ Mesh Shaped Network จำนวนคู่สายที่ใช้ทั้งหมด $= 10(10-1)/2 = 45$ คู่สาย ส่วนประโยชน์การใช้งานสูงสุด ของคู่สายที่ถูกใช้งานในเวลาเดียวกัน จะมีเพียง 5 คู่สาย เท่านั้นซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วจะได้ $= (5/45)*100 =$ ร้อยละ 11.1 เท่านั้น จึงเป็นการลงทุนที่ไม่คุ้มค่าในการแก้ปัญหา จึงได้มีผู้คิดค้นเครื่องชุมสายโทรศัพท์ของผู้เช่าแต่ละเลขหมายจะใช้คู่สาย 1 คู่และ ต่อเข้าไปยังเครื่องชุมสายโทรศัพท์เรียกว่าข่ายสายแบบ Star Shaped Network



ภาพประกอบ 3 Star Shaped Network

Star Shaped Network เป็นข่ายสายที่มีลักษณะที่ทุกๆ Station จะต่อผ่านเข้ามายังศูนย์กลาง (ชุมสายโทรศัพท์) ดังภาพประกอบ 3 เมื่อโทรศัพท์ของผู้เช่าเลขหมายหนึ่งต้องการติดต่อไปยังเลขหมายอื่น สามารถติดต่อได้โดยให้พนักงานโทรศัพท์กลาง (Operator) เป็นผู้ต้องการการเรียกให้หรือโดยวิธีหมุนหน้าบัตรที่เครื่องโทรศัพท์ ตามหมายเลขที่ต้องการติดต่อด้วย ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ ระบบของชุมสายโทรศัพท์นั้นๆ ว่าเป็นระบบใดจำนวนคู่สายที่ใช้ใน Star Shaped Network จำนวนเท่ากับจำนวนของเครื่องโทรศัพท์ สำหรับประโยชน์การใช้งานสูงสุดของคู่สายโทรศัพท์ที่ใช้ในเวลาเดียวกัน ขึ้นอยู่กับชุมสายโทรศัพท์ที่ใช้นั้นมีขีดความสามารถในการรับ Traffic ได้มากน้อยเพียงใด ชุมสายโทรศัพท์แห่งใดแห่งหนึ่ง สามารถให้บริการแก่ผู้เช่าโทรศัพท์ได้ในบริเวณพื้นที่ที่จำกัด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับราคาของสายเคเบิลโทรศัพท์ การกำหนดพื้นที่บริการของแต่ละชุมสายก็จะเป็นการดีกว่าที่จะมี ชุมสายโทรศัพท์ขนาดใหญ่เพียงชุมสายเดียว ซึ่งจะทำให้ต้องใช้คู่สายโทรศัพท์ที่ต่อจากชุมสาย ไปยังบ้านผู้เช่านั้นยาวมากๆ และไม่เป็นผลดีต่อผู้เช่าโทรศัพท์ที่อยู่ห่างไกลในเมืองที่มีขนาดพื้นที่ไม่ใหญ่มาก ก็อาจจะมีชุมสายท้องถิ่นได้หลายชุมสาย ดังนั้นการเรียกต่างชุมสายก็สามารถเรียกได้ ก็ต่อเมื่อได้มีการเชื่อมต่อแต่ละชุมสาย ให้ถึงกันทั้งหมด โดยใช้ Junction Line เป็นตัวเชื่อมต่อ และเราจะเรียกว่า ข่ายสายท้องถิ่น (Local Network) ดังแสดงตามภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 ข่ายสายท้องถิ่น

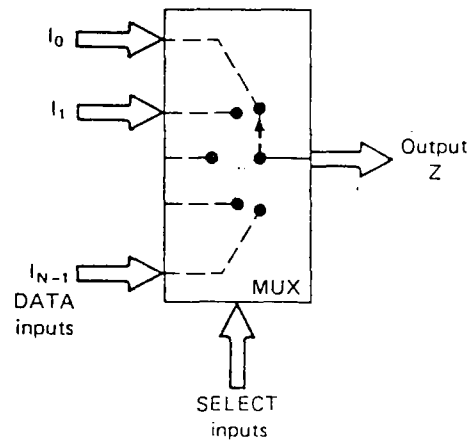
จากภาพประกอบ 4 จะเห็นได้ว่า Local Network มีลักษณะการเชื่อมต่อที่แต่ละชุมสายต่อกันแบบ Mesh Shaped Network ส่วนตัวเครื่องโทรศัพท์แต่ละเครื่องจะต่อเข้ากับชุมสายโทรศัพท์แบบ Star Shaped Network สำหรับในเมืองใหญ่ๆ เช่น กรุงเทพมหานคร จะประกอบด้วยชุมสายท้องถิ่นได้เป็นจำนวนมาก ในการนำเอาชุมสายท้องถิ่นจำนวนมากนี้มาต่อกันแบบ Mesh Shaped Network จึงไม่น่าที่จะเป็นไปได้ เพราะต้องใช้คู่สาย และวงจรการเชื่อมต่อจำนวนมากมหาศาล ดังนั้น Local Network ในกรุงเทพฯ (รวมทั้งจังหวัดใกล้เคียง คือ ปทุมธานี นนทบุรี และสมุทรปราการ) จึงต้องใช้ชุมสายต่อผ่านท้องถิ่นอีกหลายชุมสาย เป็นตัวเชื่อมต่อ คือ นำชุมสายต่อผ่านท้องถิ่นมาต่อกัน แบบ Mesh Shaped Network และชุมสายท้องถิ่นต่อกับชุมสายต่อผ่านท้องถิ่นแบบ Star Shaped Network ส่วนตัวเครื่องโทรศัพท์ต่อกับชุมสายท้องถิ่นแบบ Star Shaped Network (รัชชัย เลื่อนฉวี.2533 : 21-25)

2. หลักการของระบบมัลติเพล็กซ์ (Multiplexing)

ความหมายหลักการของระบบมัลติเพล็กซ์ ถ้าพิจารณาในแง่ระบบสื่อสาร คือ การรวมสัญญาณที่มากกว่า 2 สัญญาณเข้าด้วยกัน และส่งไปบนสายเคเบิล 1 เส้น หรือ ทางวิทยุ 1 ทางติดต่อ ซึ่งสัญญาณดั้งเดิมเป็นได้ทั้งเสียงมนุษย์ สัญญาณวิดีโอ ข้อมูลคอมพิวเตอร์ หรืออื่นๆ สำหรับผลลัพธ์ของสัญญาณที่รวมกัน ถูกส่งไปบนช่วงความกว้างแถบที่พอดีกับข้อมูลทั้งหมด เมื่อถึงด้านรับสัญญาณที่รวมกัน จะถูกแยกออกตามที่มาในทางด้านส่ง ถ้าใช้ในความหมายเกี่ยวกับการติดต่อของข้อมูลในคอมพิวเตอร์ เช่น ช่องสัญญาณมัลติเพล็กซ์ (Multiplexing channel) คือที่ซึ่งอุปกรณ์หลายชนิดสามารถทำงานพร้อมกัน อย่างเช่น เครื่องพิมพ์หลายเครื่อง ที่ทำงานในเวลาเดียวกันได้บนช่องการสื่อสารเพียง 1 ช่อง (บุญธรรม โพธิ์ปักษ์. 2521 : 39)

2.1 การมัลติเพล็กซ์ (Multiplex(MUX))

หมายถึง อุปกรณ์สำหรับรวมสัญญาณสองอันหรือมากกว่า เพื่อสำหรับการมัลติเพล็กซ์ หรือสำหรับการสร้างการผสมสัญญาณ (ฝ่ายวิชาการบริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด. 2539 : 495) การมัลติเพล็กซ์หรืออุปกรณ์เลือกข้อมูล (Data Selector) เป็นวงจรลอจิกที่มีหลายอินพุตแต่มีเอาต์พุตเดียว ที่เวลาใดเวลาหนึ่งอินพุต Select จะทำหน้าที่ควบคุมข้อมูลอินพุต (Data Input) แล้วส่งมายังเอาต์พุต



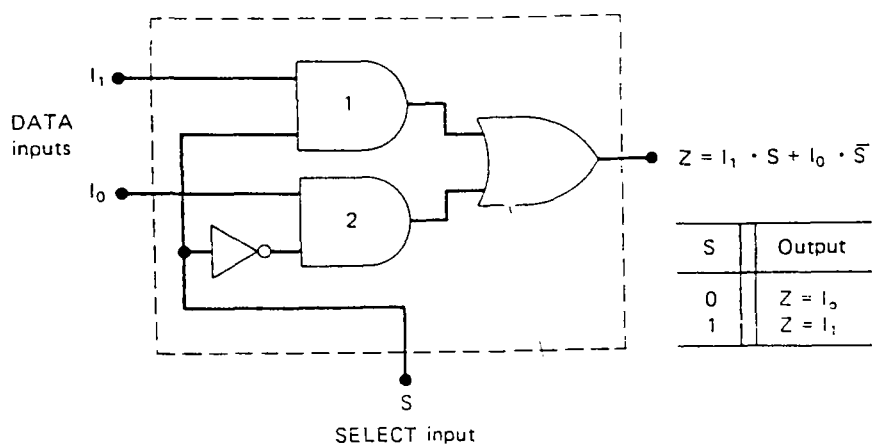
ภาพประกอบ 5 แสดงแผนภูมิการทำงานของ Multiplex(MUX)

จากภาพประกอบ 5 แสดงแผนภูมิการทำงานของ Multiplex สังเกตว่าอินพุต Select ของ Multiplex มีการทำงานเหมือนกับสวิตช์หลายตำแหน่งที่ใช้ควบคุมการทำงานทางดิจิทัล นั่นคือเมื่อป้อนรหัสดิจิทัลหรือข้อมูลอินพุตเข้าไปยังอินพุต Select สวิตช์จะควบคุมหรือเลือกข้อมูลอินพุตนี้แล้วส่งไปยังเอาต์พุต เช่น ที่เวลาหนึ่งเอาต์พุต Z จะเท่ากับข้อมูลอินพุต I_0 หรืออีกเวลาหนึ่งเอาต์พุต Z จะเท่ากับข้อมูลอินพุต I_1 เป็นต้น

อีกนัยหนึ่ง MUX จะทำหน้าที่เลือกข้อมูลอินพุต 1 ในจำนวน N ข้อมูล จากนั้นจึงเคลื่อนย้ายข้อมูลที่เลือกไปยังเอาต์พุต ซึ่งเราเรียกว่า การมัลติเพล็กซ์เซอร์

2.1.1 การมัลติเพล็กซ์แบบ 2 อินพุต (Two Input Multiplex)

มัลติเพล็กซ์เซอร์แบบ 2 อินพุต อธิบายหลักการทำงานโดยภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 แสดงวงจรลอจิกของมัลติเพล็กซ์เซอร์แบบ 2 อินพุต

ภาพประกอบ 6 แสดงวงจรลอจิกของมัลติเพล็กซ์เซอร์แบบสองอินพุตที่มีข้อมูลอินพุต I_0 กับ I_1 และอินพุต SELECT (คือ S) ระดับลอจิกที่ป้อนให้กับอินพุต S เป็นตัวกำหนดข้อมูลอินพุตที่ส่งไปยังเกต AND เพื่อส่งผ่านไปยังเกต OR แล้วสร้างเอาต์พุต Z ที่สอดคล้องกับระดับลอจิกที่อินพุต S ดังนี้คือ

ภาพประกอบ 6 เขียนสมการบูลีนของเอาต์พุต ได้เป็น

$$Z = I_0 \bar{S} + I_1 S$$

กรณี $S = 0$: สมการบูลีนจะกลายเป็น

$$\begin{aligned} Z &= I_0 \cdot 1 + I_1 \cdot 0 \\ &= I_0 \end{aligned}$$

ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเอาต์พุต Z จะแสดงสัญญาณอินพุต I_0

กรณี $S = 1$: สมการบูลีนจะกลายเป็น

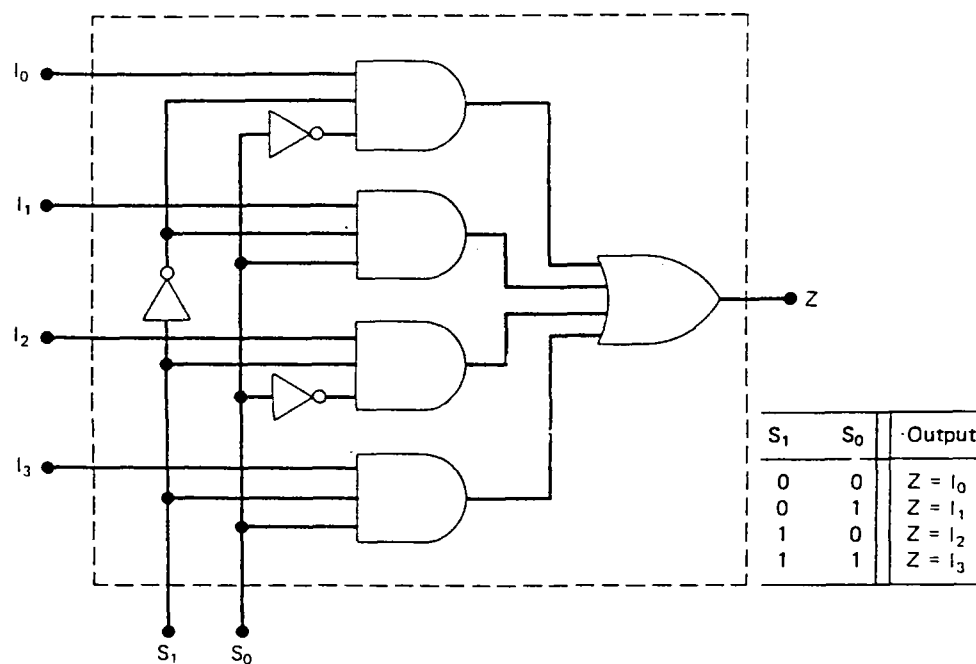
$$Z = I_0 \cdot 0 + I_1 \cdot 1 = I_1$$

ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเอาต์พุต Z จะแสดงสัญญาณอินพุต I_1

เมื่อนำค่าที่ได้มาเขียนตารางค่าความจริงจะเป็นดังภาพประกอบ 7

2.1.2 การมัลติเพล็กซ์แบบ 4 อินพุต (Four Input Multiplex)

เราสามารถนำหลักการทำงานของมัลติเพล็กซ์แบบ 2 อินพุต มาใช้กับมัลติเพล็กซ์แบบ 4 อินพุตได้ ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 แสดงวงจรลอจิกของมัลติเพล็กซ์แบบ 4 อินพุต

จากภาพประกอบ 7 จะสังเกตเห็นว่า อินพุตหนึ่งในสี่จะไปปรากฏเป็นเอาต์พุตตามการจัดหมู่ของ อินพุต Select คือ S_1 และ S_0 ที่สอดคล้องกับ ซึ่งแสดงไว้ในตารางค่าความจริง เช่น เมื่อ $S_1 = 0$ และ $S_0 = 0$ เอาต์พุต Z จะแสดงสัญญาณอินพุต I_0 เป็นต้น

2.1.3 การใช้งานมัลติเพล็กซ์ (Multiplex Applications)

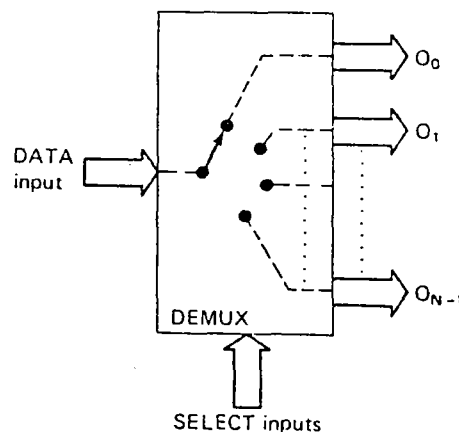
จากคุณสมบัติของมัลติเพล็กซ์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น นอกจากจะใช้ MUX ในการเลือกข้อมูลแล้วยังใช้งานในระบบดิจิทัลได้มากมาย เช่น การกำหนดเส้นทางของข้อมูล

2.1.4 การกำหนดเส้นทางของข้อมูล (Data Routing)

เมื่อทราบว่ามัลติเพล็กซ์ สามารถกำหนดเส้นทางของข้อมูล จากหนึ่งในจำนวนหลายแหล่ง จ่ายออกเป็นเอาต์พุตเส้นทางหนึ่ง จากคุณสมบัติข้อนี้เราสามารถใช่มัลติเพล็กซ์เซอร์ ในการเลือกและแสดงค่าที่ได้รับจากอุปกรณ์นับ BCD (Binary Coded Decimal) ตัวใดตัวหนึ่งในจำนวนอุปกรณ์นับ BCD หลาย ๆ ตัว เพื่อป้อนข้อมูลเดียวให้กับอุปกรณ์ถอดรหัสอุปกรณ์ขับและตัวแสดงว่า Led ดับการทำงานของมัลติเพล็กซ์ในลักษณะนี้เรียกว่า การกำหนดเส้นทางข้อมูล

2.2 การดีมัลติเพล็กซ์ (Demultiplex(DEMUX))

หมายถึง อุปกรณ์ที่ทำการแยกสัญญาณที่ได้รับร่วมกันโดยอุปกรณ์รวมสัญญาณที่เข้ากันได้ โดยจะส่งช่องสัญญาณเดียว (ฝ่ายวิชาการบริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด. 2539 : 186) เราทราบว่ามัลติเพล็กซ์เซอร์มีหลายอินพุต และทำหน้าที่ส่งอินพุตตัวหนึ่งในอินพุตเหล่านั้นไปยังเอาต์พุตเดียว ส่วนดีมัลติเพล็กซ์เซอร์ (DEMUX) หรือ การกระจายข้อมูล(Data Distributors)จะทำงานตรงข้ามกับมัลติเพล็กซ์ กล่าวคือ DEMUX จะมีอินพุตเดียว แล้วกระจายออกได้หลายเอาต์พุตและที่เวลาใดเวลาหนึ่ง อินพุต Select จะควบคุมข้อมูลอินพุต แล้วส่งมายังเอาต์พุตหนึ่ง



ภาพประกอบ 8 แสดงแผนภูมิการทำงานของ Demultiplex(DEMUX)

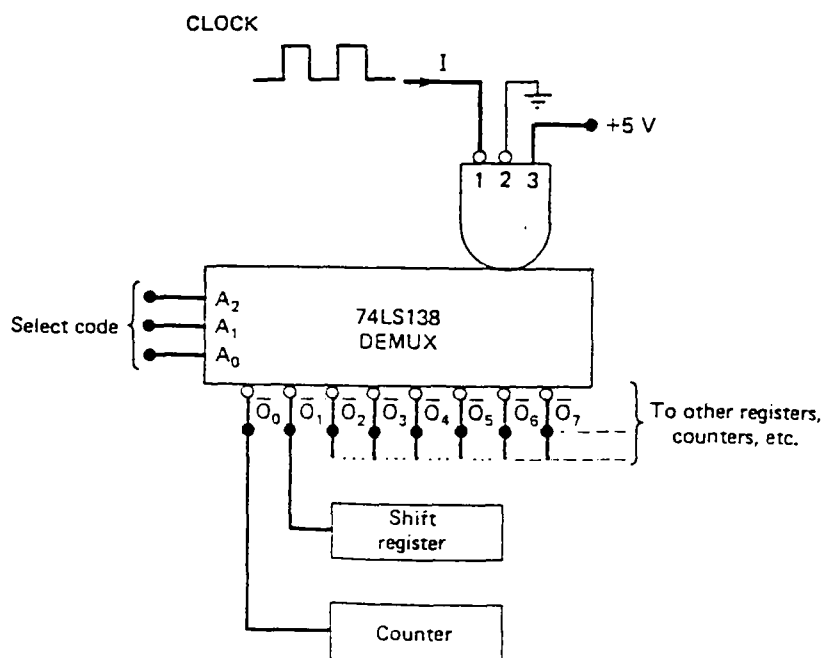
จากภาพประกอบ 8 แสดงแผนภูมิการทำงานของ Demultiplex จะสังเกตเห็นว่า อินพุต Select ของ Demultiplex มีลักษณะการทำงานเหมือนกับสวิตช์หลายตำแหน่งซึ่งใช้ควบคุมข้อมูลอินพุตที่ส่งไปยัง 1 ในจำนวน N เอาต์พุต ซึ่งเราเรียกว่า การดีมัลติเพล็กซ์เซอร์

2.2.1 การใช้งานดีมัลติเพล็กซ์ (Demultiplex Applications)

จากคุณสมบัติของดีมัลติเพล็กซ์ เราสามารถนำดีมัลติเพล็กซ์ไปใช้งานในระบบดิจิทัลได้มากมาย เช่น ดีมัลติเพล็กซ์แบบสัญญาณนาฬิกา เป็นต้น

2.2.2 ดีมัลติเพล็กซ์แบบสัญญาณนาฬิกา (Clock Demultiplex)

ดีมัลติเพล็กซ์แบบสัญญาณนาฬิกา อธิบายหลักการทำงานดังภาพประกอบ 9



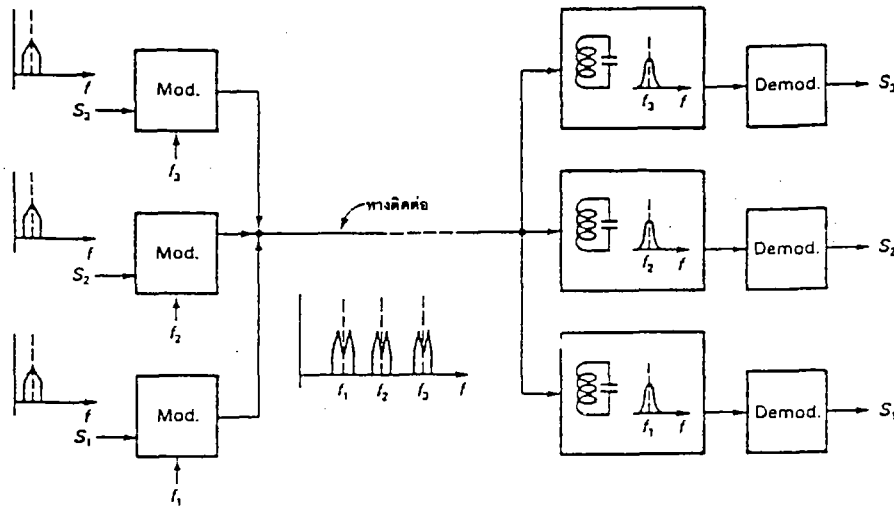
ภาพประกอบ 9 การทำงานของดีมัลติเพล็กซ์แบบสัญญาณคล็อก

จากภาพประกอบ 9 แสดงดีมัลติเพล็กซ์ 74LS138 ใช้ทำงานเป็นดีมัลติเพล็กซ์แบบสัญญาณคล็อก กล่าวคือสาย Select จะทำหน้าที่กำหนดเส้นทางของสัญญาณคล็อก ไปยังจุดหมายปลายทาง เช่น เมื่อ $S_2 S_1 S_0 = 000$ สัญญาณคล็อกที่ป้อนให้กับ I จะไปปรากฏที่เอาต์พุต $\overline{O}_0$ หรือเมื่อ $S_2 S_1 S_0 = 101$ สัญญาณคล็อกจะไปปรากฏที่เอาต์พุต $\overline{O}_5$ เป็นต้น

2.2.3 การนำส่งข้อมูล (Data Busing)

เพื่อให้เข้าใจหลักการพื้นฐานของการนำส่งข้อมูล จึงขอกล่าวถึงรีจิสเตอร์ที่ต้องใช้ร่วมกับการนำส่งข้อมูลชนิดหนึ่ง คือ รีจิสเตอร์ที่มีเอาต์พุตแบบ 3 สถานะ ได้แก่ สถานะ Low, สถานะ High หรือสถานะเอาต์พุตก่อนหน้า PGT ปรากฏ (Output Prior to PGT ; Q_0) การถ่ายโอนข้อมูลในคอมพิวเตอร์ จะส่งมาตามสายสำหรับการสื่อสารข้อมูล ระหว่างอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งเรียกว่า บัสข้อมูล (Data Bus) หรือ บัส (Bus : สายตัวนำสำหรับส่งข้อมูล) นั่นคือเอาต์พุตและอินพุตของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในคอมพิวเตอร์จะต่อกับสายของบัสข้อมูล อุปกรณ์เหล่านี้มักมีเอาต์พุตแบบ 3 สถานะ หรือต่อกับบัสข้อมูลโดยผ่านตัวพักข้อมูลชั่วคราวแบบ 3 สถานะ (Tristate Buffers) (มงคล ทองสงคราม. 2536 : 263-277)

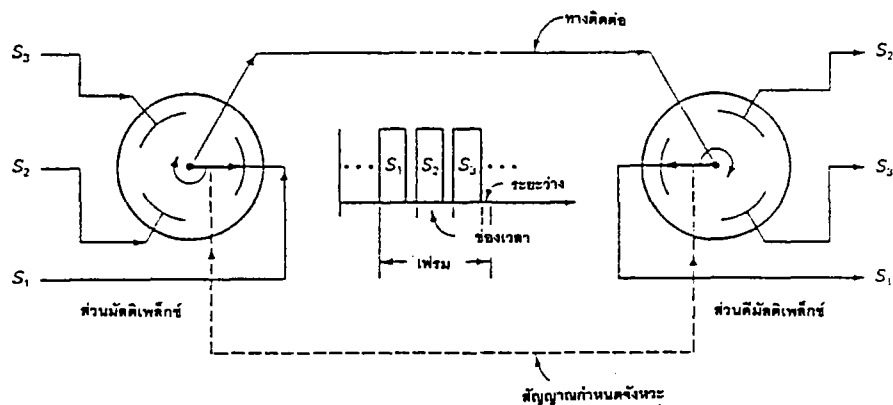
2.3 วิธีมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามความถี่ (Frequency Division Multiplexing (FDM))



ภาพประกอบ 10 แสดงการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามความถี่ (FDM)

จากภาพประกอบ 10 แสดงวิธีมัลติเพล็กซ์ของ 3 ช่องการติดต่อแบบอนาลอก โดยความถี่ของคลื่นพาหะ (Carrier) - f_1 , f_2 , f_3 - ถูกใช้ให้เข้ากับความถี่ของสัญญาณแต่ละตัวในส่วนมอดดูเลท สำหรับผลรวมของสัญญาณที่ได้จะแยกช่วงความถี่ตามคลื่นพาหะ และในปลายทางจะถูกแยกสัญญาณออกจากคลื่นพาหะโดยส่วนดีมัลติเพล็กซ์ (Demultiplex) ใช้วงจรจูนชนิดคุณภาพสูง ส่วนทางติดต่อ (link) ต้องกำหนดค่าความกว้างแถบ ให้ครอบคลุมสัญญาณที่มอดดูเลท และช่องว่างระหว่างความถี่ด้วย วิธีแบบ FDM มีใช้ในงานกระจายคลื่นสัญญาณวิทยุ และโทรทัศน์ ส่วนงานทางระบบโทรศัพท์ก็ใช้เช่นกัน กล่าวคือ ช่องการติดต่อเสียงพูด (Voice Channel) จำนวน 24 ช่องที่ความถี่ 3 KHz สามารถมัลติเพล็กซ์ไปบนสายส่งแบบคู่ตีเกลียว (Twisted Pair Line) จำนวน 1 เส้น และมีการมัลติเพล็กซ์อีกครั้งของกลุ่มช่องการติดต่อ (1 กลุ่มมี 24 ช่อง) จำนวนทั้งหมด 25 กลุ่ม ไปบนสายโคแอกเซียลเคเบิล 1 เส้น ทำให้ช่องการติดต่อเสียงพูดนับพัน ๆ ช่องสามารถใช้วิธีติดต่อแบบไมโครเวฟ หรือดาวเทียมได้ โดยใช้วิธีแบบ (FDM)

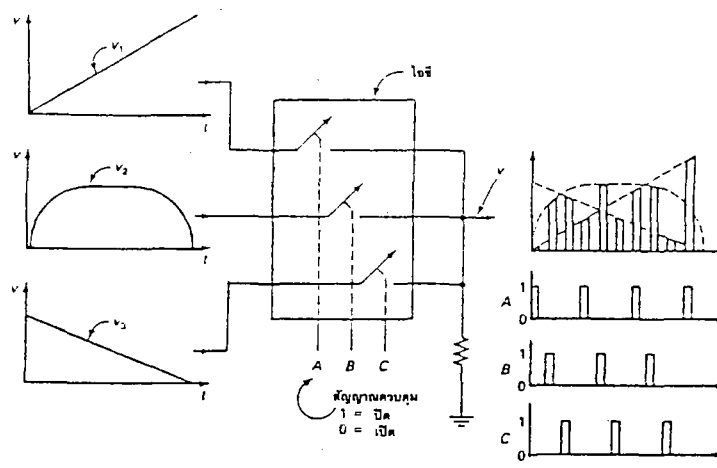
2.4 วิธีมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลา (Time Division Multiplexing (TDM))



ภาพประกอบ 11 แสดงวิธีมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลา (TDM)

หลักการแบบ TDM คือ การส่งสัญญาณหลาย ๆ สัญญาณไปบนสายส่งเดียวกันโดยอาศัยการแบ่งเวลาช่วงสั้นๆ จากภาพประกอบ 11 มีการติดต่อสัญญาณตามลำดับที่กำหนดไว้ (S1,S2,S3) ภายในเวลา 1 ช่องเวลา (time slot) เพื่อสัญญาณทั้งหมดถูกส่งไปในทางติดต่อเดียวกันในรูปแบบของเฟรม จิตว่าขั้นตอนดังกล่าวคือ การมัลติเพล็กซ์

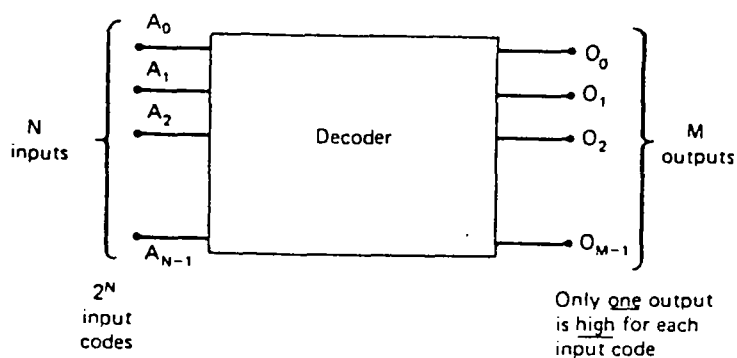
ส่วนการดีมัลติเพล็กซ์ ต้องมีการติดต่อแยกลำดับสัญญาณให้ถูกต้อง ซึ่งต้องกำหนดช่วงเวลาให้แน่นอน เราเรียกการทำให้ช่วงเวลามีความสัมพันธ์กันนี้ว่า การซิงโครไนส์ (Synchronous) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า การซิง (Sync) พิจารณาการหมุนของส่วนติดต่อจากภาพประกอบ 11 กรณีที่ความเร็วในการหมุนถูกต้อง ข้อมูลไม่ผิดพลาด จะเห็นได้ว่าทางด้านส่งช่องว่างระหว่างสัญญาณควรมีค่าน้อยลง เพื่อให้จำนวนข้อมูลที่จะส่งมีมากขึ้น ทำให้ทางด้านรับต้องเพิ่มช่องว่างระหว่างสัญญาณให้มากขึ้นเพื่อป้องกันการสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นได้ เนื่องจากการสูญเสียระหว่าง (Guardband) ตามทางติดต่อมีผลให้ทางด้านรับ ต้องการทำการตรวจสอบสัญญาณที่อ่านเข้ามาด้วยความถี่ที่สูงกว่าความถี่สูงสุดของสัญญาณที่อ่านอยู่อย่างต่ำ 2 เท่า เพื่อให้เกิดการซิงโครไนส์กัน การใช้ระบบแบบ TDM แทนแบบ FDM สามารถแก้ปัญหาข้อผิดพลาดจากการใช้วงจรจูนความถี่ได้ดี ดังภาพประกอบ 12 แสดงการประยุกต์ใช้งานระบบ TDM ในการมัลติเพล็กซ์สัญญาณอนาล็อก 3 ตัว โดยใช้ไอซีชิมอสแบบ Bilateral analog switch (วีสันด์ อาซาเดโซพล. 2537 : 16-18)



ภาพประกอบ 12 แสดงระบบแบบ TDM โดยใช้ IC

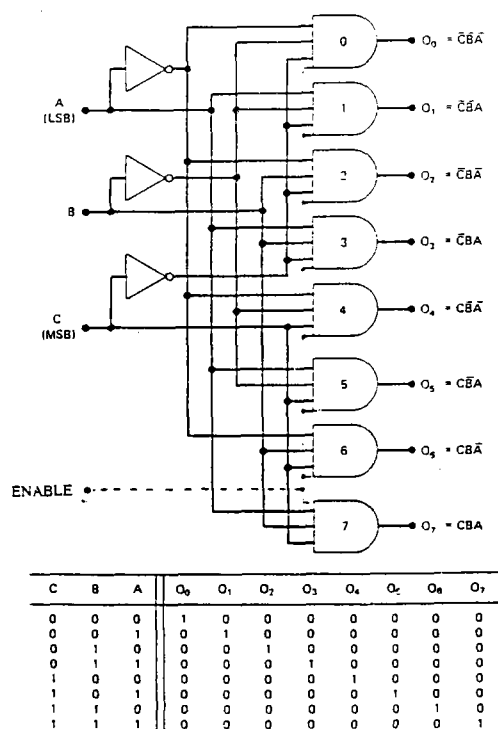
2.5 การถอดรหัส(DECODERS)

อุปกรณ์ถอดรหัส หรือวงจรถอดรหัส เป็นวงจรลอจิกซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนรหัสเลขฐานสองที่มีอินพุตจำนวน N บิตให้เป็นสายเอาต์พุตจำนวน M สาย (M Output Lines) โดยแต่ละสายจะได้รับการกระตุ้นจากการจัดหมู่ของอินพุตที่เหมาะสมเพียงกลุ่มเดียว



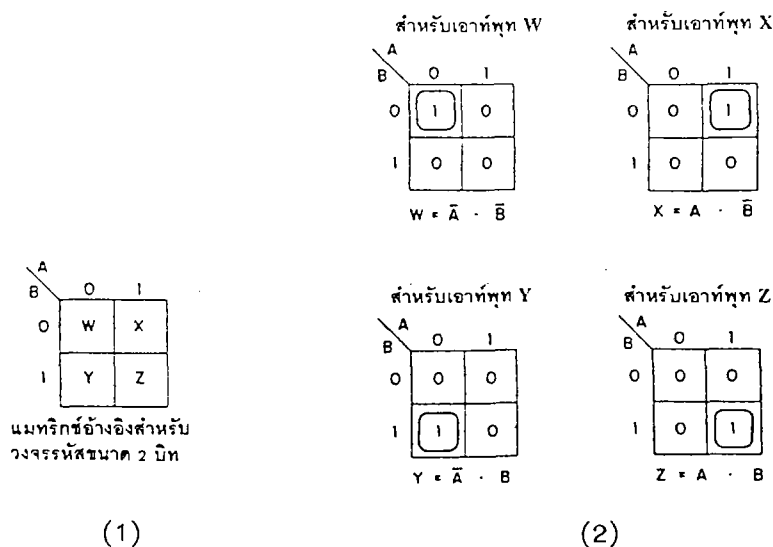
ภาพประกอบ 13 แสดงแผนภูมิของอุปกรณ์ถอดรหัสแบบแอกติฟ High

จากภาพประกอบ 13 แสดงแผนภูมิของอุปกรณ์ถอดรหัสแบบแอกติฟ High ซึ่งมีอินพุตจำนวน N อินพุตและเอาต์พุตจำนวน M เอาต์พุต เนื่องจากแต่ละอินพุตอาจเป็น 0 หรือ 1 ก็ได้ ดังนั้นจึงมีการจัดหมู่ของอินพุตหรือรหัสที่เป็นไปได้จำนวน 2^N กลุ่ม แต่ละกลุ่มจะสร้าง 1 เอาต์พุต (ในจำนวน N เอาต์พุต) ให้เป็นแอกติฟ High ส่วนเอาต์พุตที่เหลือจะเป็น Low ในทำนองเดียวกัน อุปกรณ์ถอดรหัสแบบแอกติฟ Low จะมีเพียง 1 เอาต์พุตที่เป็น Low ขณะที่เอาต์พุตที่เหลือเป็น High อุปกรณ์ถอดรหัสแบบแอกติฟ Low นี้มีสัญลักษณ์วงกลมเล็กๆ ทางด้านสายเอาต์พุต



ภาพประกอบ 14 แสดงอุปกรณ์ถอดรหัสที่มี 3 อินพุต และมีเอาต์พุตจำนวน $2^3 = 8$ เอาต์พุต

จากภาพประกอบ 14 แสดงอุปกรณ์ลอจิกที่มี 3 อินพุต และมีเอาต์พุตจำนวน $2^3 = 8$ เอาต์พุต สังเกตว่าเอาต์พุตเหล่านี้เกิดจากเกต And ทั้งหมด ดังนั้น เอาต์พุตเหล่านี้จึงเป็นแอกติฟ High (กรณีเอาต์พุตเป็นแอกติฟ Low จะใช้เกต Nand นอกจากนี้ สังเกตว่า เอาต์พุตใด ๆ ที่เป็นแอกติฟ High จะสอดคล้องกับรหัสเลขฐานสองที่อินพุต เช่น เอาต์พุต O_6 เป็น High เฉพาะเมื่อ $CBA = 110_2 = 6_{10}$ (มงคล ทองสงคราม. 2536 : 244-249) ในกรณีของเลขฐานสองที่มีขนาด N บิตนั้น จะมีจำนวนตัวเลขที่แตกต่างกันได้ถึง 2^N ค่า ทั้งนี้เนื่องจากแต่ละหลักนั้นจะเปลี่ยนแปลงค่าได้ 2 ค่า คือ “0” หรือ “1” ดังนั้นในกรณีของเลขฐานสองขนาด 1 บิต จึงมีจำนวนตัวเลขที่แตกต่างกันได้ 2 ค่า และสำหรับเลขฐานสองขนาด 2 บิต จะมีจำนวนตัวเลขที่แตกต่างกันได้เท่ากับ 2×2 หรือ $2^2 = 4$ ค่า (จำนวนเลขฐานสองขนาด N บิตจะต้องเป็นค่าใดค่าหนึ่งใน 4 ค่า คือ 00, 01, 10 หรือ 11) ด้วยเหตุนี้เลขฐานสองขนาด N บิตจึงมีจำนวนตัวเลขที่แตกต่างกันได้เท่ากับ $2 \times 2 \times 2 \times \dots \times 2$ (N ตัว) หรือ 2^N ค่า (คือจาก 000... 0 (N บิต) จนถึง 111... 1 (N บิต) ซึ่ง 2^N นี้คือ จำนวนค่าของเลขฐานสิบที่ได้จากการแปลงเลขฐานสองขนาด N บิต หรืออาจกล่าวได้ว่าการแปลงหรือถอดรหัสเลขฐานสองขนาด N บิตเป็นเลขฐานสิบนั้น จะได้เป็นเลขฐานสิบ 2 จำนวน คือ จาก 0,1,2 ,..... จนถึง $2^N - 1$ (เริ่ม จาก 0 จนถึง $2^N - 1$) ดังนั้นการสร้างวงจรถอดรหัสเลขฐานสองเป็นเลขฐานสิบ จึงเป็นการสร้างวงจรที่รับอินพุตเป็นเลขฐานสองขนาด N บิต และมีเอาต์พุตเป็นเลขฐานสิบจำนวน 2^N เอาต์พุต โดยเมื่อวงจรรับอินพุตเป็นเลขฐานสองค่าใดแล้วก็จะทำให้เอาต์พุต (เลขฐานสิบ) ที่สัมพันธ์กับเลขฐานสองนั้นแอกติฟ (เป็นลอจิก “1” หรือ “0” ตามคุณสมบัติของวงจร) เช่น กรณีของวงจรถอดรหัสเลขฐานสองเป็นเลขฐานสิบขนาด 2 บิต ซึ่งจะให้เอาต์พุตจำนวน 4 เอาต์พุต เมื่อกำหนดให้ A และ B แทนอินพุตทั้ง 2 บิต และ W, X , Y, Z แทนเอาต์พุตของวงจร จะทำให้สามารถสร้างแมทริกซ์อ้างอิง (Reference Matrix: คือ แมทริกซ์ที่แสดงเอาต์พุตหรือผลลัพธ์ เมื่อเทียบกับอินพุตต่าง ๆ) ได้ในภาพประกอบ 15 (1)



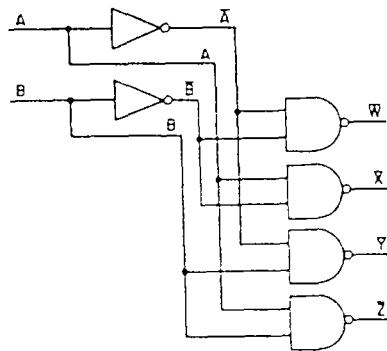
ภาพประกอบ 15 (1) แมทริกซ์อ้างอิง และ (2) ตาราง Karnaugh Map สำหรับวงจรถอดรหัสขนาด 2 บิต

วงจรถอดรหัสที่สร้างจากแมทริกซ์อ้างอิงในภาพประกอบ 15 (1) คือ วงจรที่ให้เอาต์พุต W, X , Y, หรือ Z เอาต์พุตใดเอาต์พุตหนึ่งแอกติฟ (ในที่นี้กำหนดให้แอกติฟที่ลอจิก “1”) เมื่อได้รับอินพุต (A และ B)

ที่สัมพันธ์กับเอาต์พุตนั้น เช่นเอาต์พุต W จะเป็นลอจิก “1” (เอาต์พุต X, Y, และ Z เป็นลอจิก “0”) เมื่ออินพุต A และ B เป็นลอจิก “0” ทั้งคู่ หรือ เอาต์พุต Y จะเป็นลอจิก “1” (เอาต์พุต W, X, และ Z เป็นลอจิก “0”) เมื่ออินพุต A และ B เป็น “0” และ “1” ตามลำดับเป็นต้น ดังนั้นเราจึงสามารถเขียนตาราง Karnaugh Map สำหรับเอาต์พุตทั้ง 4 ได้แสดงในภาพประกอบ 15 (2) และจะได้สมการของเอาต์พุตทั้งสี่ เป็นดังนี้

$$W = \overline{A} \bullet \overline{B}, X = A \bullet \overline{B}, Y = \overline{A} \bullet B, Z = A \bullet B$$

ซึ่งจะได้วงจรถอดรหัสเลขฐานสองขนาด 2 บิต เป็นเลขฐานสิบ (ในที่นี้อาจเรียกเป็น วงจร 2-Line-To-4-Line Decoder) ดังภาพประกอบ 16 แต่เอาต์พุตของวงจรในภาพประกอบ 16 จะเป็นค่าคอมพลิเมนต์ของเอาต์พุตที่เราคำนวณไว้ ดังนั้นเอาต์พุตของวงจรแอกทีฟที่ลอจิก “0” และมีสัญลักษณ์ของเอาต์พุต เป็น $\overline{W}$, $\overline{X}$, $\overline{Y}$, และ $\overline{Z}$



ภาพประกอบ 16 ไดอะแกรมของวงจรถอดรหัสเลขฐานสองขนาด 2 บิต
เป็นเลขฐานสิบ (2-Line-To-4-Line Decoder)

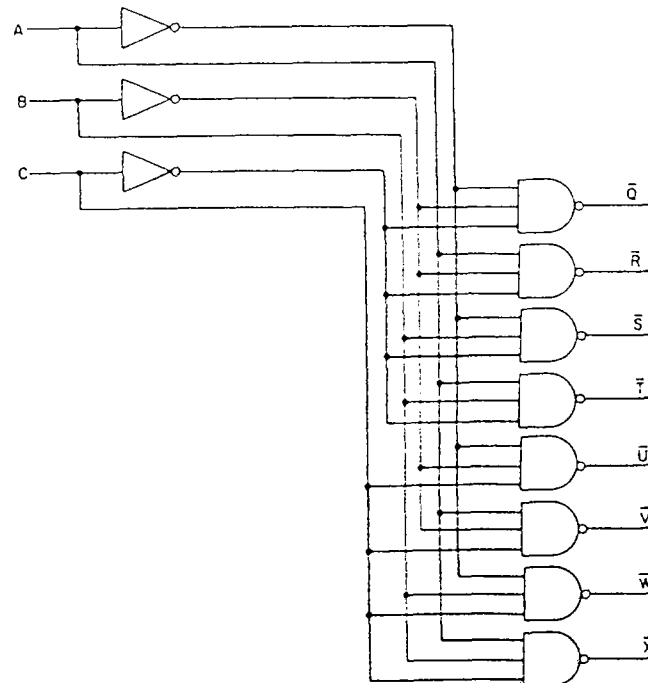
จากหลักการออกแบบวงจรถอดรหัสเลขฐานสองขนาด 2 บิต ที่ได้กล่าวแล้วนั้น จะช่วยให้เราสามารถออกแบบวงจรถอดรหัสที่มีจำนวนบิตของอินพุตมากขึ้นได้ โดยใช้แมทริกซ์อ้างอิงในภาพประกอบ 15 (1) เข้าช่วยแต่เนื่องจากแต่ละค่าของอินพุตนั้นจะมีเพียงเอาต์พุตเดียวเท่านั้นที่แอกทีฟ (เป็นลอจิก “1”) เช่น เอาต์พุต W จะแอกทีฟเฉพาะกรณีที่อินพุต A และ B เป็น “0” ทั้งคู่เท่านั้น ดังนั้นเราจึงสามารถสร้างสมการของแต่ละเอาต์พุตขึ้นจากแมทริกซ์ของเอาต์พุตนี้ได้โดยไม่ต้องสร้างตาราง Karnaugh Map ของแต่ละเอาต์พุตขึ้นมาก่อน ดังตัวอย่างของการสร้างสมการของแต่ละเอาต์พุตของวงจรถอดรหัสเลขฐานสองขนาด 3 บิต ในภาพประกอบ 17 โดยกำหนดให้ทั้ง 8 เอาต์พุต ($2^3 = 8$) ของวงจรถอดรหัสเป็น Q, R, S, T, U, V, W และ X ตามลำดับ

C/B \ A	00	01	11	10
	Q	R	T	S
0	Q	R	T	S
1	U	V	X	W

$$\begin{aligned}
 Q &= \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \\
 R &= A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \\
 S &= \bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} \\
 T &= A \cdot B \cdot \bar{C} \\
 U &= \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \\
 V &= A \cdot \bar{B} \cdot C \\
 W &= \bar{A} \cdot B \cdot C \\
 X &= A \cdot B \cdot C
 \end{aligned}$$

ภาพประกอบ 17 แมทริกซ์อ้างอิงสำหรับวงจรถอดรหัสเลขฐานสองขนาด 3 บิต

สำหรับวงจรถอดรหัสเลขฐานสองขนาด 3 บิตนั้น จะแสดงในภาพประกอบ 18 โดยแต่ละเอาต์พุตจะแอดที่ฟลลจิก “0” คือ เป็นค่าคอมพลิเมนต์ของเอาต์พุตที่ได้คำนวณไว้ในภาพประกอบ 17 จึงเขียนเอาต์พุตทั้งแปดวงจรถอดรหัสได้เป็น $\bar{Q}$, $\bar{R}$, $\bar{S}$, $\bar{T}$, $\bar{U}$, $\bar{V}$, $\bar{W}$ และ $\bar{X}$ ตามลำดับ



ภาพประกอบ 18 ไลอะแกรมของวงจรถอดรหัสเลขฐานสอง
ขนาด 3 บิต (3-Line-To-8-Line Decoder)

นอกจากเลขฐานสองแล้ว ภายในวงจรดิจิทัลหรือในระบบคอมพิวเตอร์นั้น มักจะมีการใช้เลขรหัสอื่น ๆ ในการทำงานด้วย เช่น เลขรหัส BCD (Binary Coded Decimal) เลขรหัส Excess-3 เป็นต้น ซึ่งเลขรหัสเหล่านี้มักจะไม่ได้ใช้จำนวนทั้งหมดของเลขฐานสอง เช่น เลขรหัส BCD จะมีจำนวนบิต 4 บิตใน 1 เวิร์ด (Word) ซึ่งถ้าหากเป็นเลขฐานสองตามปกติแล้ว จะมีจำนวนตัวเลขที่ต่างกันได้ 16 ตัว แต่ในเลขรหัส

BCD จะมีจำนวนตัวเลขที่ใช้งานอยู่เพียง 10 ค่า เท่านั้น คือจาก 0 (0000) จนถึง 9 (1001) โดยตัวเลขที่เหลือคือ 1010 จนถึง 1111 เป็นตัวเลขที่ไม่ถูกใช้งานในกรณีของรหัส BCD ส่วนเลขรหัสอื่น ๆ จะมีรูปแบบการจัดตัวเลขที่แตกต่างกันตามลักษณะของเลขรหัสนั้น โดยรูปแบบการจัดตัวเลขของรหัสแบบต่าง ๆ จะแสดงไว้ในตาราง 2 สำหรับเลขรหัสที่แตกต่างกันนี้จะถูกนำไปใช้ช่วยในกระบวนการทางคณิตศาสตร์ เช่น การบวก ลบ ทำคอมพลิเมนต์ ถอดรหัสเป็นเลขฐานสิบ การตรวจจับความผิดพลาด หรือการแก้ไขความผิดพลาด (Error Correction) สามารถทำได้สะดวกขึ้น

ตาราง 2 การเปรียบเทียบระหว่างเลขรหัสแบบต่าง ๆ ที่มีขนาด 4 บิต

เลขฐานสอง	รหัส 8-4-2-1 (เลข BCD)	รหัส 2-4-2-1	รหัส Excess-3	รหัส Excess-3 Gray
0000	0	0		
0001	1	1		
0010	2	2		0
0011	3	3	0	
0100	4	4	1	4
0101	5		2	3
0110	6		3	1
0111	7		4	2
1000	8		5	
1001	9		6	
1010			7	9
1011		5	8	
1100		6	9	5
1101		7		6
1110		8		8
1111		9		7

สำหรับเลขรหัส 2 แบบแรกในตาราง 2 คือ เลข BCD หรือ เลข 8-4-2-1 และเลข 2-4-2-1 นั้นเป็นเลขรหัสแบบ Weight (Weight Code: หมายถึงรหัสที่ตัวเลขในแต่ละหลักหรือแต่ละบิตมีตัวคูณ หรือ Weight อยู่ด้วย โดยตัวคูณ หรือ Weight ในบิตใดจะมีค่าเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับการกำหนดของรหัสแต่ละแบบ) ซึ่งการแปลงเลขรหัสแบบ Weight เป็นเลขฐานสิบสามารถทำได้ โดยการคูณค่า Weight ของแต่ละบิต เข้ากับเลขในบิตที่ตรงกับค่า Weight นั้นเช่น เลขรหัสแบบ 8-4-2-1 จะหมายถึงเลขรหัสที่อยู่ในรูปของเลขฐานสองขนาด 4 บิต ที่ใช้แทนเลขฐานสิบ โดยที่เป็นบิต MSB ซึ่งอยู่ทางด้านซ้ายสุดจะมีตัวคูณ หรือค่า Weight เป็น 8 ในขณะที่บิตที่มีนัยสำคัญรองลงมา (บิตที่ 2 และ 3 จากซ้าย) จะมี Weight เป็น 4 และ 2 ตามลำดับ ส่วนบิต LSB (บิตทางขวาสุด) จะมี Weight เป็น 1 ดังนั้นในกรณีของรหัสแบบ 8-4-2-1 ที่มีค่าเป็น 1001 จะแปลงเป็นเลขฐานสิบได้ โดยการคูณบิต MSB ซึ่งมีค่าเป็น “1” ด้วย 8, บิตที่ 2 ซึ่งมีค่า

เป็น “0” ด้วย 4, บิตที่ 3 ซึ่งมีค่าเป็น “0” ด้วย 2 และบิตที่ 4 บิต (บิต LSB) ซึ่งมีค่าเป็น “1” ด้วย 1 ดังนั้นการแปลงเลขรหัส 8-4-2-1 ที่มีค่าเท่ากับ 0101 เป็นฐานสิบ จึงสามารถทำได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{เลขรหัส 8-4-2-1} &: 1 \ 0 \ 0 \ 1 \\ \text{แปลงเป็นฐานสิบ} &= (8 \times 1) + (4 \times 0) + (2 \times 0) + (1 \times 1) \\ &= 9\end{aligned}$$

สำหรับกรณีของรหัส 2-4-2-1 จะสามารถแปลงเป็นเลขฐานสิบได้โดยวิธีเดียวกับรหัส 8-4-2-1 เพียงแต่ค่า Weight จะเปลี่ยนเป็น 2,4,2 และ 1 ตามลำดับ ดังนั้นในกรณีของรหัส 2-4-2-1 ที่มีค่าเป็น 1011 จึงสามารถแปลงเป็นเลขฐานสิบได้ดังนี้ (ในกรณีของรหัส 2-4-2-1 เลข 0101 จนถึง 1010 จะไม่ถูกใช้งาน)

$$\begin{aligned}\text{เลขรหัส 2-4-2-1} &: 1 \ 0 \ 1 \ 1 \\ \text{แปลงเป็นฐานสิบ} &= (2 \times 1) + (4 \times 0) + (2 \times 1) + (1 \times 1) \\ &= 5\end{aligned}$$

ในกรณีของเลขรหัส Excess-3 จัดเป็นเลขรหัสแบบ Bias Weight Code ซึ่งการแปลงเลขรหัสแบบนี้เป็นเลขฐานสิบ สามารถทำได้โดยการคำนวณแบบเลขรหัส 8-4-2-1 (เลข BCD) แล้วลบออกด้วย 3 เช่น

$$\begin{aligned}\text{เลขรหัสแบบ Excess-3} &: 1 \ 0 \ 0 \ 1 \\ \text{แปลงเป็นฐานสิบ} &= (8 \times 1) + (4 \times 0) + (2 \times 1) + (1 \times 1) \\ &= 9 - 3 = 6\end{aligned}$$

สำหรับเลขรหัสที่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของเลขรหัสแบบ Unweight เช่น รหัส Excess-3 Gray นั้นเราจำเป็นต้องหาค่าเลขฐานสิบโดยใช้แมทริกซ์ที่แสดงค่าเลขฐานสิบเทียบกับเลขรหัสค่าต่าง ๆ (แมทริกซ์ดังกล่าวจะบอกให้ทราบว่าเลขรหัสนั้นตรงกับค่าใดในเลขฐานสิบ) เลขรหัสที่แสดงในตาราง 2 เป็นเลขรหัสที่มีขนาด 4 บิตใน 1 เวิร์ด อย่างไรก็ตามยังมีเลขรหัสที่มีจำนวนบิตมากกว่า 4 บิตใน 1 เวิร์ด เช่น เลขรหัส 8-6-4-2-1 เป็นต้น ซึ่งเลขรหัสที่มีจำนวนบิตมากกว่า 4 บิตใน 1 เวิร์ดนี้จะแสดงไว้ในตาราง 3 โดยเลขรหัสในตาราง 3 ยังคงแบ่งออกได้เป็นเลขรหัสแบบ Weight คือ 5-1-1-1-1 และ 8-6-4-2-1 กับเลขรหัสแบบ Unweight ซึ่งเป็นเลขรหัสที่ถูกใช้ในขบวนการนับของวงจรมับแบบ Twisted-Ring Johnson

ตาราง 3 การเปรียบเทียบระหว่างเลขรหัสแบบต่าง ๆ ที่มีจำนวนบิตมากกว่า 4 บิต ใน 1 เวิร์ด

เลขฐานสิบ	รหัส 5-1-1-1-1	รหัส 8-6-4-2-1	รหัส Unweight
0	00000	00000	00000
1	00001	00001	10000
2	00011	00010	11000
3	00111	00011	11100
4	01111	00100	11110
5	10000	00101	11111

ตาราง 3 (ต่อ)

เลขฐานสิบ	รหัส 5-1-1-1-1	รหัส 8-6-4-2-1	รหัส Unweight
6	11000	01000	01111
7	11100	01001	00111
8	11110	10000	00011
9	11111	10001	00001

ในการสร้างวงจรถอดเลขรหัสต่างๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น เราสามารถใช้วิธีการเดียวกับการถอดรหัสเลขฐานสองได้ โดยการสร้างแมทริกซ์อ้างอิงเช่นเดียวกับที่ได้กล่าวถึงในตอนต้นดังภาพประกอบ 19 ซึ่งเป็นแมทริกซ์ที่สร้างขึ้นสำหรับวงจรถอดรหัสเลข BCD เป็นเลขฐานสิบโดยมีอินพุตเป็นเลขฐานสองขนาด 4 บิต (เลข BCD) คืออินพุต DCBA และมี 10 เอาต์พุต คือ 0,1,2... 3 (ตัวเลข 0-9 นี้เป็นเพียงสัญลักษณ์สำหรับแทนแต่ละเอาต์พุตของวงจรถอดรหัสเลข BCD เป็น เลขฐานสิบเท่านั้นไม่ได้เป็นค่าตัวเลขที่แท้จริง)

Reference matrix

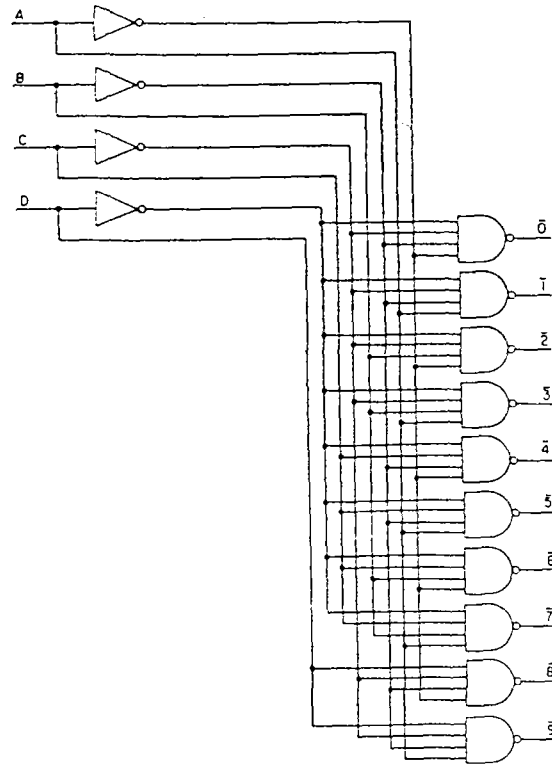
DCBA	00	01	11	10
00	0	1	3	2
01	4	5	7	6
11	X	X	X	X
10	8	9	X	X

ภาพประกอบ 19 แมทริกซ์อ้างอิงสำหรับวงจรถอดรหัสเลข BCD เป็นฐานสิบ

และจากแมทริกซ์อ้างอิงจะได้สมการของเอาต์พุตทั้งสิบ ดังนี้

$$\begin{aligned}
 0 &= \overline{A} \bullet \overline{B} \bullet \overline{C} \bullet \overline{D} & 5 &= A \bullet \overline{B} \bullet C \bullet \overline{D} \\
 1 &= A \bullet \overline{B} \bullet \overline{C} \bullet \overline{D} & 6 &= \overline{A} \bullet B \bullet C \bullet \overline{D} \\
 2 &= \overline{A} \bullet B \bullet \overline{C} \bullet \overline{D} & 7 &= A \bullet B \bullet C \bullet \overline{D} \\
 3 &= A \bullet B \bullet \overline{C} \bullet \overline{D} & 8 &= A \bullet \overline{B} \bullet C \bullet D \\
 4 &= \overline{A} \bullet B \bullet C \bullet \overline{D} & 9 &= A \bullet \overline{B} \bullet \overline{C} \bullet D
 \end{aligned}$$

สำหรับวงจรถอดรหัสเลข BCD เป็นเลขฐานสิบจะแสดงในภาพประกอบ 20 โดยที่เอาต์พุตของวงจรจะเป็นค่าคอมพลิเมนต์ของเอาต์พุตที่ได้จากแมทริกซ์ในภาพประกอบ 19 เอาต์พุตของวงจรในภาพประกอบ 20 จึงเป็น $\overline{0}$, $\overline{1}$, $\overline{2}$, ..., $\overline{9}$



ภาพประกอบ 20 ไตอะแกรมของวงจรรหัสเลข BCD เป็นฐานสิบ
ที่มีการตรวจจับความผิดพลาดของข้อมูลอินพุต

สิ่งสำคัญประการหนึ่งสำหรับวงจรถอดรหัส BCD คือ อินพุตที่มีค่าเป็น 1010, 1011, 1100, 1101, 1110 และ 1111 นั้นเป็นค่าที่ไม่ได้งานในเลขรหัส BCD ดังนั้นข้อมูลอินพุต ดังกล่าวจึงถือได้ว่าเป็นข้อมูลที่ผิดพลาด สำหรับวงจรในภาพประกอบ 20 นั้นเป็นวงจรที่มีการตรวจจับความผิดพลาดของข้อมูลอินพุตด้วย โดยวงจรจะให้เอาต์พุตทุกเอาต์พุตมีลอจิกเป็น “1” (คือ ไม่มีเอาต์พุตใดที่แอกทีฟเลย) เมื่อวงจรได้รับอินพุตเป็นข้อมูลที่ผิดพลาด อย่างไรก็ตามในกรณีที่เราไม่จำเป็นต้องใช้วงจรถอดรหัสเลข BCD ที่มีการตรวจจับความผิดพลาดของข้อมูล จะช่วยให้สามารถลดจำนวนอินพุตของวงจรเกท Nand ที่ใช้ลงได้โดยการใช้ตาราง Karnaugh Map ดังภาพประกอบ 21 ที่สร้างขึ้นจากแมทริกซ์อ้างอิงในภาพประกอบ 19 เข้าช่วย

B \ A		C			
		00	01	11	10
D	00	0	1	3	2
	01	4	5	7	6
	11	X	X	X	X
	10	8	9	X	X

X = don't care

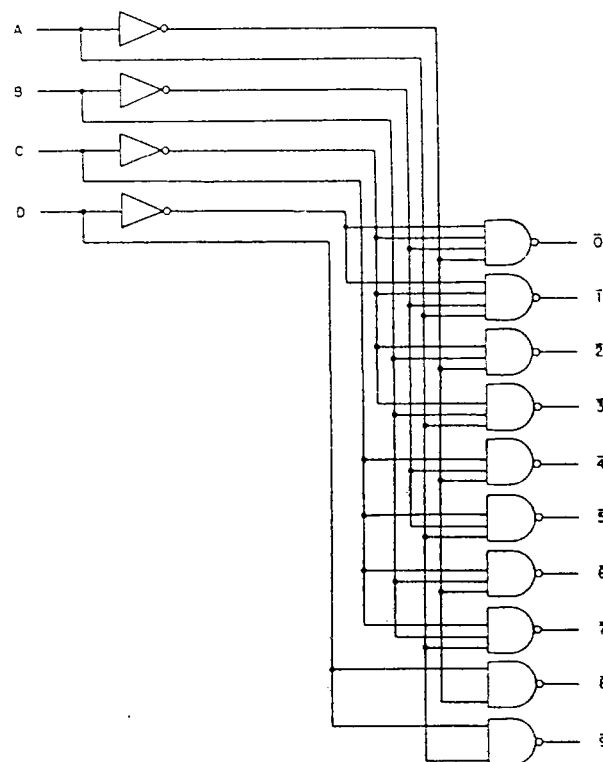
X = don't care

ภาพประกอบ 21 ตาราง Karnaugh Map สำหรับวงจรถอดรหัส BCD เป็น
ฐานสิบที่ไม่มีการตรวจจับความผิดพลาดของข้อมูลอินพุต

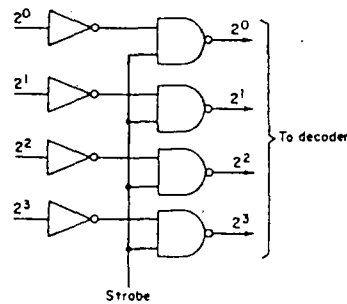
และจากตาราง Karnaugh Map จะได้สมการของเอาต์พุตทั้งสิบ ดังนี้

$$\begin{aligned}
 0 &= \overline{A} \bullet \overline{B} \bullet \overline{C} \bullet \overline{D} & 5 &= \overline{A} \bullet \overline{B} \bullet C \\
 1 &= \overline{A} \bullet \overline{B} \bullet C \bullet \overline{D} & 6 &= \overline{A} \bullet B \bullet C \\
 2 &= \overline{A} \bullet B \bullet C & 7 &= \overline{A} \bullet B \bullet C \\
 3 &= \overline{A} \bullet B \bullet C & 8 &= \overline{A} \bullet D \\
 4 &= \overline{A} \bullet B \bullet C & 9 &= A \bullet D
 \end{aligned}$$

จากภาพประกอบ 21 ข้อมูลอินพุตที่ไม่ถูกใช้งานนั้น จะถูกกำหนดให้มีสถานะเป็น Don't Care (X) ซึ่งการทำงานเช่นนี้เมื่อบังคับได้รับข้อมูลผิดพลาด จะทำให้มีเอาต์พุตที่แอกทีฟมากกว่า 1 เอาต์พุต เช่น กรณีที่ข้อมูลอินพุตเป็น 1111 จะทำให้เอาต์พุต 7 และ 9 แอกทีฟพร้อมกัน สำหรับวงจรถอดรหัสเลข BCD ที่ไม่มีการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลนั้น จะแสดงในภาพประกอบ 22 โดยเอาต์พุตของวงจรจะเป็นค่าคอมพลิเมนต์ของเอาต์พุตที่คำนวณได้จากตาราง Karnaugh Map ในภาพประกอบ 21 ในการใช้งานวงจรถอดรหัสนั้น เรามักจำเป็นต้องกำหนดให้วงจรทำการถอดรหัสเฉพาะในช่วงเวลาที่ต้องการเท่านั้น โดยในช่วงเวลาอื่นวงจรจะต้องไม่ตอบสนองต่อข้อมูลอินพุตใด ๆ ซึ่งการกำหนดให้วงจรทำงานเฉพาะในช่วงเวลาที่เรารต้องการนั้น สามารถทำได้โดยการเพิ่มอินพุต Strobe ให้กับวงจรถอดรหัส ซึ่งอินพุต Strobe นี้จะควบคุมให้วงจรทำการถอดรหัสข้อมูลทางอินพุต เฉพาะในช่วงเวลาที่อินพุต Strobe ได้รับลจิกที่ให้อินพุตนี้แอกทีฟเท่านั้น และในกรณีที่อินพุต Strobe ไม่แอกทีฟนั้น วงจรจะไม่ตอบสนองใด ๆ ต่อข้อมูลทางอินพุต สำหรับวิธีการสร้างวงจรในส่วนของอินพุต Strobe นั้น จะแตกต่างกันตามลักษณะของวงจรถอดรหัส โดยเฉพาะในกรณีของวงจรที่มีและไม่มีวงจรตรวจสอบข้อมูลที่ผิดพลาด

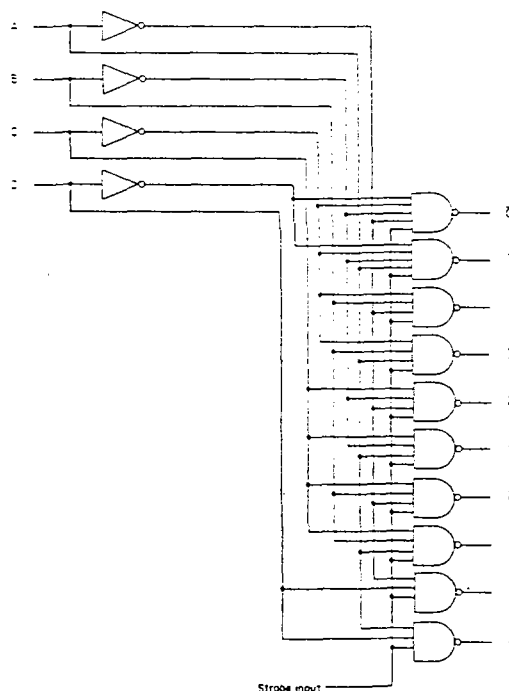


ภาพประกอบ 22 ไดอะแกรมของวงจรถอดรหัส BCD เป็นฐานสิบที่ไม่มี
การตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลอินพุต



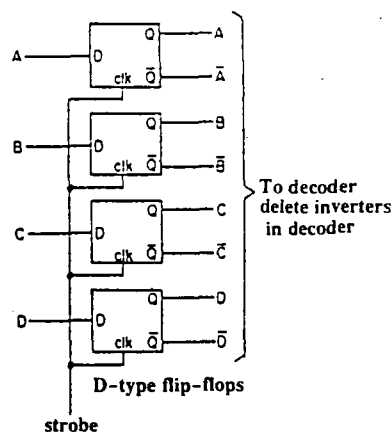
ภาพประกอบ 23 วงจรในส่วนของอินพุต Strobe ที่ใช้สำหรับวงจรถอดรหัส BCD เป็นฐานสิบ
ที่มีการตรวจจับความผิดพลาดของข้อมูลอินพุต (ภาพประกอบ 20)

วงจรในภาพประกอบ 23 เป็นตัวอย่างของวงจรในส่วนของอินพุต Strobe ที่ใช้สำหรับวงจรถอดรหัสเลข BCD เป็นเลขฐานสิบที่มีการตรวจจับข้อมูลที่ผิดพลาด (เช่น วงจรในภาพประกอบ 20) ซึ่งเอาต์พุตของวงจร Strobe นี้จะถูกต่อเข้ากับอินพุตของวงจรถอดรหัส โดยที่ข้อมูลจะถูกป้อนเข้าทางอินพุตของวงจร Strobe แทน สำหรับการทำงานของวงจร Strobe นี้จะให้เอาต์พุตเป็น 1111 เมื่ออินพุต Strobe ได้รับลอจิกเป็น “0” ซึ่งจะทำให้วงจรถอดรหัสได้รับอินพุตเป็น 1111 ด้วยโดยที่อินพุตดังกล่าวนี้ถือเป็นข้อมูลที่ผิดพลาดสำหรับวงจรถอดรหัส BCD ดังนั้นในกรณีที่อินพุต Strobe ได้รับลอจิกเป็น “0” เอาต์พุตทั้งสิบของวงจรถอดรหัส BCD ในภาพประกอบ 20 จะมีลอจิกเป็น “1” โดยไม่ขึ้นกับข้อมูลที่ป้อนเข้าทางอินพุตของวงจร Strobe สำหรับกรณีที่อินพุต Strobe ได้รับลอจิกเป็น “1” นั้น ข้อมูลอินพุตจะถูกส่งผ่านวงจร INVERTER และ วงจรเกต NAND ไปยังอินพุต ของวงจรถอดรหัส ซึ่งจะทำให้เอาต์พุตของวงจรถอดรหัสเปลี่ยนแปลงตามข้อมูลอินพุตได้ตามปกติ



ภาพประกอบ 24 วงจรถอดรหัส BCD เป็นฐานสิบที่มีขาอินพุต Strobe

ตัวอย่างวงจรในภาพประกอบ 24 เป็นอีกวิธีการหนึ่งในการเพิ่มอินพุต Strobe ให้กับวงจรถอดรหัสเลข BCD เป็นฐานสิบ ซึ่งทำได้โดยการเพิ่มจำนวนอินพุตของวงจรเกต NAND ทั้ง 10 วงจรขึ้นอีก 1 อินพุต และเชื่อมต่ออินพุตที่เพิ่มขึ้นของวงจรเกตทั้ง 10 วงจรนี้เข้าด้วยกัน เพื่อใช้เป็นอินพุต Strobe ของวงจร ซึ่งวงจรถอดรหัสที่สร้างขึ้นในลักษณะนี้ จะให้เอาต์พุตทั้งสิบมีลอจิกเป็น “1” โดยไม่ตอบสนองต่อข้อมูลทางอินพุตเมื่ออินพุต Strobe ได้รับลอจิกเป็น “0” และ จะทำการถอดรหัสเลข BCD ทางอินพุตตามปกติเมื่ออินพุต Strobe ได้รับลอจิกเป็น “1” ซึ่งวิธีการเพิ่มอินพุต Strobe ในลักษณะนี้ สามารถใช้ได้ในการ์ณของวงจรถอดรหัสเลข BCD ทั้งที่มีและไม่มี การตรวจจับข้อมูลที่ผิดพลาด สำหรับกรณีของวงจรในภาพประกอบ 24 นั้น เป็นการเพิ่มอินพุต Strobe ให้กับวงจรถอดรหัสเลข BCD เป็นเลขฐานสิบที่ไม่มีการตรวจจับข้อมูลที่ผิดพลาด วิธีการเพิ่มอินพุต Strobe ให้กับวงจรถอดรหัสดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น มีข้อเสียในช่วงเวลาที่อินพุต Strobe ไม่แอคทีฟ (ในที่นี้คือ ได้รับลอจิกเป็น “0”) นั้น เอาต์พุตนั้นสิบของวงจรถอดรหัสก็จะไม่แอคทีฟ (มีลอจิกเป็น “1”) ตามไปด้วย ซึ่งในบางกรณีของการใช้งานนั้นอาจก่อให้เกิดปัญหาขึ้นได้เช่น ในกรณีที่นำเอาวงจรถอดรหัสดังกล่าวไปใช้ในการขับอุปกรณ์แสดงผลนั้นผลจากการที่เอาต์พุตของวงจรถอดรหัส (ในที่นี้หมายถึงเฉพาะเอาต์พุตที่แอคทีฟอยู่) เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างลอจิก “0” กับ “1” ตลอดเวลา เนื่องจากเปลี่ยนแปลงที่รับลอจิกของอินพุต Strobe (เอาต์พุตของวงจรถอดรหัสจะเปลี่ยนแปลงตามลอจิกที่อินพุต Strobe ถึงแม้ว่าข้อมูลอินพุตจะไม่เปลี่ยนแปลงก็ตาม) จะทำให้ส่วนแสดงผลเกิดการกะพริบตามไปด้วย ซึ่งจากกรณีดังกล่าวทำให้เราจำเป็นต้องใช้วงจร Strobe จะสิ้นสุดลงแล้วก็ตาม โดยวงจร Strobe ในลักษณะนี้จะรับข้อมูลทางอินพุต เพื่อส่งออกทางเอาต์พุตเมื่ออินพุต Strobe แอคทีฟ และจะแลทช์ข้อมูลนี้ไว้ทางเอาต์พุตโดยไม่เปลี่ยนแปลงตามข้อมูลทางอินพุตเมื่ออินพุต Strobe ไม่แอคทีฟ สำหรับเอาต์พุตของวงจร Strobe จะต่อเข้ากับอินพุตของวงจรถอดรหัส ซึ่งวงจรในลักษณะนี้สามารถใช้ได้ทั้งกับวงจรที่มีและไม่มี การตรวจจับข้อมูลที่ผิดพลาด



ภาพประกอบ 25 วงจร Strobe ที่สามารถแลทช์ข้อมูลอินพุตไว้ได้

วงจร Strobe ในภาพประกอบ 25 เป็นตัวอย่างของวงจร Strobe ที่สามารถแลทช์ข้อมูลไว้ได้ ถึงแม้ว่าสัญญาณอินพุต Strobe จะสิ้นสุดลงแล้วก็ตาม โดยเอาต์พุตของวงจร Strobe นี้จะเปลี่ยนแปลงตามข้อมูลอินพุต เมื่อสัญญาณอินพุต Strobe เปลี่ยนจากลอจิก “0” เป็น “1” (ขอบขาขึ้น) และจะคงสถานะของเอาต์พุตไว้ โดยไม่เปลี่ยนแปลงตามข้อมูลทางอินพุตอีก จนกว่าสัญญาณอินพุต Strobe จะเปลี่ยนจากลอจิก “0” เป็น “1” อีกครั้ง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เอาต์พุตของวงจรถอดรหัสที่แอคทีฟตามข้อมูลอินพุตนั้นคงที่อยู่ได้ใน ช่วงที่สัญญาณอินพุต Strobe ไม่แอคทีฟ

ในกรณีของเลขรหัสที่มีขนาด 5 บิต เช่น เอาต์พุตของวงจรนับแบบ Twisted-Ring Johnson นั้น เราสามารถสร้างวงจรถอดรหัสได้ โดยใช้แมทริกซ์อ้างอิงและตาราง Karnaugh Map ได้เช่นเดียวกับในกรณีของเลขรหัสขนาด 4 บิต สำหรับตารางแสดงเลขฐานสิบเทียบกับเอาต์พุตของวงจรนับแบบ Twisted-Ring Johnson นั้น จะแสดงไว้ในตาราง 4 ส่วนตาราง Karnaugh Map จะแสดงในภาพประกอบ 26

ตาราง 4 เอาต์พุตของวงจรนับแบบ Twisted-Ring Johnson เทียบกับเลขฐานสิบ

เลขฐานสิบ	เอาต์พุตของวงจรนับ				
	A	B	C	D	E
0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0
3	1	1	1	0	0
4	1	1	1	1	0
5	1	1	1	1	1
6	0	1	1	1	1
7	0	0	1	1	1
8	0	0	0	1	1
9	0	0	0	0	1

Karnaugh map for decoding logic

CBA D	000	001	011	010	110	111	101	100
00	0	1	2	X	X	3	X	X
01	X	X	X	X	X	4	X	X
11	8	X	X	X	6	5	X	7
10	9	X	X	X	X	X	X	X

X = don't care

ภาพประกอบ 26 ตาราง Karnaugh Map สำหรับวงจรถอดรหัส Twisted-Ring Johnson

และจากตาราง Karnaugh Map จะได้สมการของเอาต์พุตทั้งสิบของวงจรถอดรหัสเป็น

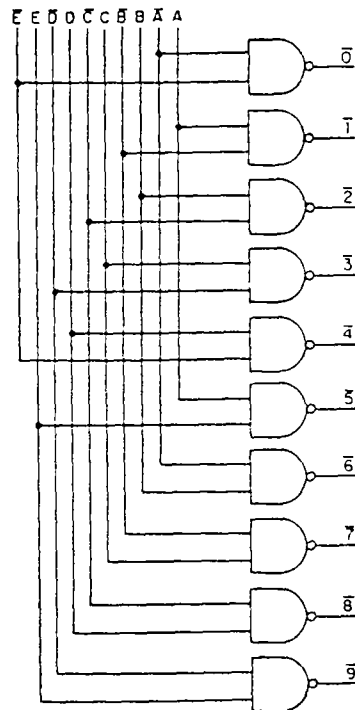
$$\begin{aligned}
 0 &= \overline{A} \bullet \overline{E} \\
 1 &= \overline{A} \bullet \overline{B} \\
 2 &= \overline{A} \bullet C
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 5 &= \overline{A} \bullet E \\
 6 &= \overline{A} \bullet B \\
 7 &= B \bullet C
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3 &= C \bullet \overline{D} \\ 4 &= D \bullet \overline{C} \end{aligned}$$

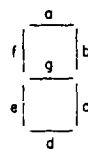
$$\begin{aligned} 8 &= \overline{C} \bullet D \\ 9 &= D \bullet E \end{aligned}$$

และจากสมการของเอาต์พุตทั้งสิบเราจะได้วงจรถอดรหัส Twisted Ring Johnson ดังภาพประกอบ 27 (เอาต์พุตยังคงเป็นค่าคอมพลิเมนต์ของสมการข้างต้น เช่นเดียวกับในวงจรถอดรหัสอื่น ๆ ที่ได้กล่าวถึงข้างต้น)



ภาพประกอบ 27 โค้ดแตรมของวงจรถอดรหัส Twisted Ring Johnson

สำหรับวงจรในภาพประกอบ 27 นั้นเป็นวงจรถอดรหัสที่ไม่มีการตรวจจับความผิดพลาดของข้อมูลอินพุตซึ่งถ้าหากต้องการวงจรถอดรหัสที่มีการตรวจจับความผิดพลาดนั้น เราจำเป็นต้องใช้วงจรเกท Nand ขนาด 5 อินพุตร่วมด้วย ซึ่งจะทำให้จำนวนแพ็คเกจที่ใช้เพิ่มจาก 2 1/2 เป็น 9 แพ็คเกจ นอกจากวงจรถอดรหัสจากเลข BCD เป็นเลขฐานสิบที่ได้กล่าวถึงแล้ว วงจรถอดรหัสจากเลข BCD เป็นสัญญาณสำหรับขับหน่วยแสดงผลแบบ 7-Segment นั้นเป็นวงจรถอดรหัสอีกรูปแบบหนึ่ง ที่ถูกนำมาใช้งานในส่วนแสดงผลของวงจรต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย สำหรับหน่วยแสดงผลแบบ 7-Segment นี้จะแสดงไว้ในภาพประกอบ 28



(1)

Segment control

	a	b	c	d	e	f	g
0							
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							

= segment off

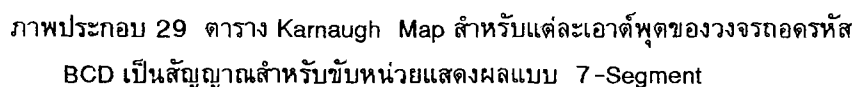
(2)

ภาพประกอบ 28 (1) การจัดเชกเมนต์ของหน่วยแสดงผลแบบ 7-Segment

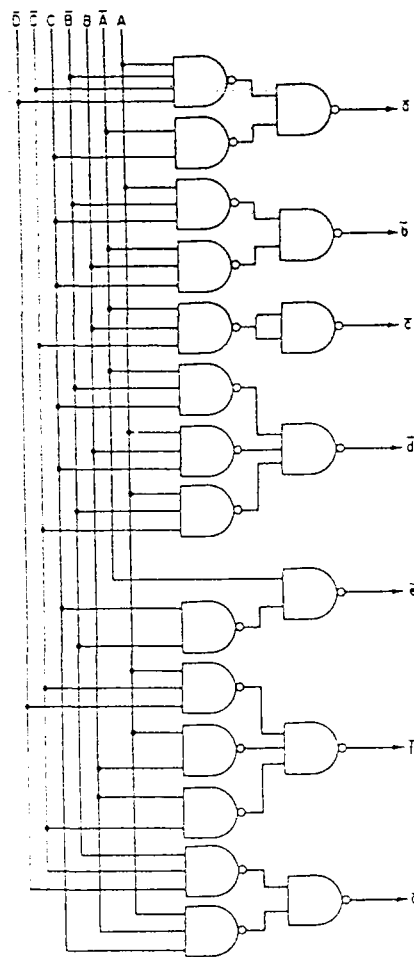
(2) ตารางแสดงรูปแบบการติดและดับของแต่ละเชกเมนต์
เพื่อแสดงตัวเลข 0 ถึง 9

หน่วยแสดงผลแบบ 7-Segment จะประกอบด้วย “ขีด” หรือ “เชกเมนต์” (Segment) ต่าง ๆ ที่สามารถควบคุมให้ “ติด” หรือ “ดับ” ได้ (โดยทั่วไปแต่ละเชกเมนต์จะสร้างขึ้นจาก LED1 ดวง) จำนวน 7 เชกเมนต์ คือ เชกเมนต์ a, b, c, d, e, f และ g โดยประกอบขึ้นเป็นรูปเลข 8 ดังภาพประกอบ 28 (1) ซึ่งหน่วยแสดงผลแบบนี้มักจะถูกนำไปใช้แสดงผลเป็นตัวเลข 0-9 หรือในบางกรณีอาจแสดงผลเป็นตัวอักษร เช่น A-F หรือสัญลักษณ์ต่าง ๆ ได้ โดยการที่จะทำให้แสดงผลเป็นตัวเลขใดนั้นขึ้นอยู่กับ การควบคุมให้แต่ละเชกเมนต์ติดหรือดับ ตามรูปแบบของตัวเลขที่ต้องการ เช่น กรณีที่ต้องการแสดงผลเป็นเลข “0” นั้นสามารถทำได้โดยควบคุมให้เชกเมนต์ a, b, c, d, e และ f ติด และให้เชกเมนต์ g ดับ เป็นต้น สำหรับตารางในภาพประกอบ 28 (2) จะแสดงรูปแบบการติดและดับของแต่ละเชกเมนต์เพื่อแสดงตัวเลข 0-9

จากลักษณะของหน่วยแสดงผลแบบ 7-Segment นี้ วงจรที่ขับหน่วยแสดงผลดังกล่าวจึงต้องมี 7 เอาต์พุตสำหรับแต่ละเชกเมนต์โดยตรง ดังนั้นวงจรถอดรหัส BCD เป็นสัญญาณสำหรับขับหน่วยแสดงผลแบบ 7-Segment จึงต้องมี 7 เอาต์พุตด้วย คือ a, b, c, d, e, f และ g และจากตารางในภาพประกอบ 28 (2) เราสามารถสร้างตาราง Karnaugh Map สำหรับแต่ละเอาต์พุตได้ดังภาพประกอบ 29 แต่มีข้อสังเกตสำหรับตาราง Karnaugh Map ในภาพประกอบ 29 คือ เราสนใจต่อกรณีที่เอาต์พุตของแต่ละเชกเมนต์มีลอจิกเป็นลอจิก “0” แทนที่จะเป็นลอจิก “1” เหมือนกับในกรณีอื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องจากการออกแบบเอาต์พุตของวงจรขับหน่วยแสดงผลแบบนี้ จะเริ่มต้นจากการให้ทุกเชกเมนต์ “ติด” อยู่ก่อน (เป็นลอจิก “1”) และเมื่อต้องการรูปแบบของตัวเลขใดจึง “ดับ” (ลอจิก “0”) เอาต์พุตที่ขับเชกเมนต์ต่าง ๆ ตามตารางในภาพประกอบ 28 (2) (เครื่องหมาย x ปรากฏอยู่ในช่องของเชกเมนต์ใด หมายถึงให้ดับเชกเมนต์นั้น) เช่น กรณีของการแสดงผลเป็นเลข “2” เราจะได้โดย “ดับ” เชกเมนต์ c และ f เป็นต้น ดังนั้นในกรณีนี้เอาต์พุตของแต่ละเชกเมนต์ที่เราสนใจจึงเป็นลอจิก “0” แทนที่จะเป็นลอจิก “1” สำหรับเหตุที่ไม่เริ่มต้นจากการให้ทุกเชกเมนต์ “ดับ” (ลอจิก “0”) อยู่ก่อนแล้วจึงควบคุมให้เชกเมนต์ที่ต้องการ “ติด” (ลอจิก “1”) นั้นก็เพราะ



สำหรับวงจรถอดรหัสเลข BCD เป็นสัญญาณสำหรับขับหน่วยแสดงผลแบบ 7-Segment โดยใช้
ผลที่ได้จากตาราง Karnaugh Map นั้นจะแสดงไว้ในภาพประกอบ 30(ทฤษฎี ทฤษฎีการคำนวณ ม.ป.ป. :
255-271)



ภาพประกอบ 30 ไตอะแกรมของวงจรถอดรหัส BCD เป็นสัญญาณ
สำหรับขับหน่วยแสดงผลแบบ 7-Segment

2.6 การเข้ารหัส (Encoders)

แหล่งกำเนิดข้อมูล (source) เช่น ภาพ เสียง หรือสัญญาณ พุดที่ใช้ในการสื่อสารมักจะเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะ การที่จะส่งสัญญาณเหล่านั้นไปได้มักจะใช้วิธีการเข้ารหัส (encoding) เพื่อเปลี่ยนรูปแบบของสัญญาณจากรูปแบบหนึ่งไปยังอีกรูปแบบหนึ่ง ตัวอย่างของการเข้ารหัสที่ใช้กันมากได้แก่

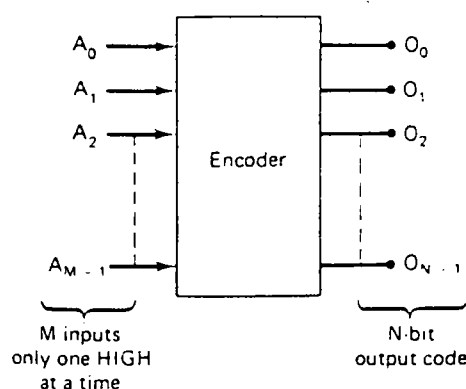
2.6.1 การเข้ารหัสแหล่งข้อมูล (source encoding) ทำหน้าที่ในการลดขนาดของข้อมูลดิจิทัลที่จะส่งให้มีการสูญเสียของข่าวสารน้อย ซึ่งรวมไปถึงการซ้ำซ้อนของข้อมูล โดยปกติแล้วสัญญาณดิจิทัลที่ได้จากการเข้ารหัสแหล่งข้อมูลมักจะน้อยกว่าสัญญาณดิจิทัลขาเข้าเริ่มแรก

2.6.2 การเข้ารหัสช่องสัญญาณ (channel encoding) ปกติแล้วหลักการนี้มักจะใช้ เพื่อให้สัญญาณดิจิทัลขาออกมีความอ่อนไหวหรือแปรเปลี่ยนตามคุณภาพของช่องสัญญาณในการส่งน้อยลง โดยทั่วไปจะใช้รหัสตรวจจับและแก้ไขความผิดพลาดเข้ามาช่วย และในการใช้งานอาจจะรวมการเข้ารหัสช่องสัญญาณและการเข้ารหัสแหล่งข้อมูลเป็นกระบวนการเดียวกันหรือแยกกันก็ได้ การเข้ารหัสช่องสัญญาณอาจจะรวมไปถึงการเปลี่ยนข้อมูลให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่เหมาะสมกับสายนำสัญญาณโดยการกระจายกำลังของสัญญาณออกไป

2.6.3 การเข้ารหัสสายหรือไลน์โค้ดดิ้ง (line coding) เป็นการเข้ารหัสสัญญาณดิจิทัลที่เป็นตัวเลขให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ในบางกรณีสัญญาณทางไฟฟ้าเหล่านี้ สามารถที่จะส่งออกไปที่สายนำสัญญาณได้เลย ไม่จำเป็นต้องนำไปมอดูเลตกับคลื่นพาห้ด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อส่งไปในช่องสัญญาณ ก็ได้ วิธี การปรับสัญญาณให้เข้ากับคุณสมบัติทางกายภาพของสายนำสัญญาณ เช่น แบนด์วิดท์ ทิศทางของกระแสไฟฟ้า การส่งผ่านและการจำรูปแบบ ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา (clock frequency) เป็นต้น การจะเลือกใช้การเข้ารหัสสายแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในแต่ละกรณี ยกตัวอย่างเช่น ต้องการส่งสัญญาณในสายวงจรพิมพ์เป็นการส่งสัญญาณในระยะทางสั้น ๆ ใช้อุปกรณ์ในการเข้ารหัสน้อย ก็จะเป็นแบบ Unipolar NRZ ซึ่งก็ได้แก่การเปลี่ยนระดับแรงดันของตัวดิจิทัลไอซี (digital IC) ต่าง ๆ นั้นเอง หรือสัญญาณในคู่สายของ N-ISDN จะเป็นแบบ Pseudo-ternary ทำให้สามารถส่งสัญญาณดิจิทัลได้ไกลขึ้น

2.6.4 การเข้ารหัสลับและการถอดรหัสลับ (encryption and decryption) เป็นการป้องกันข่าวสารที่ส่งออกไปให้ผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาตรับรู้ข้อมูลได้ โดยปกติมักเป็นการสื่อสารในรูปแบบเครือข่ายที่เป็นสาธารณะ เช่น เคเบิลทีวี เป็นต้น รูปแบบ การเข้ารหัสมักจะเก็บไว้เป็นความลับ การเข้ารหัสแบบนี้อาจนำไปใช้กับงานที่ต้องการความเชื่อถือของข้อมูลสูงได้ (ประสิทธิ์ ทิฆมพูน.2539 : 39-40)

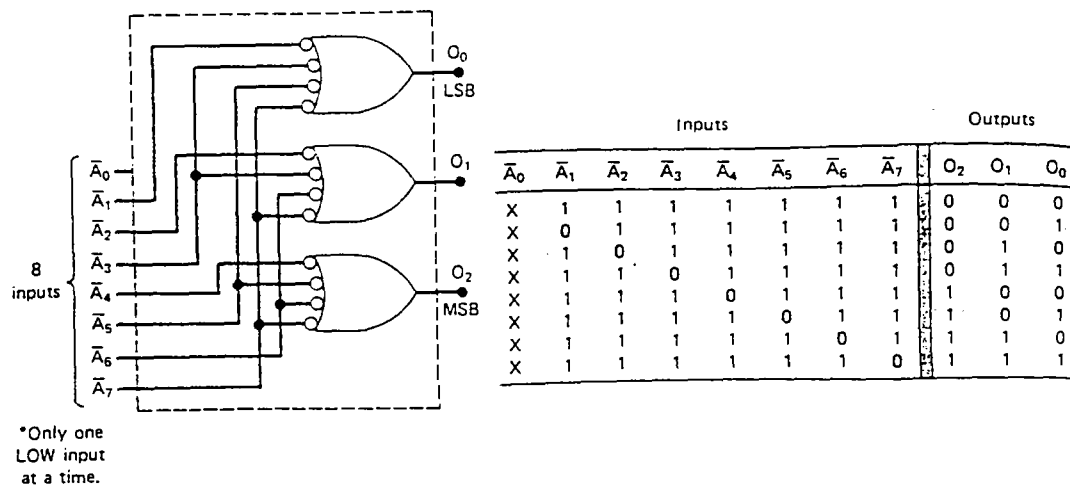
เราทราบว่า อุปกรณ์ถอดรหัสเป็นวงจรลอจิกซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนรหัสอินพุตจำนวน N บิตให้เป็นสายเอาต์พุตจำนวน M สาย การทำงานที่ตรงข้ามกับการถอดรหัสเราเรียกว่า การเข้ารหัส ส่วนการทำงานของวงจรลอจิกในการเข้ารหัสเราเรียกว่า อุปกรณ์เข้ารหัสสายอินพุตเพียงสายเดียว ซึ่งได้รับการกระตุ้นในเวลาที่กำหนด และสร้างรหัสเอาต์พุตจำนวน N บิต โดยขึ้นอยู่กับอินพุตที่ได้รับการกระตุ้น



ภาพประกอบ 31 แสดงแผนภูมิของอุปกรณ์เข้ารหัส

จากภาพประกอบ 31 แสดงแผนภูมิของอุปกรณ์เข้ารหัส ซึ่งมีอินพุตแบบแอกทีฟ HIGH จำนวน M สาย และเอาต์พุตจำนวน N บิต เมื่ออินพุตหนึ่งในจำนวน M มีสถานะ HIGH (ขณะอินพุตที่เหลือเป็น LOW) ก็จะสร้างเอาต์พุตซึ่งเป็นเลขฐานสองที่สอดคล้องกับอินพุต (เหตุผลได้ดูจากภาพประกอบ 32)

นอกจากนี้ เราทราบว่าอุปกรณ์ถอดรหัสแบบ 3 ออก 8 (อุปกรณ์ถอดรหัสเลขฐานสองเป็นเลขฐานแปด) มีอินพุตจำนวน 3 บิต ซึ่งจะกระตุ้นสายเอาต์พุตเพื่อถอดรหัสออกมา สำหรับอุปกรณ์เข้ารหัสแบบ 8 ออก (อุปกรณ์เข้ารหัสเลขฐานแปดเป็นเลขฐานสอง) จะทำงานตรงกันข้ามกับอุปกรณ์ถอดรหัสแบบ 3 ออก 8 หมายถึงมีสายอินพุตจำนวน 8 สาย และสร้างเอาต์พุตจำนวน 3 บิต



ภาพประกอบ 32 แสดงวงจรลอจิก

จากภาพประกอบ 32 แสดงวงจรลอจิก และตารางค่าความจริงของอุปกรณ์เข้ารหัสเลขฐานแปดเป็นเลขฐานสองที่มีอินพุต แบบแอกทีฟ Low จากการพิจารณาวงจรลอจิกพบว่าสภาวะ Low ที่อินพุตใด ๆ จะสร้างเอาต์พุตซึ่งเป็นรหัสเลขฐานสองที่สอดคล้องกับอินพุตนั้น เช่น สภาวะ Low ที่ $\bar{A}_3$ (ขณะที่อินพุตอื่นเป็น High) จะสร้าง $O_2 = 0$, $O_1 = 1$, $O_0 = 1$ นั่นคือ 3_2 สังเกต $\bar{A}_0$ ไม่ได้ต่อกับเกตลอจิก เพราะเอาต์พุตของอุปกรณ์ถอดรหัสที่สภาวะซึ่งไม่ได้กระตุ้นหรือสภาวะปกติเป็น 000 (เมื่ออินพุต $\bar{A}_1$ ถึง $\bar{A}_7$ ไม่เป็น Low) อุปกรณ์เข้ารหัสในภาพประกอบ 32 มีข้อเสียคือ เมื่อมีการกระตุ้นอินพุตมากกว่าหนึ่งอินพุตจะสร้างสภาวะ High ที่เอาต์พุตเหล่านั้น

การเข้ารหัสที่มีลำดับก่อนหลัง (Priority Encoders) อุปกรณ์เข้ารหัสที่มีลำดับก่อนหลัง ประกอบด้วยลอจิกที่จำเป็นต่อความแน่นอนของการเข้ารหัส เมื่อได้รับการกระตุ้นมากกว่าหนึ่งอินพุต นั่นคือ ทำให้รหัสเอาต์พุตที่ได้สอดคล้องกับอินพุตที่เป็นจำนวนสูงสุด เช่น เมื่อทั้ง $\bar{A}_3$ และ $\bar{A}_5$ เป็น Low พร้อมกันรหัสเอาต์พุตจะเป็น 101(5) ในทำนองเดียวกัน เมื่อ $\bar{A}_6$, $\bar{A}_2$ และ $\bar{A}_0$ เป็น Low พร้อมกันรหัสเอาต์พุตจะเป็น 110(6) IC ของอุปกรณ์เข้ารหัสที่มีลำดับก่อนหลัง แบบเลขฐานแปดเป็นเลขฐานสองที่รู้จักกันดี ได้แก่ IC เบอร์ 74148, 74LS148 และ 74HC148 (มงคล ทองสงคราม. 2536 : 254-256)

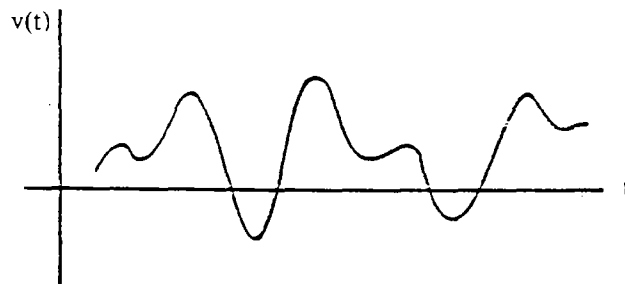
3. หลักการของระบบสื่อสารสัญญาณ

หมายถึง ระบบที่ทำหน้าที่ในการรับและส่งสัญญาณ ข้อมูลข่าวสารจากจุดจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยอาศัยการส่งผ่านสื่อกลาง ซึ่งโดยทั่วไปนั้นคือ ตัวนำไฟฟ้า อากาศ แสง ระบบสื่อสารสัญญาณที่ใช้ในการส่งสัญญาณโดยทั่ว ๆ ไปนั้นมี การส่งสัญญาณแบบ Full Duplex หมายถึง การที่ด้านส่งและด้านรับสามารถรับส่งสัญญาณกันได้ในเวลาพร้อมกันและไม่ต้องสลับด้านกันได้ (Telecom training & Development : TT & D. 1994 : 3-1) ระบบส่งสัญญาณแยกออกเป็นระบบมีสาย (Wired System) และระบบไม่มีสาย (Wireless System) แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงระบบที่มีสาย สำหรับวงจรโทรศัพท์ในวงจรส่งสัญญาณเป็นระบบส่งกระแสเสียงในรูปเดิม หรือนั่นคือวงจรเสียง (Voice Circuit) ที่สองฝ่ายสามารถพูดติดต่อกันได้ประกอบด้วยสายเปลือยหรือเคเบิลที่ตัวนำเป็นวัสดุที่มีความต้านทานต่ำมาก เช่น อลูมิเนียม หรือ ทองแดง เนื่องจากความต้องการของการใช้โทรศัพท์ทางไกลมีสูงขึ้น วงจรทางไกล (Toll Circuit) ที่มีประสิทธิภาพและประหยัด จึงมี

ความสำคัญอย่างยิ่งเพราะค่าก่อสร้างและค่าบำรุงรักษาของวงจรทางไกลสูงมากเหลือเกิน เพื่อการทำงานในสภาพดังกล่าวเราจึงได้มีชุมสายทางไกล (Toll Exchange) ขึ้น เพื่อสร้างวงจรไกลและระบบโทรศัพท์พาหะ (Carrier Telephone System) สำหรับเรียกโทรศัพท์พร้อม ๆ กันหลายคนได้ด้วยการใช้ตัวนำเพียงคู่เดียว

3.1 สัญญาณอนาลอก (Analog Transmission)

การส่งสัญญาณ Analog Signal อาจกระทำกันในรูปแบบของมัน เช่น การส่งสัญญาณโทรศัพท์ระหว่างผู้เช่าในชุมสายโทรศัพท์ วิธีการส่งดังกล่าว จึงเป็นแบบ Analog Transmission สำหรับการส่งในระยะทางไกลผ่านทางสาย หรือทางวิทยุ นั้น ต้องใช้กรรมวิธี ของการโมดูเลชั่น (Modulation) ซึ่งอาจเป็น Amplitude หรือ Frequency หรือ Phase Modulation ก็ได้ ในกรรมวิธีดังกล่าว แอมพลิจูด หรือ ความถี่ หรือ เฟส ของ Carrier Frequency จะถูกทำให้แปรผันไปตามแอมพลิจูดของ Analog Signal ที่ต้องการจะส่งไป การส่งโดยวิธีการเช่นนี้ก็ยังคงเป็น Analog Transmission อยู่นั่นเอง คุณสมบัติพื้นฐานของ Analog Transmission ก็คือ การลดทอนกำลัง 7 หรือ การอ่อนกำลัง (Attenuation) ของสัญญาณที่ส่งไปในระยะทางไกล และสิ่งรบกวนที่เสริมเข้ามาตลอดเส้นทางของการส่ง เราจะต้องรักษาระดับกำลังสัญญาณให้สูงกว่าระดับกำลังของสิ่งรบกวน (Noise) มากๆ สิ่งนี้กระทำได้โดยการขยายข้อมูล (Amplifier) เป็นระยะ ๆ ตามเส้นทางของการส่งอย่างไรก็ดีสิ่งรบกวนที่ Input ของเครื่องขยายขยายกำลัง (Amplifier) หนึ่ง ๆ ย่อมได้รับการขยายกำลังไปพร้อมกับตัวสัญญาณด้วยการเสริมของ Noise เข้ามาในเส้นทาง สิ่งนี้เป็นคุณสมบัติพื้นฐานของ Analog Transmission ดังแสดงในภาพประกอบ 33



ภาพประกอบ 33 คุณสมบัติพื้นฐานของการส่งสัญญาณอนาลอก

การส่งสัญญาณ Analog Signal ไปในระยะทางไกลผ่านสื่อกลาง (ทางสาย หรือทางวิทยุ) และเครื่องขยายกำลัง (ณ ที่นี้หมายถึงตัว Repeaters) ย่อมจะเกิดการเพี้ยน (ทางแอมพลิจูด หรือเฟส) อีกด้วย เพื่อรักษาให้สิ่งรบกวน และการเพี้ยนของ Analog Signal ที่ได้รับ ณ ปลายทางอยู่ในขอบเขตจำกัด อันพึงยอมให้ได้ นั้น ต้องการการออกแบบที่ดี ทั้งระบบและอุปกรณ์จะใช้งาน อนาลอกซิกแนล (Analog Signal) หมายถึง สัญญาณที่มีแอมพลิจูดแปรผันต่อเนื่องกันตามเวลา Analog Signal ที่ใช้กันในระบบรับส่งโดยทั่วไป

3.2 สัญญาณดิจิทัล (Digital Transmission)

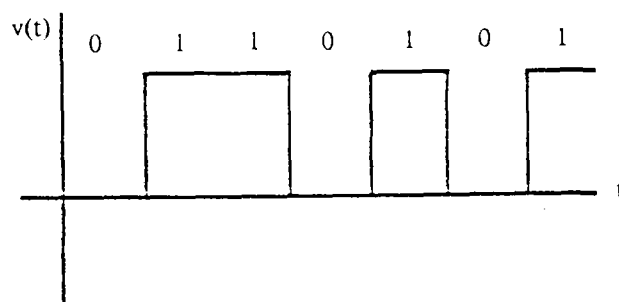
ใน Digital Transmission แอมพลิจูดของ Digital Signal จะมีค่าได้เพียงค่าใด ค่าหนึ่งใน 2 ค่าเท่านั้น โดยทั่วไปแล้วเราใช้ภาวะหรือค่า “1” แทนการมี pulse หรือไม่มี “0” แทนการไม่มี Pulse การตรวจหา (Detection) ภาวะการมี Pulse หรือไม่มี Pulse ของ Binary Signal สามารถกระทำได้ภายใต้ภาวะที่มีสิ่งรบกวน (Noise) และความเพี้ยนมากกว่าที่จะพึงยอมให้ได้ใน Analog Transmission การยอมให้มีสิ่งรบกวน และความเพี้ยนได้มากกว่านี้ นับว่าเป็นข้อได้เปรียบประการหนึ่งของ Digital Transmission ข้อได้เปรียบอีก

ประการหนึ่งก็คือ การผลิต Digital Signal ขึ้นมาใหม่ที่ตัว repeater โดยที่ Binary Signal มีภาวะเพียง 2 ภาวะคือ มี Pulse กับไม่มี Pulse เมื่อ Binary Signal ส่งมาถึงตัว Repeater มันจะตรวจหาว่ามี Pulse หรือไม่มี Pulse ที่ Input ของมัน ถ้ามี Pulse มันจะผลิต Pulse ออกไป จากภาพประกอบ 44 จากที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ พึงเห็นได้ว่า Digital Transmission มีข้อได้เปรียบเหมือน Analog Transmission อยู่ 2 ประการ คือ

3.2.1 มีภูมิคุ้มกัน (Immunity) ต่อสิ่งรบกวนและความเพี้ยนได้มากกว่า

3.2.2 สามารถผลิต Digital Signal ที่ปราศจากสิ่งรบกวน และการเพี้ยนที่ Repeater ขึ้นมาใหม่ได้

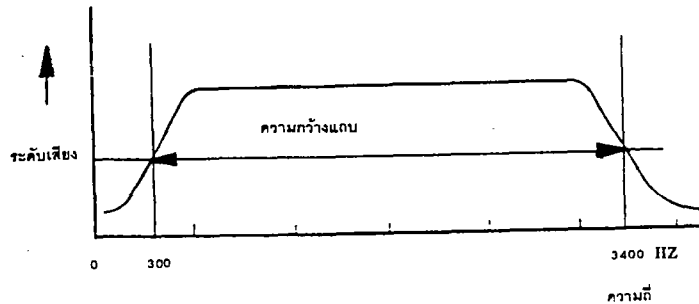
ข้อได้เปรียบดังกล่าว ทำให้เกิดแนวโน้มในอันที่จะส่ง Analog Signal ในภาพประกอบของ Digital Transmission มากขึ้นตามลำดับ ในการนี้จำกัต้องแปลง Analog Signal ตามเดิมที่ปลายด้านรับ วิธีการที่นิยมใช้กันมากที่สุดเพื่อการนี้ก็คือ Pulse Code Modulation (PCM) ดิจิตอลซิกแนล (Digital Signals) หมายถึง สัญญาณซึ่งแอมพลิจูดของมันจะไม่แปรผันต่อเนื่องกันตามเวลาเหมือนอย่าง Analog Signal แต่จะแปรผันอยู่ระหว่างค่าที่กำหนดไว้ เช่น ถ้าแปรผันอยู่ระหว่าง 2 ค่า เราเรียกว่า Binary Signal ถ้าแปรผันอยู่ระหว่าง 3 ค่า เราเรียกว่า Ternary Signal ถ้าแปรผันอยู่ระหว่าง 4 ค่า เราเรียกว่า Quadrinary Signal ทั้งสิ้น จะพิจารณาเฉพาะ Binary Signal ซึ่งแอมพลิจูดของมันแปรผันอยู่ระหว่างค่า 2 ค่าเท่านั้น Digital Signal เป็นลักษณะของ Pulse สำหรับ Binary Pulse แอมพลิจูด 2 ค่าของ Pulse อาจเป็นได้ ศูนย์ (0) และค่าลบ ตำแหน่งของแอมพลิจูดทั้งสองใน 0 ซึ่งหมายถึง “ไม่มี Pulse” และ 1 ซึ่งหมายถึง “มี Pulse” ดังแสดงในภาพประกอบ 34 Pulse หนึ่งๆ ใน Binary Signals เราเรียกว่า “ba”



ภาพประกอบ 34 คุณลักษณะพื้นฐานของการส่งสัญญาณดิจิตอล

สัญญาณโทรศัพท์ (Speech Signal) เมื่อวิเคราะห์รูปคลื่น (Waveform) ของ Analog Signal อันหนึ่ง จะพบว่าประกอบด้วย Sine Wave ความถี่ต่าง ๆ ในย่านกว้าง สำหรับการรับส่งที่เหมาะสม ต้องการแถบความถี่ของ Analog Signal ต่างๆ ดังนี้ สัญญาณโทรศัพท์ : 300 - 3400 Hz ว่าแอมพลิจูดของ Analog Signal แปรผันต่อเนื่องกัน ตามเวลา แต่การส่ง Analog Signal นั้นไม่จำเป็นต้องส่งข่าวสารทางแอมพลิจูด (Amplitude Information) ต่อเนื่องกันไปทั้งหมด จากการค้นคว้าพบว่าถ้าสุ่มตัวอย่าง (Sample) จาก Analog Signal เป็นช่วง ๆ สม่าเสมอในอัตราอย่างน้อยที่สุดต้องเป็นสองเท่าของ Highest Significant Frequency ของสัญญาณนั้นแล้ว ดังนั้นตัวอย่างที่สุ่มมาได้จะบรรจุข่าวสารของสัญญาณเดิมครบถ้วน เช่น สัญญาณโทรศัพท์ ซึ่งมี Highest Significant Frequency 3,400 Hz ถ้าสุ่มตัวอย่างเป็นช่วงๆ ในอัตราน้อยสุด $2 \times 3400 = 6800$ ตัวอย่างต่อวินาทีแล้วตัวอย่างทางแอมพลิจูดที่สุ่มได้ จะบรรจุข่าว

สารเดิมของสัญญาณโทรศัพท์ที่ได้อบรมด้วยวิธีการอันนี้ (เรารู้จักกัน ในนามของ Sampling Theory) ได้นำไปใช้ใน Pulse Code Modulation (ศูนย์อบรมองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย. ม.ป.ป. : 1-16)



ภาพประกอบ 35 แถบความถี่ของโทรศัพท์

3.3 สัญญาณรบกวน (Noise) ในโทรศัพท์

สัญญาณรบกวนที่เกิดจากแหล่งภายนอกเช่น สายส่งกำลังไฟฟ้า ฟิวส์ หรือที่เกิดจากวงจรเอง เช่น จุดเชื่อมหลุดเสีย สัญญาณรบกวนจากทรานซิสเตอร์ ฯลฯ สิ่งเหล่านี้จะถูกรวมขยายไปในวงจรขยายพร้อมกับสัญญาณเสียงพูดด้วย ดังนั้น การติดตั้งสถานีทวนสัญญาณ ต้องคิดคำนวณว่า ระยะห่างระหว่างสถานีต้องมีค่าพอดี เพื่อไม่ให้ระดับสัญญาณในแต่ละอินพุตของวงจรขยายมีค่าเกินกว่าสัดส่วนที่ยอมรับได้ เมื่อเทียบกับกำลังสัญญาณทั้งหมด ในเน็ตเวิร์คโทรศัพท์ ค่าสูญเสียของกำลังสัญญาณระหว่างผู้ใช้สองคนคิดโดยเฉลี่ยแล้วมีค่าประมาณจาก 10 dB - 25 dB สำหรับสัญญาณรบกวนส่วนใหญ่ที่มีอยู่ในเน็ตเวิร์ค พอแยกออกได้ 3 ประเภท ดังต่อไปนี้

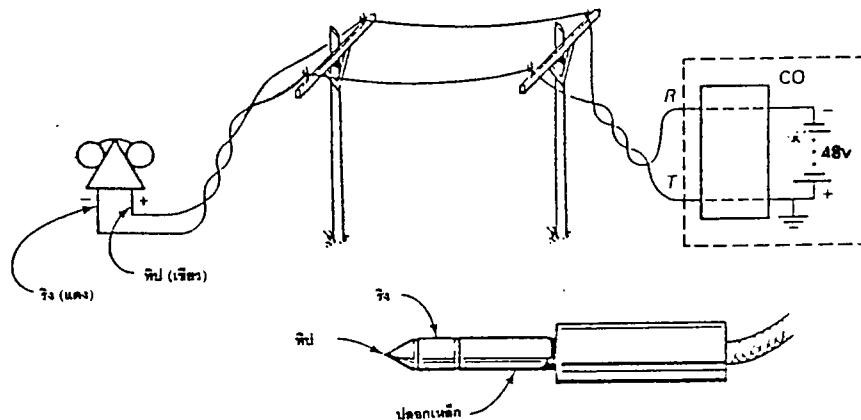
3.3.1 เทอร์มอลและช็อต นอยส์ (Thermal and Shot Noise) เป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณพาหะเมื่อผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ในเน็ตเวิร์ค

3.3.2 อินเตอร์มอดูเลชันและครอสทอล์คนอยส์ (Intermodulation and Cross talk Noise) เป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการแทรกแซงระหว่างสัญญาณที่ต้องการกับสัญญาณอื่น ๆ ในเน็ตเวิร์ค (อาจเกิดเนื่องจากมีสายเคเบิลอยู่ใกล้กันทำให้เกิดสัญญาณแทรกแซงขึ้น) หรือ เกิดจากการมอดูเลตสัญญาณอื่นที่ใกล้กับสัญญาณพาหะเข้าไป ในวงจรโทรศัพท์ด้วย (ในระบบแบบ FDM)

3.3.3 อิมพัลส์นอยส์ (Impulse Noise) เกิดจากระดับแรงดันไฟฟ้า เพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็ว อาจเรียกว่าทรานเซียนส์ (Transients) ก็ได้ เห็นได้ชัดจากกล่องวัดรูปสัญญาณไฟฟ้า เวลา เปิด-ปิด สวิตช์ไฟ หลายๆ ครั้ง จะเห็นรูปสัญญาณในช่วงเปิด-ปิด เพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ ถ้ามีสัญญาณรบกวนแบบนี้ในวงจรโทรศัพท์ มีสาเหตุได้หลายอย่างคือเกิดจาก อุปกรณ์สวิตช์ซึ่งแบบกลไกในชุมสาย การรั่วไหลในสายไฟฟ้า หรือเกิดจากฟ้าผ่าก็ได้

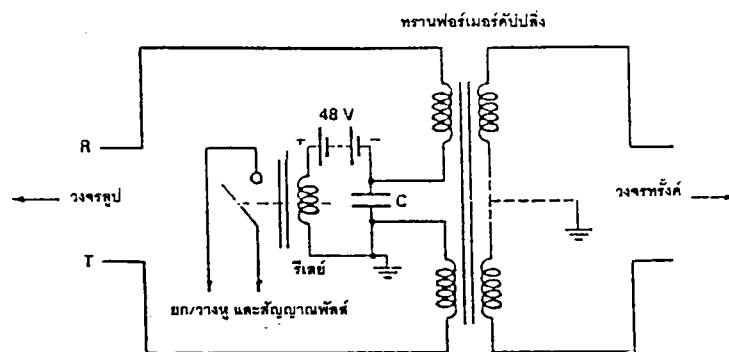
3.4 โลเคิลลูป (Local Loop) สัญญาณจากโทรศัพท์

ความหมายของโลเคิล ลูป คือ สายส่งชนิด 2-wire จากเครื่องโทรศัพท์ไปชุมสายปลายทาง และมีค่าอิมพีแดนซ์ของสายเองประมาณระหว่าง 500-1000 โอห์ม (ทั่วไปใช้ 600 โอห์ม) พิจารณาจากภาพประกอบ แสดงความหมายของโลเคิลลูปได้ดี



ภาพประกอบ 36 โลเคิลรูป

ภายในชุมสายปลายทางมีการติดตั้ง แหล่งจ่ายไฟร่วม DC ขนาด 48 โวลต์ ให้แต่และรูปของผู้ใช้โทรศัพท์ ลวดตัวนำ 2 เส้นในรูป มีชื่อเรียกว่า ทิว (tip) และริง (ring) โดยจริงต่อกับสัญญาณไฟ - 48V (DC) ส่วน ทิวต่อกับกราวด์ ที่ชุมสายปลายทาง เมื่อผู้ใช้ยกหูโทรศัพท์ มีผลให้ ชุด สวิทช์ ภายในเครื่องปิดลง จากนั้นเกิดกระแสไฟตรง (DC) ขนาด 20 mA ในลวดที่อยู่ในรูป ซึ่งในสภาวะยกหูโทรศัพท์นี้ ระดับแรงดันไฟฟ้าระหว่างทิวกับริง มีค่าลดลงเหลือ 4 V สัญญาณเสียงพูดจากเครื่องโทรศัพท์ถูกส่งในทิศใด ทิศหนึ่งไปในรูปโดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ภายในกระแสรูป (20 mA) ซึ่งเกิดจากสัญญาณ AC ทับบนกระแส รูป DC พิจารณาจากภาพประกอบ 37

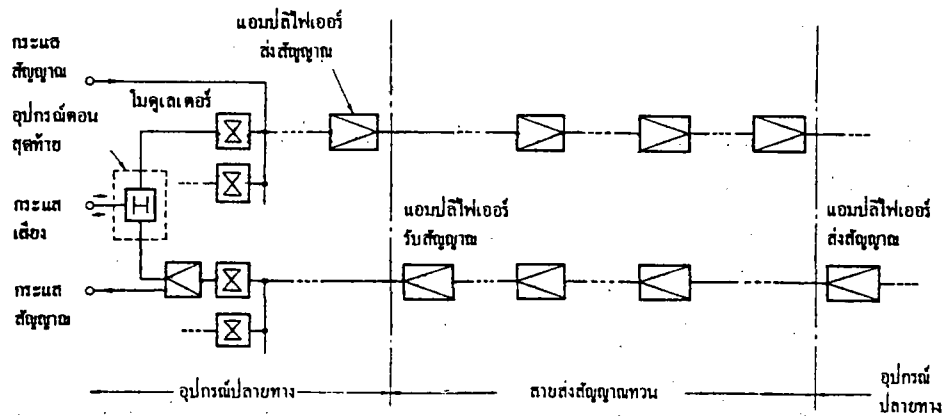


ภาพประกอบ 37 การเชื่อมต่อระหว่าง รูป - ทรั้งค์ ที่ชุมสายปลายทาง

สัญญาณเสียงพูดถูกคัปปลิงอยู่ระหว่างวงจรรูปกับวงจรรูปกับวงจรทรั้งค์ และ คอยส์ ในรีเลย์คอยรักษาระดับของกระแสรูป รวมทั้งแจ้งสถานะของผู้ใช้ว่า ยกหู หรือวางหูให้ชุมสายทราบด้วย เมื่อชุมสายตรวจพบสภาวะยกหูโทรศัพท์ จะทำการส่งสัญญาณให้หมุ่น/กด (dial tone) เข้าไปในรูป แสดงถึง ชุมสายพร้อมรับสัญญาณหมายเลขโทรศัพท์ที่ต้องการติดต่อ(วิสันต์ อาษาเดโชพล. ม.ป.ป. : 252-257)

3.5 ระบบส่งสัญญาณมัลติเพล็กซ์แบบการแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiplex Transmission system (FDM))

ระบบส่งสัญญาณ FDM เป็นระบบที่คู่ตัวนำส่งสัญญาณมัลติเพล็กซ์ของกระแสเสียง(speech current) โดยที่ชิ้นแนลของแต่ละกระแสเสียงเท่ากับช่องความถี่ที่แบ่งออกไว้ในแถบความถี่ที่ส่ง ระบบนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ปลายทาง 3 ชุด และสายส่งสัญญาณทวน (repeated transmission line) ดังแสดงในภาพประกอบ 38



ภาพประกอบ 38 ฟังก์ชันของระบบโทรศัพท์แบบใช้คลื่นพาหะ

3.5.1 อุปกรณ์ปลายทาง (Terminal equipment) อุปกรณ์ปลายทางประกอบด้วยหน่วยสัญญาณ สำหรับส่งกระแสเสียงที่ถูกมอดูเลตด้วยคลื่นพาหะแบบแบ่งความถี่ (frequency division multiplexed speech current) ไปยังสายส่งสัญญาณทวน และหน่วยรับสัญญาณ ซึ่งจะเปลี่ยนสัญญาณกลับเป็นกระแสเสียงเดิม ในอุปกรณ์ปลายทางมีโมดูเลเตอร์ (modulator) ดีโมดูเลเตอร์ (demodulator) ฟิลเตอร์ (filter) อุปกรณ์จ่ายกระแสพาหะร่วม (carrier current common supply equipment) และอุปกรณ์ตอนสุดท้าย

3.5.2 โมดูเลเตอร์และดีโมดูเลเตอร์ (Modulator and Demodulator)

3.5.2.1 การซ้อนทับหรือโมดูเลชัน (modulation) และองค์ประกอบของคลื่นโมดูเลเตด โมดูเลชันและดีโมดูเลชัน เป็นส่วนสำคัญของการส่งสัญญาณระบบ FDM โมดูเลชันเป็นการทำงานที่ความถี่สูงที่ถูกโมดูเลเตด (modulated high frequency) เพื่อให้ได้กระแสเสียง (หรือสัญญาณเดิม) กลับคืนออกมา ความถี่สูงนี้นำข้อมูลของกระแสเสียง (speech current) ไปด้วย และเรียกว่ากระแสพาหะหรือกระแสตัวนำ (carrier current) สมมติให้ A , c และ ϕ เป็นค่าแอมพลิจูด ค่าความถี่เชิงมุม (angular frequency) และมุมเฟส (phase angle) ตามลำดับ กระแสพาหะจะมีค่าดังนี้

$$I_c = A \cos (ct + \phi)$$

เมื่อ A , c และ ϕ เปลี่ยนตามค่ากระแสเสียงเราเรียกการทำงานว่าเป็น “แอมพลิจูดโมดูเลชัน (amplitude modulation (AM))” “เฟรควেনซีโมดูเลชัน (frequency modulation (FM))” และ “เฟสโมดูเลชัน (phase modulation (PM))” ตามลำดับ ในส่วนต่อไปนี้จะกล่าวถึงระบบ AM แต่เพียงอย่างเดียว เพราะปัจจุบันนี้เราใช้ระบบ AM กันอย่างกว้างขวางในระบบส่งสัญญาณ FDM ความหมายทางกายภาพของแอมพลิจูดโมดูเลชัน คือการให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสเสียง เป็นแอมพลิจูดของกระแสพาหะ ดังแสดงในภาพประกอบ 24 และเราเรียกกระแสที่ได้นี้ว่า “กระแสหรือคลื่นโมดูเลเตด (modulated carrier wave or wave)” สมมติว่า กระแสพาหะ I_c และ กระแสเสียง I_p มีค่าดังนี้

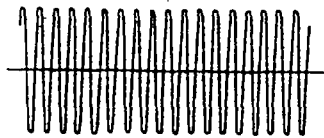
$$I_c = A \cos (ct + \phi)$$

เมื่อ a , p และ θ เป็นแอมพลิจูด ความถี่เชิงมุมและมุมเฟสของกระแสเสียงตามลำดับ กระแสพาหะโมดูเลเตดจะมีค่าดังนี้

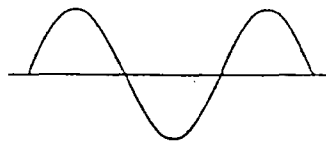
$$\begin{aligned}
 I_m &= \{A + a \cos (pt + \theta)\} \cos (ct + \phi) \\
 &= A \cos (ct + \phi) + \frac{KA}{2} \cos \{(c + p)t + (\phi + \theta)\} \\
 &\quad + \frac{KA}{2} \cos \{(c - p)t + (\phi - \theta)\}
 \end{aligned}$$

เมื่อ

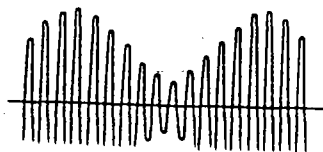
$$K = \frac{a}{A} \quad (0 \leq K \leq 1)$$



(1) กระแสพาหะ (Carrier Current)



(2) กระแสเสียง (Speech Current)

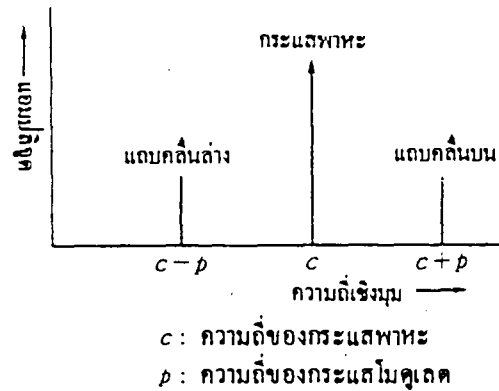


(3) กระแสพาหะโมดูเลชั่น (Modulated Carrier Current)

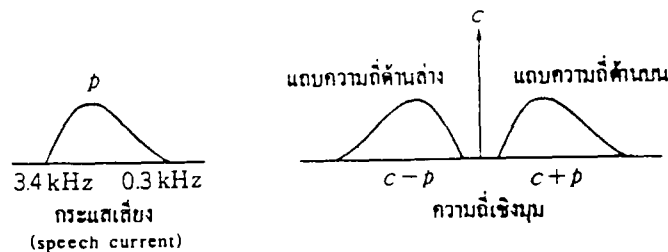
ภาพประกอบ 39 ความหมายทางกายภาพของแอมพลิจูดโมดูเลชั่น

แทนความลึกของโมดูเลชั่น และเรียกว่า องศาของโมดูเลชั่น (modulation degree) กระแสพาหะโมดูเลเทดประกอบด้วยองค์ประกอบความถี่สามค่าดังแสดงในภาพประกอบ 40 ค่าแรกเป็นกระแสพาหะในสมการ $I_c = A \cos (ct + \phi)$ ส่วนค่าที่สองและค่าที่สามตามลำดับ และเรียกค่าเหล่านี้ว่า แถบคลื่นส่วนบนและ แถบคลื่นส่วนล่าง (upper and lower sideband wave) ตามลำดับ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เราถือว่ากระแสเสียงมีความถี่เดียว แต่ในทางปฏิบัติกระแสเสียงจะประกอบด้วยความถี่เป็นแถบ และทำให้ความถี่ด้านบนและความถี่ด้านล่างเป็นช่วงดังแสดงในภาพประกอบ 41 และมีสัญลักษณ์แทนดังแสดงในภาพประกอบ 42

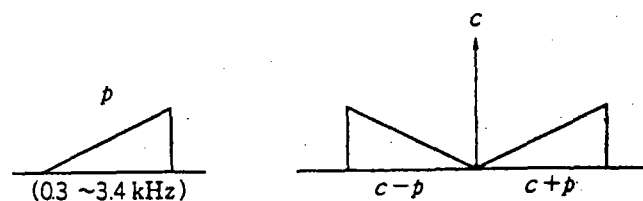
3.5.2.2 การส่งสัญญาณคลื่นพาหะที่เน้นแถบความถี่ด้านเดียว (Single sideband transmission) คลื่นโมดูเลเตด (modulated wave) ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ คลื่นพาหะ และแถบความถี่สองด้านในการส่งวิทยุกระจายเสียงส่วนทั้งสามจะถูกส่งออกทางด้านส่ง และรับด้วยวงจรเคทีไฟเออร์แบบง่ายๆ ทางด้านรับเพื่อแยกโปรแกรมออกมา



ภาพประกอบ 40 องค์ประกอบความถี่เชิงมุมของคลื่นพาหะแอมพลิฟายด์โมดูเลเตด



ภาพประกอบ 41 สเปกตรัมความถี่เชิงมุมของคลื่นพาหะที่ถูกโมดูเลเตดด้วยกระแสเสียง

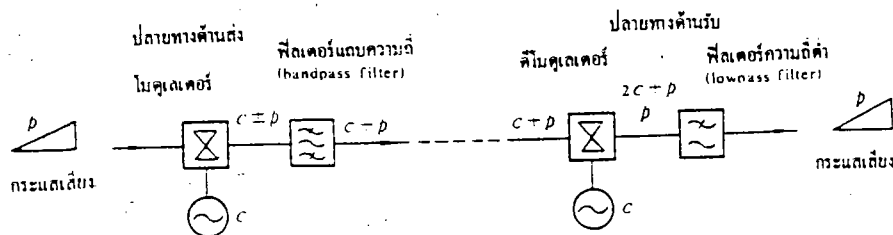


ภาพประกอบ 42 สัญญาณลักษณะแทนคลื่นพาหะที่ถูกโมดูเลเตดด้วยกระแสเสียง

แต่ในระบบส่งสัญญาณ FDM แตกต่างกับการส่งวิทยุ คือ เพียงแต่แถบความถี่ด้านเดียวจากสามส่วนเท่านั้นที่ถูกส่งและเราเรียกระบบนี้ว่า “ระบบส่งสัญญาณที่คลื่นพาหะถูกจำกัดเหลือแถบความถี่ด้านเดียว (carrier suppressed single sideband transmission system)” หรือเรียกสั้นๆ ว่า “ระบบส่งสัญญาณเชิงเกิลไซด์แบนด์ (single sideband transmission system)” และมีข้อดีดังต่อไปนี้

กระแสในสายไม่มีองค์ประกอบของคลื่นพาหะที่มีแอมพลิจูดสูงจนเป็นภาระแก่อุปกรณ์ทวนสัญญาณ (repeater) ประหยัดแถบความถี่ที่จำเป็นสำหรับการส่งสัญญาณทวน เพราะส่งเพียงแถบความถี่หรือไซด์แบนด์ข้างเดียวเท่านั้น

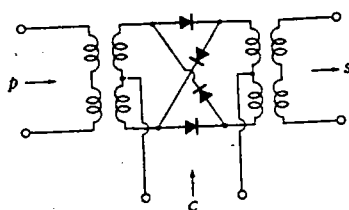
หลักการของระบบส่งสัญญาณเชิงเกิลไซด์แบนด์ มีแสดงในภาพประกอบ 42 กระแสเสียง p ถูกทับหรือโมดูเลตบนกระแสพาหะ c ทำให้เกิดแถบความถี่ข้างหรือไซด์แบนด์บนและล่าง $c \pm p$ เมื่อไซด์แบนด์ทั้งสองผ่านเครื่องกรองความถี่หรือฟิลเตอร์ จะเหลือแต่เพียงแถบความถี่ส่วนบน $c + p$ เท่านั้น เท่านั้นที่ถูกส่งต่อออกไปกับสายส่งที่มีอุปกรณ์ทวนสัญญาณ ทางปลายทางด้านส่ง ส่วนที่ปลายทางด้านรับตอนแรกไซด์แบนด์ ส่วนบนจะถูกโมดูเลตกับกระแสพาหะที่มีความถี่ c เท่ากัน ทำให้ได้แถบความถี่ $2c + p$ และ p ออกมา และเมื่อผ่านเครื่องกรองความถี่ต่ำ (lowpass filter) ก็จะได้กระแสเสียง p ออกมา นั่นคือการส่งเชิงเกิลไซด์แบนด์ แต่เพียงอย่างเดียวก็สามารถได้กระแสเสียงเดิมกลับคืนมาที่ปลายทางด้านรับ เรียกการโมดูเลชันที่ปลายทางด้านรับว่า “ดีโมดูเลชัน (demodulation)” ซึ่งความจริงแล้วทั้งโมดูเลชันและดีโมดูเลชันใช้หลักการเดียวกัน



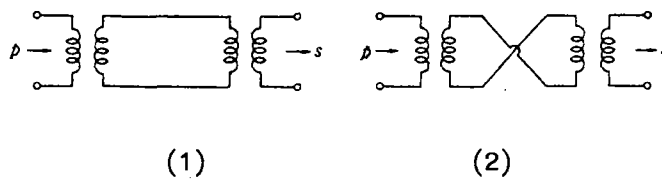
ภาพประกอบ 43 หลักการของระบบส่งสัญญาณเชิงเกิลไซด์แบนด์ (SSB)

ในการส่งสัญญาณเชิงเกิลไซด์แบนด์ จึงต้องเลือกไซด์แบนด์หนึ่งก่อน จะเป็นด้านบนหรือด้านล่างก็ได้ด้วยการใช้ฟิลเตอร์โดยทั่วไป ฟิลเตอร์ทำหน้าที่แยกคลื่นความถี่ที่ต้องการออกจากคลื่นที่มีความถี่จำนวนมาก เราแบ่งฟิลเตอร์ออกเป็น 4 ชนิด คือ ฟิลเตอร์ความถี่ต่ำ (low pass filter (LPF)) ฟิลเตอร์ตัดแถบความถี่ (band high pass filter (HPF)) ฟิลเตอร์แถบความถี่ (band pass filter (BPF)) ฟิลเตอร์ตัดแถบความถี่ (band elimination filter (BEF)) เราจำเป็นต้องใช้ฟิลเตอร์ราคาแพงจำนวนมากสำหรับปลายทางของโทรศัพท์แบบใช้คลื่นพาหะ (carrier telephone terminal) และราคาของอุปกรณ์ปลายทางส่วนใหญ่เป็นค่าของฟิลเตอร์

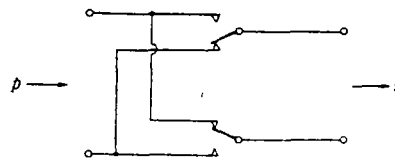
3.5.3 โมดูเลเตอร์วงแหวน (Ring modulator) ที่ผ่านมาส่วนใหญ่ใช้เยอรมันเนียมไดโอด (germanium diode) ในวงจรโมดูเลชัน แต่ปัจจุบันนี้เราใช้ทรานซิสเตอร์แทนเยอรมันเนียมไดโอดกันมากในตอนนี้ เราจะอธิบายหลักการของโมดูเลชันด้วยการใช้โมดูเลเตอร์วงแหวนที่ใช้เยอรมันเนียมไดโอด อินพุตของเยอรมันเนียมไดโอด จะมีค่าเกือบเท่ากับศูนย์เมื่อมีไบอัส (bias) ไปข้างหน้า และมีค่าเกือบเท่ากับพีไนต์ เมื่อมีไบอัสกลับทาง วงจรเบื้องต้นของโมดูเลเตอร์วงแหวนมีลักษณะดังแสดงในภาพประกอบ 44



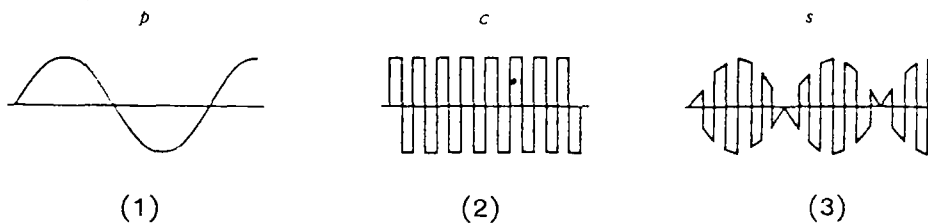
ภาพประกอบ 44 วงจรพื้นฐานของโมดูเลเตอร์โมดูเลเตอร์วงแหวน



ภาพประกอบ 45 วงจรเทียบเท่าของโมดูลเตอร์วุ่นแหวน



ภาพประกอบ 46 วงจรเทียบเท่าอีกชนิดหนึ่งของโมดูลเตอร์วุ่นแหวน

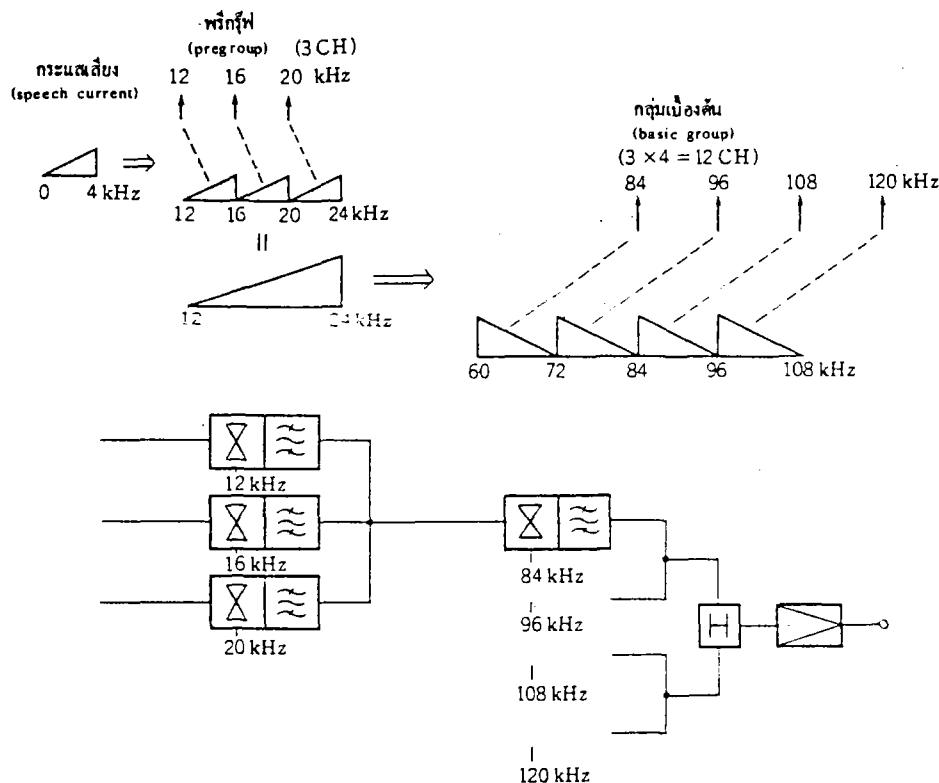


ภาพประกอบ 47 คลื่นพาหะที่ถูกโมดูลเตอร์โดยโมดูลเตอร์วุ่นแหวน

ในการพิจารณาลักษณะของคลื่นที่ออกมาจากวงจร เราอาจจะถือว่าวงจรเทียบเท่ากับวงจรในภาพประกอบ 45 (1) หรือ (2) สลับกันทุกๆ ครึ่งรอบที่เป็นบวกหรือเป็นลบของไบอัสสลับ (alternate bias) จากกระแสพาหะ เพราะกระแสพาหะมีความถี่สูงกว่ากระแสเสียงมากและคลื่นของกระแสพาหะมีลักษณะเกือบเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีสองขั้ว (rectangular bipolar waveform) วงจรในภาพประกอบ 45 (1) และ (2) อาจจะแทนได้ด้วยวงจรสวิตช์ในภาพประกอบ 46 ดังนั้น กระแสเสียง p กระแสพาหะ c และกระแสพาหะที่ถูกโมดูลเตอร์ s จะมีความสัมพันธ์ระหว่างดังแสดงในภาพประกอบ 47 องค์ประกอบสำคัญของคลื่นพาหะที่ถูก (modulated carrier wave) คือ $c \pm p$

3.5.4 โมดูลชันหลายชั้น (Multistage modulation) ในการจัดเข้าด้วยกันหรือมัลติเพล็กซ์ของกระแสเสียง (0.3 - 3.4 kHz) เราจะต้องจัดเชิงเกิลไซด์แบนด์ของคลื่นพาหะของโมดูลเตอร์อย่างมีระเบียบเพื่อไม่ให้อยู่ในช่วงความถี่เดียวกันและเราจัดให้ช่วงความถี่ของกระแสพาหะมีความกว้างที่แน่นอนคือ 4 kHz เนื่องจากความยุ่งยากทางด้านเทคนิคในการจัดเข้าด้วยกันหรือมัลติเพล็กซ์กระแสเสียงเป็นจำนวนมากด้วยวิธีโมดูลชันเดียวเราจึงใช้โมดูลชันซ้ำหรือเรียกว่าโมดูลชันหลายชั้น เพื่อให้ได้มัลติเพล็กซ์ที่มีคุณภาพสูง ดังภาพประกอบ 48 แสดงผังการทำงานของอุปกรณ์ส่งสัญญาณและการจัดช่วงความถี่ในกรณีที่เครื่องจัดชันแน่นหรือชันแนลทรานสเลเตอร์ (Channel translator) สำหรับกระแสเสียง 12 คำ ตอนแรกกระแสเสียง 3 คำ โมดูลเตอร์ความถี่พาหะในชันแนล 12, 16 และ 20 kHz และเราจะได้แถบความถี่ด้านหรือไซด์แบนด์บน (upper side band) ของแต่ละคลื่นพาหะที่ถูกโมดูลเตอร์จากฟิลเตอร์แถบความถี่ในชันแนลนั้น ๆ ไซด์แบนด์ทั้ง 3 นี้รวมกันเป็น พริกฤพ (pergroup) ซึ่งประกอบด้วยกระแสเสียง 3 คำ ในตอนที่ 2 พริกฤพ 4 กลุ่ม

จากโมดูลความถี่พาหะพริกรูฟ (pergroup carrier frequency) 4 ค่า คือ 84 , 96 , 108 และ 120 kHz และไซด์แบนด์ล่างของแต่ละคลื่นพาหะที่ถูกโมดูลจะได้จากการผ่านฟิลเตอร์แถบความถี่ในชั้นแนลนั้นๆ ไซด์แบนด์ล่างทั้ง 4 รวมกันเป็นกลุ่มเบื้องต้น (basic group) ซึ่งประกอบด้วยกระแสเสียง 12 ค่า การรวมพริกรูฟ เรียกว่าการจัดชั้นแนล หรือ ชั้นแนวทรานสเลชัน (csannel translation) และการรวมพริกรูฟ 4 ค่า เป็นกลุ่มเบื้องต้นเรียกว่า การจัดพริกรูฟหรือพริกรูฟทรานสเลชัน ระบบโมดูลชั้นหลายชั้นนี้มีชื่อว่า 3 ชั้น 4 (multistage modulation) ซึ่งเป็นระบบโมดูลชั้นระบบสากล

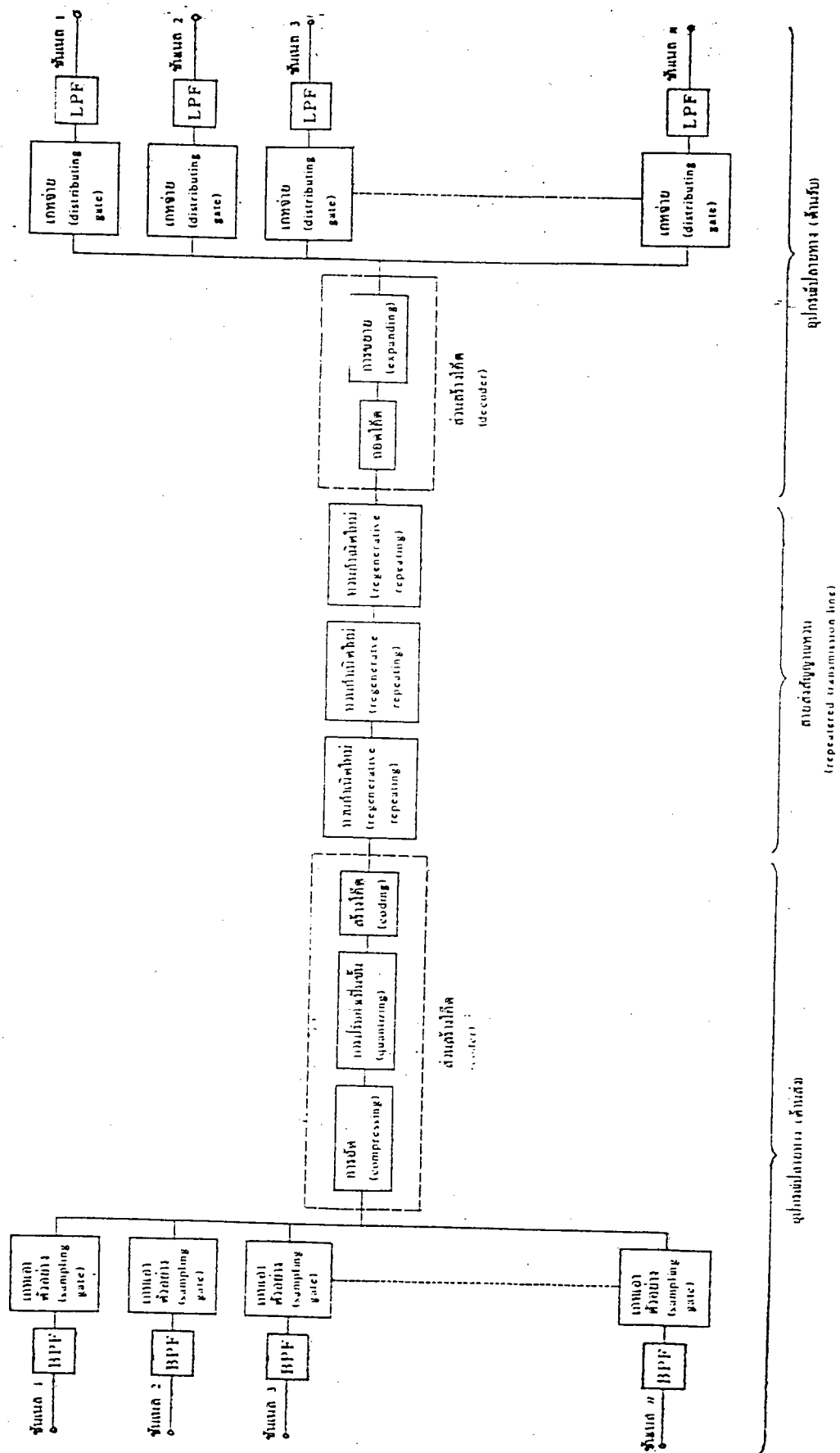


ภาพประกอบ 48 ผังแสดงอุปกรณ์ส่งสัญญาณของเครื่องจิกชั้นแนลและการจัดช่วงความถี่

3.6 ระบบส่งสัญญาณมัลติเพล็กซ์แบบการแบ่งเวลา (Time Division Multiplex Transmission system (TDM))

ระบบส่งสัญญาณมัลติเพล็กซ์ด้วยการแบ่งเวลา (TDM) คือ ระบบส่งสัญญาณมัลติเพล็กซ์ที่มีคุณสมบัติ แต่ละค่าของกระแสเสียง (speech current) ถูกเปลี่ยนเป็นกระบวนของค่าตัวอย่าง (sample) ของกระแสเสียงที่มีระยะเวลาเป็นคาบแน่นอน แต่ละกระบวน (sequence) จะถูกจัดให้อยู่ในคาบของเวลาที่แน่นอน สำหรับการส่งสัญญาณผ่านตัวกลางร่วมกัน ในระบบมัลติเพล็กซ์พัลส์โคด โมดูลชั้น (PCM) ซึ่งเป็นระบบหนึ่งส่งสัญญาณ TDM ข้อมูลที่อยู่บนตัวอย่างจะถูกเปลี่ยนเป็นโคตของพัลส์แล้วจึงส่งผ่านตัวกลาง ระบบส่งสัญญาณมัลติเพล็กซ์ PCM หรือเรียกสั้นๆ ว่า ระบบ PCM ดังภาพประกอบ ประกอบด้วยอุปกรณ์ปลายทางและสายส่งสัญญาณทวน (repeated transmission line)

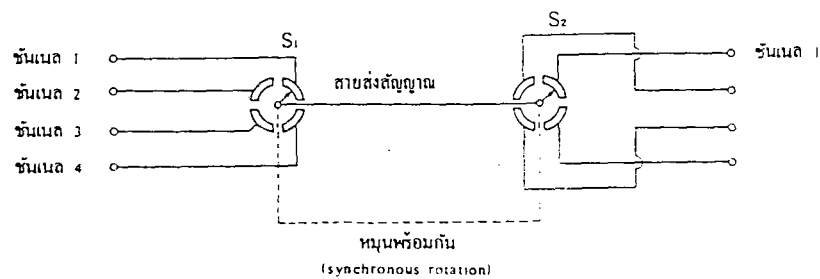
3.6.1 อุปกรณ์ปลายทาง (Terminal equipment) อุปกรณ์ปลายทางประกอบด้วยอุปกรณ์ส่งสัญญาณสำหรับส่งกระแสเสียงที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบเวลาในรูปโคตของพัลส์ให้กับสายส่งสัญญาณและอุปกรณ์รับสัญญาณสำหรับเปลี่ยนกระบวนโคตของพัลส์ที่ได้รับกลับเป็นกระแสเดิมอีก



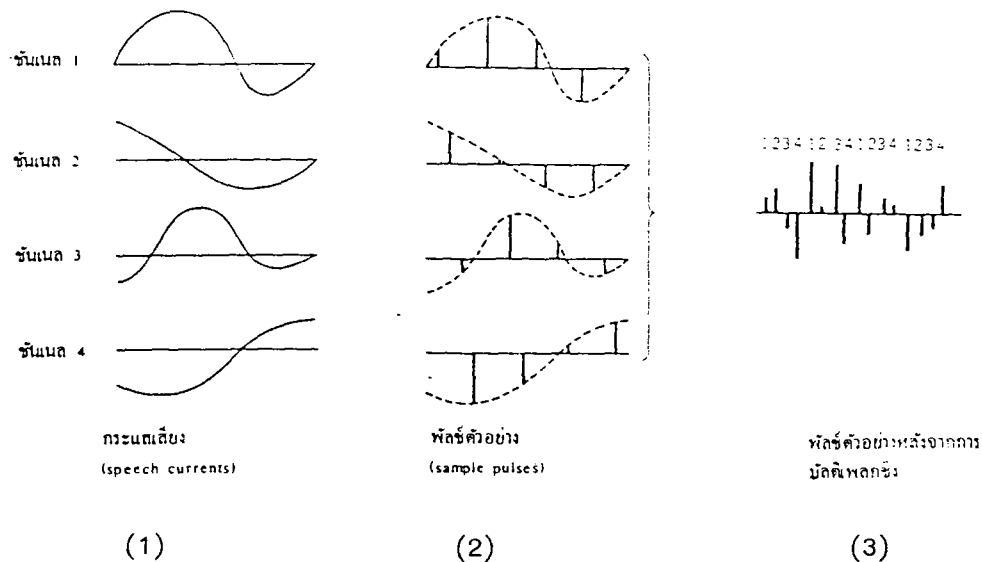
ภาพประกอบ 49 มีแสดงระบบส่งสัญญาณมัลติเพล็กซ์แบ่งเวลา

3.6.2 การเอาตัวอย่าง และการมัลติเพล็กซ์ (sampling and multiplex) ในตอนแรก กระแสเสียงจะถูกกรองด้วยฟิลเตอร์แถบความถี่ในชั้นแนลนั้น ๆ เพื่อไม่ให้มีอุปกรณที่มีความถี่อยู่นอกช่วง 3 - 3.4 kHz แล้วต่อจากนั้นกระแสเสียงที่ถูกกรองแล้วจะถูกเอาตัวอย่างที่ เซมปลิงเกต (sampling gate) และถูกมัลติเพล็กซ์ในที่สุด

ภาพประกอบ 50 และ 51 แสดงหลักการทำงานของการทำงานของการเอาตัวอย่างและการเอามัลติเพล็กซ์และ สวิตช์หมุน (rotary switch) ทางด้านส่งของภาพประกอบ 50. ถูกขับให้หมุนด้วยความเร็วคงที่เพื่อให้ได้ กระบวนของพัลส์ที่มีช่วงเวลาคงที่จากแต่ละชั้นแนลดังแสดงในภาพประกอบ 51 (1) และ (2)



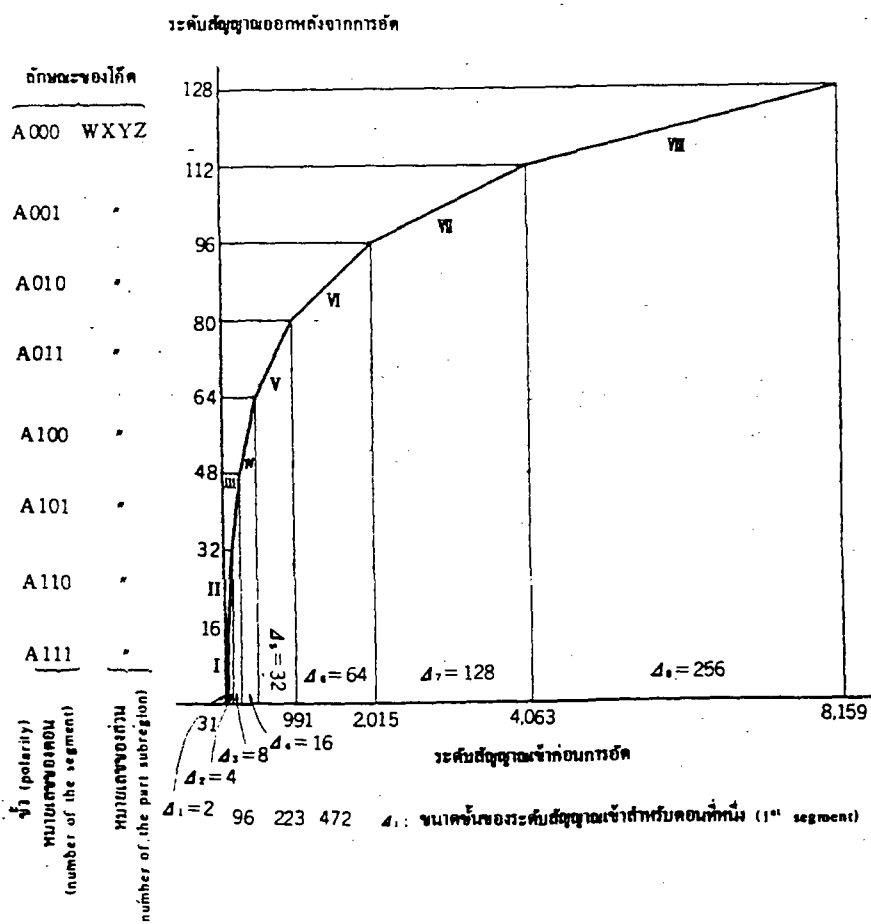
ภาพประกอบ 50 การเอาตัวอย่างและการจัดมัลติเพล็กซ์



ภาพประกอบ 51 การเอาตัวอย่างและการมัลติเพล็กซ์

เนื่องด้วยแอมพลิจูดของแต่ละพัลส์แทนแอมพลิจูดของกระแสเสียงเดิม ขณะที่เอาตัวอย่างและเรียกพัลส์เหล่านี้ว่า พัลส์ตัวอย่าง (sample pulse) และการทำงานในการสร้างกระบวนพัลส์ตัวอย่างจากกระแสเสียงนี้เรียกว่า การเอาตัวอย่างจากกระแสเสียงการมัลติเพล็กซ์จะสมบูรณ์เมื่อจัดกระบวนพัลส์ตัวอย่างจากแต่ละชั้นแนลลงบนสายส่งสัญญาณรวมกันดังแสดงในภาพประกอบ 51 (3) การหมุนพร้อม ๆ กันของสวิตช์หมุนทางด้านรับจะสร้างพัลส์ตัวอย่างเดิมขึ้นมาใหม่แต่ละชั้นแนลเหมือนกับทางด้านส่ง

3.6.3 การจัดโค๊ดและการถอดโค๊ด (coding and decoding) พัลส์ตัวอย่างที่ได้ปรับเป็นขั้นแล้วจะถูกเปลี่ยนเป็นโค๊ดที่ปลายทางด้านส่งสัญญาณและที่ปลายทางด้านรับสัญญาณโค๊ดเหล่านั้นจะถูกปรับเปลี่ยนกลับเป็นพัลส์ตัวอย่างเดิมอีก การปรับค่าเป็นขั้นและการอัดค่ารวมทั้งการจัดโค๊ดอยู่ในส่วนของอุปกรณ์จัดโค๊ดส่วนการขยายค่าและการถอดโค๊ดอยู่ในส่วนของอุปกรณ์ถอดโค๊ด มีโค๊ดต่าง ๆ หลายชนิดสำหรับแทนแอมพลิจูดของพัลส์ตัวอย่างเช่น ไบนารีโค๊ด 8 หลัก (8 digit binary code) การจัดและการถอดโค๊ดชนิดนี้กระทำได้ง่ายและไม่มีกระบวนการด้วย สัญญาณ "0" หมายความว่าไม่มีพัลส์และ "1" หมายความว่าไม่มีพัลส์จากภาพประกอบ 52 แสดงตัวอย่างของสัญญาณเข้า/สัญญาณออก ของอุปกรณ์จัดโค๊ดเกรนนอนใช้มาตราส่วนของลอการิทึมตามตาราง 5 แสดงหมายเลขลำดับ 1 ถึง VIII ของแต่ละตอนของกราฟและแบ่งแต่ละตอนออกเป็น 16 ส่วน จากหมายเลข 1 - 16 สำหรับตัวอย่างที่เป็นสัญญาณเข้าจะถูกอุปกรณ์จัดโค๊ดเปลี่ยนเป็นไบนารี 8 หลัก ตามแอมพลิจูดของพัลส์ตัวอย่าง หลักแรกของเลขไบนารีแทนขั้ว (polarity) (บวกหรือลบ) หลักที่ 2 ถึงที่ 4 แทนหมายเลขตอนของกราฟ (line segment number) และหลักที่ 5 ถึงที่ 8 แทนหมายเลขส่วน (part number) ดังนั้นแอมพลิจูดของพัลส์ตัวอย่างที่เป็นสัญญาณเข้าบวกหรือลบที่ได้มาจากแต่ละกระแสเสียงจะถูกแทนด้วยโค๊ดไบนารี 8 หลัก และลำดับของพัลส์จะถูกที่ละขั้นแนลในแต่ละเฟรม แล้วส่งไปยังสายส่งสัญญาณ (ตัวกลางร่วม) อุปกรณ์ถอดโค๊ดจะเปลี่ยนกระบวนการพัลส์ที่ได้รับกลับเป็นพัลส์ตัวอย่างอย่างเดิมตามเส้นกราฟคุณสมบัติในลักษณะเดียวกันกับของอุปกรณ์จัดโค๊ด

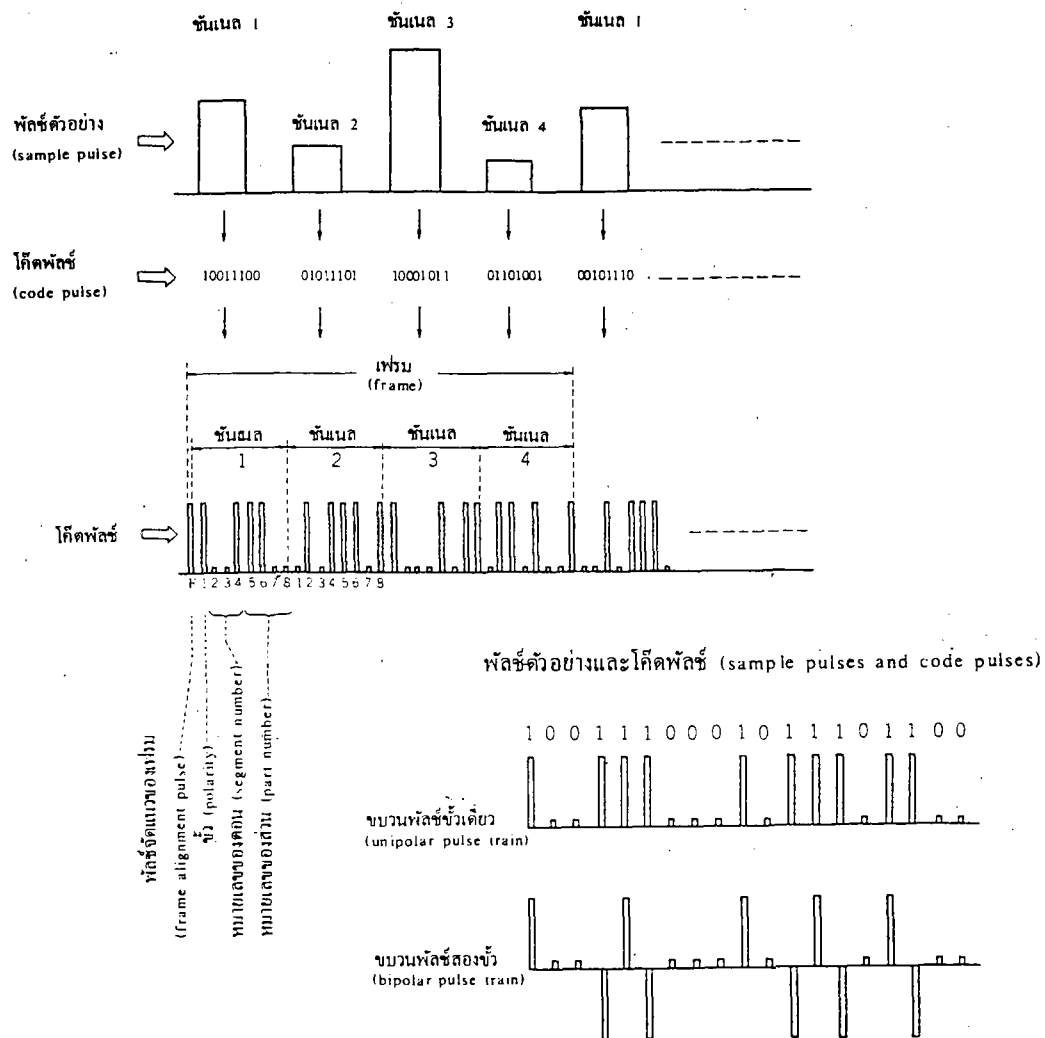


ภาพประกอบ 52 คุณสมบัติของการอัด (การขยาย)

ตาราง 5 คุณสมบัติของการอัด (การขยาย) 15 ตอน (segment)

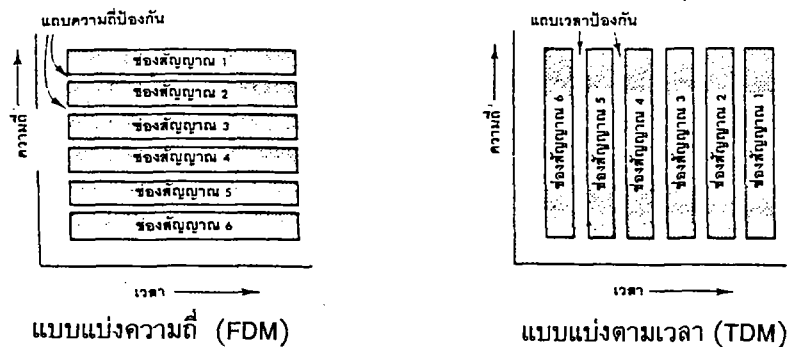
ช่วงระดับสัญญาณเข้า	ขนาดขั้น	จำนวนตอน (region)	ลักษณะของโค้ด	ระดับสัญญาณออก
			1 2 3 4 5 6 7 8	
7903~8159	256	VIII	1 0 0 0 0 0 0 0	8031
7647~7903	"	"	1 0 0 0 0 0 0 1	7775
7391~7647	"	"	1 0 0 0 0 0 1 0	7519
7135~7391	"	"	1 0 0 0 0 0 1 1	7263
. . .	.	.	.	.
. . .	.	.	.	.
. . .	.	.	.	.
35~39	4	II	1 1 1 0 1 1 1 0	37
31~35	"	"	1 1 1 0 1 1 1 1	33
29~31	2	I	1 1 1 1 0 0 0 0	30
27~29	"	"	1 1 1 1 0 0 0 1	28
25~27	"	"	1 1 1 1 0 0 1 0	26
23~25	"	"	1 1 1 1 0 0 1 1	24
21~23	"	"	1 1 1 1 0 1 0 0	22
19~21	"	"	1 1 1 1 0 1 0 1	20
17~19	"	"	1 1 1 1 0 1 1 0	18
15~17	"	"	1 1 1 1 0 1 1 1	16
13~15	"	"	1 1 1 1 1 0 0 0	14
11~13	"	"	1 1 1 1 1 0 0 1	12
9~11	"	"	1 1 1 1 1 0 1 0	10
7~9	"	"	1 1 1 1 1 0 1 1	8
5~7	"	"	1 1 1 1 1 1 0 0	6
3~5	"	"	1 1 1 1 1 1 0 1	4
1~3	"	"	1 1 1 1 1 1 1 0	2
0~1	1	"	1 1 1 1 1 1 1 1	0
--01	1	"	0 1 1 1 1 1 1 1	0
-3~-1	2		0 1 1 1 1 1 1 0	-2

3.6.4 การเปลี่ยนกระบวนพัลส์ชั่วคราว (Unipolar pulse train) เป็นกระบวนพัลส์สองชั่ว (Bipolar pulse train) โดยทั่วไปสายส่งสัญญาณจะไม่เหมาะสมสำหรับส่งสัญญาณที่มี องค์ประกอบของ กระแสไฟตรงอยู่ด้วยดังนี้ สัญญาณที่ออกมาจากอุปกรณ์จัดโค้ดเป็นกระบวนพัลส์ชั่วคราวหรือมีชั่วเหมือนกัน (คือ บวกหรือลบเหมือนกันหมด) จะต้องถูกเปลี่ยนให้เป็นกระบวนพัลส์สองชั่วก่อนส่งไปยังสายส่งสัญญาณ ดังแสดงในภาพประกอบ 53



ภาพประกอบ 53 กระบวนการพัลส์ขั้วเดียวและสองขั้ว

ซึ่งพัลส์ที่อยู่ถัดไปจะมีเครื่องหมายตรงกันข้ามกันอยู่เสมอ เพื่อตัดองค์ประกอบของกระแสไฟตรงออกไป (โกศล เพ็ชรสุวรรณ และชิงกิ โซจิ. 2535 : 78-97) ทั้งสองวิธีนี้จะใช้สายส่งเพียง 1 เส้น และข้อมูลถูกจัดการส่งโดยเทคนิคเกี่ยวกับความถี่และเวลา อย่างเช่นในภาพประกอบ 54 ที่แสดงให้เห็นถึงการแบ่งข้อมูลทั้ง 2 วิธี (วิสันต์ อาชาเดโชพล. ม.ป.ป. : 106)



ภาพประกอบ 54 แสดงการแบ่งของข้อมูลของแต่ละวิธี

4. คุณสมบัติของอุปกรณ์วงจรและสายเคเบิล

4.1 ข้อดีของวงจรในตระกูลทีทีแอล (TTL)

ข้อดีของวงจรในตระกูลทีทีแอลนี้ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการจัดวงจรทางด้านอินพุต ที่ใช้ทรานซิสเตอร์แบบ Multi Emitter โดยในกรณีที่อินพุตใดอินพุตหนึ่งได้รับลอจิกเป็น “0” ก็จะทำให้รอยต่อระหว่างขาเบสและอิมิตเตอร์ได้รับไบอัสตรง ซึ่งโดยคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์แบบ NPN แล้วทรานซิสเตอร์ Q1 จะทำการดึงกระแสเข้าทางคอลเลคเตอร์ ที่ต่ออยู่กับขาเบสของ Q2 แต่เนื่องจากทรานซิสเตอร์ Q2 ไม่สามารถจ่ายกระแสออกมาที่ขาเบสเป็นจำนวนมากได้ จึงทำให้ Q1 เข้าสู่ภาวะอิ่มตัว (Saturate) และในสภาวะนี้ Q1 จะมีอินพีแดนซ์ระหว่างขาคอลเลคเตอร์และอิมิตเตอร์ต่ำ ทำให้ประจุที่เก็บไว้ในขาเบสของ Q2 ถูกดิสชาร์จ (Discharge) อย่างรวดเร็ว ซึ่งช่วยให้ช่วงเวลาในการหยุดนำกระแสของ Q2 นั้นเร็วขึ้น

นอกจากข้อดีทางด้านความเร็วแล้ว การที่วงจรในตระกูลทีทีแอล ใช้ทรานซิสเตอร์แบบ Multi-Emitter แทนการใช้ไดโอด ตัวต้านทาน และทรานซิสเตอร์ในวงจรลอจิกแบบอื่น ยังช่วยลดขนาดของแผ่นวงจรรวมลง ซึ่งทำให้ต้นทุนในการผลิตต่ำ และยังช่วยให้สามารถผลิตวงจรที่มีความซับซ้อนได้มากขึ้นในขนาดพื้นที่ที่เท่ากัน นอกจากนี้ขนาดที่เล็กยังช่วยลดค่า Parasitic Capacitance ลงซึ่งทำให้ความเร็วในการทำงานของวงจรดีขึ้นด้วย สำหรับวงจรทางด้านเอาต์พุตของวงจรในตระกูลทีทีแอล จะประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ Q3 และ Q4 โดยจัดวงจรเป็นแบบ Totem Pole หรือ Active Pull Up ซึ่งเป็นวงจรที่มีค่าเป็นพีแดนซ์ทางเอาต์พุตต่ำทำให้วงจรสามารถขับโหลดที่มีค่าคาปาซิแตนซ์ (Capacitance) สูงได้โดยความเร็วในการสวิตช์ของวงจรไม่ถูกลงมากนัก ในกรณีที่เอาต์พุตของวงจรเป็นลอจิก “1” Q4 จะทำงานในลักษณะของวงจร Emitter-Follower ในการจ่ายกระแส (Source Current) ให้กับโหลด (Load) ส่วนในกรณีที่เอาต์พุตของวงจรเป็นลอจิก “0” กระแสจากโหลดจะถูกดึงผ่านทรานซิสเตอร์ Q3 ที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวเพียงตัวเดียว (ในกรณีที่ค่าอิมพีแดนซ์ของทรานซิสเตอร์ Q3 จะมีค่าต่ำเนื่องจาก Q3 อยู่ในสภาวะอิ่มตัว) (ธานินทร์ ภาวศาสนวงศ์. ม.ป.ป. : 31-32)

4.2 สายเคเบิลโทรศัพท์ประเภทต่างๆ

สายเคเบิลโทรศัพท์ได้มีการพัฒนาขึ้นมาเรื่อย ๆ เพื่อที่จะใช้สายนั้นมีประสิทธิภาพในการทำงานและความเชื่อถือ ตลอดจนเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ สะดวกและง่ายในการออกแบบ ในที่นี้จะได้กล่าวถึงสายที่ได้นำมาใช้ในระยะเริ่มแรกจนถึงปัจจุบัน สายเคเบิลที่ลวดตัวนำเป็นโลหะ (Metallic Cable)

4.2.1 โครงสร้างของสายเคเบิลแบบต่างๆ ลวดตัวนำที่ใช้ในสายเคเบิลนั้น จะใช้ลวดทองแดงที่มีขนาดต่างๆ กัน โดยทั่วไปลวดตัวนำจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.32, 0.4, 0.65 และ 0.9 มิลลิเมตร ปกติสายเคเบิลที่ใช้เชื่อมโยงระหว่าง Local Exchange ด้วยกัน ซึ่งเรียกว่า Junction Cable นั้น มักใช้สายเคเบิลที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดตัวนำใหญ่ คือ 0.65 มิลลิเมตร แต่ถ้าวระยะทางไกลมากก็อาจใช้สายที่มีลวดตัวนำขนาด 0.9 มิลลิเมตร หรือใช้ Loading Coil เพื่อช่วยในการลดปริมาณของ Loss ในคู่สายลง ทำให้สายเคเบิลมี Loss น้อยที่สุด สายเคเบิลจะประกอบด้วยลวดตัวนำจำนวนมาก ลวดตัวนำแต่ละเส้นจะถูกหุ้มด้วยฉนวนที่เป็นกระดาษ (Sheath) หรือ Plastic หรือ PVC แล้วจัดรูปแบบในลักษณะต่างๆ กันคือใช้สาย 2 เส้นตีเกลียวเป็นคู่เรียกว่า Twin Type แบบใช้สาย 4 เส้นตีเกลียวทำเป็น Quad เรียกว่า Star Quad Type และ แบบ Twin Type 2 คู่ ตีเกลียวอีกครั้งหนึ่งเรียกว่า Multiple Twin Type การตีเกลียวคู่สายก็เพื่อลดค่า Capacitance ในคู่สายลง จากนั้นก็จะจัดคู่สายโดยรวมคู่สายที่ตีเกลียวแล้วเข้ากันเป็นเคเบิล ซึ่งมีหลายแบบคือ

4.2.1.1 Unit คือการจัดคู่สายให้เป็นกลุ่มๆ และมี Binder พันรอบกลุ่ม

4.2.1.2 Layer คือการจัดคู่สายให้เป็นชั้นๆ แต่ละชั้นจะมีคู่สายแสดงการเริ่มต้นและลงท้าย

4.2.1.3 Combination คือการจัดคู่สายรวมกันแบบ Unit แล้วจึงทำเป็น Layer อีกครั้งหนึ่ง แต่ละ Unit มี Binder ที่เป็นรหัสสีพันไว้ เพื่อเป็นการบอก Unit เริ่มต้นและ Unit สุดท้าย

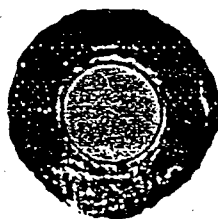
เมื่อจัดคู่สายให้เป็นเคเบิลแล้วก็ต้องมีเปลือกหุ้มภายนอกอีก เพื่อป้องกันความชื้นและแรงสั่นสะเทือน รวมทั้งป้องกันการ Induce จากสายไฟแรงสูงหรืออื่นๆ สายเคเบิลแต่ละชนิดก็มีโครงสร้างที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของการใช้งานในพื้นที่แต่ละท้องถิ่นสายเคเบิลโทรศัพท์ที่ใช้กันโดยทั่วไปมี Lead Sheath Cable เป็นสายเคเบิลที่ใช้กระดาษเป็นฉนวนหุ้มลวดตัวนำ และเปลือกหุ้มภายนอกเป็นตะกั่ว สายเคเบิลชนิดนี้มีน้ำหนักมาก จึงสร้างให้เป็นสายเคเบิลขนาดใหญ่หรือมีจำนวนคู่สายมากๆ ได้ลำบาก ไม่เหมาะที่จะใช้เป็น Aerial Cable ส่วนมากจะใช้ฝังดิน Tape Armour Cable เป็นสายเคเบิลที่มีลักษณะเช่นเดียวกับ Lead Sheath Cable เปลือกหุ้มสายเคเบิลชั้นนอก นอกจากจะเป็นตะกั่วแล้วยังมีเทปเหล็ก (Steel Tape) พันรอบตะกั่วอีกชั้นหนึ่งเพื่อให้แข็งแรงขึ้น นอกจากนี้ยังมีปอ (Jute) ชุบน้ำยากันน้ำพันรอบแม่เหล็กเพื่อป้องกันการกัดกร่อนที่เทปเหล็กสายเคเบิลชนิดนี้ใช้เป็นเคเบิลแบบฝังดินโดยตรง (Direct Buried Cable) และเนื่องจากมีน้ำหนักมาก จำนวนคู่สายจึงมีไม่มากนัก Alplast Cable เป็นสายเคเบิลที่ใช้พลาสติก (Plastic) เป็นฉนวนหุ้มลวดตัวนำ มี Aluminium Tape พันรอบคู่สายเพื่อกันความชื้น และเปลือกหุ้มชั้นนอกสุดจะเป็น Polyethylene สีดำเพื่อป้องกันการสั่นสะเทือน และการ Induce จากสาย Power Line สายเคเบิลแบบนี้มีน้ำหนักเบา และสามารถสร้างให้มีจำนวนคู่สายได้ถึง 3000 คู่ จึงเหมาะที่จะใช้เป็น Aerial Cable

Staloeth Sheath Cable เป็นสายเคเบิลที่ใช้กระดาษเป็นฉนวนหุ้มลวดตัวนำ มี Aluminium Tape พันรอบคู่สายเพื่อป้องกันความชื้น และยังมี Steel Tape พันรอบ Aluminium Tape เพื่อป้องกันการสั่นสะเทือน ส่วนชั้นนอกสุดเปลือกหุ้มจะเป็น Polyethylene สีดำ สายเคเบิลแบบนี้เหมาะสำหรับใช้เป็น Underground in Conduit Cable หรือ Direct Buried Cable

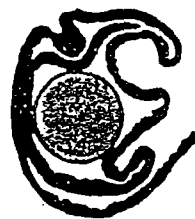
Submarine Cable หรือ Wire Armour Cable เป็นสายเคเบิลที่มีลักษณะโครงสร้างเช่นเดียวกับ Tape Armour Cable แต่เปลือกนอกจะใช้ Steel Rod แทน Steel Tape เพื่อให้มีความคงทนและแข็งแรงกว่า สายเคเบิลแบบนี้จะใช้วางใต้น้ำเช่น ในทะเล เป็น

PVC Cable เป็นสายเคเบิลที่ใช้พลาสติกเป็นฉนวนหุ้มลวดตัวนำ ส่วนเปลือกนอกที่หุ้มจะเป็น PVC (Polyvinyl Chloride) ซึ่งจะช่วยให้คงอึดได้แต่ไม่คงทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศภายนอก จึงเหมาะที่จะใช้เป็นสายเคเบิลที่วางภายในอาคารหรือภายในห้องชุมสายโทรศัพท์ (ราชบัณฑิตยสถาน, 2533 : 188-190)

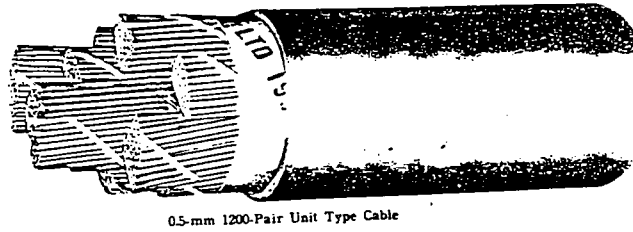
สายเคเบิลที่มีจำนวนคู่สายน้อยกว่า 200 คู่จะทำเป็นชั้นๆ (Layer) และแต่ละชั้นจะมี Tracer Quad อยู่ 1 Quad เพื่อสำหรับการนับคู่สาย ทิศทางการพันของแต่ละชั้น จะมีทิศทางตรงข้ามกัน ส่วนระยะ pitch ในแต่ละ Quad ที่ใกล้กันจะมีระยะ Pitch แตกต่างกันไป เคเบิล 100 คู่ ประกอบด้วย 51 Quad และ 200 คู่ ประกอบด้วย 102 Quad สายเคเบิลที่มีจำนวนคู่สายมากกว่า 400 คู่ จะทำเป็นแบบ Unit ในแต่ละ Unit จะประกอบด้วย



(1) ฉนวนเป็น Pulp

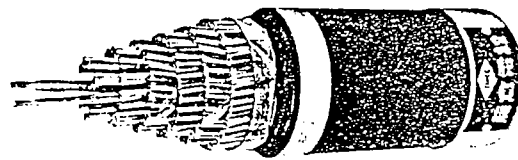


(2) ฉนวนที่หุ้มลวดตัวนำเทปกระดาษ

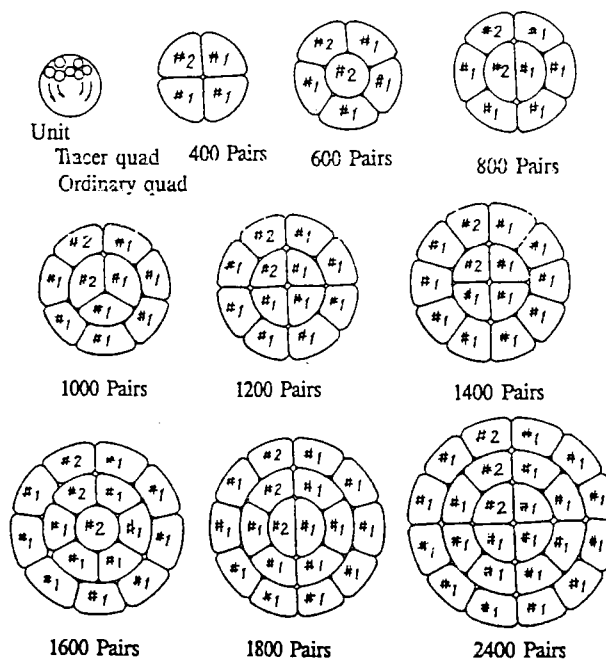


0.5-mm 1200-Pair Unit Type Cable

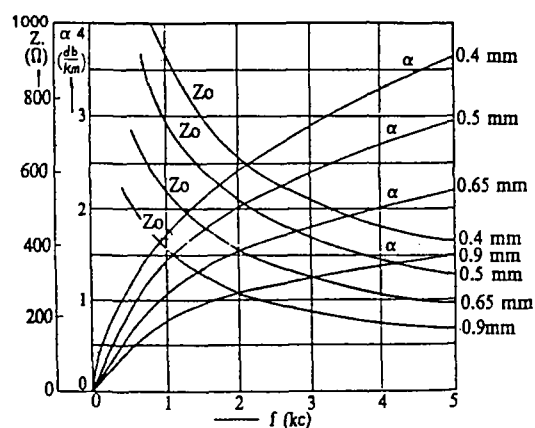
ภาพประกอบ 56 แสดงสายเคเบิลที่เปลือกหุ้มเป็นตะกั่วและลวดตัวนำรวมกันเป็นแบบ Unit



ภาพประกอบ 57 ลวดตัวนำจัดเป็นแบบชั้นๆ (Layer Type)



ภาพประกอบ 58 การจัด Unit



ภาพประกอบ 59 คุณสมบัติสายส่ง

4.2.1.4 เปลือกหุ้มสาย เป็นตะกั่วแอลลอย (Lead Alloy) มีส่วนผสมของดีบุกหรือแอนติโมนีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 67 มิลลิเมตร เปลี่ยนตะกั่วที่หุ้มสายจะต้องทนแรงดันของแก๊สได้ 3 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร เป็นเวลานานมากกว่า 1 ชั่วโมง

4.2.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าทั่วไป

4.2.2.1 ความต้านทาน : ค่าสูงสุดที่ 20 องศาเซลเซียส

0.4 มม.	147.5 โอห์ม/กม.
0.5 มม.	93.5 โอห์ม/กม.
0.65 มม.	56.5 โอห์ม/กม.
0.9 มม.	29.0 โอห์ม/กม.

4.2.2.2 ค่าความต้านทานของฉนวน

ต้องไม่น้อยกว่า 2,000 แมกซ์กะโอห์ม/กม. ที่ 20 องศาเซลเซียส

4.2.2.3 ประจุเหนี่ยวนำ

ค่าเฉลี่ย : 0.050 แมกซ์กะโอห์ม/กม. ที่ความถี่ 1,000 Hz

4.2.2.4 ความทนแรงเคลื่อนของฉนวน

D.C 500 โวลต์ ในระยะเวลา 1 นาที

4.2.2.5 ความไม่สมดุลของค่าแดพปาซิแตนซ์

ค่าไม่สมดุลของแดพปาซิแตนซ์ วัดที่ความถี่ 1,000 Hz จะต้องมามีค่าไม่มากกว่าค่าที่แสดงในตาราง 6

ตาราง 6 การไม่สมดุลของค่า Capacitance

	Mean Value	Maximum Value
Unit Type Cable	For Local Use 300 $\mu\mu\text{F}/150\text{ m}$	1,600 $\mu\mu\text{F}/500\text{ m}$
	For Junction Use 100 $\mu\mu\text{F}/150\text{ m}$	600 $\mu\mu\text{F}/150\text{ m}$
Concentric Layer Type Cable	300 $\mu\mu\text{F}/500\text{ m}$	1,600 $\mu\mu\text{F}/500\text{ m}$

Note : The Above Table Ahows The Value For Standard Length $L_0 = 150 \text{ m}$ or 500 m .

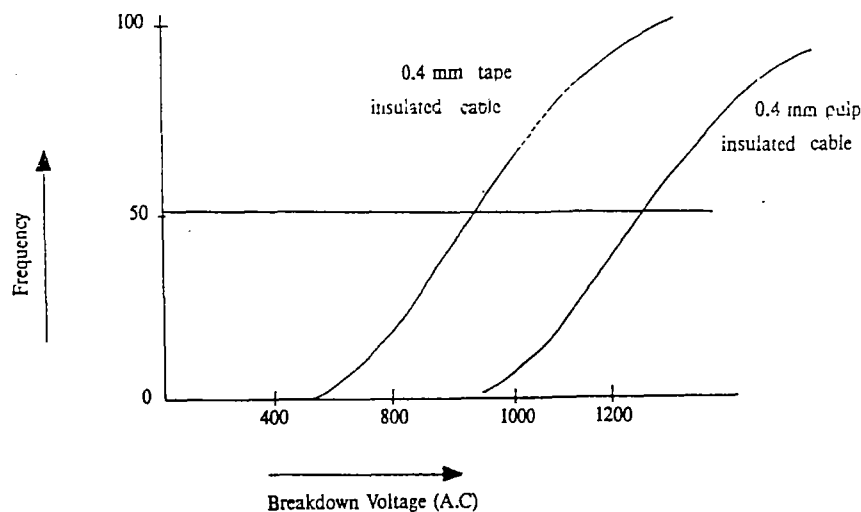
In Other Cases :

$$\begin{array}{l} \text{Not Less Than } 100 \text{ m.: } \sqrt{L/L_0} \\ \text{Less Than } 100 \text{ m.: } \sqrt{100/L_0} \end{array}$$

Key: L = Length In Meter Of Cable Under Test.

4.2.3 สายเคเบิลที่จำนวนเป็นแบบ Pulp นั้นความหนาของ Pulp ที่หุ้มลวดตัวนำจะมีความหนาที่หุ้มสม่ำเสมอดีกว่าแบบที่หุ้มด้วยเทปกระดาษ และ Pulp จะเกาะติดแน่นอยู่กับลวดตัวนำ ฉะนั้น Pulp จึงมีคุณสมบัติดีกว่าแบบเทปกระดาษ ซึ่งสามารถแบ่งเป็นข้อๆ ดังนี้คือ

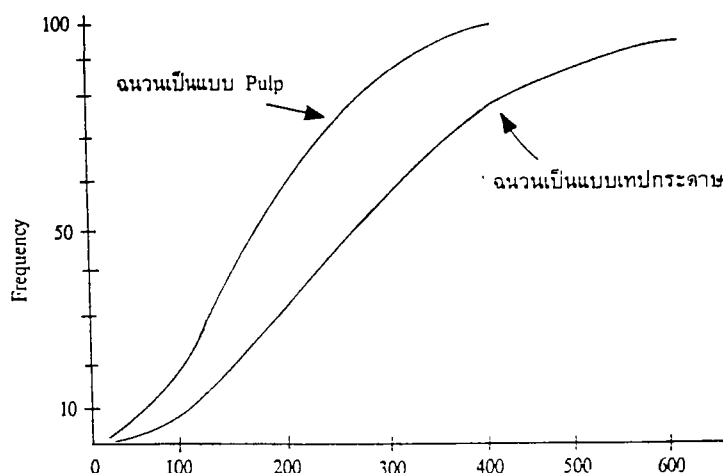
4.2.3.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้า Pulp จะมีค่าทนแรงดันไฟฟ้าสูงกว่า และการไม่สมดุลทางไฟฟ้ามีน้อยกว่า สายเคเบิลแบบ Pulp จะมี Breakdown Voltage สูงกว่าแบบสายเคเบิลที่มีจำนวนเป็นเทปกระดาษประมาณร้อยละ 20



ภาพประกอบ 60 เปรียบเทียบ Breakdown Voltage

4.2.3.2 ค่า Electrostatic Unbalance

ภาพประกอบ 61 แสดงการทดสอบสายเคเบิลแบบ Star Quad Unit 0.65 มม. 1,000 คู่ของ Pulp Insulated ซึ่งจะเห็นว่าคุณภาพดีกว่าแบบเทปกระดาษ



ภาพประกอบ 61 ค่าแสดงเปรียบเทียบ Electrostatic Unbalance

4.2.3.3 ความคงทน

สายเคเบิลแบบ Pulp กระดาษจะเกาะติดแน่นอยู่กับลวดตัวนำ แม้ว่าจะงอหรือบิดสายไปมากก็ตาม จะไม่ทำให้ลวดตัวนำเกิดแตกกันได้ ซึ่งทำให้เกิดการรั่วของกระแสไฟ

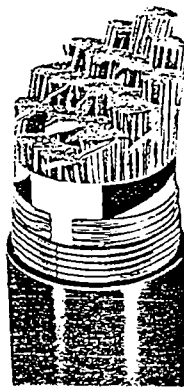
4.2.4 Paper Insulated Stalpeth Cable

4.2.4.1 การนำเอาไปใช้งาน

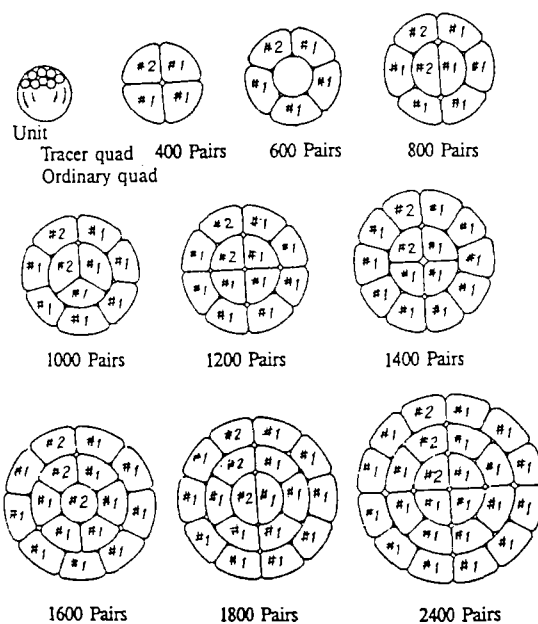
สายเคเบิลประเภทนี้นำไปใช้วางเป็นสายเคเบิลต้นทางสาย Junction จะใช้วางเป็นสายเคเบิลใต้ดินหรือใช้แขวนในอากาศก็ได้ ขึ้นอยู่กับขนาดของสายและสภาพของภูมิประเทศ และอีกอย่างหนึ่งสายแบบนี้จะมีน้ำหนักเบากว่าสายแบบที่เปลือกหุ้มสายเป็นตะกั่ว มีสัมประสิทธิ์ความผิดกับท่อร้อยสายน้อยกว่าสายแบบเปลือกหุ้มสายเป็นตะกั่ว ดังนั้นการขนส่งและการวางสายจึงทำได้ง่ายกว่าแบบที่เปลือกหุ้มเป็นตะกั่ว นอกจากนี้สายแบบ Stalpeth ยังทนต่อการสึกกร่อน การหักงอ การสิ้นสะท้อนและทนต่อการกระแทก

4.2.4.2 โครงสร้างของสาย

ลวดตัวนำจะถูกหุ้มด้วยเทปกระดาษหรือ pulp ก็ได้ และลวดตัวนำทั้งหมดจะถูกหุ้มด้วยอะลูมิเนียมและแผ่นเหล็ก ซึ่งทำเป็นแบบลูกฟูก (Corrugated) เพื่อช่วยในการรองสายเคเบิล แผ่นอะลูมิเนียมจะหุ้มไปตามความยาวตลอดสายเคเบิล และหุ้มทับด้วย แผ่นเหล็กอีกชั้นหนึ่งและแผ่นเหล็กนั้นจะหุ้มทับกันไม่น้อยกว่า 5 มม. ส่วนตะเข็บจะถูกเชื่อมด้วยความถี่สูง (High Frequency Heating) เพื่อป้องกันความชื้น ไม่ให้ผ่านเข้าไปได้หลังจากนั้นสายเคเบิลจะนำไปชุบด้วยสารประกอบทางเคมี อีกครั้งหนึ่งเพื่อให้สารดังกล่าวไปอุดรูรั่วเล็ก ๆ ซึ่งอาจจะเกิดจากการเชื่อมตะเข็บที่ไม่สมบูรณ์หลังจากนั้นก็นำไปหุ้มด้วย Polyethylene (PE) โดยวิธีการ Extrude ความโตของลวดตัวนำมีขนาด 0.4 มม. 0.5 มม. และ 0.9 มม. โครงสร้างของสายดังแสดงในภาพประกอบ 62 (1) และ (2)



ภาพประกอบ 62 (1) โครงสร้างสาย Stalpeth



ภาพประกอบ 62 (2) การจัดเป็น Units

4.2.4.3 ข้อดีของสาย stalpeth มีดังนี้คือ

- น้ำหนักเบา สามารถที่จะขนย้ายและการติดตั้งทำได้ง่าย
- ในการติดตั้งนั้นเส้นสายประเภทนี้มีความผิดกับท่อร้อยสายน้อย

จึงสามารถผลิตสายให้ยาวได้

- ไม่มีการสึกกร่อนทางไฟฟ้าและทางเคมี ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับสาย

เคเบิลประเภทนี้ มีน้อยกว่าสายเคเบิลที่เปลือกหุ้มเป็นตะกั่ว

- การบำรุงรักษาง่ายและไม่เกิดการเสียหายจากฟ้าผ่า
- ทนต่อการสัมผัสเชื้อเพลิงได้ดี จึงเหมาะที่จะวางสายได้สะพาน

หรือในสถานที่ที่มีการจราจรหนาแน่นสาย Stalpeth นั้น ย่อมาจาก

St : Stell

al. : Aluminium

Peth : polyethylene

4.2.5 PEF-LAP Junction Cable

สายแบบนี้ เปลือกหุ้มสายเป็น LAP (Laminated Aluminium Polyethylene) คุณสมบัติของสายประเภทนี้จะดีกว่าสายแบบ Stalpeth คือ

4.2.5.1 ราคาทำสายเคเบิลจะถูกกว่า

4.2.5.2 ความคงทนของสายที่ถูกกระทำจากแรงกระแทกจะดีกว่าสายแบบ Stalpeth ที่ฉนวนเป็นกระดาษ

4.2.5.3 สาย PEF-LAP นี้จะมี Cross-Talk น้อยจึงไม่จำเป็นต้องทำการ Test-splice สามารถลดแรงงานในการวางสาย สาย PEF LAP Junction แสดงในภาพประกอบ 63



ภาพประกอบ 63 0.5 มม. 1800-pair PEF-LAP Junction Cable

4.2.6 Local PEF-P Cable

จำนวนเครื่องรับโทรศัพท์ที่ได้เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมืองใหญ่ๆ ซึ่งต่อร้อยสายเคเบิลอยู่ใต้ถนนเป็นจำนวนมาก และตอนนี้ส่วนมากใช้กับสายเคเบิลขนาด 0.4 มม. จำนวน 2,400 คู่ ตามปกติแล้วถ้าจำนวนเครื่องรับโทรศัพท์เพิ่ม ก็จะต้องมีการขุดถนน วางท่อร้อยสาย ในเมืองใหญ่ๆ ที่มีการจราจรหนาแน่นจะทำได้ยาก และราคาค่าก่อสร้างจะแพงมาก เพื่อที่จะขจัดปัญหาเหล่านี้ก็จะต้องทำสายเคเบิลที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่โตกว่าเส้นเดิมแต่จำนวนคู่สายจะต้องมากขึ้น เพื่อให้พอกับความ ต้องการ ดังนั้นจึงได้ทำสายที่มีลวดตัวนำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.32 มม. และฉนวนหุ้มเป็น PEF (Polyethylene Foamed) ขึ้น ซึ่งสามารถทำคู่สายได้ถึง 4,000 คู่ เพื่อสามารถใช้ท่อร้อยสายเดิมที่มีอยู่โดยการเปลี่ยนสายเคเบิลขนาด 0.4 มม. 2,000 คู่ ออกและใช้สายขนาด 0.32 มม. 4,000 คู่แทน

4.2.6.1 การนำเอาสายไปใช้งาน

- สาย PEF-P ใช้วางเป็นสายเคเบิลต้นทางในเมืองใหญ่

4.2.6.2 โครงสร้างของสาย

- เป็นลวดตัวนำมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 0.32 มม.
- ฉนวนเป็นแบบ PEF หนา 0.08 มม. ฟองอากาศร้อยละ 20
- Quad เป็นแบบ Star-Quad
- Unit ประกอบด้วย 51 Quad Unit สำหรับคู่สายไม่เกิน 1,800 คู่

และ 102 Quad Unit สำหรับสายเคเบิลที่มีจำนวนคู่มากกว่า 2,400 คู่

4.2.6.3 คุณสมบัติทั่วไปของ PEF-Insulation คือ

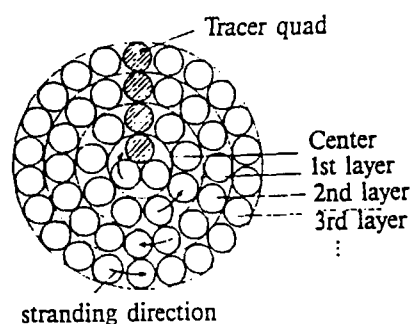
- มีค่า Dielectric Constant น้อยเมื่อเทียบกับสายที่มีฉนวนเป็นกระดาษ
- ตัวฉนวนที่หุ้มสายจะไม่เกิดการเสียหายเมื่อจุ่มลงในน้ำ
- ค่า Dielectric Constant สามารถที่จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงอย่าง

กว้างขวาง คือ ในช่วง 1.7-1.4 โดยการเปลี่ยนอัตราของฟองอากาศ ดังแสดงในภาพประกอบ 66

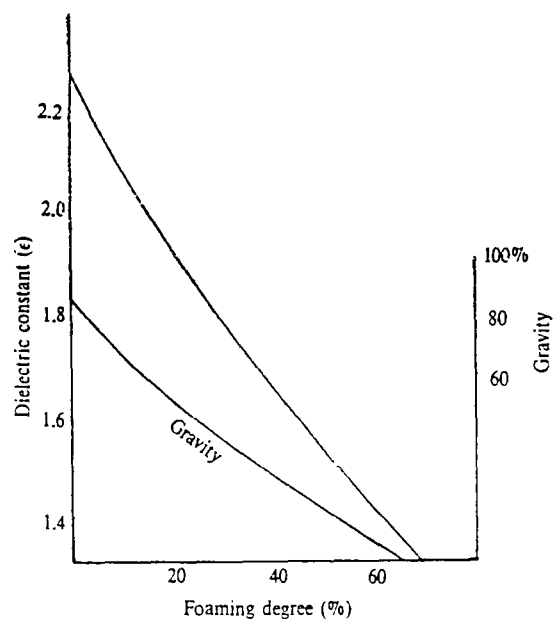
- ค่า Dielectric loss ใกล้เคียงกับพวก PE ธรรมดา ฉนวนที่เป็นแบบ PEF จะมีค่า loss น้อยกว่า ฉนวนที่เป็นกระดาษ ในเมื่อส่งในระบบคลื่นพาหะ ทั้งในระยะทางไกลและใกล้
- ฉนวนที่เป็น PEF และทำเป็นแบบ Star-Quad จะมีขนาดเล็กกว่าสายเคเบิลที่มีฉนวนเป็นกระดาษ และการที่จะลด Electrostatic Coupling ให้น้อยลงอีกนั้น ก็โดยการทำให้ Test Joint ในขณะวางสายเคเบิล



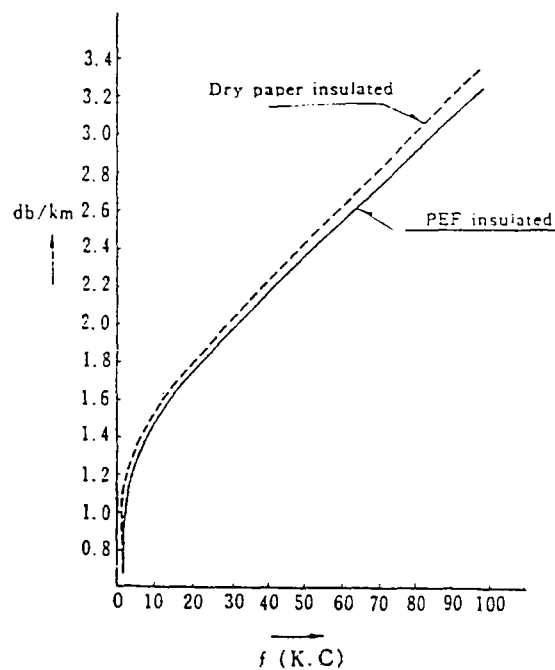
ภาพประกอบ 64 สายเคเบิล 0.32 มม. 4,000 คู่



ภาพประกอบ 65 การพันเกลียวแต่ละชั้นมีทิศทางตรงข้ามกัน



ภาพประกอบ 66 ระดับของฟองอากาศและค่า Dielectric ของ PEF-Insulation

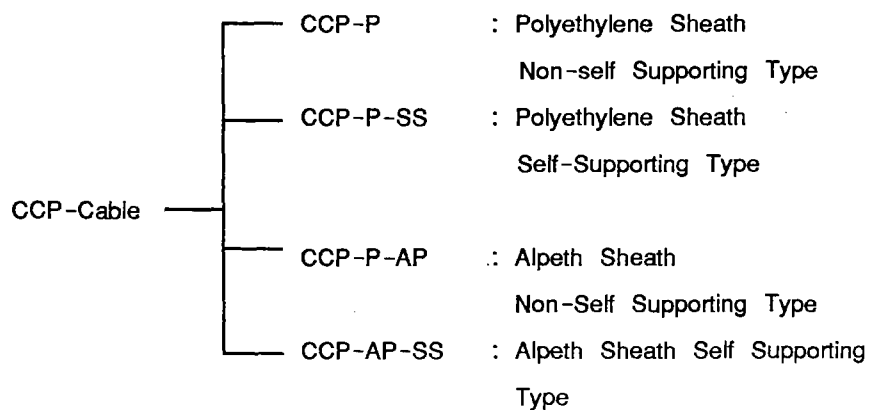


ภาพประกอบ 67 การเปรียบเทียบค่าสูญเสียของสายแบบที่ Insulation เป็นกระดาษกับที่ Insulation เป็น PEF

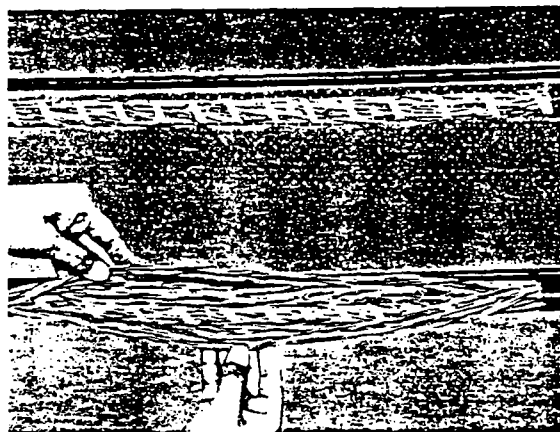
4.2.7 Colour Coded Polyethylene Insulated and Sheath (CCP Cable)

4.2.7.1 การนำเอาสายไปใช้งาน

สายประมณนี้เอาไปใช้เป็นสายที่วางจากชุมสายโทรศัพท์ไปยังเครื่องรับ ซึ่งใช้ร่วมกับ Ready Access Terminal การพันเกลียวนั้นเป็นแบบ S-Z เพื่อให้ลวดตัวนำมี Sag มากขึ้น ซึ่งจะทำให้การเลือกหาคู่สายที่จะต่อเข้ากับ Ready Access Terminal ได้ง่ายและสะดวกรวดเร็ว สาย CCP แบ่งออกเป็นหลายแบบด้วยกัน



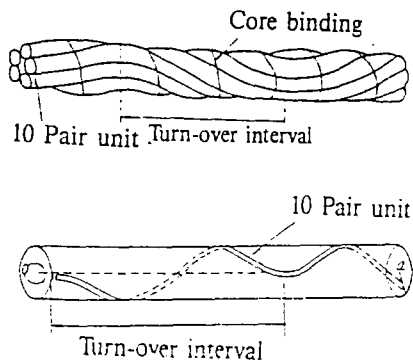
ในการเลือกใช้สายเคเบิลแต่ละชนิดนั้น จะต้องคำนึงถึงสภาพของภูมิประเทศ และสภาพของการติดตั้งเพื่อประหยัด ฉะนั้นสายพวก Self-Supporting จะใช้ในสถานที่ ซึ่งไม่มี Messenger Wire ของเก่าเหลืออยู่ ส่วนสาย CCP-AP นั้น จะใช้ติดตั้งในบริเวณที่มีการรบกวนจากธรรมชาติ หรือจากการรบกวนจากสายไฟแรงสูง ในกรณีใช้เป็นเคเบิลอากาศ จะต้องใช้ร่วมกับ Ready-Access Terminal และการติดตั้งสามารถทำได้ง่ายเพราะลวดตัวนำมีฉนวนหุ้มที่มีสีต่างๆ กันง่ายต่อการเลือกคู่สาย จึงสามารถนำเอา คู่สายทุกคู่ไปใช้ให้เป็นประโยชน์ได้มากที่สุด ไม่ว่าผู้เช่าจะมีขึ้น ณ จุดใดก็ตาม สาย CCP จะมีความคล่องตัวมากในระบบจ่ายสาย



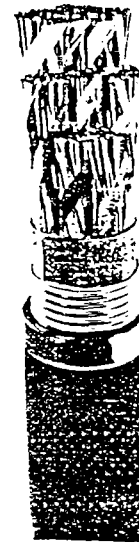
ภาพประกอบ 68 สาย CCP-P-SS ในแบบ S-Z

4.2.7.2 โครงสร้าง

- ลวดตัวนำ เป็นทองแดงมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 0.4 มม. , 0.5 มม. , 0.65 มม. และ 0.9 มม.
- ฉนวน สีที่ใช้เป็นฉนวนคือ P.E มีอยู่ 8 สี คือ สีน้ำเงิน สีเหลือง สีเขียว สีแดง สีม่วง สีขาว สีน้ำตาล สีดำ
- Quad เป็นแบบ Star-Quad Type สีขึ้นแต่ละ Quad มี 5 สี สีน้ำเงิน สีเหลือง สีเขียว สีแดง สีม่วง และสีรวม มี 3 สี สีขาว สีน้ำตาล สีดำ



(1) การพันเกลียวใน แบบ S-Z



(2) เคเบิล Unit แบบ Alpeth

ภาพประกอบ 69 การพันเกลียวในแบบ S-Z และประกอบเป็น Unit

4.2.7.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้า

- ความต้านทานลวดตัวนำต้านทานไฟ DC. ที่ 20° C

ตาราง 7 แสดงความต้านทานลวดตัวนำ

เส้นผ่าศูนย์กลาง (มม.)	ค่ามาตรฐาน (Ω/Km)	ค่าสูงสุด (Ω/Km)
0.4	139	147.5
0.5	88.7	93.5
0.65	52.5	56.5
0.9	27.4	29.0

- ความต้านทานของฉนวน

ค่าความต้านทานของฉนวนจะต้องไม่น้อยกว่า 5,000 Ω/Km

วัดระหว่างลวดตัวนำและลวดตัวนำกับดินที่ไฟ DC 500 Volts

- ค่า Capacitance เหนียวน้ำ

ค่าที่วัดได้จะต้องไม่มากกว่าค่าที่กำหนดในตารางเมื่อวัดที่ 1,000 Hz

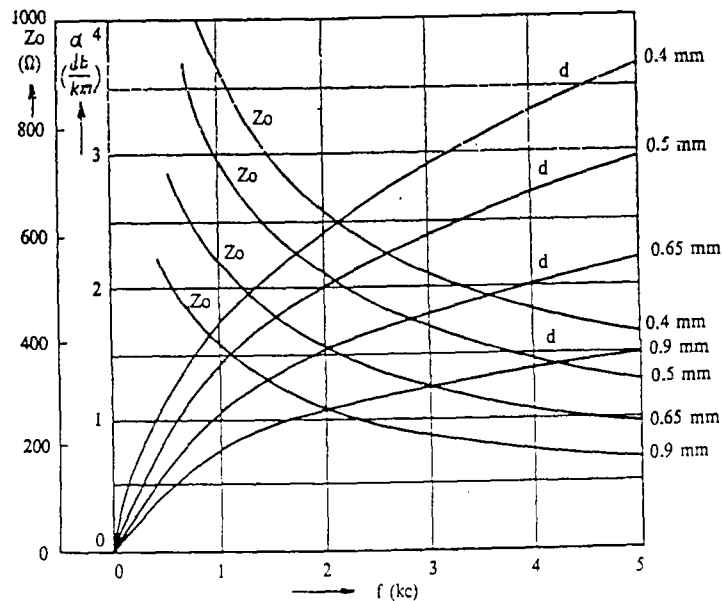
- ค่าไม่สมดุลของ Capacitance

ค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดของความไม่สมดุลวัดที่ความถี่ 1,000 Hz

ระหว่างคู่สายที่อยู่ใน Quad เดียวกัน จะต้องไม่ค่าไม่มากกว่าค่าที่กำหนด

4.2.7.4 คุณสมบัติสายส่ง

ในภาพประกอบ 70 เป็นค่า Impedance และค่า Attenuation



ภาพประกอบ 70 แสดงคุณสมบัติของสายส่ง

4.2.8 Jelly Filled Cable

เมื่อน้ำซึมเข้าไปในสายพลาสติกเคเบิลน้ำ จะสามารถซึมผ่านช่องว่างของสายเคเบิลไปได้ตลอดสาย และถ้าปล่อยไว้เป็นเวลานาน ๆ ก็จะทำให้เกิดรูเล็กขึ้นที่ฉนวน ซึ่งจะทำให้คุณภาพของสายส่งเสื่อมสภาพลง เช่นค่าความต้านทานของฉนวนต่ำลง สัญญาณสูญเสียไปในสายส่งมาก เกิดเสียงรบกวนต่าง ๆ และทำให้ฉนวนเกิดการสึกกร่อน และยากที่จะทำให้สายแห้งได้ การอัดแกสเข้าไปในสายเคเบิลสามารถที่จะป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปในสายได้ แต่ก็จะเป็นการยากที่จะอัดแกสเข้าไปในสายเคเบิลขนาดเล็กอย่างเช่นสายเคเบิลปลายทาง เพราะสายขนาดเล็กจะมีแรงต้านทานการไหลของแกสสูง และยังเป็นปัญหาที่แกสไหลไม่ติดต่อกัน ในการแก้ปัญหาที่มีอยู่สองวิธีซึ่งจะมีผลไม่ให้อายุการใช้งานของสายเสื่อมสภาพเมื่อน้ำเข้าไป และอีกวิธีหนึ่ง เมื่อน้ำเข้าไปก็มิให้ผ่านเข้าไปตลอดสาย วิธีแรกคือทำให้ฉนวนมีความหนาขึ้น แต่ในการผลิตสายจะต้องใช้เทคนิคมากและมีราคาแพง ในระบบงานการติดตั้งก็ไม่แน่ว่าจะเกิดความบกพร่องขึ้นกับสายหรือไม่ ประการหลังก็โดยการอัดสารประกอบเข้าไปในช่องว่างของสายเคเบิล ซึ่งสารดังกล่าวนี้มีคุณสมบัติต้านทานการไหลของน้ำไม่ให้น้ำซึมผ่านตลอดสาย จากการทดลอง เมื่อเกิดรูรั่วขึ้นกับเปลือกหุ้มสาย น้ำสามารถที่จะซึมผ่านไปได้ประมาณ 6 เมตร เท่านั้น ซึ่งถ้าพิจารณาในเรื่องการผลิตสาย ราคาและความเชื่อถือแล้ว วิธีการที่สองจึงถูกนำมาใช้ในปัจจุบัน

4.2.8.1 คุณสมบัติของสารประกอบ

- จะต้องไม่ทำให้คุณสมบัติของ Polyethylene เสื่อมสภาพลง
- จะต้องไม่มีความต้านทานทางไฟฟ้าสูงและไม่เสื่อสภาพทางไฟฟ้า
- ย่อยต่อการโค้งงอในขณะวางสายไม่ว่าอุณหภูมิจะสูงหรือต่ำ
- จะต้องไม่เหนียวมากและสามารถล้างออกได้ง่ายขณะทำการต่อสาย
- ราคาถูกและสามารถหาได้ง่ายในท้องตลาด

สาย J.F เคเบิล ส่วนมากแล้วจะใช้วางเป็นสายเคเบิลใต้ดิน (สายเคเบิลปลายทาง) การอัดสารประกอบนั้นทำในขบวนการผลิตขั้นตอนของการพันเกลียว (Stranding Process) เปลือกหุ้มสายนั้นจะเป็นแบบ P, Alpeth, LAP และคุณสมบัติทางไฟฟ้านั้นใกล้เคียงกับสายพลาสติกทั่ว ๆ ไป

4.2.9 Armored Cable

สายเคเบิลที่ออกแบบไว้สำหรับรับแรงกระทำจากภายนอก ซึ่งจะมีวัสดุป้องกันหลายชั้นเพื่อความคงทนแข็งแรง สายประเภทนี้จะออกแบบใช้งานเป็นสายเคเบิลใต้ดินโดยไม่ได้วางไว้ในท่อร้อยสาย สาย Armored นี้จะมีสองแบบคือ แบบใช้เทปแผ่นเหล็กพันรอบเปลือกหุ้มสาย (Steel Tape Armored Cable) และแบบเส้นลวดเหล็กหุ้ม (Wire Armored Cable) แบบเส้นลวดเหล็กหุ้มจะทนแรงดึงหรือแรงกดได้มากกว่าแบบเทปแผ่นเหล็ก

4.2.9.1 ส่วนประกอบของวัสดุที่ใช้เป็นเกราะป้องกัน

- Steel Tape Armored

แบบแผ่นเทปเหล็ก : เชือกป่านชุบสารเคมี สารประกอบ Asphalt และน้ำยาปูนขาว

- Wire Armored

ส่วนประกอบเหมือนกับ Steel Tape Armored ผิดกันตรงที่สาย Wire Armored นั้นมีเส้นลวดเหล็กเป็นเกราะป้องกัน ดังแสดงในภาพประกอบ สายประเภทนี้จะใช้วางในบริเวณที่ต้องการความคงทนของสายสูง เช่นวางในแม่น้ำ ทะเลสาบ ในท้องทะเล (เข็มทอง นัมศิริ. 2536. หน้า 15-34)

4.3 อาร์เอส - 449 (RS-449)

เป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์รับส่งปลายทาง (DTE) กับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล (DCE) เพื่อใช้ในการส่งทอดข้อมูลไปนรีแบบอนุกรมโดยที่มาตรฐานการเชื่อมต่อของ RS-449 ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้แทนมาตรฐาน RS-232 ในกรณีที่ต้องการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูง ตามมาตรฐานของ RS-449 สามารถที่จะส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงถึง 2 เมกะบิตต่อวินาที ด้วยการใช้สายเคเบิล SWG เบอร์ 24 ที่มีความยาว 200 เมตรเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์รับส่งปลายทาง (DTE) กับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล (DCE) เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน RS-449 กับมาตรฐาน RS-232 แล้ว มาตรฐาน RS-449 มีฟังก์ชันเพิ่มขึ้น 10 ฟังก์ชันได้แก่

4.3.1 ฟังก์ชันที่ทำหน้าที่ควบคุมและทดสอบฟังก์ชันใน DCE

4.3.1.1 Local Loopback หรือ LL.

4.3.1.2 Remote Loopback หรือ RL.

4.3.1.3 Test Mode หรือ TM

4.3.2 ฟังก์ชันที่ทำหน้าที่ควบคุมและทดสอบฟังก์ชันใน DCE เพื่อสนับสนุนระบบการสื่อสารข้อมูล

4.3.2.1 Select Standby หรือ SS

4.3.2.2 Standby Indicator หรือ SB

4.3.3 ฟังก์ชันที่ทำหน้าที่ควบคุมการเลือกความถี่ในการรับส่งข้อมูล

4.3.3.1 Select Frequency หรือ SF

4.3.4 ฟังก์ชันที่บอกให้ทราบว่าอุปกรณ์ปลายทางโดยอยู่ในกลุ่มที่ให้บริการ

4.3.4.1 Terminal in Service หรือ TS

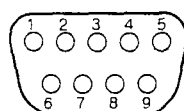
4.3.4.2 New Signal หรือ NS

4.3.5 ฟังก์ชันที่ให้บริการสัญญาณกราวด์ทางด้านรับและส่ง

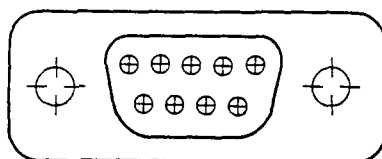
4.3.5.1 Send Common หรือ SC

4.3.5.2 Receive Common หรือ RC

สำหรับคุณสมบัติทางกลของมาตรฐาน RS-449 ได้กำหนดให้ใช้เต้าเสียบ เป็นการใช้เต้าเสียบแบบไพรมารี (Primary) มีจำนวนเข็ม 9 เข็มและแบบเป็นการใช้เต้าเสียบแบบเซคันดารี (Secondary) มีจำนวนเข็ม 9 เข็ม ดังแสดงในภาพประกอบ 71 เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางไฟฟ้าแล้ว วงจรแลกเปลี่ยนข้อมูลตามมาตรฐาน RS-449 จะครอบคลุมการใช้งานของมาตรฐาน RS-422A และ RS-423A ดังแสดงในภาพประกอบ 71 RS-423 เป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อที่ใช้การรับส่งสัญญาณไฟฟ้าแบบไม่สมดุล ซึ่งเหมือนกับคุณสมบัติทางไฟฟ้า RS-232 แต่สามารถใช้ความเร็วในการแลกเปลี่ยนข้อมูลได้สูงขึ้นถึง 100 กิโลบิตต่อวินาที โดยใช้สายเคเบิล SWG เบอร์ 24 ที่มีความยาว 12 เมตร ในทางตรงกันข้าม RS-422 เป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อที่ใช้การรับส่งสัญญาณแบบสมดุล ซึ่งแต่ละสัญญาณที่ส่งไปบนสายนำสัญญาณจะมีความสมบูรณ์ของวงจรไฟฟ้า เทคนิคนี้จะมีกระแสไฟฟ้าในสายนำสัญญาณไหลสวนทางกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายกราวด์ ทำให้สามารถใช้ความเร็วในการเลือกเปลี่ยนข้อมูลได้สูงถึง 10 เมกะบิตต่อวินาที ด้วยการใช้สายเคเบิล SWG เบอร์ 24 ที่มีความยาว 120 เมตร



(1) แบบไพรมารี มีจำนวนเข็ม 9 เข็ม



(2) แบบเซคันดารี มีจำนวนเข็ม 9 เข็ม

ภาพประกอบ 71 ลักษณะของเต้าเสียบที่ใช้ในการเชื่อมต่อทางกายภาพมาตรฐานของ อาร์เอส-449

ตาราง 8 แสดงการเปรียบเทียบหน้าที่ของเข็มตามมาตรฐาน

EIA RS-232C, EIA RS-449 และ ITU-T V.24

DET/DCE	EIA RS-449		EIA RS-232C		ITU-T Rec. V.24	
-	SG	Signal Ground	AB	Signal Ground	102	Signal Ground
	SC	Send common			102a	DTE Common
	RC	Receive Common			102b	DGE Common

ตารางที่ 8 (ต่อ)

DET/DCE	EIA RS-449		EIA RS-232C		ITU-T Rec. V.24	
-	IS	Terminal in Service				
-	IC	Incoming Call	CE	Ring Indicator	125	Calling Indicator
-	TR	Terminal Ready	CD	Data Terminal Ready	108/2	Data Terminal Ready
-	DM	Data Mode	CC	Data Set Ready	107	Data Set Ready
-	SD	Send Data	BA	Transmitted Data	103	Transmitted Data
-	RD	Receive Data	BB	Received Data	104	Received Data
-	TT	Terminal Timing	DA	Transmitter Signal Element Timing (DTE Source)	113	Transmitted signal Element Timing (DTE Source)
-	ST	Send Timing	DB	Transmitter Signal Element Timing (DEC Source)	114	Transmitter Signal Element Timing (DEC Source)
-	RT	Receive Timing	DD	Receiver Signal Element Timing	115	Receive Signal Element Timing (DEC Source)
-	RS	Request to Send	CA	Request to Send	105	Request to Send
-	CS	Clear to Send	CB	Clear to Send	106	Ready for Sending
-	RR	Receiver Ready	CF	Received Line Signal Detector	109	Data Channel Received Line Signal Detector
-	SQ	Signal Quality	CG	Signal Quality Detector	110	Data Signal Quality Detector
-	NS	New Signal				
-	SF	Select Frequency			126	Select Transmit Frequency
-	SR	Signaling Rate Selector	CH	Data Signal Rate Selector (DTE Source)	111	Data Signaling Rate Selector (DTE Source)
-	SI	Signaling Rate Indicator	CI	Data Signal Rate Selector (DCE Source)	112	Data Signaling Rate Selector (DCE Source)
-	SSD	Secondary Send Data	SBA	Secondary Transmitted Data	118	Transmitted Backward Channel Data
-	SRD	Secondary Receive Data	SBB	Secondary Received Data	119	Received Backward Channel Data
-	SRS	Secondary Request to Send	SCA	Secondary Request to Send	120	Transmit Backward Channel Line Signal
-	SCS	Secondary Clear to Send	SCB	Secondary Clear to Send	121	Backward Channel Ready

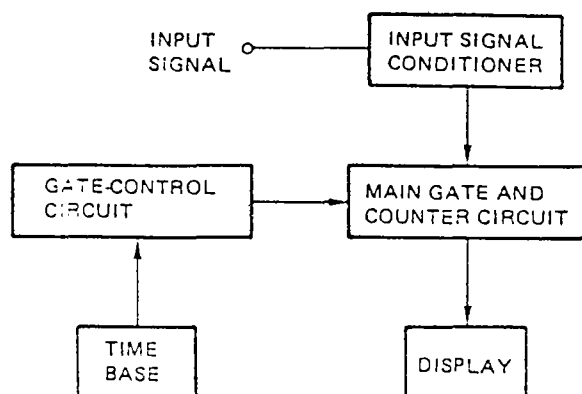
ตารางที่ 8 (ต่อ)

DET/DCE	EIA RS-449		EIA RS-232C		ITU-T Rec. V.24	
-	SRS	Secondary Request to Send	SCA	Secondary Request to Send	120	Transmit Back ward Channel Line Signal
-	SCS	Secondary Clear to Send	SCB	Secondary Clear to Send	121	Backward Channel Ready
-	SRR	Secondary Receiver Ready	SCF	Secondary Received Line Signal Detector	122	Backward Channel Received line Signal Detector
-	LL	Local Loopback			141	Local Loopback
-	RL	Remote Loopback			140	Remote Loopback
-	TM	Test Mode			142	Test Indicator
-	SS	Select Standby			116	Select Standby
-	SB	Standby Indicator			117	Standby Indicator

(ประสิทธิ์ ทิมพุด. 2539 : 69-72)

4.4 เครื่องนับความถี่ (Frequency Counters)

เครื่องนับความถี่นั้นจะวัดความถี่ด้วยการเปรียบเทียบความถี่ที่รู้ค่ากับความถี่อินพุต และเครื่องนับความถี่ทุก ๆ เครื่องนั้นประกอบด้วยส่วนหลักๆ ดังนี้ วงจรฐานเวลา (Time base) ส่วนปรับสถานะของสัญญาณอินพุต (Input Signal Conditioner) วงจรควบคุมเกท (Gate-Control Circuit) เมนเกท (Main Gate) วงจรนับ (Counter) ส่วนแสดงผล (Display) ซึ่งได้แสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมภาพประกอบ 73 สำหรับภาคปรับสถานะสัญญาณอินพุตนั้น จะมีหน้าที่คือจะเปลี่ยนสัญญาณอินพุตให้มีรูปคลื่นและขนาดเข้ากับวงจรนับของเครื่องนับความถี่ได้ และจะส่งสัญญาณที่ถูกปรับสถานะแล้วนี้ไปยังภาคเมนเกท ซึ่งจะเป็นเสมือนประตูก่อนเข้าวงจรนับในขณะที่วงจรถฐานเวลาก็ได้สร้างสัญญาณควบคุมป้อนให้กับวงจรควบคุมเกท โดยที่สัญญาณที่ออกจากวงจรถฐานเวลาจะพอดีกับสัญญาณที่ถูกวัดเข้ามายังเมนเกท โดยจะมีวงจรควบคุมเกทเป็นเสมือนคนเปิด-ปิดประตู โดยมีสัญญาณจากวงจรถฐานเวลาเป็นคนสั่ง และวงจรควบคุมเกทนี้ยังเก็บสัญญาณจากวงจรถฐานเวลาไว้จนกระทั่งครบช่วงการนับในแต่ละสัญญาณที่ถูกวัด และเมื่อมีสัญญาณอินพุตเข้ามาใหม่ก็จะทำการลบสัญญาณจากฐานเวลาเดิมนี้ไป และสำหรับวงจรนับจะทำการเก็บจำนวนของพัลส์ที่ผ่านเมนเกทไว้ทั้งหมดและถูกส่งออกไปแสดงผลยังส่วนแสดงผล (Display) ซึ่งส่วนแสดงผลนี้จะมีหลายชนิดแต่ที่พบเห็นได้บ่อยๆ คือ ชนิด Gas Discharge Tubes , ชนิด Light Emitting Diode Displays และ Liquidcrystal Displays



ภาพประกอบ 72 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องนับอิเล็กทรอนิกส์

เครื่องนับอิเล็กทรอนิกส์เป็นอุปกรณ์ชิ้นหนึ่งที่มีใช้ในท้องตลาด แต่ในปัจจุบันจะใช้ในโรงงานซ่อมบำรุงทางอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ สถานีวิทยุ และบนสายผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมเหตุผลที่ใช้ IC ในการทำเครื่องนับก็เพื่อให้ขนาดของตัวเครื่องเล็กลง และราคาก็จะต่ำลงในขณะที่มีความแม่นยำ เสถียรภาพ ความเชื่อถือ และช่วงความถี่สูงขึ้น (สมคิด วิริยะประสิทธิ์ชัย และคณะ. ม.ป.ป. : 176 -178)

5. เกณฑ์ของระบบสื่อสารโทรคมนาคมนานาชาติ (ITU-T)

สหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ (International Telecommunication Union - Transmission.ITU-T) เป็นหน่วยงานหนึ่งขององค์การสหประชาชาติ ซึ่งทำหน้าที่ให้คำแนะนำหรือให้คำปรึกษา และกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับการสื่อสารโทรคมนาคมระหว่างประเทศ สำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ที่กรุงเจนีวา ซึ่งเป็นหน่วยงาน The International Telegraph and Telephone Consultative Committee (CCITT) มีหน้าที่ให้คำแนะนำและกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับการสื่อสารทางสาย เช่น โทรเลข โทรศัพท์ หน่วยงานทั้งสี่นี้ อยู่ภายใต้การควบคุมของสภามติ ซึ่งประกอบด้วยสมาชิก 25 ประเทศ การประชุมระหว่างส่วนงานต่างๆ จัดให้มีขึ้นปีละ 1 ครั้ง เพื่อประสานงานกัน และทุกๆ 4 ปี จะมีการประชุมนานาชาติ เพื่อพิจารณาปัญหาต่างๆ เช่น วิทยาการของเทคโนโลยีสมัยใหม่ลักษณะของการบริการอัตราการจัดเงินค่าบริการ (ธวัชชัย เลื่อนฉวี. 2533 : 29-30)

5.1 เกณฑ์ของระบบสื่อสารสัญญาณ 2.048 Mbit/s

Frame Format สำหรับระบบ PCM นั้นจะขึ้นอยู่กับวิธีการของ Frame Synchronism และการจัดหาสัญญาณ Signalling Bit ซึ่งในปัจจุบันมีสองระบบใหญ่ๆ คือ

5.1.1 ระบบ CEPT-32 หรือ (E1) เป็นระบบยุโรป ใช้ช่องสัญญาณในการรับส่งข่าวสารข้อมูลกันได้ 30 ช่อง ในกรณีที่ใช้เป็นแบบ CAS. (Channel Association Signalling) และใช้ได้ 31 ช่อง เมื่อใช้เป็นแบบ CCS. (Common Channel Signalling) ที่ 8 Bit Speed Code และมี Digital Bit เท่ากับ 2.048 Mbit/s Frame Format เป็นตามข้อแนะนำตาม ITU-T G.703 ดังแสดงในภาพประกอบ 73 และภาพประกอบ 74 ในระบบนี้มี 32 Time Slot คือ Time Slot 0-31 โดยแบ่งเป็น

5.1.1.1 Time Slot 0 ของ Frame ที่ 0 (FO) มี Format ดังนี้คือ "C0011011" Bit แรก "C" ใช้สำหรับส่ง Cyclic Redundancy Check (CRC BIT) กรณีที่ไม่ใช้จะ Fixed เป็น "1" ส่วน

อีก 7 Bit ใช้สำหรับส่งสัญญาณ Frame Alignment Signal “0011011” และ Timeslot 0 ของ Frame ที่ 1 (F1) ใช้เป็น Non Frame Alignment Signal (NFAS) ซึ่งใน MUX แต่ละบริษัทก็มีรูปแบบการใช้งานที่แตกต่างกันบ้างเล็กน้อย

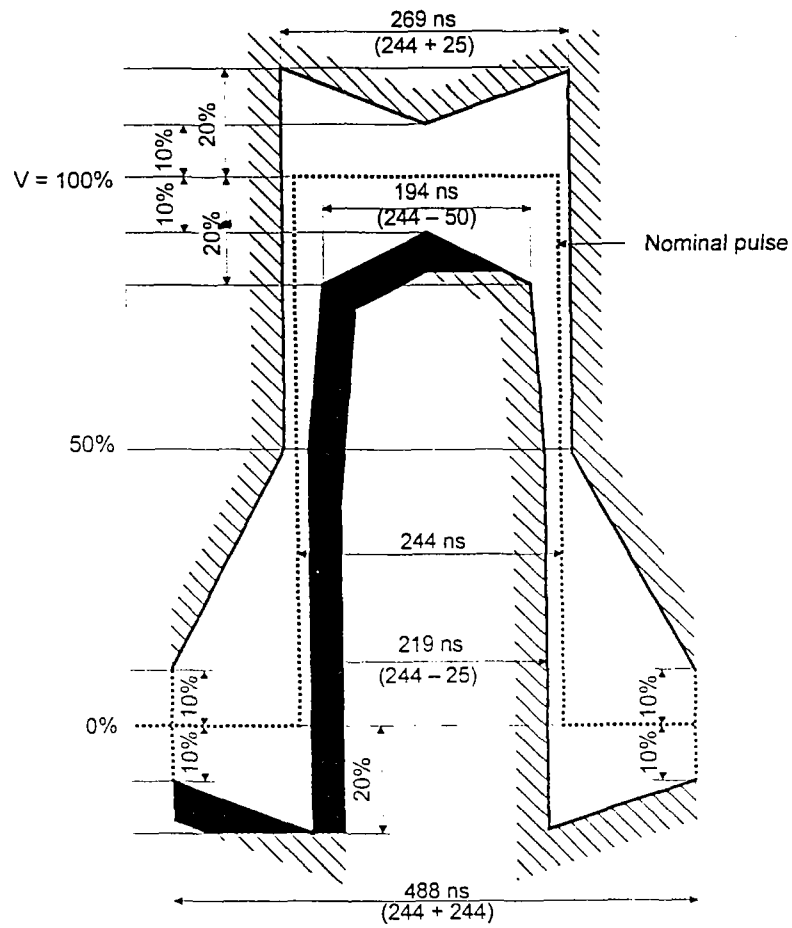
5.1.1.2 Time Slot ที่ 16 ใช้ต่างกัน 2 ลักษณะ คือ ถ้าเป็น Frame 0 (F0) Time Slot นี้จะใช้สำหรับส่ง Multiframe Alignment Signal (MFAS) (00001A11) โดย Bit A ใช้สำหรับส่ง Remote End Multiframe Alarm ปกติเป็น “0” Alarm เป็น “1” แต่ถ้าเป็น Frame ที่ 1 ถึง Frame 15 Time Slot นี้ใช้เป็น Signalling Information สำหรับ 2 ช่อง โทรศัพท์ (ในกรณีที่ใช้งานแบบ (CAS) แต่ละช่องใช้ 4 Bit (a,b,c,d) หากไม่ใช่อื่นอย่างอื่นใช้เพียง Bit b อันเดียวในการส่ง M ก็พอ แต่ถ้าไม่ใช้งาน Signalling bit ให้ตั้ง a = 1, b = 1, c = 0, d = 1 ดังแสดงในภาพประกอบ 74

5.1.1.3 MUX Nokia มีรูปแบบการใช้งานเป็น “(C1A00000)” โดยที่ “C” คือ CRC Bit, “1” เป็น Frame Alignment Signal. “A” เป็น Remote End Alarm ปกติ “0 : Alarm “1” และ 5 Bit ที่เหลือใช้เป็น Data Bit On National Connection คือใช้ส่งสัญญาณ Remote Control เพื่อควบคุม Mux ปลายทางอีกด้านหนึ่ง

5.1.1.4 MUX NEC มีรูปแบบการใช้งานเป็น “(11AXY11Z)” โดยที่ “A” เป็น Remote End Alarm ปกติ “0” Alarm “1”, (X,Y) เป็น Remote Loopback Signal (11:OFF,00:ON) และ “Z” เป็น Maintenance Remote Station

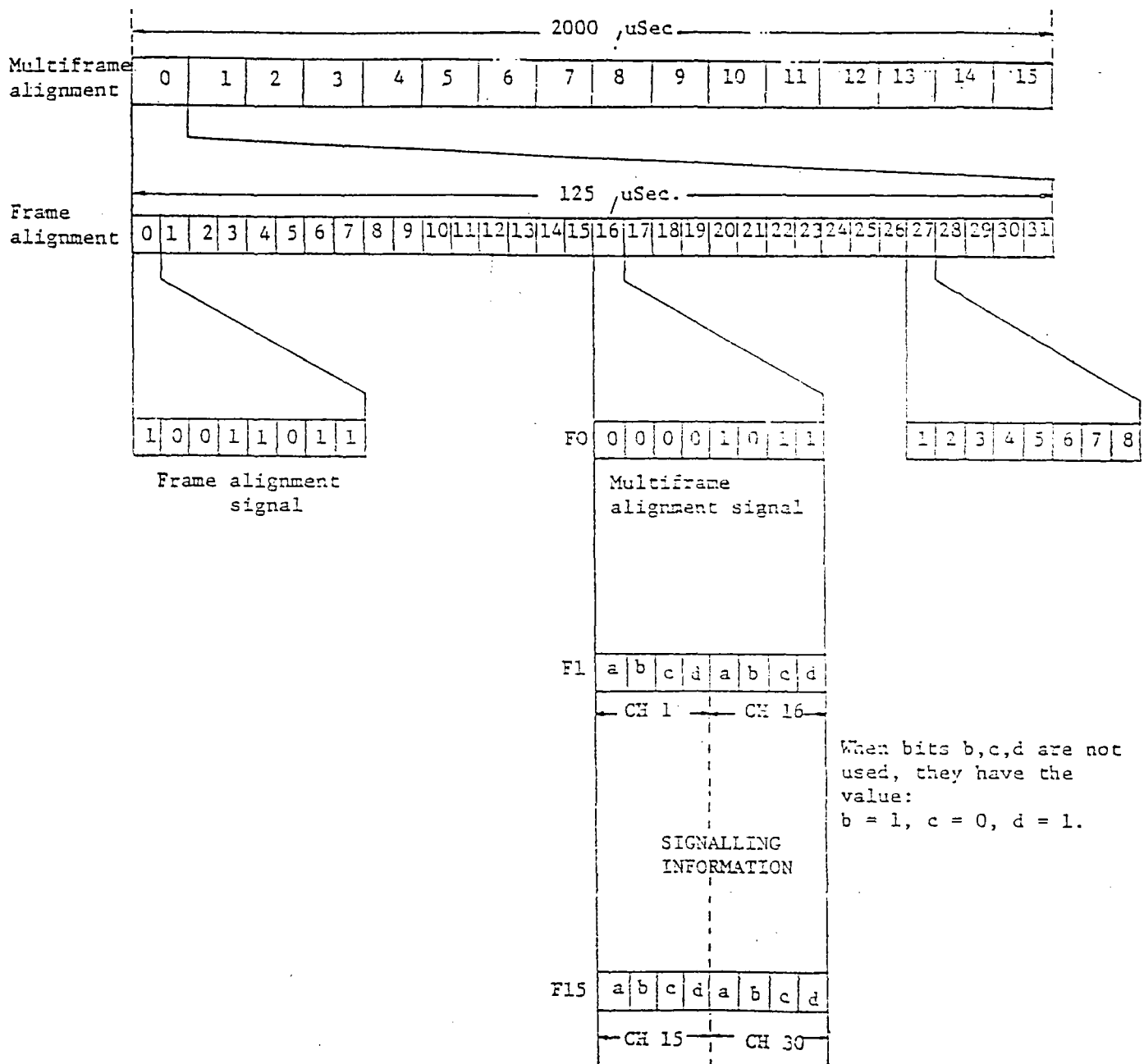
5.1.2 เกณฑ์ของระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ Interface เป็นไปตามข้อแนะนำตาม ITU-T G.703 ดังนี้

- 5.1.2.1 อัตราความเร็วของการส่งในสายสูงสุด $2.048 \text{ Mb/s} \pm 50 \text{ ppm}$
- 5.1.2.2 อัตราความเร็วสูงสุดในการส่งข้อมูล $2.048 \text{ Mb/s} \pm 50 \text{ ppm}$
- 5.1.2.3 รหัสของการส่งสัญญาณของสาย เอชดีบี-3
- 5.1.2.4 ค่าความต้านทานในสาย 75 โอห์ม ร้อยละ 5 / 120 โอห์ม ร้อยละ 5
- 5.1.2.5 ค่าแรงดันสูงสุดในขณะทำงานปกติ 2.14-2.60 โวลต์
- 5.1.2.6 ค่าแรงดันสูงสุดในขณะที่ไม่มีการทำงาน -0.237 ถึง +0.237 โวลต์
- 5.1.2.7 ความกว้างของพัลส์ปกติ 219-269 เอ็มเอส ดังภาพประกอบ 73
- 5.1.2.8 อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและต่ำสุด 0.95-1.05
- 5.1.2.9 อัตราความสูญเสียของสัญญาณที่ความถี่ 1024 kHz 0-6 dB
- 5.1.2.10 การสูญเสียย้อนกลับที่ความถี่ 1024 kHz $\geq 18 \text{ dB}$
- 5.1.2.11 จำนวนของการสูญเสียสายเคเบิล 4 เส้น
- 5.1.2.12 ค่าเฉลี่ยกำลังขาออก 13 - 14 dBm
- 5.1.2.13 ค่าสูญเสียของการสูญเสีย 38 dB @ 150 kHz
- 5.1.2.14 ค่าความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสตรงของการสูญเสีย 135 โอห์ม



T1818840-9

ภาพประกอบ 73 ความกว้างของพัลส์ปกติ 219-269 เอ็มเอส



ภาพประกอบ 74 2.048 Mbit/s Frame Structure

5.2 เกณฑ์ของ High Density Bipolar (HDB - 3)

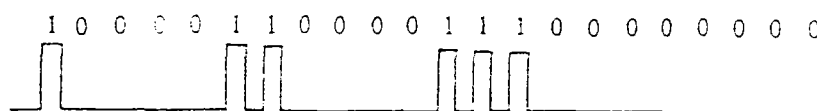
เมื่อข้อมูลถูกส่งไปในสายส่งเป็นระบบ PCM แล้ว อาจเกิดกรณีที่ขบวนพัลส์เป็น 0 ต่อเนื่องกันนานเกินไปซึ่งจะเป็นผลทำให้ทางด้านรับไม่สามารถจะตั้งเวลาเพื่อใช้ในการ: b'F8iwo:Hwfh หรือไม่สามารถจะแยกความถี่ Clock ออกมาจากข้อมูลที่ส่งมาได้ จึงใช้รหัส HDB-3 เพื่อแก้ปัญหานี้โดยการจำกัดจำนวน 0 ที่ต่อเนื่องกันนานๆ ให้เหลือเพียง 3 บิตแล้วส่ง 1 ตามไปในบิตถัดมาอย่างไรก็ตาม รหัส HDB-3 มีกฎเกณฑ์ในการสร้างตามขั้นตอนต่อไปนี้

5.2.1 สมมติว่าสัญญาณไบนารีแบบยูนิโพลาร์เป็นไปตามภาพประกอบ 75 (1) ก่อนอื่นเปลี่ยนสัญญาณนี้ให้เป็นรหัสตามกฎของ AMI คือพัลส์ลูกต่อไปจะมีขั้วสลับกับของพัลส์ที่มาก่อน ดังแสดงในภาพประกอบ 75 (2)

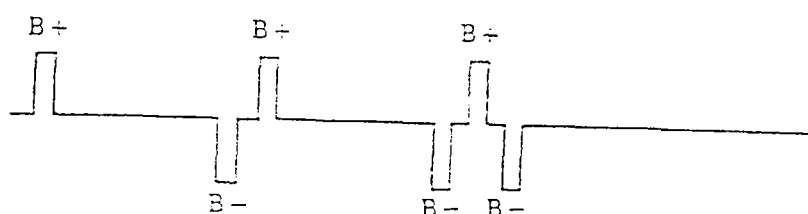
5.2.2 กรณีที่สัญญาณไบนารีเดิมเป็น 0 หรือเรียกว่า Space ในการสร้างรหัส HDB-3 นั้น ยังคงให้เป็น Space แต่ถ้า Space ต่อเนื่องกัน 1 ช่วง (String) มี 4 บิตหรือมากกว่า ต้องทำให้บิตที่ 4 เป็น 1 หรือ Mark เสมอ สำหรับขั้วของพัลส์ที่ใส่ลงไปต้องมีลักษณะที่ผิดกฎของ AMI ซึ่งพัลส์เหล่านั้นแสดงไว้ในภาพประกอบ 75 (3) และ ด้วย $V+$ และ $V-$ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขั้วของพัลส์

5.2.3 การใส่พัลส์เพิ่มลงไปนี้จะทำให้ Space ที่ยาวนานนั้นสั้นลง แต่ในขณะเดียวกันต้องคำนึงว่าจะต้องไม่มีองค์ประกอบ DC ปนอยู่ ดังนั้น พัลส์ที่ใส่ลงไปจะต้องมีขั้วที่เป็นไปตามกฎของรหัส AMI กล่าวคือเมื่อพัลส์แรกเป็น $V-$ ก็ต้องตามด้วย $V-$ หรือในทางตรงกันข้าม

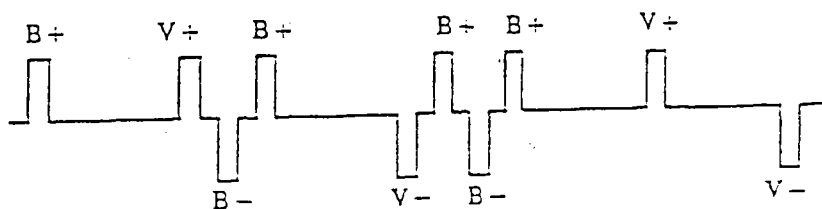
5.2.4 ในบางกรณี สัญญาณไบนารีเดิมที่เป็น 1 ซึ่งแสดงไว้ด้วย $B+$ หรือ $B-$ และสัญญาณพัลส์ที่ใส่ลงไปคือ $V+$ หรือ $V-$ นั้น อาจมีขั้วตรงกันข้ามกันซึ่งเป็นการผิดกฎข้อ (2) ในกรณีเช่นนี้ที่ Space แรกของช่วงจะใส่ Mark ซึ่งมีขั้วเหมือนกับ $V+$ หรือ $V-$ ในช่วงเดียวกันทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าพัลส์ $V+$ หรือ $V-$ ไม่ใช่ไบนารีพัลส์เดิมพัลส์ที่ใส่เพิ่มนี้แสดงด้วย $V1+$ หรือ $V1-$ ดังภาพประกอบ 75 (4) (ITU-T Recommendation G.700-G.795. 1993 : 1-61)



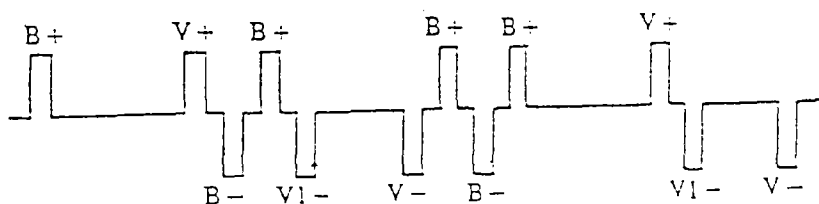
(1) ขบวนพัลส์ยูนิโพลาร์เดิม



(2) พัลส์ AMI



(3) พัลส์ AMI ที่ใส่ไว้โอเลชั่น V หลังจากมี 0 ต่อเนื่อง 3 บิต



(4) ผลครั้งสุดท้ายของรหัส HDB-3

ภาพประกอบ 75 ความสัมพันธ์ระหว่างรหัส AMI และ HDB-3

6. เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยมีส่วนสำคัญต่อการพัฒนาอุปกรณ์และเครื่องมือ ขึ้นมาใช้ในประเทศไทยซึ่งมีผู้วิจัยและพัฒนาขึ้นมาโดยอาศัยขั้นตอนการวิจัยและการพัฒนาในส่วนที่เกี่ยวข้องกับผู้วิจัยดังนี้

กฤษฎา โพธิ์ศิริสุข และคณะ (2535 : 82-83) การสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิ 16 ช่องสัญญาณ มีขั้นตอนการดำเนินงาน ซึ่งจะต้องศึกษาปัญหาที่จะเกิดขึ้นแล้วนำปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นมาทำการศึกษาค้นสมบัติอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งประกอบด้วยวงจรฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ ส่วนฮาร์ดแวร์ทำหน้าที่เป็นวงจรอินเตอร์เฟซกับคอมพิวเตอร์ ได้แก่ แปลงลอจิกเลขฐานสิบหกให้เป็นระดับแรงดัน หรือกระแสป้อนให้อุปกรณ์ที่นำมาทดสอบ พร้อมกับการส่งข้อมูลเป็นลอจิกโดยใช้ไมโครคอลโทลเลอร์เบอร์ 8051 ป้อนกลับเข้าคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางพอร์ตสื่อสารอนุกรม ในส่วนของซอฟต์แวร์ซึ่งเขียนด้วยภาษาแอสเซมบลี จะทำหน้าที่ควบคุมฮาร์ดแวร์ ส่งและรับข้อมูล ซึ่งแสดงผลการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์และจอแอลซีดี

ฉัตรชัย วงกตศิลา และพงษ์ศักดิ์ ทศนสุนทรวงศ์ (2537) ได้สร้างเครื่องตรวจสอบคุณสมบัติอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งประกอบด้วยวงจรฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ ส่วนฮาร์ดแวร์ทำหน้าที่เป็นวงจรอินเทอร์เฟซ กับคอมพิวเตอร์ ได้แก่การแปลงลอจิก ให้เป็นระดับแรงดัน หรือกระแสทางพอร์ตสื่อสารอนุกรม ในส่วนของซอฟต์แวร์ซึ่งเขียนด้วยภาษาแอสเซมบลี จะทำหน้าที่ควบคุมฮาร์ดแวร์ ส่งและรับข้อมูล ซึ่งแสดงผลการทดสอบ เป็นรูปภาพคุณสมบัติ ของแรงดันและกระแสบนจอภาพความสามารถของเครื่องทดสอบในการจ่ายแรงดันได้สูงสุด ± 10 โวลต์ และกระแส ± 100 มิลลิแอมป์ สามารถปรับเปลี่ยนให้มีขนาดลดลงได้ ทั้งทางฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์

ยงยุทธ วิฑูรวิธานต์ (2541 : 100-103) ได้ทำการศึกษาค้นคว้าเพื่อออกแบบและการสร้างชุดเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์และทำการเปรียบเทียบผลการวัดค่ากระแสคอนเล็กเตอร์ ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดทรานซิสเตอร์ที่สร้างขึ้นกับค่ากระแสคอนเล็กเตอร์ที่วัดได้ จากเครื่องเขียนกราฟลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำโดยใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BD 139 ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็น พี เอ็น ทำการวัดหาค่ากระแสคอนเล็กเตอร์ที่ค่าแรงดันคอลเล็กเตอร์-อีมีเตอร์ 0-15 โวลต์ โดยจำกัดกระแสเบส เป็น 10 ช่วง

ยงค์ เจริญสมพร และคณะ (2537 : 134-135) ได้ทำการสร้างเครื่องบันทึกอุณหภูมิแบบหลายช่องสัญญาณ ขึ้นมาใช้ จากการทดลองพบว่า แรงดันที่ป้อนจาก Thermo Couple Calibrator เมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่อ่านได้ จะไม่ได้ค่าที่เป็นเชิงเส้น เนื่องจากตารางแรงดันมาตรฐาน จะไม่เป็นเชิงเส้น เมื่อเปลี่ยนเป็นค่าทางดิจิทัล แล้วทำการคำนวณเพื่อแปลงเป็นอุณหภูมิ โดยอาศัยการคำนวณที่ยึดเอาค่า Full Scale ที่ 200°C แรงดันที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิล ชนิด J มีค่าเท่ากับ 10.78 mV ค่าที่อ่านได้จากคอมพิวเตอร์มีค่าเท่ากับ 3525 เพื่อที่จะให้คอมพิวเตอร์แสดงค่าที่อ่านได้เป็น 200°C ในทำนองเดียวกันเทอร์โมคัปเปิลชนิดอื่นๆ ก็จะใช้วิธีการเดียวกัน จากการทดลองพบว่า การออกแบบที่ไม่ดีพอ คือเรื่องกราวด์และวงจรป้องกันสัญญาณรบกวน เนื่องจากใช้แรงดันจ่ายจากคอมพิวเตอร์โดยตรง

คมสันต์ รัตนภรณ์ และคณะ (2538 : 121-122) ได้ทำการสร้างเครื่องการติดต่อข้อมูลแบบขนาน พบว่าในปัจจุบันการใช้งานของ IEEE-488 ในประเทศไทยยังไม่แพร่หลายนัก เนื่องจากข้อมูลและรายละเอียดมีอยู่น้อย โครงการนี้จึงทำการศึกษาคุณลักษณะต่างๆ และการใช้งานของ IEEE-488 โดยการสร้าง Parallel Interface Card และ Software ขึ้นมาเพื่อศึกษารายละเอียดและการทำงาน แต่จากการศึกษาจากวารสารเยอรมันพบว่า IEEE-488 ซึ่งใช้ 8255 เป็น Port I/O มีข้อจำกัดหลายประการ จึงทำการแก้ไขจนมาใช้ μ PD 7210 และ SN75162 ซึ่งทำหน้าที่ Bus Transceiver ผลจากการแก้ไขปรับปรุงวงจร พบว่า Parallel Interface Card สามารถทำงานได้ตามมาตรฐานของ IEEE-488 แต่ Software ที่เขียนขึ้นมานั้นมีข้อจำกัดหลายประการ ทำให้การทำงานร่วมกันของ Parallel Interface Card และ Software มีประสิทธิภาพไม่เทียบเท่ามาตรฐาน IEEE-488 กล่าวคือ สามารถติดต่อเครื่องมือวัดได้เพียงครั้งละ 1 ตัวและการวัดสัญญาณจะต้องมีการสั่ง Trig ทุกครั้ง หน้าจอ Computer จึงแสดงค่าใหม่ ทำให้ไม่เป็น Real Time สำหรับการทดสอบการทำงานของ Parallel Interface Card และ Software กระทำโดยการทดลองใช้เครื่องมือวัด HP 3456A Digital Voltmeter ที่ค่าสัญญาณต่างๆ การติดต่อกับ Digital Voltmeter

พิรุณ ทองอินทร์ และ คณะ นวลเจริญ (2538 : 60) ได้ทำการสร้างเครื่องขยายกำลังส่งคลื่นวิทยุ ในการทดลองพบว่าขณะทำการปรับแต่งเครื่องขยายกำลังส่งคลื่นวิทยุ (RF Power Amplifier) นี้ ทรานซิสเตอร์ขยายกำลังความถี่สูง (Transistor Power Amplifier) ทั้ง 2 ตัวจะพังง่ายที่สุด หากค่ากำลังสะท้อนกลับ (Reflected Power) มากเกินไปจะทำให้ทรานซิสเตอร์ (Transistor) เสียหายทันที ในการเปลี่ยนทรานซิสเตอร์ขยายกำลังความถี่สูง (Transistor Power Amplifier) ใหม่ก็ต้องปรับแต่งตามลำดับขั้นตอนใหม่ ซึ่งในบางครั้งอาจมีการกดคีย์ (Key) วิทยุมือถือที่ใช้ขับ (Drive) บ่อยมาก ทำให้เครื่องร้อนจัด การปรับแต่งเครื่องของกำลังส่งคลื่นวิทยุ (RF Power Amplifier) จะทำให้ค่ากำลังสะท้อนกลับ (Reflected Power) ที่เกิดขึ้นคลาดเคลื่อนไปด้วย จึงควรทำการพักเครื่องชั่วคราว เพื่อให้เครื่องเย็นลงก่อน แล้วจึงค่อยปรับแต่งใหม่ต่อไป แต่ถ้ามีเครื่องส่งแบบสถานีกลาง (Base Station) ก็สามารถกดคีย์ (Key) ได้เลย เพราะเครื่องแบบสถานีกลางฐาน (Base Station) จะมีเสถียรภาพดีกว่า เครื่องขยายกำลังส่งคลื่นวิทยุ (RF Power Amplifier) ที่ได้ทำการทดลองนี้มีปัญหาในการสร้างหลายอย่างทำให้การทดลองลำบากพอสมควร อีกทั้งต้องใช้เทคนิคในการปรับแต่งเครื่อง ซึ่งต้องอาศัยความชำนาญด้วยมิฉะนั้นจะทำให้การหาซื้ออะไหล่เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ เช่น ทรานซิสเตอร์ โดยเฉพาะทรานซิสเตอร์ เบอร์ที่ใช้ในย่านความถี่สูงและคุณภาพดี

หาซื้อได้ยากและราคาแพง ทำให้การทดลองสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากขึ้นก่อนการทดลองจึงควรจัดหาอะไหล่ให้พร้อมก่อนเพราะอาจจะหาอะไหล่ไม่ได้ในท้องตลาด

คณิต พินศรี และคณะ (2539 : 93) ได้ทำการสร้างเครื่องการสื่อสารข้อมูลโดยใช้โมเด็ม ในโครงการนี้ได้ทำการศึกษาและออกแบบสร้างชุด Modem ซึ่งชุด Modem ประกอบด้วยวงจร Modulator, Demodulator และ Band Pass Filter โดยใช้เทคนิคการผสมสัญญาณแบบเปลี่ยนความถี่ หรือ FSK (Frequency Shift Keying) เป็นการผสมสัญญาณอย่างไรไม่ซับซ้อนนัก และสัญญาณรบกวนก็มีผลต่อการรับส่งไม่มากนัก เนื่องจากส่งข้อมูลด้วยความเร็วต่ำ จากการทดลองนั้นเราสามารถนำ Modem ส่งผ่านข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ จากต้นทางไปยังปลายทางได้ไม่ว่าจะเป็นข้อมูล File หรือข้อมูลที่เป็นหน้าต่อหน้า เราพยายามรับส่งข้อมูลผ่านโมเด็มให้เร็วขึ้น แต่มีปัญหาทางเทคนิคในการผสมสัญญาณมีความสลับซับซ้อนมาก จนกระทั่งด้านรับอาจแปลงข้อมูลกลับมาผิดพลาดมากกว่าที่จะได้รับข้อมูลที่ถูกต้อง และทั้งทางด้านรับและด้านส่งจะต้องมีความแม่นยำสูง ทำให้ฮาร์ดแวร์ของโมเด็มซับซ้อนขึ้นไปอีก จึงต้องใช้วงจรฮาร์ดแวร์หลายอย่างเข้าช่วยแก้ปัญหาอันนี้ไม่ว่าจะเป็นวงจรกรองสัญญาณ, วงจรควบคุมระดับสัญญาณอัตโนมัติ รวมถึงวงจรชดเชยสัญญาณความถี่ต่าง ๆ เพื่อให้สัญญาณที่ได้รับปราศจากสัญญาณรบกวน

ชัยยุทธ์ ชันอ้าย และคณะ (2539 : 66-67) ได้สร้างเครื่องสื่อสารข้อมูลความเร็วสูง ในการออกแบบและสร้างนั้นไม่มีปัญหาเกิดขึ้นบ้างก็ในส่วนของ Power Supply $\pm 5V$ ซึ่งไปเป็นไฟเลี้ยงไอซีเกือบทุกตัว อีกทั้งยังต้องจ่ายไฟเลี้ยงคอนโทรลบอร์ด Z-80 CP-A มีปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณ Ripple อีกทั้งเครื่องสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงและให้มีการควบคุมทำงานของทุกๆ ส่วน โดยหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ ปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนจึงเป็นเรื่องใหญ่ จึงได้เพิ่ม C 0.1 μF ต่อระหว่าง V_{CC} และกราวด์ ทั้งนี้เพื่อให้เห็นหน่วยประมวลผลกลางสามารถทำการควบคุมการรับส่งข้อมูลได้อย่างถูกต้องเป็นวัตถุประสงค์หลักของเครื่องสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงนี้ แนวทางการพัฒนาในการออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ของเครื่องได้ออกแบบไว้ เพื่อการพัฒนาในอนาคตข้างหน้า ซึ่งได้แก่ การเลือกใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อ (Connector) แบบ DB -25 ซึ่งมีมาตรฐานใช้งานในการควบคุมมาก เพื่อให้สามารถทำการทดลองปรับปรุงระดับโปรโตคอล (Protocol) ที่ใช้ในเครื่องให้มีระดับสูงขึ้นได้เพื่อประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารข้อมูลที่ดีและทันสมัยยิ่งขึ้น ทั้งนี้ก็ต้องทำการพัฒนาทางด้านซอฟต์แวร์ควบคู่กันไปด้วย

ธราดล ภักดี (2540 : 117-118) ได้สร้างเครื่องหาจุดบกพร่องของสายเคเบิลโดยใช้แรงดันอิมพัลส์ เครื่องหาจุดบกพร่องของสายเคเบิลโดยใช้แรงดันอิมพัลส์ ที่สร้างขึ้นสามารถทำการหาจุดบกพร่องของสายได้ โดยสามารถแสดงผลทาง Oscilloscope และแสดงผลออกมาเป็นตัวเลขโดยการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ 80C535 แล้วแสดงผลออกทาง 7-SEGMENT LED การแสดงผลทาง Oscilloscope นั้น สามารถแสดงรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ให้เห็นได้ด้วย ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าเวลาที่จะนำมาคำนวณหาระยะทางที่เกิด Fault จริง ๆ จึงต้องเอา 2 หารเสียก่อน การปรับปรุงเครื่องหาจุดบกพร่องของสายเคเบิลโดยใช้แรงดันอิมพัลส์ให้ดีขึ้น ผู้ที่สนใจควรปรับปรุงให้สามารถวัดได้ระยะทางที่ไกลมากขึ้น เนื่องจากเครื่องที่ทำในโครงการมีข้อจำกัดของช่วงระยะทางที่สามารถวัดได้ หากระยะทางไกลเกินไป สัญญาณจะเกิดการสูญหายไปหมดทำให้ไม่สามารถวัดได้

ศราวุธ คุ่มไพฑูรย์ และ เจนวิทย์ ทิพย์สิริ (2539 : 53-54) ได้ สร้างเครื่องวัดสัญญาณคลื่นหัวใจ จากผลการทดลองสามารถวัดสัญญาณไฟฟ้าคลื่นหัวใจ และแสดงบนจอมอนิเตอร์ของเครื่องได้ซึ่งในการทดลองจะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของทุกๆ ส่วนของเครื่องโดยเริ่มจากการวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจที่ออกภาคขยายสัญญาณ ECG ซึ่งมีลักษณะคล้ายสัญญาณ ECG มาตรฐานแต่ยังรวมไปด้วยสัญญาณ 50 Hz อยู่มากจากนั้นนำสัญญาณ ECG ที่ออกจากภาคขยายสัญญาณไปทำการ Filter สัญญาณ 50 Hz ออกซึ่ง

เอาต์พุตที่ได้จะมีลักษณะใกล้เคียงสัญญาณ ECG มาตรฐานมากยิ่งขึ้นและสัญญาณนี้พร้อมที่จะไปแสดงผลบนจอมอนิเตอร์เนื่องจากจอมอนิเตอร์ ที่ใช้เป็นจอทีวีซึ่งไม่สามารถรับความถี่ต่ำๆ ของสัญญาณ ECG (ประมาณ 1-2 Hz) ไปแสดงผลบนจอได้จึงต้องนำสัญญาณ ECG ที่ได้มาทำการแปลงให้เป็นความถี่ที่สูงขึ้น โดยกำหนดไว้ที่ 150 เท่าและพร้อมที่จะไปแสดงผลบนจอทีวี จากการทดสอบวัดจริงเปรียบเทียบกับออสซิลอสโคปแบบสตอริจสโคปพบว่าลักษณะของสัญญาณที่แสดงบนจอทีวีของเครื่องแสดงรายละเอียดได้ใกล้เคียงกับสโคปมาก เนื่องจากในขณะทำการทดลองพบว่ามีกรรหูของขาสัญญาณต่าง ๆ หลายจุดและหากทำการรีจอร์จในส่วนนั้นเพื่อเปลี่ยนช็อกเก็ตไอซีซึ่งจะทำให้การเดินสายในส่วนอื่นเสียหายไปด้วย เนื่องจากแผ่นปริ้นท์ที่ใช้ในโครงงานนี้ส่วนใหญ่จะเป็นแผ่นปริ้นเอนกประสงค์เกือบทั้งหมดซึ่งจึงต้องใช้สายไฟเล็กๆ จำนวนมากเดินสายวงจรซึ่งมีการซ้อนทับของสายไฟมาก ดังนั้นเพื่อความสะดวกในขณะทำการทดลองจึงต่อสายเข้าที่ขาไอซีเลยซึ่งวงจรก็ทำงานได้ดีตามปกติเหมือนเดิมทุกประการ

มนตรี อยู่ชัย และ พินพิชฌน์ พิมพ์น้อย (2540 : 96-97) ได้สร้างเครื่องการส่งสัญญาณและเสียงผ่านเคเบิลใยแก้วนำแสง ในการทดลอง พบว่าเมื่อป้อนสัญญาณแบบแบนด์เสียงจากเครื่องเล่นวีดีโอ เทป ผ่านไปในวงจร FM Modulator จะทำให้ความถี่ของวงจร VCO เปลี่ยนแปลงไปตามแอมพลิจูด และความถี่ของสัญญาณเสียงในช่วง 7 Mhz เนื่องจากเอาต์พุตที่ออกมาจากมอดูเลต มีขนาดประมาณ 4 โวลต์ ซึ่งใหญ่เกินไปสำหรับการ Drive ดังนั้นในส่วนรวมสัญญาณภาพและเสียง จะมีการลดทอนให้เหลือน้อยลงเพื่อป้องกันไม่ให้พิคควม ส่วนทางด้านรับวงจรสามารถดีเทคสัญญาณได้ประมาณ 40 mV ซึ่งค่อนข้างต่ำ เมื่อผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ ซึ่งกรองสัญญาณภาพออกจากสัญญาณเสียง จึงต้องผ่านวงจรขยายอีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะออกเอาต์พุต ถ้าเปรียบเทียบกับทางด้านส่งสัญญาณภาพ ที่ได้จะมีคุณภาพต่ำกว่า ส่วนทางด้านเสียงจะต้องมีการขยายสัญญาณ หลังจากดีเทคออกมาแล้วจึงไปผ่านวงจร HPF เพื่อกรองเอาความถี่เสียงแล้วไปเข้าวงจรขยาย และดีมอดูเลตสัญญาณเสียงออกมาแล้ว จึงไม่ผ่านวงจร LPF ที่คัทออฟ 10 KHz ซึ่งจะใช้ความถี่แบนด์ของสัญญาณเสียงโดยจะได้ขนาด 50 mV หลังจากนั้นจะนำสัญญาณเสียงที่ได้ผ่านเข้าช่อง Audio in ของเครื่องรับโทรทัศน์ สำหรับการพัฒนาคอนโทรลนี้สามารถทำได้หลายรูปแบบเช่นใช้ส่งสัญญาณโทรทัศน์ข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ การทำ Multiplex เพื่อการส่งความถี่ได้หลายๆ ช่องสัญญาณ โดยอาจจะมีการมอดูเลตแบบดิจิตอล

สมศักดิ์ ทวีพันธ์ และคณะ (2539 : 75-76) ได้สร้างเครื่องการส่งข้อมูลอัตโนมัติ การทดสอบการทำงานของเครื่องส่งข้อมูลอัตโนมัติ ซึ่งในการทดสอบจะใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ 2 เครื่องโดยให้เครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่งเป็นตัวส่งข้อมูลรหัสแอสกีผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232-C และให้คอมพิวเตอร์อีกเครื่องเป็นตัวแสดงผล ขั้วต่อสายสัญญาณเพื่อรับและส่งข้อมูลอนุกรมผ่าน RS-232-C ด้านที่จะต่อกับเครื่องส่งข้อมูลอัตโนมัติ จะใช้ขั้วต่อแบบ DB9 ส่วนด้านที่ต่อกับคอมพิวเตอร์ที่พอร์ตอนุกรม COM1 จะใช้ขั้วต่อแบบ DB9 หรือ DB25

กานต์ เพชรบูรณ์ และคณะ (2540 : 80) ได้สร้างเครื่องควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านสายโทรศัพท์แบบป้องกันการดักฟัง เครื่องควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านทางโทรศัพท์ ทำให้เราได้ศึกษาเกี่ยวกับระบบโทรศัพท์ขั้นพื้นฐานขององค์การโทรศัพท์ การนำไมโครโปรเซสเซอร์ Z-80 และภาษาแอสเซมบลีไปใช้ในการพัฒนาตัวคอนโทรล เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างถูกต้อง โดยได้มีการนำเอาส่วนของการบันทึกเสียงอัตโนมัติ ควรจัดวงจรให้มีอิมพีแดนซ์ ของวงจรเข้ากับคู่สายมากกว่านี้ ควรลดสัญญาณที่เกิดจากการไม่เข้ากันของวงจร ในส่วนของ สแคมนเบิ้ล ควรเปลี่ยนวิธีการเข้ารหัสสัญญาณไปเป็นแบบ ดิจิตอล เนื่องจากระบบแบบอนาลอก สามารถที่จะแก้การเข้ารหัสได้ง่าย ควรพัฒนาให้ตัวสแคมนเบิ้ล มีขนาดเล็กเพื่อจะได้พกพาได้สะดวกยิ่งขึ้น

สุภัทธ์ เกิดน้อย และ อิดชัน ศรีชัยรัตน์ (2540 : 61) ได้ทำการออกแบบและสร้างการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ 4 ช่องสัญญาณผ่านเส้นใยนำแสง ในการทดลองส่วนของการมัลติเพล็กซ์สัญญาณผ่านใยนำแสง ซึ่งจากการทดลองใช้ สัญญาณทดสอบ 4 ช่องสัญญาณ เพื่อทำการมัลติเพล็กซ์ ปรากฏว่าสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของด้านรับนั้นออกมาตรงกับแชนแนลทั้ง 4 แชนแนลเหมือนกัน ทางด้านอินพุตของด้านส่งโดยไม่มี การกวนกันระหว่างช่อง แต่ขนาดของสัญญาณและลดลงประมาณ 30 เท่า ซึ่งปัญหานี้สามารถจะทำการขยายสัญญาณนี้ให้มีขนาดเหมือนเดิมได้ ปัญหาที่เกิดขึ้นในภาคการศึกษาแรกนั้นมีเรื่องการชิงโครไนซ์ของภาครับที่ทำให้วงจรมัลติเพล็กซ์ไม่สามารถแยกสัญญาณแชนแนลต่าง ๆ กลับมาได้ ซึ่งพบว่าเกิดจากปัญหาของคอนเนคเตอร์ของตัวกำเนิดแสง และของตัวดีเทคแสง ซึ่งทำให้สัญญาณแสงถูกลดทอนลงไปอย่างมาก เนื่องจากการสูญเสียจากการคัปปลิงแสง ทำให้สัญญาณไฟฟ้าที่ถูกดีเทคกลับมาแล้วมีกำลังอ่อนลงไปมาก และผิดเพี้ยนไป ดังนั้นสัญญาณซิงค์ที่ถูกส่งมาด้วยจึงไม่สามารถแยกออกมาได้ทางด้านรับ ซึ่งในภาคการศึกษาที่สองนี้ได้รับคอนเนคเตอร์ของตัวกำเนิดแสงที่สามารถประกอบเข้ากันได้พอดีมาใช้ จึงทำให้ปัญหาการคัปปลิงแสงเข้าไปในเส้นใยแสง ซึ่งส่วนที่ทำให้เกิดการสูญเสียแสงอย่างมากลดลงไป ส่วนการคัปปลิงทางด้านรับนั้นยังใช้คอนเนคเตอร์ตัวเดิมอยู่ซึ่งก็ทำให้เกิดการสูญเสียแสงบ้าง ซึ่งหลังจากนั้นมาทำการทดลองใหม่ปรากฏว่าเมื่อปรับให้เฟส ล็อก ลูป ล็อก ความถี่ได้แล้ว ทางด้านรับก็สามารถจะแยกสัญญาณในช่องต่าง ๆ ออกมาได้ตรงกับด้านส่งแต่จะมีขนาดลดลง ซึ่งก็สามารถขยายให้แรงขึ้น และนำไปใช้งานได้ต่อไป สำหรับสัญญาณเสีย ด้านรับสามารถดีมอดูเลตกู้สัญญาณกลับมาได้ แต่สัญญาณมีการผิดเพี้ยนขึ้น ทำให้เสียงที่รับฟังไม่ชัดเจนซึ่งจะนำเกิดจาก อินเตอร์มอดูเลชัน เนื่องจากสัญญาณภาพก่อนทำการมัลติเพล็กซ์นั้นมีขนาดสูงกว่าขีดแคเรียร์ของเสียง ในการพัฒนานั้นให้พัฒนาในส่วนที่สามารถส่งเป็นสัญญาณภาพ หรือเสียงหลายอย่างได้ โดยใช้หลักการเดียวกันกับมัลติเพล็กซ์แบบ TDM พัฒนาให้มีการส่ง และรับสัญญาณในระบบดิจิทัลได้

สรุปผู้วิจัยสนใจที่จะออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ และคาดว่าจะได้ตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ(ITU-T)กำหนดไว้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการทดลองการออกแบบและการสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะดำเนินการวิจัยตามหัวข้อต่อไปนี้

1. เกณฑ์ข้อกำหนดของการออกแบบและการสร้างเครื่องในการวิจัย
2. ลำดับขั้นตอนในการวิจัย

1. เกณฑ์ข้อกำหนดของการออกแบบและการสร้างเครื่องในการวิจัย

1.1 การออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ ซึ่งมีคุณสมบัติและประสิทธิภาพตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ (ITU-T) (International Telecommunication Union -Transmission. ITU-T) มีส่วนประกอบดังนี้

1.1.1 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์(Volts. V) 50 เฮิร์ตซ์(Hertz)เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (Alternating Current - Directing Current. AC-DC) ชนิดที่มีแรงดันไฟฟ้าขาออกได้ 48 โวลต์(Volts. V) สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด 2 แอมแปร์(Amp. A) จำนวน 1 ชุด

1.1.2 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์(V) เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชนิดที่เลือกค่าที่มีแรงดันไฟฟ้าขาออกได้ 2 ระดับ คือ 1 โวลต์(V) และ 5 โวลต์(V) สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด 250 มิลลิแอมแปร์(Milliamp. mA) จำนวน 1 ชุด

1.1.3 ชุดมัลติเพล็กซ์&ดีมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ จำนวน 1 ชุด

1.2 ตัวแปรที่จะศึกษา เป็นการศึกษาถึงค่าความผิดพลาดตามคุณสมบัติที่ใช้ใน การสื่อสารด้านโทรคมนาคมที่ได้ประสิทธิภาพตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ(ITU-T) มีรายละเอียดดังนี้

1.2.1 อัตราความเร็วของการส่งในสายสูงสุด $2.048 \text{ Mb/s} \pm 50 \text{ ppm}$

1.2.2 อัตราความเร็วสูงสุดในการส่งข้อมูล $2.048 \text{ Mb/s} \pm 50 \text{ ppm}$

1.2.3 รหัสของการส่งสัญญาณของสาย เอชดีบี-3

1.2.4 ค่าความต้านทานในสาย 75 โอห์ม ร้อยละ 5 /120 โอห์ม ร้อยละ 5

1.2.5 ค่าแรงดันสูงสุดในขณะทำงานปกติ 2.14-2.60 โวลต์

1.2.6 ค่าแรงดันสูงสุดในขณะที่ไม่มีการทำงาน -0.237 ถึง +0.237 โวลต์

1.2.7 ความกว้างของพัลส์ปกติ 219-269 เอ็มเอส

1.2.8 อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและต่ำสุด 0.95-1.05

1.2.9 อัตราความสูญเสียของสัญญาณที่ความถี่ 1024 kHz 0-6 dB

1.2.10 การสูญเสียป้อนกลับที่ความถี่ 1024 kHz $\geq 18 \text{ dB}$

1.2.11 จำนวนของการสูญเสียสายเคเบิล 4 เส้น

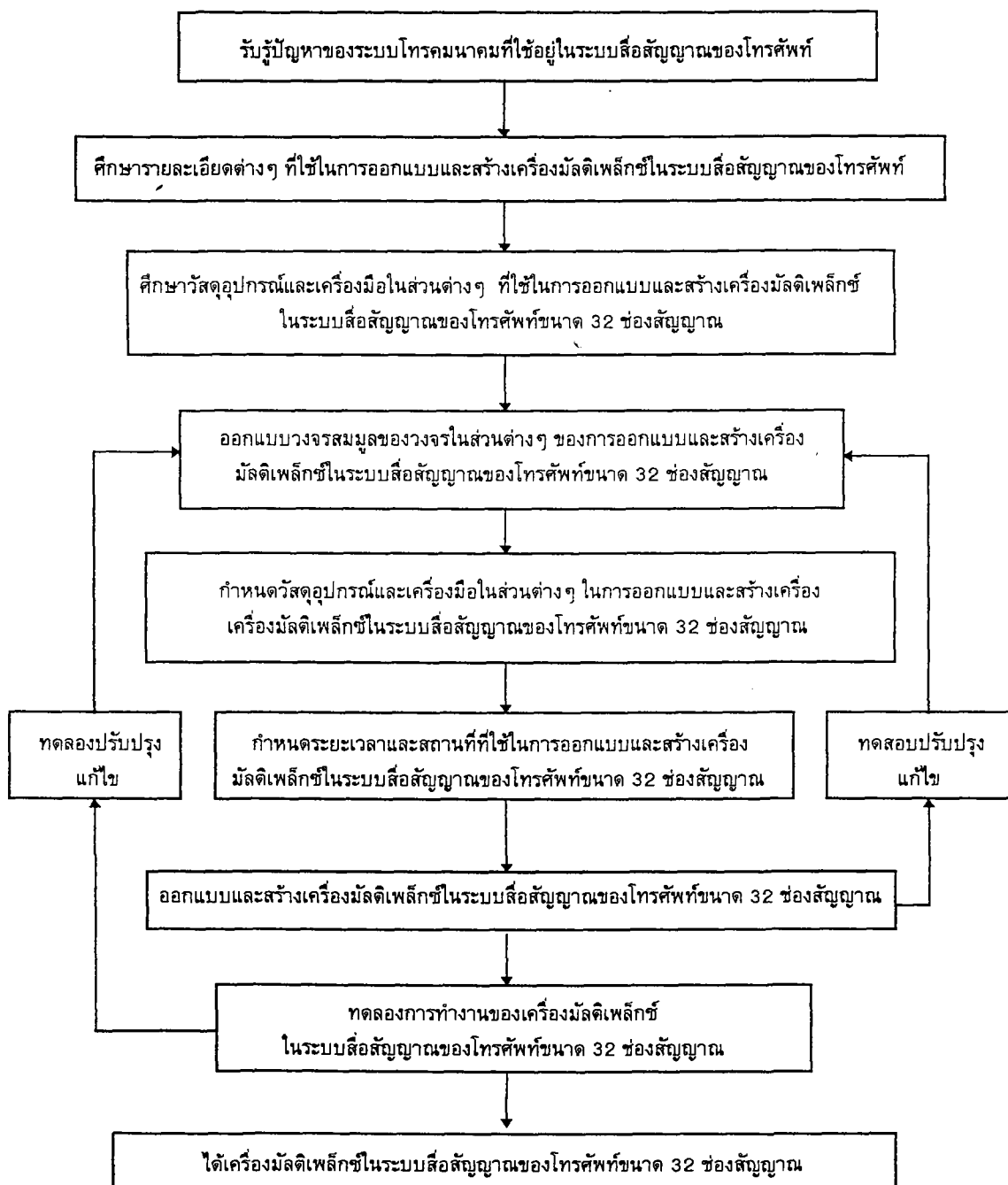
1.2.12 ค่าเฉลี่ยกำลังขาออก 13-14 dBm

1.2.13 ค่าสูญเสียของการสูญเสีย 38 dB @ 150 kHz

1.2.14 ค่าความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสตรงของการสูญเสีย 135 โอห์ม

2. ลำดับขั้นตอนในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจะดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้



ภาพประกอบ 76 แสดงขั้นตอนในดำเนินการวิจัย

2.1 ระบุปัญหาของระบบโทรคมนาคมที่ใช้อยู่ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ เนื่องจากผู้จัดทำหน้าที่รับผิดชอบในด้านการบริการของระบบสื่อสารของโทรศัพท์(ด้านโทรคมนาคม) ให้แก่ผู้ใช้บริการด้านระบบสื่อสารของโทรศัพท์ จากปัญหาที่ผู้ใช้บริการของในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ที่ใช้อยู่ส่วนมาก จะเป็นอุปกรณ์มัลติเพล็กซ์ซึ่งนำมาใช้กับระบบสื่อสารของโทรศัพท์ เพราะอุปกรณ์มัลติเพล็กซ์ที่ใช้นั้นจะเป็นนำเข้ามาจากต่างประเทศ และมีราคาแพงเพราะเป็นชุด.

อุปกรณ์มัลติเพล็กซ์ที่มีช่องสัญญาณสูงอีกระดับหนึ่งจนเกิดความจำเป็น เมื่อรวมค่าแรงและค่าใช้จ่ายต่างๆ แล้ว จะต้องสูญเสียงบประมาณเป็นจำนวนมากในการใช้จ่ายเกี่ยวกับอุปกรณ์มัลติเพล็กซ์ที่จะนำมาใช้ในการส่งสัญญาณโทรศัพท์เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสาร

2.2 ศึกษารายละเอียดต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

2.2.1 ศึกษาค้นคว้าจากเอกสารตำราและงานวิจัยเชิงทดลอง ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์และงานวิจัยเชิงทดลองทางด้านไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง

2.2.2 ศึกษาส่วนประกอบของแหล่งจ่ายที่มีคุณสมบัติในการจ่ายกระแสและแรงดันให้กับชุดมัลติเพล็กซ์ดีมัลติเพล็กซ์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องเพื่อจัดหาจรรยาบรรณของวงจรต่างๆ มาประกอบเป็นชุดที่สมบูรณ์

2.2.3 ศึกษาคุณสมบัติของส่วนประกอบต่างๆ ของชุดมัลติเพล็กซ์ดีมัลติเพล็กซ์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องเพื่อจัดหาจรรยาบรรณของวงจรต่างๆ มาประกอบเป็นชุดที่สมบูรณ์

2.3 ศึกษาวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือในส่วนต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

2.3.1 วัสดุ เป็นการศึกษาถึงวัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

2.3.1.1 หัว บีเอ็นซี

2.3.1.2 ฟอร์ด อาร์เอส-449

2.3.1.3 สายเคเบิลทองแดง

2.3.1.4 หัว บีเอ็นซี

2.3.1.5 สายโคเอ็คเซียน

2.3.1.6 สายขึ้นชนิดแพ

2.3.1.7 ตะกั่วบัดกรี

2.3.1.8 บรีน 2 ชั้น

2.3.1.9 บรีน ชั้นเดียว

2.3.1.10 ขดลวด

2.3.1.11 สายไฟ

2.3.2 อุปกรณ์ เป็นการศึกษาถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

2.3.2.1 เป็นการศึกษาอุปกรณ์ที่เป็นไอซี (IC) ที่ต้องการให้ขยายสัญญาณและรวมสัญญาณ จากสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล และสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณดิจิทัล และการให้

คุณสมบัติเป็นการ มัลติเพล็กซ์และต้องให้อุปกรณ์กินกระแสต่ำ (Low Power) เพื่อต้องการให้มีกระแสต่ำๆ จากการศึกษาและอุปกรณ์เครื่องมือจะเลือกใช้อุปกรณ์ที่เป็นไอซี (IC) ตระกูล ทีทีแอล (TTL)

2.3.2.2 เป็นการศึกษาอุปกรณ์ที่เป็นทรานซิสเตอร์(Q) ทรานซิสเตอร์หน้าที่พื้นฐานของทรานซิสเตอร์คือ จะใช้ทำการขยายสัญญาณกระแสไฟฟ้า ทรานซิสเตอร์จะถูกไบอัสโดยแรงเคลื่อนไฟฟ้าภายนอกทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 แบบ จะมีการไบอัสไม่เหมือนกันการใช้ขึ้นอยู่กับการออกแบบและการสร้าง

2.3.2.3 เป็นการศึกษาอุปกรณ์ที่เป็นตัวเก็บประจุ (C) ตัวเก็บประจุจะมีทั้งแบบค่าเก็บประจุคงที่และแบบปรับค่าเก็บประจุได้ ความสามารถในการเก็บพลังงานไฟฟ้าเก็บประจุจะขึ้นอยู่กับสนามไฟฟ้าระหว่างเพลทและความเพี้ยนของวงโคจรอิเล็กทรอนิกส์ ในวัสดุไดอิเล็กตริกซึ่งองศาความเพี้ยนจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางธรรมชาติของวัสดุไดอิเล็กตริกและแสดง โดยค่าคงที่ไดอิเล็กตริกการใช้ขึ้นอยู่กับการออกแบบและการสร้าง

2.3.2.4 เป็นการศึกษาอุปกรณ์ที่เป็นตัวต้านทาน (R) ความต้านทานคือคุณสมบัติที่เกิดขึ้นของอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งบางครั้งเราไม่ต้องการให้มีความต้านทาน แต่หลีกเลี่ยงไม่ได้เนื่องจากเกิดขึ้นจากการออกแบบตัวต้านทานเป็นอุปกรณ์ที่ถูกผลิตขึ้นมา มีค่าเฉพาะ ค่าหนึ่งที่ใช้ในการต้านทานไหลของกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้มากที่สุดในงานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ การใช้ขึ้นอยู่กับการออกแบบ และการสร้าง

2.3.2.5 เป็นการศึกษาอุปกรณ์ที่เป็นไดโอด (D) ไดโอดตัวป้องกันการเคลื่อนของกระแสไฟฟ้า ไดโอดจะถูกต่อกับแรงจ่ายแรงไฟฟ้าซึ่งจะมีตัวต้านทานต่อไว้เพื่อกำจัดค่ากระแสไฟฟ้าที่จะไหลผ่านการใช้ขึ้นอยู่กับการออกแบบ และการสร้าง

2.3.2.6 เป็นการศึกษาอุปกรณ์ที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ(L) คืออุปกรณ์ที่ถูกออกแบบให้มีค่าเหนี่ยวนำซึ่งตัวเหนี่ยวนำนี้จะประกอบไปด้วยขดตัวนำพันรอบแกนและจะแบ่งชนิดของตัวเหนี่ยวนำของวัสดุที่ใช้ทำแกนซึ่งวัสดุที่ใช้ทำแกนนี้จะเป็นแกนแม่เหล็กหรือเป็นแกนที่ไม่เป็นแม่เหล็กและตัวเหนี่ยวนำแบบแกนอากาศตัวเหนี่ยวนำแบบแกนเฟอร์ไรท์ การใช้ขึ้นอยู่กับการออกแบบและการสร้าง

2.3.3 เครื่องมือ เป็นการศึกษาถึงเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบและสร้าง ในส่วนของการใช้และทำการตรวจสอบคุณสมบัติของเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

2.3.3.1 มัลติมิเตอร์ ใช้ทำการวัดและตรวจสอบวงจรที่ได้ทำการออกแบบไว้

2.3.3.2 ออสซิลโลสโคป ใช้ทำการวัดและตรวจสอบสัญญาณจากวงจร

2.3.3.3 เครื่องตรวจเช็คสัญญาณ (EMN.11) ใช้ตรวจเช็คสัญญาณที่รับ-ส่งมาจากเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์

2.3.3.4 เครื่องตรวจสอบสัญญาณผิดพลาด (ME448A) ใช้ทำการตรวจสอบค่าผิดพลาดของสัญญาณ

2.3.3.5 ไขควง ใช้ทำการขันเข้าและขันออกในการประกอบ

2.3.3.6 หัวแรงไฟฟ้า ใช้ในการบัดกรีวงจร

2.3.3.7 เครื่องเข้าหัว (BNC) ใช้ทำการเข้าหัวอุปกรณ์

2.3.3.8 คีม ใช้ตัดและจับอุปกรณ์

2.3.3.9 ประแจ ใช้ขันเข้าและขันออกในการประกอบ

2.3.3.10 สว่านไฟฟ้า ใช้ทำการเจาะ

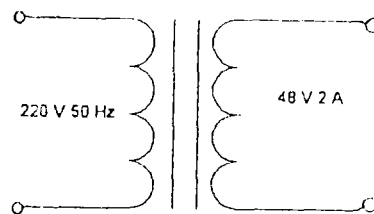
2.3.3.11 ตะไบโลหะ ใช้ทำการตกแต่งหลังจากการเจาะ

2.3.3.12 เพาเวอร์มิเตอร์ ใช้ทำการตรวจสอบสายเคเบิลที่ใช้ในการเชื่อมโยง

2.4 ออกแบบวงจรสมมูลของวงจรในส่วนต่างๆของการออกแบบและสร้างมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

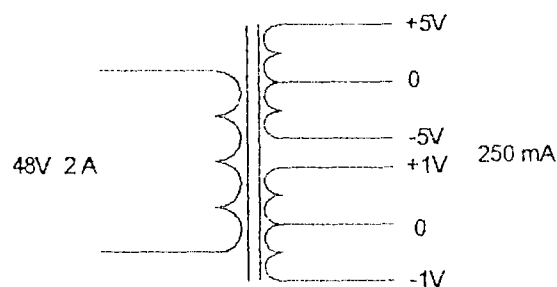
2.4.1 ออกแบบวงจรสมมูลของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

2.4.1.1 ออกแบบวงจรสมมูลของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 2 แอมแปร์



ภาพประกอบ 77 วงจรสมมูลของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงชนิดมีแรงดันขาออกได้ 48 โวลต์ 2 แอมแปร์

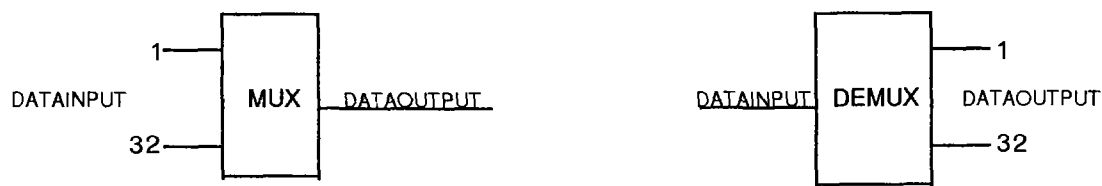
2.4.1.2 ออกแบบวงจรสมมูลของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 2 แอมแปร์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์ และเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 1 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์



ภาพประกอบ 78 วงจรสมมูลของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 2 แอมแปร์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์เป็น 1 โวลต์ และ 5 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์

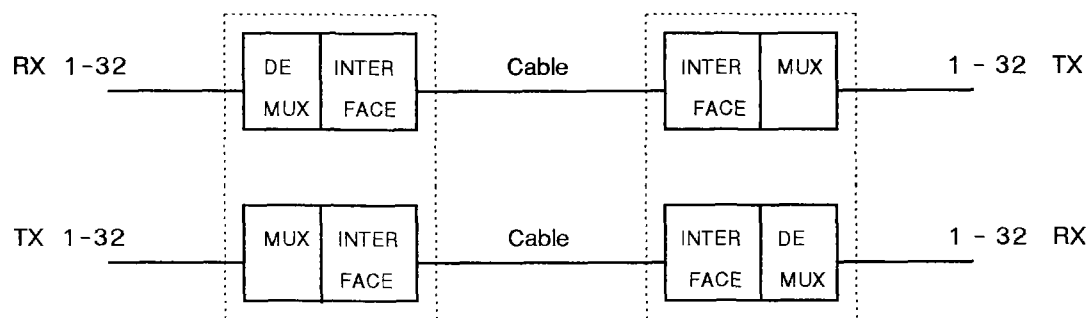
2.4.2 ออกแบบวงจรสมมูลของชุดมัลติเพล็กซ์

2.4.2.1 ออกแบบวงจรสมมูลของชุดมัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ



ภาพประกอบ 79 วงจรสมมูลของชุดมัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์

2.4.2.2 การออกแบบวงจรสมมูลของภาครับ-ภาคส่งการสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ



ภาพประกอบ 80 วงจรสมมูลของภาครับ-ภาคส่งการสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

2.5 กำหนดวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือในส่วนประกอบต่างๆในการออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

2.5.1 วัสดุ

2.5.1.1 หัว บีเอ็นซี จำนวน 4 ชุด

2.5.1.2 ฟอร์ต อาร์เอส - 449 จำนวน 9 เข็ม 4 ชุด

2.5.1.3 สายเคเบิลทองแดง (ขึ้นอยู่กับระยะทางที่ใช้ทดลอง)

2.5.1.4 หัว บีเอ็นซี เข้าด้านหน้า จำนวน 4 ชุด

2.5.1.5 สายโคแอกเชียล (ขึ้นอยู่กับระยะทางที่ใช้ทดลอง)

2.5.1.6 สายขึ้นชนิดแพนขนาด 30 คู่สาย ความยาว 0.5 เมตร

2.5.1.7 ตะกั่วบัดกรี 1 ม้วน

2.5.1.8 ปรีน สองชั้น ขนาด 0.1x0.2 เมตร จำนวน 2 ชิ้น

2.5.1.9 ปรีน ชั้นเดียว ขนาด 0.1x 0.1 เมตร จำนวน 1 ชิ้น

2.5.1.10 ขดลวด ขนาด 1-5 เอ็นวี จำนวน 15 ชุด

2.5.1.11 สายไฟ ขนาด 0.1,0.3,0.5,0.8 และ 1 sq.mm. ยาวขนาดละ 10 เมตร

2.5.2 อุปกรณ์

2.5.2.1 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

- แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (AC-DC) ชนิดที่มีแรงดันไฟฟ้าขาออกได้ 48 โวลต์(V) สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด 2 แอมแปร์(A) มีรายการดังนี้

- ตัวความต้านทาน
- ตัวเก็บประจุ
- ไดโอด
- ทรานซิสเตอร์
- ไอช

- แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์(V) 2 แอมแปร์(A) เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์(V) (DC-DC) ชนิดที่เลือกค่าที่มีแรงดันไฟฟ้าขาออกได้ 2 ระดับ คือ 1 โวลต์(V) และ 5 โวลต์(V) สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด 250 มิลลิแอมแปร์(mA)

- ตัวเก็บประจุ
- ตัวความต้านทาน
- ไดโอด
- ทรานซิสเตอร์
- ไอซี

2.5.2.2 ชุดมัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์

ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

- ตัวเก็บประจุ
- ตัวความต้านทาน
- ไดโอด
- ทรานซิสเตอร์
- ไอซี

2.5.3 เครื่องมือ

2.5.3.1 มัลติมิเตอร์ ดิจิตอลและเข็มอย่างละ 1 ตัว

2.5.3.2 ออสซิลอสโคป 1 ตัว

2.5.3.3 เครื่องตรวจเช็คสัญญาณ (EMN.11) 2 ตัว

2.5.3.4 เครื่องตรวจสอบสัญญาณผิดพลาด (ME448A) 2 ตัว

2.5.3.5 ไชควง 1 ชุด

2.5.3.6 หัวแรงไฟฟ้าชนิดแช่ 1 ตัว

2.5.3.7 เครื่องเข้าหัว (BNC) 1 ชุด

2.5.3.8 คีม 1 ชุด

2.5.3.9 ประแจ 1 ชุด

2.5.3.10 สว่านไฟฟ้าชนิดมือถือพร้อมดอกสว่าน 1 ชุด

2.5.3.11 ตะไบโลหะ 1 ชุด

2.5.3.12 เพาเวอร์มิเตอร์ 1 ตัว

2.5.3.13 เครื่องวัดความถี่ 2 ตัว

2.6 กำหนดระยะเวลาและสถานที่ ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

2.6.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 เดือนมกราคม พ.ศ. 2542 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2542

2.6.2 สถานที่ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ หน่วยระบบสื่อสารสัญญาณทางสายที่ 1 กองระบบสื่อสารสัญญาณที่ 1 ส่วนระบบตอนในที่ 1 ฝ่ายนครหลวงที่ 1 องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย กรุงเทพมหานคร

2.7 ออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ เพื่อการวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการสร้างส่วนประกอบต่างๆ โดยมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.7.1 สร้างแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

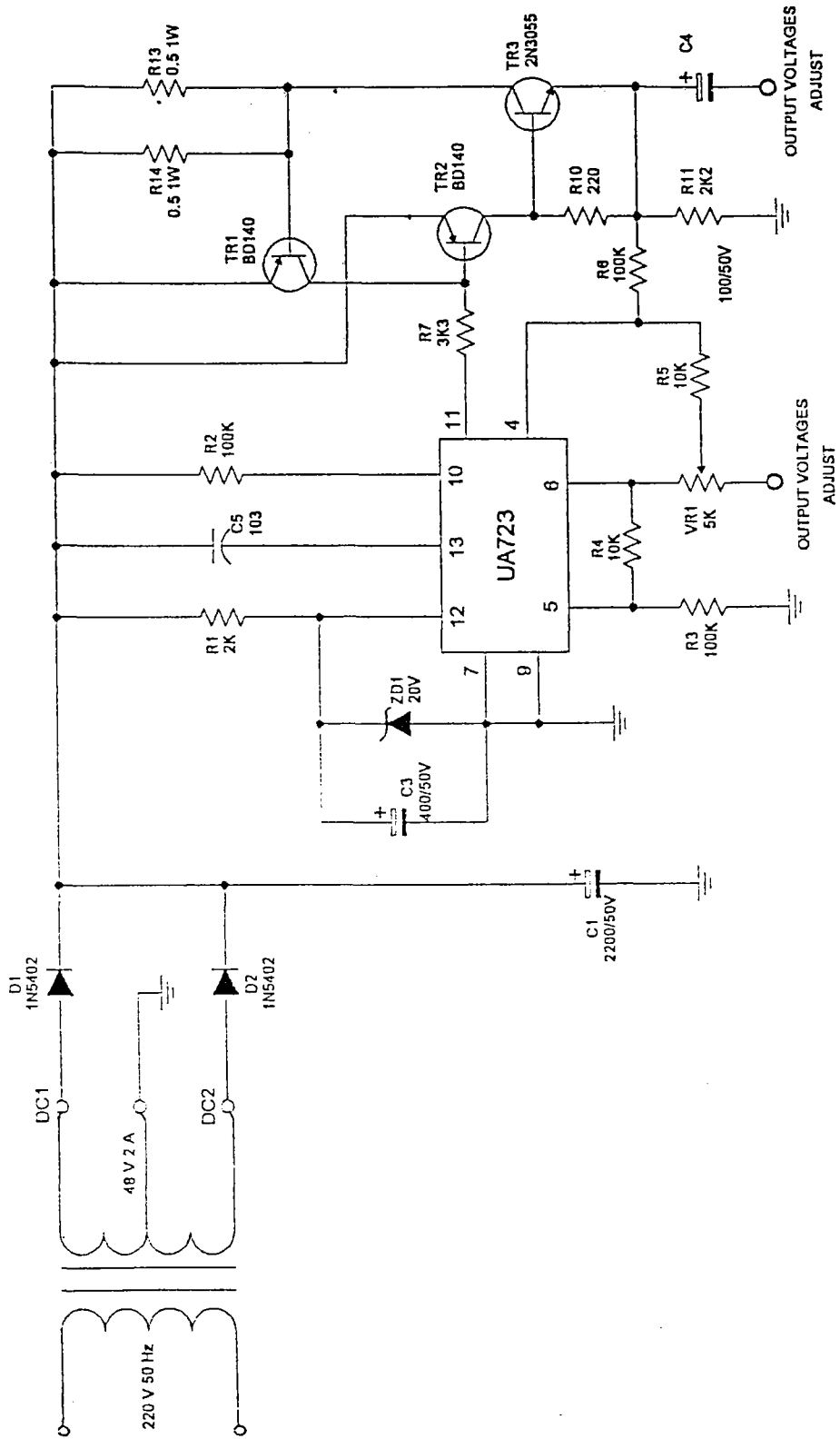
2.7.1.1 สร้างแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 2 แอมแปร์ ตามวงจรที่ผู้วิจัยได้ออกแบบ ในภาพประกอบ 81 โดยใช้หม้อแปลงในการแปลงกระแสไฟฟ้าได้ 48 โวลต์ 2 แอมแปร์ โดยใช้ไอซี UA 723 เป็นไอซีเรกูเลเตอร์ที่มีผู้นิยมใช้งานกันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะวงจรที่ต้องการกระแสสูง ในการใช้งาน ไอซี UA 723 เป็นแหล่งจ่ายแบบกระแสสูงแรงดันต่ำ โดยมีทรานซิสเตอร์ภายนอกช่วยขับเคลื่อนด้วย ส่วนตัวไอซี UA 723 ได้รับแรงดันหลังจากเรกติฟายและกรองกระแสถึง 2 ชั้น (D1,D2) ในการทำงานเพื่อทำการควบคุมแรงดันและกระแสก่อนที่จ่ายให้กับเอาต์พุตโดยมีค่าความต้านทานต่อคร่อมอยู่(VR1) โดยสั่งทำจากบริษัทอิเล็กทรอนิกส์ พาร์ทซ์พพลาย จำกัด 15-19 ซอยทิพย์วารี ถนนบ้านหม้อ วังบูรพาภิรมย์ พระนคร กรุงเทพมหานคร

2.7.1.2 สร้างแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 2 แอมแปร์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์ สามารถเลือกกระดัดแรงดันเป็นเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์ และเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 1 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์ ตามวงจรที่ได้ออกแบบในภาพประกอบ 82 โดยการใช้ ไอซี CA3045F และ MCT2 ในการแปลงแรงดันและกระแสทางไฟฟ้า เพื่อต้องการควบคุมแรงดันและกระแสทางไฟฟ้าให้คงที่มากที่สุด ในการออกแบบวงจรจึงเลือกใช้ ไอซี LM339D ในการตรวจสอบและควบคุมอีกชุดหนึ่งก่อนที่จ่ายให้กับไอซีในชุดมัลติเพล็กซ์&ดีมัลติเพล็กซ์ โดยสั่งทำจากบริษัทคอมมิวนิเคชั่นอิเล็กทรอนิกส์พพลาย จำกัด 234/2 ซอยประชาชื่น 37 (นพเก้า 5) ถนนประชาชื่น บางซื่อ กรุงเทพมหานคร

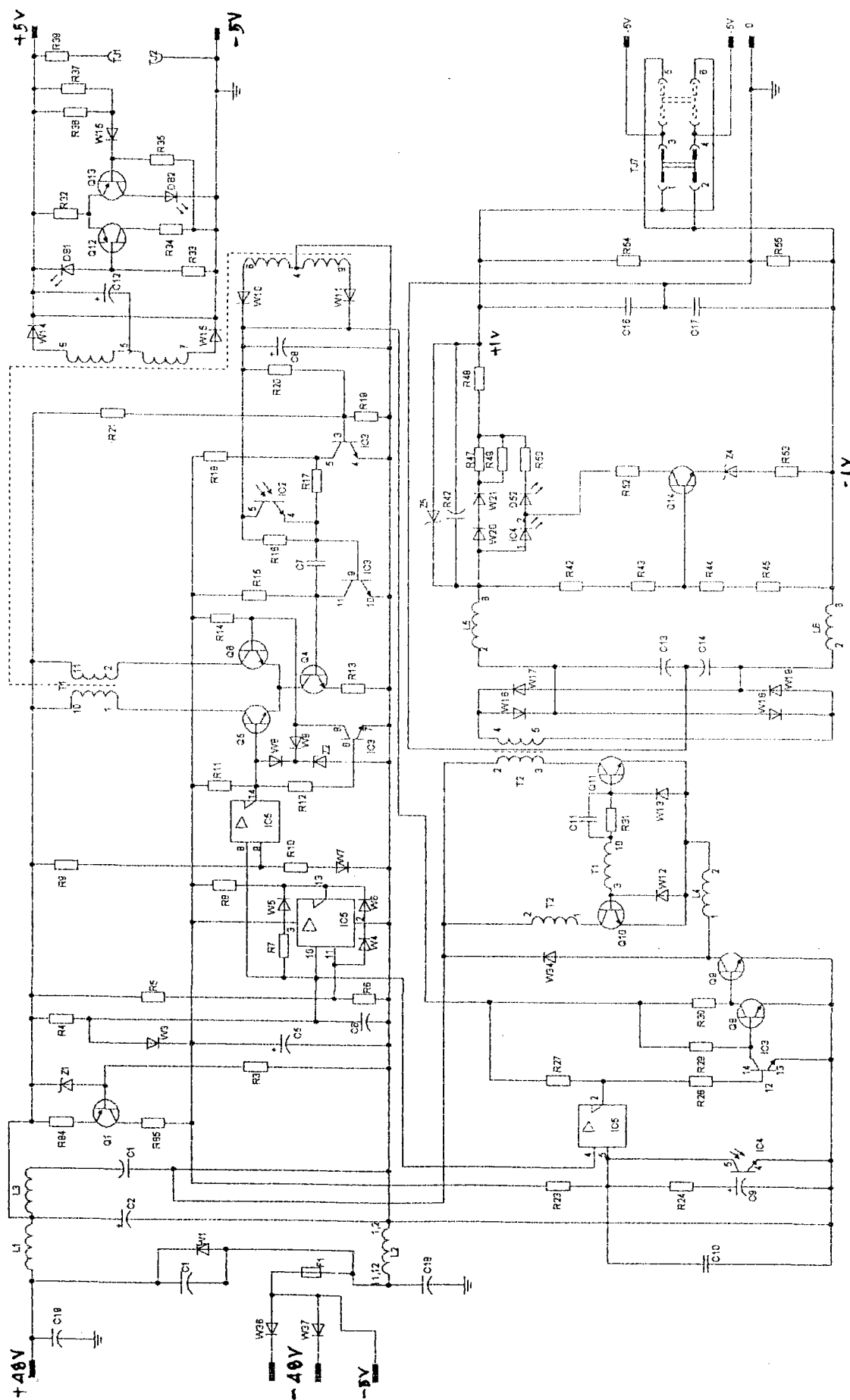
2.7.2 สร้างชุดมัลติเพล็กซ์&ดีมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ ตามวงจรที่ได้ออกแบบในภาพประกอบ 83 โดยการใช้ ไอซี SN74LS253 เป็นไอซีมัลติเพล็กซ์ที่มีชุดควบคุมเอาต์พุตในการเลือกส่งสัญญาณขาออกของตัวไอซีที่มีอินพุต 8 อินพุตแล้วมีเอาต์พุต 2 เอาต์พุต ในการมัลติเพล็กซ์แล้วทำการส่งสัญญาณ ส่วนของการรับสัญญาณที่รับเข้ามาทำการมัลติเพล็กซ์นั้น ได้เลือกใช้ ไอซี TA10162 ในการทำการขยายและตรวจสอบสัญญาณก่อนส่งเข้าสู่ชุดมัลติเพล็กซ์

2.7.2.1 สั่งทำแผ่นวงจรพิมพ์จากวงจรที่ได้ออกแบบไว้เป็นแผ่นปริ้นสองชั้น ในภาพประกอบ 83 ที่บริษัทคอมไบน์เซอร์กิต จำกัด 134/111 ซอยประชาราษฎร์ 1 ถนนประชาราษฎร์ 1 บางซื่อ กรุงเทพมหานคร

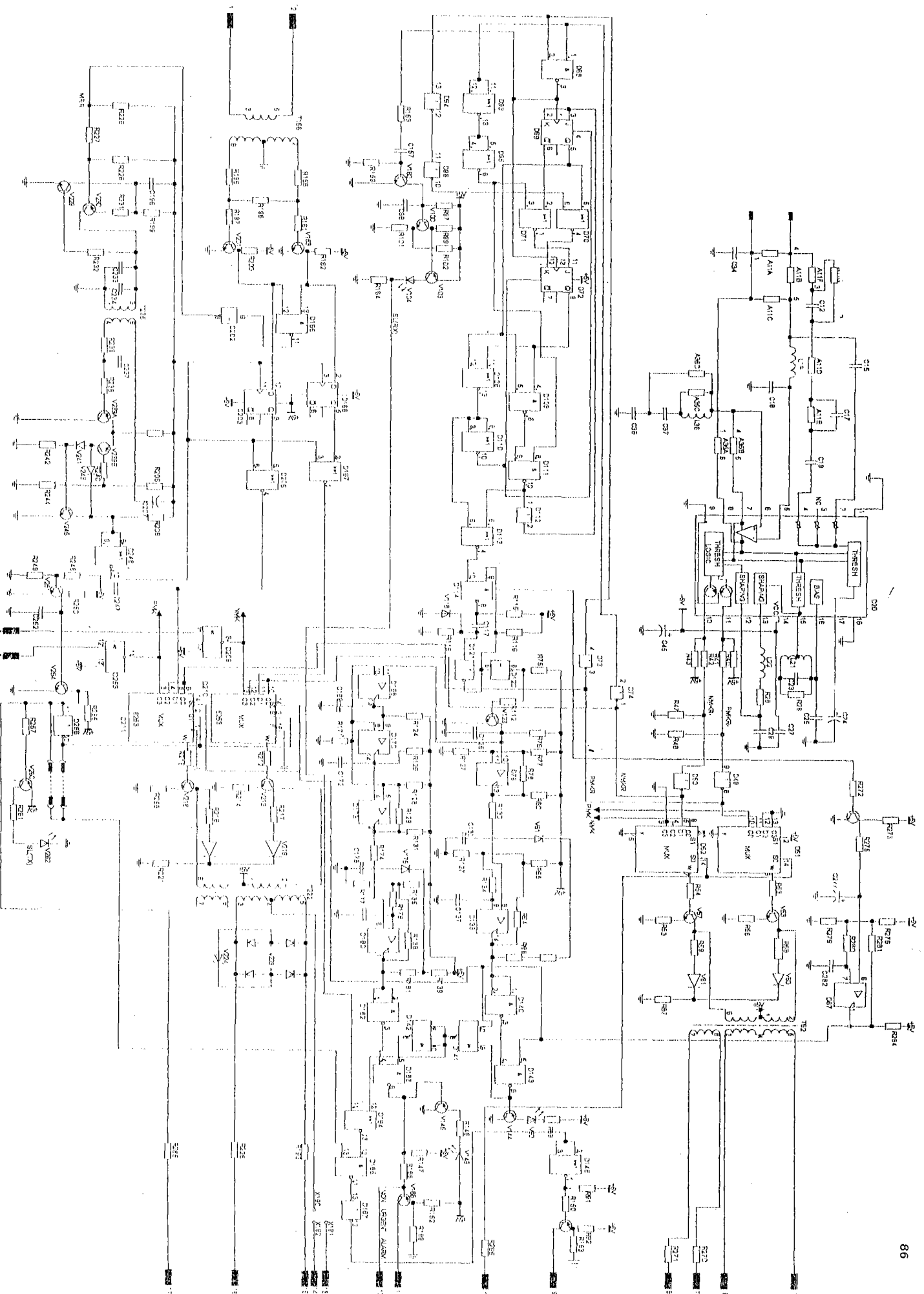
2.7.2.2 สั่งซื้ออุปกรณ์ตามรายละเอียดของวงจรที่ได้ทำการกำหนดและออกแบบไว้ จากบริษัทอิเล็กทรอนิกส์เซอร์ซ จำกัด ถนนบ้านหม้อ วังบูรพาภิรมย์ พระนคร กรุงเทพมหานคร และบริษัทบอส อิเล็คทรอนิกส์ คอมโพเนนท์ จำกัด 145 ถนนพาดสาย สัมพันธวงศ์ กรุงเทพมหานคร



ภาพประกอบ 81 วงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้กระแสลบ 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ เป็นแหล่งจ่ายกำลัง
 ไฟฟ้กระแสตรง 48 โวลต์ 2 แอมแปร์



ภาพประกอบ 82 วงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 2 แอมแปร์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ± 1 โวลต์ และ ± 5 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์



ภาพประกอบ 83 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

2.7.2.3 ประกอบอุปกรณ์ลงบนแผงวงจรพิมพ์ ที่บริษัทคอมไบน์เซอร์กิต จำกัด 134/111 ซอยประชาราษฎร์ 1 ถนนประชาราษฎร์ 1 บางซื่อ กรุงเทพมหานคร

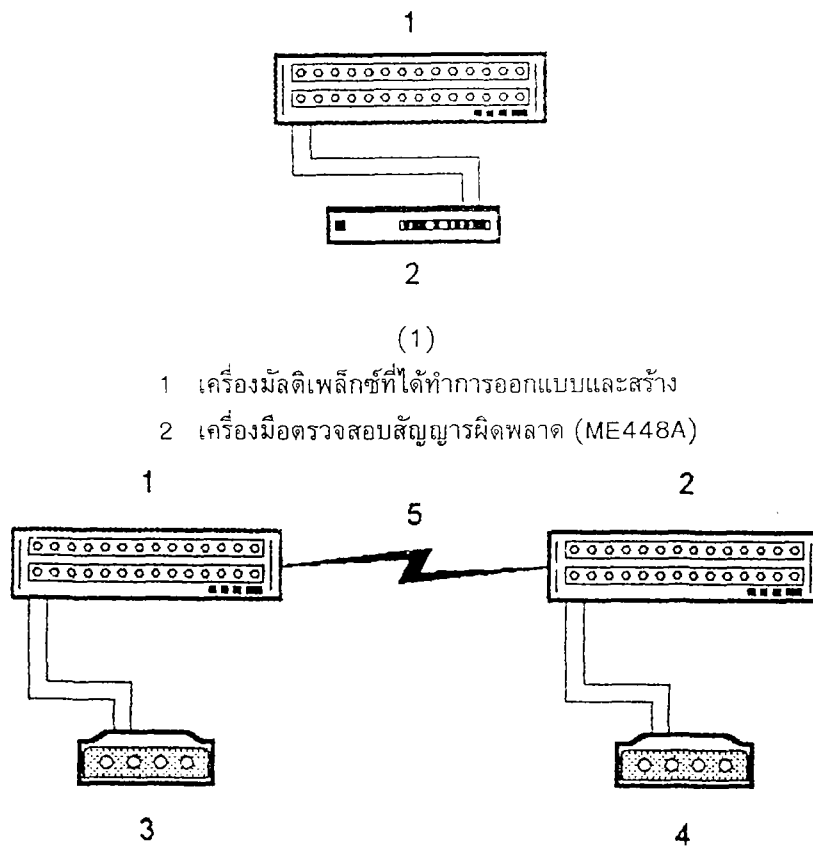
2.7.3 เตรียมกล่องสำหรับบรรจุ โดยใช้กล่องเอนกประสงค์ขนาดกว้าง 52 เซนติเมตร ยาว 43 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร มาทำการเจาะตามต้องการ จากบริษัท นัฐพงษ์เซลล์แออนด์เซอร์วิส จำกัด 119 ถนนอัมรินทร์ วัชรพาริรมย์ พระนคร กรุงเทพมหานคร

2.7.4 ทำการเชื่อมสายระหว่างชุดของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ออกแบบไว้ให้กับชุดชุดมัลติเพล็กซ์&ดีมัลติเพล็กซ์ แล้วเชื่อมสายที่ต่อออกจากชุดมัลติเพล็กซ์ไปตามจุดที่กำหนดตามต้องการ

2.7.5 ทดลองการทำงานของเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณตามรายละเอียดในขั้นต่อไป

2.8 ทดลองการทำงานของเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

2.8.1 ทำการทดลองวัดเกณฑ์มาตรฐานของเครื่องมัลติเพล็กซ์ทางด้านอินพุต - เอาพุตที่ ดังแสดงในภาพประกอบ 84 และบันทึกผลการทดลองที่ได้ลงในตาราง 9



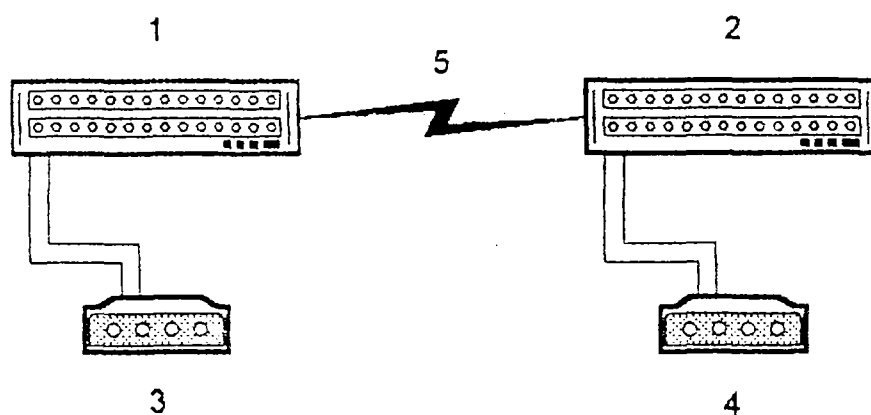
- (2)
- 1, 2 เครื่องมัลติเพล็กซ์ที่ได้ทำการออกแบบและสร้าง
 - 3, 4 เครื่องมือตรวจเช็คสัญญาณ (EMN.11)
 - 5 ระยะเวลาของสายโทรศัพท์

ภาพประกอบ 84 แสดงการทดลองวัดเกณฑ์มาตรฐานของเครื่องมัลติเพล็กซ์ทางด้านอินพุต - เอาพุตที่

ตาราง 9 แสดงรายละเอียดเกณฑ์มาตรฐานของเครื่องมัลติเพล็กซ์ทางด้านอินพุต-เอาพุต

ลำดับ	รายละเอียด	ผลการทดสอบ
1	อัตราความเร็วของการส่งในสายสูงสุด	
2	อัตราความเร็วของการส่งข้อมูล	
3	มาตรฐานของเฟรม	
4	รหัสของการส่งสัญญาณของสาย	
5	ความต้านทานในสาย	
6	ความกว้างของพัลส์	
7	ค่าแรงดันสูงสุดในขณะทำงานปกติ	
8	ค่าแรงดันสูงสุดในขณะที่ไม่มีการทำงาน	
9	ค่าสูญเสียของการคู่	
10	อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและต่ำสุด	
11	อัตราการสูญเสียของสัญญาณที่ความถี่ 1024 kHz	
12	การสูญเสียย้อนกลับที่ความถี่ 1024 kHz	

2.8.2 เป็นการทดลองวัดเกณฑ์มาตรฐานของเครื่องมัลติเพล็กซ์ทางด้านรับ-ส่งสัญญาณ ดังแสดงในภาพประกอบ 85 และบันทึกผลการทดลองที่ได้ลงในตาราง 10



- 1, 2 เครื่องมัลติเพล็กซ์ที่ได้ทำการออกแบบและสร้าง
 3, 4 เครื่องมือตรวจเช็คสัญญาณ (EMN.11)
 5 ระยะเวลาของสายโทรศัพท์

ภาพประกอบ 85 แสดงการวัดเกณฑ์มาตรฐานของเครื่องมัลติเพล็กซ์ทางด้านรับ-ส่งสัญญาณ

ตาราง 10 แสดงรายละเอียดเกณฑ์มาตรฐานของเครื่องมัลติเพล็กซ์ทางด้านรับ-ส่งสัญญาณ

ลำดับ	รายละเอียด	ผลการทดสอบ
1	จำนวนของการรูป	
2	ค่าเฉลี่ยกำลังขาออก	
3	ค่าสูญเสียของรูป	
4	ค่าความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสดร ของการรูป	

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ ซึ่งมีรายละเอียดต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ โดยออกแบบวงจรและกำหนดวัสดุอุปกรณ์เครื่องมือ ที่ใช้ในการสร้างตามรายละเอียดที่ได้ศึกษาค้นคว้าไว้ และกำหนดระยะเวลาในการสร้าง ทดสอบปรับปรุงและแก้ไขการทำงานของเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ ซึ่งผลการสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ มีดังต่อไปนี้

1. ออกแบบและสร้างแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 2 แอมป์ จากการศึกษาทดสอบโดยที่ป้อนแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ให้กับหม้อแปลงที่ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรที่ใช้ ไอซี UA723 เป็นแหล่งจ่ายแบบกระแสสูงแรงดันต่ำ โดยใช้ทรานซิสเตอร์ภายนอกช่วยขับเคลื่อนกระแสด้วย ในส่วนของตัวไอซี UA723 ได้รับแรงดันจากชุดเรกติฟายและกรองกระแสถึง 2 ชั้น (D1,D2)ในการทำงานเพื่อควบคุมแรงดันและกระแสก่อนที่จะจ่ายให้กับเอาต์พุตโดยมีค่าความต้านทานต่อคร่อมอยู่ (VR1) ซึ่งเป็นไปตามความมุ่งหมายของการวิจัย

2. ออกแบบและสร้างแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 2 แอมป์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 250 มิลลิแอมป์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ 250 มิลลิแอมป์ และเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 1 โวลต์ 250 มิลลิแอมป์ โดยการใช้ ไอซี CA3045F และ MCT2 ในการแปลงแรงดันและกระแสทางไฟฟ้า เพื่อต้องการควบคุมแรงดันและกระแสทางไฟฟ้าให้คงที่มากที่สุด ในการออกแบบวงจรจึงเลือกใช้ ไอซี LM339D ในการตรวจสอบและควบคุมอีกชุดหนึ่งก่อนที่จะจ่ายให้กับไอซีในชุดมัลติเพล็กซ์&ดีมัลติเพล็กซ์ ซึ่งเป็นไปตามความมุ่งหมายของการวิจัย

3. ออกแบบและสร้างชุดมัลติเพล็กซ์&ดีมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ โดยการใช้ ไอซี SN74LS253 เป็นไอซีมัลติเพล็กซ์ที่มีชุดควบคุมเอาต์พุตในการเลือกส่งสัญญาณขาออกของตัวไอซีที่มีอินพุต 8 อินพุตแล้วมีเอาต์พุต 2 เอาต์พุต ในการมัลติเพล็กซ์แล้วทำการส่งสัญญาณ ส่วนของการรับสัญญาณที่รับเข้ามาทำการมัลติเพล็กซ์นั้น ได้เลือกใช้ ไอซี TA10162 ในการทำการขยายและตรวจสอบสัญญาณก่อนส่งเข้าสู่ชุดมัลติเพล็กซ์ ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการออกแบบและสร้างชุดมัลติเพล็กซ์&ดีมัลติเพล็กซ์นั้น เมื่อมีการประกอบอุปกรณ์ลงแผ่นวงจรพิมพ์แล้วได้ทำการทดสอบตามรายละเอียดที่กำหนดไว้ ซึ่งเป็นไปตามความมุ่งหมายของการวิจัย โดยใช้คุณสมบัติและรายละเอียดของอุปกรณ์ดังนี้

3.1 ตัวต้านทานที่ใช้ในชุดมัลติเพล็กซ์&ดีมัลติเพล็กซ์คือ ค่าความผิดพลาดร้อยละ 2 ขนาด 0.2 วัตต์

3.2 ตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในชุดมัลติเพล็กซ์&ดีมัลติเพล็กซ์คือ ค่าความผิดพลาดร้อยละ 10 แต่บางตัวมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่าร้อยละ 1

3.3 ตัวเก็บประจุที่ใช้ในชุดมัลติเพล็กซ์&ดีมัลติเพล็กซ์คือ ส่วนมากใช้ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิก มีค่าความผิดพลาดน้อยกว่าร้อยละ 20

3.4 ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในชุดมัลติเพล็กซ์&ดีมัลติเพล็กซ์คือ ทรานซิสเตอร์ที่สามารถใช้งานในความถี่สูง เป็นชนิด เอ็นพีเอ็น กับ พีเอ็นพี

3.5 ไอซีที่ใช้ในชุดมัลติเพล็กซ์&ดีมัลติเพล็กซ์คือ ไอซีมีประสิทธิภาพสูงเป็นแบบดิพ (Dual-inline package) ทำด้วยพลาสติก และต้องเป็นของโมโตโรลา

3.6 ไดโอดที่ใช้ในชุดมัลติเพล็กซ์&ดีมัลติเพล็กซ์คือ ไดโอดธรรมดา ขนาด 0.25 วัตต์และซีเนอร์ไดโอด ขนาด 5 วัตต์ และไดโอดเรกติไฟเออร์

จากนั้นจึงได้นำเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ มาทำการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองใช้เครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

การทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล การใช้เครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ ผู้วิจัยได้ทำหนังสือจากบัณฑิตวิทยาลัยไปยัง กองทดสอบอุปกรณ์โทรคมนาคม ฝ่ายวิจัยและพัฒนาเทคนิค องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี เพื่อขอทำการทดสอบและวิเคราะห์แล้วนำผลจากการทดสอบและการวิเคราะห์ที่ได้นำเสนอโดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1. การทดสอบหาค่าความผิดพลาดของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ-เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงและแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง - เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง มีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 11 การทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 2 แอมแปร์ และ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 2 แอมแปร์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์ และเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 1 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์ ของเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

ลำดับ	รายการที่ทดสอบ	แรงดันไฟฟ้าไม่มีโหลด (โวลต์)	แรงดันไฟฟ้าที่มีโหลด (โวลต์)
1	แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์	+48.89 -48.87	+48.03 -48.01
2	แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์	+5.03 -5.01	+4.97 -4.95
3	แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 1 โวลต์	+1.05 -1.02	+0.98 -0.96

จากตาราง 11 สามารถวิเคราะห์ข้อมูลของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 2 แอมแปร์ และแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 2 แอมแปร์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์ และเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 1 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์ ของเครื่องมือวัดเพิกซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ พบว่าแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์เป็นกระแสตรงวัดแรงดันไฟฟ้าทางด้าน +48 โวลต์ ขณะแรงดันไฟฟ้าไม่มีโหลดวัดได้ + 48.89 โวลต์ เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่มีโหลดวัดได้ + 48.03 โวลต์ และแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์เป็นกระแสตรงวัดแรงดันไฟฟ้าทางด้าน - 48 โวลต์ ขณะแรงดันไฟฟ้าไม่มีโหลดวัดได้ - 48.87 โวลต์ เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่มีโหลดวัดได้ -48.01 โวลต์ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง $\pm$ 48 โวลต์ เป็นกระแสตรงวัดแรงดันไฟฟ้าทางด้าน + 5 โวลต์ ขณะแรงดันไฟฟ้าไม่มีโหลดวัดได้ +5.03 โวลต์ เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่มีโหลดวัดได้ +4.97 โวลต์ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง $\pm$ 48 โวลต์ เป็นกระแสตรงวัดแรงดันไฟฟ้าทางด้าน - 5 โวลต์ ขณะแรงดันไฟฟ้าไม่มีโหลดวัดได้ -5.01 โวลต์ เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่มีโหลดวัดได้ -4.95 โวลต์ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง $\pm$ 48 โวลต์ เป็นกระแสตรงวัดแรงดันไฟฟ้าทางด้าน +1 โวลต์ ขณะแรงดันไฟฟ้าไม่มีโหลดวัดได้ +1.05 โวลต์ เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่มีโหลดวัดได้ +0.98 โวลต์ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง $\pm$ 48 โวลต์ เป็นกระแสตรงวัดแรงดันไฟฟ้าทางด้าน -1 โวลต์ ขณะแรงดันไฟฟ้าไม่มีโหลดวัดได้ -1.02 โวลต์ เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่มีโหลดวัดได้ -0.96 โวลต์ จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าการทดสอบของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 2 แอมแปร์ และแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 2 แอมแปร์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์ และเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 1 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์ นั้นไม่ได้ค่าที่คงที่เพราะว่าแรงดันที่จ่ายให้จากภายนอกไม่คงที่และรวมไปถึงค่าความผิดพลาดจากตัวอุปกรณ์ที่นำมาใช้ แล้วส่วนของค่าความแตกต่างที่ได้จากการทดสอบระหว่างแรงดันที่ไม่มีโหลดกับมีโหลดนั้นเพราะว่า แรงดันที่ไม่มีโหลดนั้นวัดค่าได้สูงกว่าที่มีโหลดเพราะว่าแรงดันที่วัดได้นั้นไม่ได้ถูกป้อนให้กับวงจรเพื่อใช้งาน เมื่อป้อนแรงดันให้กับวงจรเพื่อนำไปใช้งานนั้นแรงดันที่ป้อนให้ก็ได้ตกคร่อมตัวอุปกรณ์ที่ใช้งานอยู่ในวงจร ทำให้วัดค่าแรงดันในส่วนของแรงดันที่ไม่มีโหลดนั้นวัดค่าได้สูงกว่าที่มีโหลดแต่สามารถใช้งานได้ปกติ

2. การทดสอบหาค่าความผิดพลาดตามคุณสมบัติที่ใช้ในการสื่อสารด้านโทรคมนาคม ที่ได้ประสิทธิภาพตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ มีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 12 การทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลของ เครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

ลำดับ	รายการที่ทดสอบ	ผลที่ได้รับจากการทดสอบ
1	อัตราความเร็วของการส่งในสายสูงสุด 2.048 Mb/s $\pm$ 50 ppm	2.048 Mb/s + 3 ppm
2	อัตราความเร็วสูงสุดในการส่งข้อมูล 2.048 Mb/s $\pm$ 50 ppm	2.048 Mb/s + 3 ppm
3	รหัสของการส่งสัญญาณของสาย เอชดีบี-3	เอชดีบี-3
4	ค่าความต้านทานในสาย 75 โอห์ม ร้อยละ 5/120 โอห์ม ร้อยละ 5	75 โอห์ม ,120 โอห์ม
5	ค่าแรงดันสูงสุดในขณะที่ทำงานปกติ 2.14-2.60 โวลต์	3.26 โวลต์
6	ค่าแรงดันสูงสุดในขณะที่ไม่มีการทำงาน -0.237 ถึง +0.237 โวลต์	0.206 โวลต์
7	ความกว้างของพัลส์ปกติ 219-269 เอ็มเอส	252.2 เอ็มเอส
8	อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและต่ำสุด 0.95-1.05 โวลต์	1 โวลต์
9	อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและต่ำสุด 1024 kHz 0-6 dB	5 dB
10	การสูญเสียป้อนกลับที่ความถี่ 1024 kHz $\geq$ 18 dB	21.374 dB
11	จำนวนของการลูบใช้สายเคเบิล 4 เส้น	4 เส้น
12	ค่าเฉลี่ยกำลังขาออก 13-14 dBm	15.5 dBm
13	ค่าสูญเสียของการลูบ 38 dB @ 150 KHz	19 dB @ 150 KHz
14	ค่าความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสตรงของการลูบ 135 โอห์ม	150 โอห์ม

ทดสอบและวิเคราะห์

จากตาราง 12 สามารถวิเคราะห์ข้อมูลของการทดสอบเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ ได้ดังนี้

2.1 อัตราความเร็วของการส่งในสายสูงสุด 2.048 Mb/s $\pm$ 50 ppm ผลที่ได้จากการทดสอบในการส่งโดยใช้อัตราความเร็วของการส่งในสายสูงสุดได้ 2.048 Mb/s โดยใช้เครื่องส่ง-รับสัญญาณ (HP37730A - HP37732A) และเครื่องตรวจสอบสัญญาณผิดพลาด (ME448A) นั้นทำการทดสอบหาอัตราความเร็วที่เครื่องสามารถรับ - ส่งในสายได้สูงสุด 2.048 Mb/s +3 ppm นั้นเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้

2.2 อัตราความเร็วสูงสุดในการส่งข้อมูล 2.048 Mb/s $\pm$ 50 ppm ผลที่ได้จากการทดสอบในการส่งโดยใช้อัตราความเร็วของการส่งสูงสุดได้ 2.048 Mb/s โดยใช้เครื่องส่ง-รับสัญญาณ (HP37730A - HP37732A) และเครื่องตรวจสอบสัญญาณผิดพลาด (ME448A) นั้นทำการทดสอบหาอัตราความเร็วที่เครื่องสามารถรับ - ส่งได้สูงสุด 2.048 Mb/s +3 ppm นั้นเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้

2.3 รหัสของการส่งสัญญาณของสาย เอชดีบี-3 ผลที่ได้รับจากการทดสอบในการส่ง-รับสัญญาณเป็น เอชดีบี-3 ทำให้เครื่องทำงานเป็นปกติแล้วจะแสดงผลให้หลอดไฟทางด้านรับ (Receive) กับทางด้านส่ง (Transmit) ไม่มีสัญญาณไฟติดและที่เครื่องตรวจเช็คสัญญาณ (ME448A) มีค่าเป็น 0.00 เป็นการดำเนินงานเป็นปกติ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้

2.4 ค่าความต้านทานในสาย 75 โอห์ม ร้อยละ 5, 120 โอห์ม ร้อยละ 5 ผลที่ได้รับจากการทดสอบโดยใช้เครื่องส่ง-รับสัญญาณ (HP37730A และ HP37732A) เครื่องตรวจสอบสัญญาณผิดพลาด (ME448A) โดยการวัดค่าความต้านทานในสายได้ 75 โอห์ม และ 120 โอห์ม ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้

2.5 ค่าแรงดันสูงสุดในขณะที่ทำงานปกติ 2.14-2.60 โวลต์ ผลที่ได้รับจากการทดสอบวัดค่าแรงดันสูงสุดได้ 3.26 โวลต์ โดยใช้เครื่องออสซิลอโคปในการวัดแรงดัน จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันนั้นสูงกว่าค่าที่กำหนดแต่การทำงานของเครื่องนั้นยังเป็นปกติ แต่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ การที่วัดแรงดันได้สูงกว่าค่าที่กำหนดนั้นเพราะว่าผู้วิจัยได้เลือกใช้ไอซีตระกูล SN 74 LS ที่เป็นไอซีที่ต้องการแรงดันสูงโดยค่าแรงดันสูงสุดที่รับได้ 5.25 โวลต์ และแรงดันต่ำสุดรับได้ 4.75 โวลต์ และแรงดันปกติ 5 โวลต์

2.6 ค่าแรงดันสูงสุดในขณะที่ไม่มีการทำงาน -0.237 ถึง +0.237 โวลต์ ผลที่ได้รับจากการทดสอบเป็น 0.206 โวลต์ โดยใช้เครื่องออสซิลอโคปในการวัดแรงดันจะเห็นได้ว่าค่าแรงดันนั้นอยู่ในช่วงที่กำหนด ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้

2.7 ความกว้างของพัลส์ปกติ 219-269 เอ็มเอส ผลที่ได้รับจากการทดสอบ 252.2 เอ็มเอส โดยใช้เครื่องออสซิลอโคปในการวัดแรงดันจะเห็นได้ว่าค่าแรงดันนั้นอยู่ในช่วงที่กำหนด ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้

2.8 อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและต่ำสุด 0.95 -1.05 โวลต์ ผลที่ได้รับจากการทดสอบ 1 โวลต์ โดยใช้เครื่องออสซิลอโคปในการวัดแรงดันจะเห็นได้ว่าค่าแรงดันนั้นอยู่ในช่วงที่กำหนด ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้

2.9 อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและต่ำสุด 1024 kHz 0-6 dB ผลที่ได้รับจากการทดสอบของแรงดันสูงสุดและต่ำสุด 5 dB โดยใช้เครื่องเจนเรเตอร์ในการวัดแรงดันจะเห็นได้ว่าค่าแรงดันนั้นอยู่ในช่วงที่กำหนด ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้

2.10 การสูญเสียป้อนกลับที่ความถี่ 1024 kHz ≥ 18 dB ผลที่ได้จากการทดสอบ 21.374 dB โดยใช้เครื่องส่ง-รับสัญญาณ (HP37730A และ HP37732A) วัดค่าได้ 89 โอห์ม แล้วใช้สูตร $20 \log \frac{R_m + R_s}{R_m - R_s}$, R_s = ค่าความต้านทานมาตรฐาน, R_m = ค่าความต้านทานที่วัดได้ ในการหาค่าการสูญเสียป้อนกลับนั้นจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้สูงกว่าที่กำหนด โดยทั่วไปค่าสูงมากเป็นการใช้งานได้ดีมากทวีคูณไปด้วย ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้

2.11 จำนวนของการสูญเสียสายเคเบิล 4 เส้น ผลที่ได้รับจากการทดสอบโดยใช้สายเคเบิล 4 เส้น ส่งสัญญาณโดยใช้เครื่องส่ง-รับสัญญาณ (HP37730A และ HP37732A) เครื่องตรวจสอบสัญญาณผิดพลาด (ME448A) นั้นถ้ามีการสูญเสียสายเคเบิล 4 เส้น จะทำให้หลอดไฟทางด้านรับ(Receive) กับทางด้านส่ง (Transmit) ไม่มีสัญญาณไฟติดและที่เครื่องตรวจเช็คสัญญาณ (HP37730A และ HP37732A) เป็นปกติ เครื่องตรวจสอบสัญญาณผิดพลาด (ME448A) มีค่าเป็น 0.00 เป็นการทำงานเป็นปกติ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้

2.12 ค่าเฉลี่ยกำลังขาออก 13-14 dBm ผลที่ได้รับจากการทดสอบเป็น 15.5 dBm โดยใช้เครื่องเจนเรเตอร์ในการวัดแรงดัน จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันที่วัดได้นั้นสูงกว่าค่าที่กำหนดแต่การทำงานของเครื่องยังคงทำงานเป็นปกติ ซึ่งไม่เป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ เพราะขนาดของเคเบิลที่ใช้ทำการทดสอบมีขนาด 0.5 มิลลิเมตร และมีความยาวเป็นช่วงๆ

ช่วงละ 500 เมตร จึงทำให้เกิดรอยต่อเป็นจุดๆและมีความต่างศักย์เกิดขึ้น ทำให้ค่าเฉลี่ยที่วัดได้นั้นสูงกว่าที่กำหนด

2.13 ค่าสูญเสียของการรูป 38 dB @ 150 KHz ผลที่ได้รับจากการทดสอบ 19 dB @ 150 KHz โดยใช้เครื่องเจนเรเตอร์ในการวัด ซึ่งอยู่ในช่วงที่เครื่องทำงานได้เป็นปกติโดยมีการทดสอบเป็นช่วงๆของเคเบิลที่มีอยู่ จะเห็นได้ว่าค่าที่วัดได้ต่ำกว่าที่กำหนด ซึ่งไม่เป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ เพราะขนาดของเคเบิลที่ใช้ทำการทดสอบมีขนาด 0.5 มิลลิเมตร และมีความยาวเป็นช่วงๆช่วงละ 500 เมตร จึงทำให้เกิดรอยต่อเป็นจุดๆและมีความต่างศักย์เกิดขึ้น ทำให้เครื่องไม่สามารถยอมรับได้

2.14 ค่าความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสตรงของการรูป 135 โอห์ม ผลที่ได้รับจากการทดสอบเป็น 150 โอห์ม โดยใช้เครื่องมือวัดมิเตอร์ในการวัดค่าความต้านทาน จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานนั้นสูงกว่าค่าที่กำหนดโดยที่เครื่องทำงานได้เป็นปกติ ซึ่งไม่เป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ เพราะว่ามีรอยต่อเป็นจุดๆและมีความต่างศักย์เกิดขึ้นจึงทำให้มีความต้านทานสูงขึ้นตามไปด้วย

3. การทดสอบหาค่าเกณฑ์มาตรฐานของเครื่องมัลติเพล็กซ์ทางด้านรับ-ส่งสัญญาณ

ตาราง 13 การทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลของการรับ-ส่ง เครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

ลำดับ	รายการที่ทดสอบ	ผลที่ได้รับจากการทดสอบ
1	จำนวนของการรูป	2.048 Mb/s +3 ppm
2	ค่าเฉลี่ยกำลังขาออก	16 dBm
3.	ค่าสูญเสียของการรูป	19 dB
4	ค่าความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสตรงของการรูป	150 โอห์ม

จากตาราง 13 การวิเคราะห์ข้อมูลของการรับ-ส่ง เครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ ได้ดังนี้

3.1 จำนวนของการรูปผลที่ได้รับจากการทดสอบในขณะที่เครื่องทำงานปกติผลที่ได้รับจากการทดสอบในการส่งแล้วรับได้ 2.048 Mb/s +3 ppm โดยใช้เครื่องส่ง-รับสัญญาณ (HP37730A และ HP37732A) เครื่องตรวจสอบสัญญาณผิดพลาด (ME448A) นั้นถ้ามีการส่งอัตราความเร็วของการส่งในสายสูงกว่าที่กำหนดนั้นจะทำให้มีความผิดพลาดเกิดขึ้นแล้วมีสัญญาณไฟมาโชว์ที่หลอดไฟทางด้านรับ (Receive) กับทางด้านส่ง (Transmit) โชว์เป็นที่หลอดสีแดง ส่วนในการส่งอัตราความเร็วของการส่งในสายสูงสุด 2.048 Mb/s +3 ppm นั้นจะทำให้หลอดไฟทางด้านรับ(Receive) กับทางด้านส่ง (Transmit) ไม่มีสัญญาณไฟติดและที่เครื่องส่ง-รับสัญญาณ (HP37730A และ HP37732A) เป็นปกติ เครื่องตรวจสอบสัญญาณผิดพลาด (ME448A) มีค่าเป็น 0.00 เป็นการทำงานเป็นปกติ

3.2 ค่าเฉลี่ยกำลังขาออกผลที่ได้รับจากการทดสอบ ในขณะที่เครื่องทำงานปกติผลที่ได้รับจากการทดสอบเป็น 16 dBm โดยใช้เครื่องเจนเรเตอร์ในการวัดแรงดัน

3.3 ค่าสูญเสียของการรูปผลที่ได้รับจากการทดสอบ ในขณะที่เครื่องทำงานปกติผลที่ได้รับจากการทดสอบ 19 dB โดยใช้เครื่องเจนเรเตอร์ในการวัดอยู่ในช่วงที่เครื่องทำงานได้เป็นปกติโดยมีการทดสอบเป็นช่วงๆของเคเบิล

3.4 ค่าความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสตรงของการรูปผลที่ได้รับจากการทดสอบ ในขณะที่เครื่องทำงานปกติ ผลที่ได้รับจากการทดสอบ 150 โอห์ม โดยใช้เครื่องมือวัดค่าความต้านทาน

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ ได้ดำเนินการดังต่อไปนี้

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. ออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ
2. ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ ตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ

ความสำคัญของการวิจัย

ได้เครื่องมัลติเพล็กซ์ที่ใช้ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณพร้อมคู่มือการติดตั้ง ซึ่งสามารถนำไปใช้ต่อเชื่อมขยายสัญญาณจากศูนย์ใช้งานไปยังชุมชนต่างๆ ตามความต้องการของผู้ใช้บริการ

สมมติฐานในการวิจัย

เครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ ที่ใช้ในการสื่อสารด้านโทรคมนาคมได้ประสิทธิภาพตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ

การดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยการออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณครั้งนี้ผู้วิจัยจะดำเนินการดังต่อไปนี้

1. รับรู้ปัญหาของระบบโทรคมนาคมที่ใช้อยู่ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ เพราะอุปกรณ์มัลติเพล็กซ์ที่ใช้นั้นจะเป็นการนำเข้าจากต่างประเทศ และมีราคาแพงเพราะเป็นชุดอุปกรณ์มัลติเพล็กซ์ที่มีช่องสัญญาณสูงอีกระดับหนึ่งจนเกิดความจำเป็น เมื่อรวมค่าแรงและค่าใช้จ่ายต่างๆแล้วจะต้องสูญเสียงบประมาณเป็นจำนวนมากในการใช้จ่ายเกี่ยวกับอุปกรณ์มัลติเพล็กซ์ ที่จะนำมาใช้ในการส่งสัญญาณโทรศัพท์เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสาร
2. ศึกษารายละเอียดต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ โดยการศึกษาค้นคว้าจากเอกสารตำราและงานวิจัยเชิงทดลอง ที่เกี่ยวกับการออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์และงานวิจัยเชิงทดลองทางด้านไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์และทางด้านโทรคมนาคมที่เกี่ยวข้อง
3. ทำการออกแบบวงจรในส่วนต่างๆ ของสร้างมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

3.1 ออกแบบวงจรของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 2 แอมแปร์

3.2 ออกแบบวงจรของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 2 แอมแปร์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์ และเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 1 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์

3.3 ออกแบบวงจรมัลติเพล็กซ์&ดีมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

4. กำหนดวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือในส่วนต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ ผู้วิจัยได้เลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีคุณภาพดี และราคาถูก ที่มีขายในท้องตลาด

4.1 ชุดแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 2 แอมแปร์ และชุดแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 2 แอมแปร์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์ และเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 1 โวลต์ 250 มิลลิแอมแปร์ โดยสั่งซื้ออุปกรณ์ตามรายละเอียดของวงจรที่ได้ทำการกำหนดและออกแบบไว้ จากบริษัทอิเล็กทรอนิกส์ พาร์ท ซัพพลาย จำกัด 15-19 ซอยทิพย์วารี ถนนบ้านหม้อ วังบูรพาภิรมย์ พระนคร กรุงเทพมหานคร และบริษัทคอมมิวนิเคชั่นอิเล็กทรอนิกส์ซัพพลาย จำกัด 234/2 ซอยประชาชื่น 37 (นพเก้า 5) ถนนประชาชื่น บางซื่อ กรุงเทพมหานคร

4.2 ชุดมัลติเพล็กซ์&ดีมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ โดยสั่งซื้ออุปกรณ์ตามรายละเอียดของวงจรที่ได้ทำการกำหนดและออกแบบไว้ จากบริษัทอิเล็กทรอนิกส์ ซอร์ซ จำกัด ถนนบ้านหม้อ วังบูรพาภิรมย์ พระนคร กรุงเทพมหานคร และบริษัทบอส อิเล็คทรอนิกส์ คอมโพเนนท์ จำกัด 145 ถนนพาดสาย สัมพันธวงศ์ กรุงเทพมหานคร

4.3 สิ่งทำแผ่นวงจรพิมพ์จากวงจรที่ได้ออกแบบไว้เป็นแผ่นปริ้นสองชั้นและประกอบวงจรที่บริษัทคอมไบน์เซอร์กิต จำกัด 134/111 ซอยประชาราชมรรค์ 1 ถนนประชาราชมรรค์ 1 บางซื่อ กรุงเทพมหานคร

5. กำหนดระยะเวลาและสถานที่ ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

5.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ เริ่มตั้งแต่วันที่ 15 เดือนมกราคม พ.ศ. 2542 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2542

5.2 สถานที่ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ หน่วยระบบสื่อสารทางสายที่ 1 กองระบบสื่อสารที่ 1 ส่วนระบบตอนในที่ 1 ฝ่ายนครหลวงที่ 1 องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย กรุงเทพมหานคร

6. สร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ เพื่อการวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการสร้างส่วนประกอบต่างๆ ตามแบบที่กำหนด

7. ทดสอบ ปรับปรุง และแก้ไขการทำงานของเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ ที่หน่วยระบบสื่อสารทางสายที่ 1 กองระบบสื่อสารที่ 1 ส่วนระบบตอนในที่ 1 ฝ่ายนครหลวงที่ 1 องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย กรุงเทพมหานคร

8. ทดสอบค่าความผิดพลาดตามคุณสมบัติที่ใช้ในการสื่อสารด้านโทรคมนาคมที่ได้ประสิทธิภาพตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ ผู้วิจัยได้ทำหนังสือจากบัณฑิตวิทยาลัยไปยังกองทดสอบอุปกรณ์โทรคมนาคม ฝ่ายวิจัยและพัฒนาเทคนิค องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี เพื่อทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ ที่ได้สร้างขึ้น มาทำการทดสอบคุณสมบัติที่ใช้ในการสื่อสารด้านโทรคมนาคม ที่ได้ประสิทธิภาพตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ ที่กองทดสอบอุปกรณ์โทรคมนาคม ฝ่ายวิจัยและพัฒนาเทคนิค องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

1. ส่วนเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ เป็นที่ยอมรับและสามารถนำไปใช้งานได้ตามความต้องการมีรายละเอียดดังนี้

- 1.1 อัตราความเร็วของการส่งในสายสูงสุด 2.048 Mb/s + 3 ppm
- 1.2 อัตราความเร็วสูงสุดในการส่งข้อมูล 2.048 Mb/s + 3 ppm
- 1.3 รหัสของการส่งสัญญาณของสาย เอชดีบี-3
- 1.4 ค่าความต้านทานในสาย 75 โอห์ม ร้อยละ 5 /120 โอห์ม ร้อยละ 5
- 1.5 ค่าแรงดันสูงสุดในขณะที่ไม่มีการทำงาน 0.206 โวลต์
- 1.6 ความกว้างของพัลส์ปกติ 252.2 เอ็มเอส
- 1.7 อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและต่ำสุด 1 โวลต์
- 1.8 อัตราความสูญเสียของสัญญาณที่ความถี่ 1024 kHz 5 dB
- 1.9 การสูญเสียย้อนกลับที่ความถี่ 1024 kHz = 21.374 dB
- 1.10 จำนวนของการลูบใช้สายเคเบิล 4 เส้น

2. ส่วนที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ แต่สามารถนำเครื่องไปใช้งานได้ตามความต้องการมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ค่าแรงดันสูงสุดในขณะทำงานปกติที่ได้จากการทดสอบ 3.26 โวลต์ โดยปกติค่าแรงดันสูงสุดในขณะทำงานปกติ 2.14-2.60 โวลต์ ผลที่ได้รับจากการทดสอบวัดค่าแรงดันสูงสุดได้ 3.26 โวลต์ โดยใช้เครื่องออสซิลโคปในการวัดแรงดัน จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันนั้นสูงกว่าค่าที่กำหนดแต่การทำงานเครื่องนั้นยังเป็นปกติ แต่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ ที่กำหนดไว้ การที่วัดแรงดันได้สูงกว่าค่าที่กำหนดนั้นเพราะผู้วิจัยได้เลือกใช้ไอซีตระกูล SN 74 LS ที่เป็นไอซีที่ต้องการแรงดันสูงโดยค่าแรงดันสูงสุดที่รับได้ 5.25 โวลต์ และแรงดันต่ำสุดรับได้ 4.75 โวลต์ และแรงดันปกติ 5 โวลต์

2.2 ค่าเฉลี่ยกำลังขาออกที่ได้จากการทดสอบ 15.5 dBm โดยปกติค่าเฉลี่ยกำลังขาออก 13-14 dBm ผลที่ได้รับจากการทดสอบเป็น 15.5 dBm โดยใช้เครื่องเจนเรเตอร์ในการวัดแรงดัน จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันที่วัดได้นั้นสูงกว่าค่าที่กำหนดแต่การทำงานของเครื่องยังคงทำงานเป็นปกติ ซึ่งไม่เป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ เพราะขนาดของเคเบิลที่ใช้ทำการทดสอบมีขนาด 0.5 มิลลิเมตร และมีความยาวเป็นช่วงๆช่วงละ 500 เมตร จึงทำให้เกิดรอยต่อเป็นจุดๆ และมีความต่างศักย์เกิดขึ้น ทำให้ค่าเฉลี่ยที่วัดได้นั้นสูงกว่าที่กำหนด

2.3 ค่าสูญเสียของการรบกวนที่ได้จากการทดสอบ 19 dB @ 150 kHz โดยปกติค่าสูญเสียของการรบกวน 38 dB @ 150 KHz ผลที่ได้รับจากการทดสอบ 19 dB @ 150 KHz โดยใช้เครื่องเจเนเรเตอร์ในการวัด ซึ่งอยู่ในช่วงที่เครื่องทำงานได้เป็นปกติโดยมีการทดสอบเป็นช่วงๆของเคเบิลที่มีอยู่ จะเห็นได้ว่าค่าที่วัดได้ต่ำกว่าที่กำหนด ซึ่งไม่เป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ เพราะขนาดของเคเบิลที่ใช้ทำการทดสอบมีขนาด 0.5 มิลลิเมตร และมีความยาวเป็นช่วงๆช่วงละ 500 เมตร จึงทำให้เกิดรอยต่อเป็นจุดๆและความต่างศักย์เกิดขึ้น ทำให้เครื่องไม่สามารถยอมรับได้

2.4 ค่าความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสตรงของการรบกวนที่ได้จากการทดสอบ 150 โอห์ม โดยปกติ ค่าความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสตรงของการรบกวน 135 โอห์ม ผลที่ได้รับจากการทดสอบ เป็น 150 โอห์ม โดยใช้เครื่องมือวัดค่าความต้านทาน จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานนั้นสูงกว่าค่าที่กำหนดโดยที่เครื่องทำงานได้เป็นปกติ ซึ่งไม่เป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ เพราะว่ามีรอยต่อเป็นจุดๆและความต่างศักย์เกิดขึ้นจึงทำให้มีความต้านทานสูงขึ้นตามไปด้วย

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติที่ใช้ในการสื่อสารด้านโทรคมนาคม ที่ได้ประสิทธิภาพตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ ของเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ เป็นไปตามขอบเขตของการวิจัยซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. โดยการออกแบบและสร้างเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ ซึ่งมีคุณสมบัติและประสิทธิภาพตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ มีส่วนประกอบดังนี้

1.1 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ชนิดที่มีแรงดันไฟฟ้าขาออกได้ 48 โวลต์ สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด 2 แอมแปร์ จำนวน 1 ชุด

1.2 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ชนิดที่เลือกค่าที่มีแรงดันไฟฟ้าขาออกได้ 2 ระดับ คือ 5 โวลต์ และ 1 โวลต์ สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด 250 มิลลิแอมแปร์ จำนวน 1 ชุด

1.3 ชุดมัลติเพล็กซ์&ดีมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ จำนวน 1 ชุด

2. เป็นการศึกษาประสิทธิภาพถึงค่าความผิดพลาดตามคุณสมบัติที่ใช้ในการสื่อสารด้านโทรคมนาคมที่ได้ประสิทธิภาพตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ มีรายละเอียดดังนี้

2.1 อัตราความเร็วของการส่งในสายสูงสุด 2.048 Mb/s $\pm$ 50 ppm ผลที่ได้จากการทดสอบในการส่งโดยใช้อัตราความเร็วของการส่งในสายสูงสุดได้ 2.048 Mb/s โดยใช้เครื่องส่ง-รับสัญญาณ (HP37730A - HP37732A) และเครื่องตรวจสอบสัญญาณผิดพลาด (ME448A) นั้นทำการทดสอบหาอัตราความเร็วที่เครื่องสามารถรับ - ส่งในสายได้สูงสุด 2.048 Mb/s +3 ppm นั้นเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้

2.2 อัตราความเร็วสูงสุดในการส่งข้อมูล 2.048 Mb/s $\pm$ 50 ppm ผลที่ได้จากการทดสอบในการส่งโดยใช้อัตราความเร็วของการส่งสูงสุดได้ 2.048 Mb/s โดยใช้เครื่องส่ง-รับสัญญาณ

(HP37730A - HP37732A) และเครื่องตรวจสอบสัญญาณผิดพลาด (ME448A) นั้นทำการทดสอบหาอัตราความเร็วที่เครื่องสามารถรับ - ส่งได้สูงสุด 2.048 Mb/s +3 ppm นั้นเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้

2.3 รหัสของการส่งสัญญาณของสาย เอชดีบี-3 ผลที่ได้รับจากการทดสอบในการส่ง-รับสัญญาณเป็น เอชดีบี-3 ทำให้เครื่องทำงานเป็นปกติแล้วจะแสดงผลให้หลอดไฟทางด้านรับ (Receive) กับทางด้านส่ง (Transmit) ไม่มีสัญญาณไฟติดและที่เครื่องตรวจเช็คสัญญาณ (ME448A) มีค่าเป็น 0.00 เป็นการทำงานเป็นปกติ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้

2.4 ค่าความต้านทานในสาย 75 โอห์ม ร้อยละ 5, 120 โอห์ม ร้อยละ 5 ผลที่ได้รับจากการทดสอบโดยใช้เครื่องส่ง-รับสัญญาณ (HP37730A และ HP37732A) เครื่องตรวจสอบสัญญาณผิดพลาด (ME448A) โดยการวัดค่าความต้านทานในสายได้ 75 โอห์ม และ 120 โอห์ม ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้

2.5 ค่าแรงดันสูงสุดในขณะที่ทำงานปกติ 2.14-2.60 โวลต์ ผลที่ได้รับจากการทดสอบวัดค่าแรงดันสูงสุดได้ 3.26 โวลต์ โดยใช้เครื่องออสซิลอโคปในการวัดแรงดัน จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันนั้นสูงกว่าค่าที่กำหนดแต่การทำงานของเครื่องนั้นยังเป็นปกติ แต่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ การที่วัดแรงดันได้สูงกว่าค่าที่กำหนดนั้นเพราะว่าผู้วิจัยได้เลือกใช้ไอซีตระกูล SN 74 LS ที่เป็นไอซีที่ต้องการแรงดันสูงโดยค่าแรงดันสูงสุดที่รับได้ 5.25 โวลต์ และแรงดันต่ำสุดรับได้ 4.75 โวลต์ และแรงดันปกติ 5 โวลต์

2.6 ค่าแรงดันสูงสุดในขณะที่ไม่มีการทำงาน -0.237 ถึง +0.237 โวลต์ ผลที่ได้รับจากการทดสอบเป็น 0.206 โวลต์ โดยใช้เครื่องออสซิลอโคปในการวัดแรงดันจะเห็นได้ว่าค่าแรงดันนั้นอยู่ในช่วงที่กำหนด ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้

2.7 ความกว้างของพัลส์ปกติ 219-269 เอ็มเอส ผลที่ได้รับจากการทดสอบ 252.2 เอ็มเอส โดยใช้เครื่องออสซิลอโคปในการวัดแรงดันจะเห็นได้ว่าค่าแรงดันนั้นอยู่ในช่วงที่กำหนด ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้

2.8 อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและต่ำสุด 0.95 -1.05 โวลต์ ผลที่ได้รับจากการทดสอบ 1 โวลต์ โดยใช้เครื่องออสซิลอโคปในการวัดแรงดันจะเห็นได้ว่าค่าแรงดันนั้นอยู่ในช่วงที่กำหนด ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้

2.9 อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและต่ำสุด 1024 kHz 0-6 dB ผลที่ได้รับจากการทดสอบของแรงดันสูงสุดและต่ำสุด 5 dB โดยใช้เครื่องเจนเรเตอร์ในการวัดแรงดันจะเห็นได้ว่าค่าแรงดันนั้นอยู่ในช่วงที่กำหนด ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้

2.10 การสูญเสียป้อนกลับที่ความถี่ 1024 kHz ≥ 18 dB ผลที่ได้จากการทดสอบ 21.374 dB โดยใช้เครื่องส่ง-รับสัญญาณ (HP37730A และ HP37732A) วัดค่าได้ 89 โอห์ม แล้วใช้สูตร $20\log \frac{R_m + R_s}{R_m - R_s}$, R_s = ค่าความต้านทานมาตรฐาน, R_m = ค่าความต้านทานที่วัดได้ ในการหาค่าการสูญเสียป้อนกลับนั้นจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้สูงกว่าที่กำหนด โดยทั่วไปค่าสูงมากเป็นการใช้งานได้ดีมากทวีคูณไปด้วย ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้

2.11 จำนวนของการสูญเสียสายเคเบิล 4 เส้น ผลที่ได้รับจากการทดสอบโดยใช้สายเคเบิล 4 เส้น ส่งสัญญาณโดยใช้เครื่องส่ง-รับสัญญาณ (HP37730A และ HP37732A) เครื่องตรวจสอบสัญญาณผิดพลาด (ME448A) นั้นถ้ามีการสูญเสียสายเคเบิล 4 เส้น จะทำให้หลอดไฟทางด้านรับ (Receive) กับทางด้านส่ง (Transmit) ไม่มีสัญญาณไฟติดและที่เครื่องตรวจเช็คสัญญาณ (HP37730A และ

HP37732A) เป็นปกติ เครื่องตรวจสอบสัญญาณผิดพลาด (ME448A) มีค่าเป็น 0.00 เป็นการทำงานเป็นปกติ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้

2.12 ค่าเฉลี่ยกำลังขาออก 13-14 dBm ผลที่ได้รับจากการทดสอบเป็น 15.5 dBm โดยใช้เครื่องเจนเรเตอร์ในการวัดแรงดัน จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันที่วัดได้นั้นสูงกว่าค่าที่กำหนดแต่การทำงานของเครื่องยังคงทำงานเป็นปกติ ซึ่งไม่เป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ เพราะขนาดของเคเบิลที่ใช้ทำการทดสอบมีขนาด 0.5 มิลลิเมตร และมีความยาวเป็นช่วงๆ ช่วงละ 500 เมตร จึงทำให้เกิดรอยต่อเป็นจุดๆและความต่างศักย์เกิดขึ้น ทำให้ค่าเฉลี่ยที่วัดได้นั้นสูงกว่าที่กำหนด

2.13 ค่าสูญเสียของการสูญเสีย 38 dB @ 150 KHz ผลที่ได้รับจากการทดสอบ 19 dB @ 150 KHz โดยใช้เครื่องเจนเรเตอร์ในการวัด ซึ่งอยู่ในช่วงที่เครื่องทำงานได้เป็นปกติโดยมีการทดสอบเป็นช่วงๆของเคเบิลที่มีอยู่ จะเห็นได้ว่าค่าที่วัดได้ต่ำกว่าที่กำหนด ซึ่งไม่เป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ เพราะขนาดของเคเบิลที่ใช้ทำการทดสอบมีขนาด 0.5 มิลลิเมตร และมีความยาวเป็นช่วงๆช่วงละ 500 เมตร จึงทำให้เกิดรอยต่อเป็นจุดๆและความต่างศักย์เกิดขึ้น ทำให้เครื่องไม่สามารถยอมรับได้

2.14 ค่าความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสตรงของการสูญเสีย 135 โอห์ม ผลที่ได้รับจากการทดสอบเป็น 150 โอห์ม โดยใช้เครื่องมือวัดมิเตอร์ในการวัดค่าความต้านทาน จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานนั้นสูงกว่าค่าที่กำหนดโดยที่เครื่องทำงานได้เป็นปกติ ซึ่งไม่เป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ เพราะว่ามีรอยต่อเป็นจุดๆและความต่างศักย์เกิดขึ้นจึงทำให้มีความต้านทานสูงขึ้นตามไปด้วย

3. การวิเคราะห์ข้อมูลของการรับ-ส่ง เครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ ได้ดังนี้

3.1 จำนวนของการสูญเสียผลที่ได้รับจากการทดสอบในขณะที่เครื่องทำงานปกติผลที่ได้รับจากการทดสอบในการส่งแล้วรับได้ 2.048 Mb/s +3 ppm โดยใช้เครื่องส่ง-รับสัญญาณ (HP37730A และ HP37732A) เครื่องตรวจสอบสัญญาณผิดพลาด (ME448A) นั้นถ้ามีการส่งอัตราความเร็วของการส่งในสายสูงกว่าที่กำหนดนั้นจะทำให้มีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นแล้วมีสัญญาณไฟมาโชว์ที่หลอดไฟทางด้านรับ (Receive) กับทางด้านส่ง (Transmit) โชว์เป็นที่หลอดสีแดง ส่วนในการส่งอัตราความเร็วของการส่งในสายสูงสุด 2.048 Mb/s +3 ppm นั้นจะทำให้หลอดไฟทางด้านรับ(Receive) กับทางด้านส่ง (Transmit) ไม่มีสัญญาณไฟติดและที่เครื่องส่ง-รับสัญญาณ (HP37730A และ HP37732A) เป็นปกติ เครื่องตรวจสอบสัญญาณผิดพลาด (ME448A) มีค่าเป็น 0.00 เป็นการทำงานเป็นปกติ

3.2 ค่าเฉลี่ยกำลังขาออกผลที่ได้รับจากการทดสอบ ในขณะที่เครื่องทำงานปกติผลที่ได้รับจากการทดสอบเป็น 16 dBm โดยใช้เครื่องเจนเรเตอร์ในการวัดแรงดัน

3.3 ค่าสูญเสียของการสูญเสียผลที่ได้รับจากการทดสอบ ในขณะที่เครื่องทำงานปกติผลที่ได้รับจากการทดสอบ 19 dB โดยใช้เครื่องเจนเรเตอร์ในการวัดอยู่ในช่วงที่เครื่องทำงานได้เป็นปกติโดยมีการทดสอบเป็นช่วงๆของเคเบิล

3.4 ค่าความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสตรงของการสูญเสียผลที่ได้รับจากการทดสอบ ในขณะที่เครื่องทำงานปกติ ผลที่ได้รับจากการทดสอบ 150 โอห์ม โดยใช้เครื่องมือวัดมิเตอร์ในการวัดค่าความต้านทาน

อภิปรายผล

การออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. อัตราความเร็วของการส่งในสายสูงสุด 2.048 Mb/s + 3 ppm ผลที่ได้จากการทดสอบนั้นเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ เพราะผู้วิจัยได้เลือกใช้ไอซี SN74LS253 เป็นไอซีที่ทำการมัลติเพล็กซ์ที่ความถี่สูงสุดได้ 2.048 Mb/s และเลือกเอาต์พุตที่เป็น จี 703 ในการส่งสัญญาณ

2. อัตราความเร็วสูงสุดในการส่งข้อมูล 2.048 Mb/s + 3 ppm ผลที่ได้จากการทดสอบนั้นเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ เพราะผู้วิจัยได้เลือกใช้ไอซี SN74LS253 เป็นไอซีที่ทำการมัลติเพล็กซ์ที่ความถี่สูงสุดได้ 2.048 Mb/s และเลือกเอาต์พุตที่เป็น จี 703 ในการส่งสัญญาณ

3. รหัสของการส่งสัญญาณของสาย เลขดีบี-3 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ เพราะผู้วิจัยได้เลือกใช้ไอซี SN74LS253 เป็นไอซีที่ทำการมัลติเพล็กซ์ที่ความถี่สูงสุดได้ 2.048 Mb/s และเลือกเอาต์พุตที่เป็น จี 703 ในการส่งสัญญาณซึ่งสัญญาณที่ออกจากไอซี SN74LS253 เป็นสัญญาณ เลขดีบี-3 อยู่แล้ว

4. ค่าความต้านทานในสาย 75 โอห์ม ร้อยละ 5 , 120 โอห์ม ร้อยละ 5 ผลที่ได้รับจากการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้สาย 2C3V โคแอกเชียล ซึ่งเป็นสายที่ได้มาตรฐานในสาย 75 โอห์ม ร้อยละ 5 , 120 โอห์ม ร้อยละ 5 อยู่แล้ว

5. ค่าแรงดันสูงสุดในขณะทำงานปกติ 2.14-2.60 โวลต์ ผลที่ได้รับจากการทดสอบวัดค่าแรงดันสูงสุดได้ 3.26 โวลต์ โดยใช้เครื่องออสซิลอโคปในการวัดแรงดัน จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันนั้นสูงกว่าค่าที่กำหนดแต่การทำงานของเครื่องนั้นยังเป็นปกติ แต่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ การที่วัดแรงดันได้สูงกว่าค่าที่กำหนดนั้นเพราะว่าผู้วิจัยได้เลือกใช้ไอซีตระกูล SN 74 LS ที่เป็นไอซีที่ต้องการแรงดันสูงโดยค่าแรงดันสูงสุดที่รับได้ 5.25 โวลต์ และแรงดันต่ำสุดรับได้ 4.75 โวลต์ และแรงดันปกติ 5 โวลต์

6. ค่าแรงดันสูงสุดในขณะที่ไม่มีการทำงาน 0.206 โวลต์ ผลที่ได้รับจากการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ เพราะแรงดันที่ยังคงสถานะอยู่ที่ตัวอุปกรณ์หลังจากการใช้งาน

7. ความกว้างของพัลส์ปกติ 252.2 เอ็มเอส ผลที่ได้รับจากการทดสอบ เป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ เพราะความกว้างของพัลส์ที่ความถี่ 2.048 Mb/s อยู่ในช่วงที่กำหนดของไอซี SN74LS253 มัลติเพล็กซ์ อยู่แล้ว

8. อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและต่ำสุด 1 โวลต์ ผลที่ได้รับจากการทดสอบ เป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ โดยใช้เครื่องออสซิลอโคปในการวัดแรงดัน จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันของพัลส์สูงสุดลบด้วยค่าแรงดันของพัลส์ต่ำสุด

9. อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและต่ำสุด 1024 kHz 5 dB ผลที่ได้รับจากการทดสอบ เป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ โดยใช้เครื่องเจนเรเตอร์ในการวัดแรงดันที่สูงสุดลบด้วยค่าแรงดันต่ำสุด

10. การสูญเสียป้อนกลับที่ความถี่ $1024 \text{ kHz} \geq 18 \text{ dB}$ ผลที่ได้จากการทดสอบ 21.374 dB โดยใช้เครื่องส่ง-รับสัญญาณ (HP37730A และ HP37732A) วัดค่าได้ 89 โอห์ม แล้วใช้

สูตร $20 \log \frac{R_m + R_s}{R_m - R_s}$, R_s = ค่าความต้านทานมาตรฐาน, R_m = ค่าความต้านทานที่วัดได้ ในการหาค่าการสูญเสียป้อนกลับนั้นจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้สูงกว่าที่กำหนด ผู้วิจัยได้เลือกใช้สาย 2C3V โคแอ็คเซียน ซึ่งเป็นสายที่ได้มาตรฐานในสาย 75 โอห์ม ร้อยละ 5, 120 โอห์ม ร้อยละ 5 อยู่แล้ว ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้

11. จำนวนของการสูญเสียสายเคเบิล 4 เส้น ผลที่ได้รับจากการทดสอบโดยใช้สายเคเบิล 4 เส้น เป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ เพราะสถานะของการส่งสัญญาณใช้ 2 เส้น และสถานะรับสัญญาณใช้ 2 เส้น

12. ค่าเฉลี่ยกำลังขาออก $13-14 \text{ dBm}$ ผลที่ได้รับจากการทดสอบเป็น 15.5 dBm โดยใช้เครื่องเจเนเรเตอร์ในการวัดแรงดัน จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันที่วัดได้นั้นสูงกว่าค่าที่กำหนดแต่การทำงานของเครื่องยังคงทำงานเป็นปกติ ซึ่งไม่เป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ เพราะขนาดของเคเบิลที่ใช้ทำการทดสอบมีขนาด 0.5 มิลลิเมตร และมีความยาวเป็นช่วงๆ ช่วงละ 500 เมตร จึงทำให้เกิดรอยต่อเป็นจุดๆ และมีความต่างศักย์เกิดขึ้น ทำให้ค่าเฉลี่ยที่วัดได้นั้นสูงกว่าที่กำหนด

13. ค่าสูญเสียของการสูญเสีย $38 \text{ dB} @ 150 \text{ KHz}$ ผลที่ได้รับจากการทดสอบ $19 \text{ dB} @ 150 \text{ KHz}$ โดยใช้เครื่องเจเนเรเตอร์ในการวัด ซึ่งอยู่ในช่วงที่เครื่องทำงานได้เป็นปกติโดยมีการทดสอบเป็นช่วงๆ ของเคเบิลที่มีอยู่ จะเห็นได้ว่าค่าที่วัดได้ต่ำกว่าที่กำหนด ซึ่งไม่เป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ เพราะขนาดของเคเบิลที่ใช้ทำการทดสอบมีขนาด 0.5 มิลลิเมตร และมีความยาวเป็นช่วงๆ ช่วงละ 500 เมตร จึงทำให้เกิดรอยต่อเป็นจุดๆ และมีความต่างศักย์เกิดขึ้น ทำให้เครื่องไม่สามารถยอมรับได้

14. ค่าความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสตรงของการสูญเสีย 135 โอห์ม ผลที่ได้รับจากการทดสอบ เป็น 150 โอห์ม โดยใช้เครื่องมือวัดในการวัดค่าความต้านทาน จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานนั้นสูงกว่าค่าที่กำหนดโดยที่เครื่องทำงานได้เป็นปกติ ซึ่งไม่เป็นไปตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติตามที่กำหนดไว้ เพราะว่ามีรอยต่อเป็นจุดๆ และมีความต่างศักย์เกิดขึ้นจึงทำให้มีความต้านทานสูงขึ้นตามไปด้วย

ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้การศึกษาค้นคว้านี้สมบูรณ์ผู้วิจัยจึงได้เสนอแนะเพื่อให้เกิดแนวคิดใหม่ๆ ในการศึกษาค้นคว้าในอนาคตดังนี้

1. การออกแบบชุดมัลติเพล็กซ์ที่ต้องการค่าแรงดันสูงสุดในขณะทำงานปกติ นั้นให้ออกแบบวงจรมาลดทอนแรงดันเพื่อให้เกิดแรงดันตามที่ต้องการ
2. การออกแบบชุดมัลติเพล็กซ์ที่ต้องการค่าเฉลี่ยกำลังขาออกอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน นั้นให้ทำการวงจรลดทอนค่าเฉลี่ย หรือให้ใช้สายเคเบิลที่เป็นขนาดเดียวกันตลอดความยาว (4 กิโลเมตร) และไม่มีรอยต่อเป็นจุดๆ
3. แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าทั้ง 2 ชุดควรออกแบบให้อยู่ในแผ่นวงจรพิมพ์ชุดเดียวกันเพื่อความสะดวกในการเชื่อมโยงและนำไปใช้งาน
4. ลายวงจรพิมพ์ควรออกแบบลงบนแผ่นปริ้นเดียวกัน เพื่อสะดวกในการเดินสายไฟและสายเชื่อมโยงในการติดตั้งและบรรจุลงกล่อง

5. หม้อแปลงไฟฟ้าควรเลือกใช้ที่มีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา
 6. การเลือกใช้เครื่องมือที่นำมาทำการทดลองนั้น ควรศึกษารายละเอียดให้ถูกต้องเพราะเครื่องมือแต่ละอย่างนั้นมีราคาแพง
 7. การเลือกใช้อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบนั้นควรเลือกอุปกรณ์ที่มีค่าความผิดพลาดน้อยๆ
- ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัย**
1. ควรเลือกทำการออกแบบโดยใช้ไอซีตัวเดียว ในชุดของมัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์ในการควบคุมสัญญาณ เพื่อคุณภาพของเครื่องมัลติเพล็กซ์ที่ดี
 2. ควรเลือกทำการออกแบบโดยใช้ซอฟต์แวร์ (Software) ในการออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กฤษฎา โพธิ์ศรีสุข, นิยม สังขวิเชียร และ สถาพร บุญชูวงศ์. (2535). เครื่องวัดอุณหภูมิ 16 ช่อง. ปริญญานิพนธ์ อส.บ. (วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์. ถ่ายเอกสาร.
- กานต์ เพชรบุรณิน, เฉลิม เมฆะสุวรรณโรจน์ และ มนต์รี พิงจิระวัฒน์. (2540). เครื่องควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านสายโทรศัพท์แบบป้องกันการดักฟัง. ปริญญานิพนธ์ วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์. ถ่ายเอกสาร.
- กำธร ไวยกุล. (2539. 12 ตุลาคม). "ADSL & HDSL," วารสารทางวิชาการสื่อสารโทรคมนาคม. 3(12) : 23-36.
- โกศล เพ็ชรสุวรรณ และ ชิงกี โซจิ. (2535). เทคโนโลยีโทรคมนาคม. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : ศูนย์การพิมพ์ดวงกมล.
- ขนิษฐา วัชรานาก. (ม.ป.ป.). การวิเคราะห์และตรวจสอบงานอุตสาหกรรม 330. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- เข้มทอง นิมศิริ. (2536). วิศวกรรมวางสายโทรศัพท์ตอนนอก. ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติการพิมพ์.
- คณิต พินศรี, วิเชียร พูลสุข และ สุวัฒน์ ดรจันแดง. (2537). การสื่อสารข้อมูลโดยใช้โมเด็ม. ปริญญานิพนธ์ อส.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์. ถ่ายเอกสาร.
- คมสัน รัตนภรณ์, เฉลิมเกียรติ เลิศศรีกิตติวัฒน์ และ บดินทร์ อุตตรนคร. (2538). การติดต่อข้อมูลแบบขนาน. ปริญญานิพนธ์ อส.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์. ถ่ายเอกสาร.
- ฉัตรชัย วงกตศิลา และ พงศ์ศักดิ์ ทศนสุนทรวงศ์. (2537). เครื่องตรวจสอบคุณสมบัติอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. ปริญญานิพนธ์ วศ.บ. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ถ่ายเอกสาร.
- ชัยยุทธ ชันอ้าย, ยุทธพงษ์ กุลเสวต และ สมนึก ต้นประเสริฐ. (2539). เครื่องสื่อสารข้อมูลความเร็วสูง. ปริญญานิพนธ์ อส.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์. ถ่ายเอกสาร.
- ชูชัย ธนสารตั้งเจริญ และ ทินกร ดูก. (ม.ป.ป.). การสื่อสารข้อมูล. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.
- ธราดล ภักดี. (2540). เครื่องหาจุดบกพร่องของสายเคเบิลโดยใช้แรงดันอินพัลส์. ปริญญานิพนธ์ วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์. ถ่ายเอกสาร.
- ธวัชชัย เลื่อนฉวี. (2533). เทคโนโลยีโทรศัพท์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สุภาลัย.
- ธานินทร์ ถาวรศาสนาวงค์. (ม.ป.ป.). การออกแบบวงจรด้วยไอซี TTL. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.
- บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด. (2529). คู่มือ/เทียบเบอร์ไอซี TTL. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : นานักวิชาการพิมพ์.
- บัณฑิต โรจน์อารยานนท์. (2534). หลักการไฟฟ้าสื่อสาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- บุญธรรม โปธิปักขิย์. (2521). หลักการโทรศัพท์ระบบมัลติเพล็กซ์ เล่ม 1. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สจน. วศ. 56. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า.
- ประกิจ ดั่งติสานนท์. (2537). วิศวกรรมสื่อสารไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ประสิทธิ์ ทิมพุมิ. (2539). การสื่อสารโทรคมนาคม Telecommunication ภาคพื้นฐาน. กรุงเทพฯ : เม็ดทรายพรินติ้ง.
- ปรีชา ธานันต์. (2529). วิศวกรรมโทรศัพท์. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ฝ่ายวิชาการบริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด. (2539). พจนานุกรมศัพท์วิศวกรรมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ : สยามสปอร์ต ซินดิเคท.
- ฝึกอบรมโทรคมนาคม ศูนย์องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย. (ม.ป.ป.). หนังสือคู่มือช่างความรู้เรื่อง โทรศัพท์.
- พิรุณ ทองอินทร์ และ คณเฑาะ นวลเจริญ. (2538). เครื่องขยายกำลังส่งวิทยุ. ปริญญานิพนธ์ อส.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์. ถ่ายเอกสาร.
- ไพศาล สงวนหมู่. (2532). การสื่อสารข้อมูลและไมโครคอมพิวเตอร์เน็ตเวิร์ค. กรุงเทพฯ : เอช-เอน.
- ฟ้าพื้น เบญจลด. (ม.ป.ป.). พื้นฐานโทรคมนาคม. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยรังสิต.
- มงคล ทองสงคราม. (2526). ทฤษฎีดิจิทัล. กรุงเทพฯ : วิ.เจ.พรินติ้ง.
- มนตรี อยู่ชัย และ พินพิชฌน์ พิมพ์น้อย. (2540). การส่งสัญญาณและเสียงผ่านเคเบิลใยแก้วนำแสง. ปริญญานิพนธ์ วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์. ถ่ายเอกสาร.
- มณู สุเกษม. (2520). วงจรโทรศัพท์ระบบครอสบาร์. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สจน. วศ. 63.
- . (2524). หลักการวางโครงข่ายและการจราจรโทรศัพท์. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ยงค์ เจียมสมพร, สมบัติ ไทแหล่ง และ สมัย รัตนพงษ์กุล. (2537). เครื่องบันทึกอุณหภูมิแบบหลายช่องสัญญาณ. ปริญญานิพนธ์ อส.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์. ถ่ายเอกสาร.
- ยงยุทธ วิฑูรธิศานต์. (2541). การออกแบบและสร้างชุดเครื่องมือทรานซิสเตอร์. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร. ถ่ายเอกสาร.
- วิสันต์ อาษาเดโชพล. (ม.ป.ป.). ระบบโทรศัพท์ดิจิทัล. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.
- ศรวุฑ คุ่มไพฑูรย์ และเจนวิทย์ ทิพย์สิริ. (2539). เครื่องวัดสัญญาณคลื่นหัวใจ. ปริญญานิพนธ์ อส.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์. ถ่ายเอกสาร.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- ศูนย์การฝึกอบรมองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย. (ม.ป.ป.). *DIGITAL MULTIPLEX I*. กรุงเทพฯ : องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย.
- สมคิด วิจัยประสิทธิ์ชัย, อรรถพล มณีโชติ และ ธนารัตน์ ภมรรัชตพงษ์. (2538). *ความรู้เบื้องต้นทางอิเล็กทรอนิกส์. ฟิสิกส์เซมิคอนดักเตอร์*.
- สมศักดิ์ ทวีพันธ์, สิทธิภรณ์ เมืองกลาง และ อติศล บุญมาก. (2539). *การส่งข้อมูลอัตโนมัติ. ปรินูญานินพนธ์ วิศวกรรมไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ : บัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรักษ์. ถ่ายเอกสาร.
- สุชิน จำจด. (2529). *วิศวกรรมโทรศัพท์. แผนกโทรศัพท์ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์*.
- สุภัทท์ เกิดน้อย และ อติชัย ศรีวัชรรัตน์. (2540). *การออกแบบและสร้างการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ 4 ช่อง สัญญาณผ่านเส้นใยนำแสง. ปรินูญานินพนธ์ วิศวกรรมไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรักษ์. ถ่ายเอกสาร.
- สุวิมล สิทธิชีวภาค. (2521). *พื้นฐานแห่งการสื่อสารข้อมูล*. กรุงเทพฯ : โอบีช พับลิชิ่ง.
- องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย กระทรวงคมนาคม. (2539). *โครงการนำร่องการจัดส่วนงานของฝ่าย*. กรุงเทพฯ : องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย.
- . (2540). *ฝ่ายโทรศัพท์นครหลวงรายละเอียดโครงสร้างงานและหน้าที่ส่วนงาน*. กรุงเทพฯ : ด้านปฏิบัติการ. องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย.
- . (2539). *แผนวิสาหกิจองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย ฉบับที่ 4 พ.ศ. 2540-2544*. กรุงเทพฯ : กองการพิมพ์ องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย.
- เอก ไชยสวัสดิ์. (2538). *สัญญาณและระบบ*. กรุงเทพฯ : เทคโนโลยีพระจอมเกล้า ชนบุรี.
- ฮารุโอะ อากิมารุ และ สิวมล สิทธิชีวภาค. (2521). *โครงข่ายสื่อสารข่าวสารระบบและโพรโตคอล*. กรุงเทพฯ : โอบีช พับลิชิ่ง.
- ITU-T Recommendation G.700-G.795 (1993). *DIGITAL NETWORKS*. Previously CCITT Recommendation.
- MICHAEL, A. MILLER. (1992). *Introduction to Digital and Data Communications*. REPRINTED in the Republic of Singapore.
- TADIRAN TELECOMMUNICATIONS . LTD. (1997). *DataGain Network Access Platform Installation and Operation Manual*.
- TADIRAN TELECOMMUNICATIONS . LTD. (1997). *HDSL – V.35-E1 Transceiver Installation and Operation Manual*.
- TELECOM TRAINING & DEVELOPMENT. (1994). *Basic Telecommunication Version 1*.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

หนังสือขอความร่วมมือเพื่อการวิจัย

ที่ ทม 1007/ 4610



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

10 กรกฎาคม 2542

เรื่อง ขอความร่วมมือเพื่อการวิจัย

เรียน ฝ่ายวิจัยและพัฒนาเทคนิค (คุณพดล โรจนินาน)

เนื่องด้วย นายนิยม สังขวิเชียร นิสิตปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การออกแบบและสร้างเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ" โดยมี ดร.ไพรัช ยงค์ยุทธโกกร และ นายเดชพร ต่านพิทักษ์กุล เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำวิทยานิพนธ์ ในการนี้ นิสิตมีความจำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย โดยขออนุญาตใช้สถานที่ ณ หน่วยทดสอบอุปกรณ์โทรคมนาคม 3 (คุณทรงชัย ยกยิ่งเจริญ) ในการทดสอบเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ ในระหว่างเดือน กรกฎาคม - สิงหาคม 2542

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้ นายนิยม สังขวิเชียร ได้ใช้สถานที่เพื่อการวิจัย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร./โทรสาร. 258-4119

ขอทำการทดสอบและวิเคราะห์ เครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ ดังรายละเอียดที่เสนอโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

1. การทดสอบหาค่าความผิดพลาดตามคุณสมบัติที่ใช้ในการสื่อสารด้านโทรคมนาคม ที่ได้ประสิทธิภาพตามมาตรฐานของระบบสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ (ITU-T) มีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 1 การทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลของ เครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

ลำดับ	รายการที่ทดสอบ	ผลที่ได้รับจากการทดสอบ
1	อัตราความเร็วของการส่งในสายสูงสุด 2.048 Mb/s $\pm$ 50 ppm	
2	อัตราความเร็วสูงสุดในการส่งข้อมูล 2.048 Mb/s $\pm$ 50 ppm	
3	รหัสของการส่งสัญญาณของสาย เอชดีบี-3	
4	ค่าความต้านทานในสาย 75 โอห์ม ร้อยละ 5 /120 โอห์ม ร้อยละ 5	
5	ค่าแรงดันสูงสุดในขณะทำงานปกติ 2.14-2.60 โวลต์	
6	ค่าแรงดันสูงสุดในขณะที่ไม่มีการทำงาน -0.237 ถึง +0.237 โวลต์	
7	ความกว้างของพัลส์ปกติ 219-269 เอ็มเอส	
8	อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและต่ำสุด 0.95-1.05 โวลต์	
9	อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและต่ำสุด 1024 kHz 0-6 dB	
10	การสูญเสียป้อนกลับที่ความถี่ 1024 kHz $\geq$ 18 dB	
11	จำนวนของการลูบใช้สายเคเบิล 4 เส้น	
12	ค่าเฉลี่ยกำลังขาออก 13-14 dBm	
13	ค่าสูญเสียของการลูบ 38 dB @ 150 KHz	
14	ค่าความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสตรงของ การลูบ 135 โอห์ม	

2. การทดสอบหาค่าเกณฑ์มาตรฐานของเครื่องมัลติเพล็กซ์ทางดำน้ำรับ-ส่งสัญญาณ

ตาราง 2 การทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลของการรับ-ส่ง เครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์
ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

ลำดับ	รายการที่ทดสอบ	ผลที่ได้รับจากการทดสอบ
1	จำนวนของการลูป	
2	ค่าเฉลี่ยกำลังขาออก	
3.	ค่าสูญเสียของการลูป	
4	ค่าความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสตรงของ การลูป	

ภาคผนวก ข

รายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์

รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

ตาราง 14 แสดงรายละเอียดของตัวเก็บประจุ

ลำดับที่	ขนาดของตัวประจุ (นาโนฟารัด)	ขนาดของตัวประจุ (ไมโครฟารัด)	ค่าผิดพลาด (ร้อยละ)	ขนาด ความคงทน (V)	ชนิด
1	-	400	-10+50	100	อิเล็กโทรไลต์
2	-	100	-10+50	100	อิเล็กโทรไลต์
3	22	-	10	100	พลาสติก
4	-	2200	20	50	อิเล็กโทรไลต์
5	103	-	1	100	พลาสติก

ตาราง 15 แสดงรายละเอียดของไดโอด

ลำดับ	เบอร์	ชนิด	ขนาด (วัตต์)
1	1N5402	ไดโอด	0.250
2	1N5402	ไดโอด	0.250
3	ZD1	ซีเนอร์ไดโอด	0.250
4	1N5402	ไดโอด	0.250
5	1N5402	ไดโอด	0.250

ตาราง 16 แสดงรายละเอียดของทรานซิสเตอร์

ลำดับ	เบอร์	ชนิด
1	DB140	PNP
2	DB140	PNP
3	DB140	PNP
4	DC140	PNP
5	2N3055	NPN
6	2N3055	NPN

รายการไอซี

IC1 UA723

IC2 UA723

ตาราง 17 แสดงรายละเอียดของตัวเก็บประจุ

ลำดับ	ขนาดของตัว เก็บประจุ (ไมโครฟารัด)	ขนาดของตัว เก็บประจุ (พิโกฟารัด)	ขนาดของตัว เก็บประจุ (นาโนฟารัด)	ค่าผิดพลาด (ร้อยละ)	ขนาดความ คงทน (V)	ชนิด
1	47	-	-	-10+50	100	อิเล็กโทรไลต์
2	10	-	-	-10+50	100	อิเล็กโทรไลต์
3	10	-	-	10	100	แมดทัล
4	4.7	-	-	20	35	อิเล็กโทรไลต์
5	-	-	-	1	250	ไม่ก้า
6	-	-	100	20	100	เซรามิกส์
7	33	-	-	20	10	อิเล็กโทรไลต์
8	1	866	-	20	35	อิเล็กโทรไลต์
9	-	-	10	20	100	เซรามิกส์
10	-	-	100	20	100	เซรามิกส์
11	1000	-	-	-10+50	6	อิเล็กโทรไลต์
12	-	-	220	10	220	แมดทัล
13	-	-	220	10	220	แมดทัล
14	4.7	-	-	20	10	อิเล็กโทรไลต์
15	1	-	-	10	250	แมดทัล
16	1	-	-	10	250	แมดทัล
17	-	-	100	10	250	แมดทัล
18	-	-	100	10	250	แมดทัล

ตาราง 18 แสดงรายละเอียดของตัวต้านทาน

ลำดับ	ขนาดของตัวต้านทาน (โอห์ม)	ขนาดของตัวต้านทาน (กิโลโอห์ม)	ค่าผิดพลาด (ร้อยละ)	ขนาด (วัตต์)
1	-	39	2	0.200
2	-	430	2	0.125
3	-	62	2	0.200
4	750	-	2	0.200
5	-	47	2	0.200
6	-	430	2	0.125
7	-	27	2	0.200
8	-	12	2	0.200

ตาราง 18 (ต่อ)

ลำดับ	ขนาดของตัวต้านทาน (โอห์ม)	ขนาดของตัวต้านทาน (กิโลโอห์ม)	ค่าผิดพลาด (ร้อยละ)	ขนาด (วัตต์)
9	-	8.2	2	0.200
10	10	-	2	0.333
11	-	15	2	0.200
12	-	47	2	0.200
13	-	6.8	2	0.200
14	-	2	2	0.200
15	-	100	2	0.200
16	-	1.8	2	0.200
17	-	20	2	0.200
18	-	91	2	0.200
19	200	-	2	0.200
20	620	-	2	0.200
21	910	-	2	0.200
22	-	1.5	2	0.200
23	220	-	2	0.200
24	30	-	2	0.333
25	30	-	2	0.333
26	100	-	2	0.200
27	-	1	2	0.200
28	30	-	2	0.200
29	-	3	2	0.200
30	-	1	2	0.200
31	-	100	2	0.200
32	-	270	2	0.200
33	-	240	2	0.200
34	-	240	2	0.200
35	24	33	2	0.200
36	20	-	2	0.200
37	20	-	2	0.200
38	-	20	2	0.200
39	-	10	2	0.200
40	100	-	2	0.200
41	-	470	2	0.125
42	-	470	2	0.125

ตารางที่ 18 (ต่อ)

ลำดับ	ขนาดของตัวต้านทาน (โอห์ม)	ขนาดของตัวต้านทาน (กิโลโอห์ม)	ค่าผิดพลาด (ร้อยละ)	ขนาด (วัตต์)
43	-	1.2	2	0.200
44	-	1.2	2	0.200

ตาราง 19 แสดงรายละเอียดของไดโอด

ลำดับ	เบอร์	ชนิด	ขนาด (วัตต์)
1	S2F	เรกติไฟเออร์	1.500
2	1N4148	ไดโอด	0.250
3	1N4148	ไดโอด	0.250
4	1N4148	ไดโอด	0.250
5	1N4148	ไดโอด	0.250
6	1N4148	ไดโอด	0.250
7	1N4148	ไดโอด	0.250
8	1N4148	ไดโอด	0.250
9	S2F	เรกติไฟเออร์	1.500
10	S2F	เรกติไฟเออร์	1.500
11	S2F	เรกติไฟเออร์	1.500
12	S2F	เรกติไฟเออร์	1.500
13	S2F	เรกติไฟเออร์	1.500
14	S2F	เรกติไฟเออร์	1.500
15	1N4946	รีครอบเวอร์	-
16	1N4946	รีครอบเวอร์	-
17	1N4946	รีครอบเวอร์	-
18	1N4946	รีครอบเวอร์	-
19	1N646	เรกติไฟเออร์	0.600
20	1N646	เรกติไฟเออร์	0.600
21	S2F	เรกติไฟเออร์	1.500
22	1N4148	ไดโอด	0.250
23	ZPD6.2	ซีเนอร์ไดโอด	0.400
24	ZPD2.7	ซีเนอร์ไดโอด	0.400
25	ZPD20	ซีเนอร์ไดโอด	0.400
26	ZPD6.2	ซีเนอร์ไดโอด	0.400

ตาราง 20 แสดงรายละเอียดทรานซิสเตอร์

ลำดับ	เบอร์	ชนิด
1	2N3495	PNP
2	BCY59C	NPN
3	MJE340	NPN
4	MJE340	NPN
5	BFX34	NPN
6	TIP33C	NPN
7	TIP33C	NPN
8	TIP33C	NPN
9	2N2907A	PNP
10	2N2907A	PNP
11	2N3440	NPN
12	3N3440	NPN

ตาราง 21 แสดงรายละเอียดไอซี

ลำดับ	เบอร์
1	MCT2
2	CA3045F
3	MCT2
4	LM339D

ชุดมัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

ตาราง 22 แสดงรายละเอียดตัวเก็บประจุ

ลำดับ	ขนาดของตัว เก็บประจุ (ไมโครฟารัด)	ขนาดของตัว เก็บประจุ (พิโกฟารัด)	ขนาดของตัว เก็บประจุ (นาโนฟารัด)	ค่าผิดพลาด (ร้อยละ)	ขนาดความ คงทน (V)	ชนิด
1	-	-	100	20	100	เซรามิกส์
2	-	-	100	20	100	เซรามิกส์
3	-	-	100	20	100	เซรามิกส์
4	-	-	100	20	100	เซรามิกส์
5	-	39	-	2	63	เซรามิกส์
6	-	4700	-	20	100	เซรามิกส์
7	-	715	-	1	250	ไมก้า
8	-	100	-	2	63	เซรามิกส์
9	-	-	22	20	100	เซรามิกส์
10	-	511	-	1	63	โพซีรึน
11	2.2	-	-	20	25	อิเล็กโทรไลต์
12	-	-	22	20	100	เซรามิกส์
13	-	-	22	20	100	เซรามิกส์
14	-	15	-	2	63	เซรามิกส์
15	-	-	22	10	400	เซรามิกส์
16	-	-	100	20	100	แมลท์
17	-	1960	-	1	250	ไมก้า
18	-	1960	-	20	100	เซรามิกส์
19	33	-	100	20	10	อิเล็กโทรไลต์
20	-	1000	-	20	63	เซรามิกส์
21	-	1500	-	5	100	เซรามิกส์
22	-	1500	-	5	100	เซรามิกส์
23	-	-	100	10	100	แมลท์
24	-	1000	-	20	63	เซรามิกส์
25	-	220	-	2	63	เซรามิกส์
26	-	453	-	1	100	โพซีรึน
27	-	-	22	10	400	แมลท์
28	2.2	-	-	20	20	อิเล็กโทรไลต์
29	-	1000	-	20	63	เซรามิกส์

ตาราง 22 (ต่อ)

ลำดับ	ขนาดของตัว เก็บประจุ (ไมโครฟารัด)	ขนาดของตัว เก็บประจุ (พิโกฟารัด)	ขนาดของตัว เก็บประจุ (นาโนฟารัด)	ค่าผิดพลาด (ร้อยละ)	ขนาดความ คงทน (V)	ชนิด
30	-	4700	-	20	63	เซรามิกส์
31	-	-	47	10	250	แมลท์ล
32	-	120	-	2	63	เซรามิกส์
33	-	210	-	1	250	ไมก้า
34	100	-	-	2	63	เซรามิกส์
35	-	220	-	2	63	เซรามิกส์
36	-	7400	--	20	100	เซรามิกส์
37	47	-	-	20	35	อิเล็กโทรไลต์
38	-	10000	-	-20+50	63	เซรามิกส์
39	-	-	22	20	100	เซรามิกส์
40	1.5	-	-	20	35	อิเล็กโทรไลต์
41	1000	-	-	20	63	เซรามิกส์

ตาราง 23 แสดงรายละเอียดตัวความต้านทาน

ลำดับ	ขนาดของตัวต้านทาน (โอห์ม)	ขนาดของตัวต้านทาน (กิโลโอห์ม)	ค่าผิดพลาด (ร้อยละ)	ขนาด (วัตต์)
1	5.1	-	5	3.000
2	5.1	-	5	3.000
3	-	11	2	0.200
4	3900	-	2	0.200
5	10	-	2	0.200
6	430	-	2	0.200
7	470	-	2	0.200
8	470	-	2	0.200
9	430	-	2	0.200
10	910	-	2	0.200
11	910	-	2	0.200
12	560	-	2	0.200
13	560	-	2	0.200
14	51	-	2	0.200

ตาราง 23 (ต่อ)

ลำดับ	ขนาดของตัวต้านทาน (โอห์ม)	ขนาดของตัวต้านทาน (กิโลโอห์ม)	ค่าผิดพลาด (ร้อยละ)	ขนาด (วัตต์)
15	47	-	2	0.200
16	47	-	2	0.200
17	-	-	2	0.200
18	-	2	2	0.200
19	-	62	2	0.200
20	-	150	2	0.200
21	-	22	2	0.200
22	-	200	2	0.200
23	-	-	2	0.200
24	-	82	2	0.200
25	-	-	2	0.200
26	-	1	2	0.200
27	51	-	2	0.200
28	-	-	2	0.200
29	4700	4.7	2	0.200
30	-	68	2	0.200
31	3900	150	2	0.200
32	200	100	2	0.200
33	-	2.2	2	0.200
34	3300	-	2	0.200
35	1500	-	2	0.200
36	2200	-	2	0.200
37	-	1.5	2	0.200
38	-	22	2	0.200
39	-	200	2	0.200
40	-	470	2	0.200
41	-	33	2	0.200
42	-	22	2	0.200
43	-	150	2	0.200
44	-	330	2	0.125
45	-	22	2	0.200
46	-	12	2	0.200
47	-	330	2	0.125
48	-	200	2	0.200

ตาราง 23 (ต่อ)

ลำดับ	ขนาดของตัวต้านทาน (โอห์ม)	ขนาดของตัวต้านทาน (กิโลโอห์ม)	ค่าผิดพลาด (ร้อยละ)	ขนาด (วัตต์)
49	-	82	2	0.200
50	-	4.7	2	0.200
51	200	-	2	0.200
52	-	4.7	2	0.200
53	-	1	2	0.200
54	-	68	2	0.200
55	-	47	2	0.200
56	-	2.2	2	0.200
57	82	-	2	0.200
58	-	30	2	0.200
59	270	-	2	0.200
60	-	3	2	0.200
61	220	-	2	0.200
62	-	33	2	0.200
63	-	470	2	0.125
64	-	12	2	0.200
65	-	330	2	0.125
66	-	1	2	0.200
67	-	1	2	0.200
68	-	47	2	3.000
69	5.1	-	2	0.200
70	82	-	2	0.200
71	430	-	2	0.200
72	270	-	2	0.200
73	820	-	2	0.200
74	3	-	2	0.200
75	820	-	2	0.200
76	-	2.7	2	0.200
77	-	3	2	0.200
78	560	-	2	0.200
79	15	-	2	0.200
80	60	-	2	0.200
81	47	-	2	0.200
82	47	-	2	0.200

ตาราง 23 (ต่อ)

ลำดับ	ขนาดของตัวต้านทาน (โอห์ม)	ขนาดของตัวต้านทาน (กิโลโอห์ม)	ค่าผิดพลาด (ร้อยละ)	ขนาด (วัตต์)
83	-	3.9	2	0.200
84	5.1	-	5	0.300
85	-	1	2	0.200
86	680	-	2	0.200
87	470	-	2	0.200
88	100	-	2	0.200
89	-	5.1	2	0.200
90	-	1.5	2	0.200
91	22	-	2	0.200
92	22	-	2	0.200
93	330	-	2	0.200
94	-	1	2	0.200
95	-	2.2	2	0.200
96	-	30	2	0.200
97	-	36	2	0.200
98	-	5.1	2	0.200
99	-	4.7	2	0.200
100	15	-	2	0.200
101	220	-	2	0.200
102	-	1	2	0.200
103	-	1	2	0.200
104	-	2.7	2	0.300
105	-	2.7	2	0.200
106	-	10	2	0.200
107	-	3.9	2	0.200
108	-	390	2	0.200
109	-	82	2	0.200
110	-	12	2	0.200
111	-	330	2	0.200
112	-	300	2	0.200
113	-	4.7	2	0.200

ตาราง 24 แสดงรายละเอียดไดโอด

ลำดับ	เบอร์	ชนิด	ขนาด (วัตต์)
1	1N5338B	ซีเนอร์ไดโอด	5.000
2	1N4148	ไดโอด	0.250
3	1N4148	ไดโอด	0.250
4	1N4148	ไดโอด	0.250
5	MDA920-A2	เรกติไฟเออร์	-
6	MV5024	LED RED	-
7	MV5024	LED RED	-
8	MV5322	LED RED	-
9	1N4148	ไดโอด	0.250
10	1N4148	ไดโอด	0.250
11	1N4148	ไดโอด	0.250
12	1N5338B	ซีเนอร์ไดโอด	5.000
13	MDA920-A2	เรกติไฟเออร์	-
14	HP5082-2810	รีจอร์เบอร์	-
15	1N4148	ไดโอด	0.250
16	MV5024	LED RED	-

ตาราง 25 แสดงรายละเอียดทรานซิสเตอร์

ลำดับ	เบอร์	ชนิด
1	2N2369	NPN
2	2N2369	NPN
3	BCY59C	NPN
4	2N2907A	PNP
5	2N2369	NPN
6	2N2907A	PNP
7	2N2907A	PNP
8	2N2907A	PNP
9	2N2369	NPN
10	2N2369	NPN
11	2N2907A	PNP
12	2N2369	NPN
13	2N2369	NPN
14	2N2369	NPN

ตาราง 25 (ต่อ)

ลำดับ	เบอร์	ชนิด
15	2N918	NPN
16	BSX29	PNP
17	BFX36	PNP
18	2N2369	NPN
19	2N2369	NPN
20	BCY59C	NPN
21	2N2907A	PNP
22	2N2369	NPN

ตาราง 26 แสดงรายละเอียดไอซี

ลำดับ	เบอร์
1	SN74LS00
2	LM339D
3	LM339D
4	SN74LS00
5	SN74LS04
6	SN74LS253
7	SN74LS02
8	SN74LS74
9	SN74LS00
10	TA10162
11	SN74LS00
12	SN74LS02
13	SN74LS112
14	SN74LS02
15	SN74LS04
16	SN74LS253

54253/74253 Dual 4-Line-to-1-Line Data Selector/Multiplexer with 3-State Output

	Schottky TTL					High-Speed TTL					Low-Power Schottky TTL					Standard TTL					Low-Power TTL																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
T. I.											SN54LS253	JQ		WQ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										

Electrical Characteristics SN54LS253/SN74LS253

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V_{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	7V	temperature range	SN74LS	0°C to 70°C
Off-state output voltage	5.5V	Storage temperature range		-65°C to 150°C

recommended operating conditions

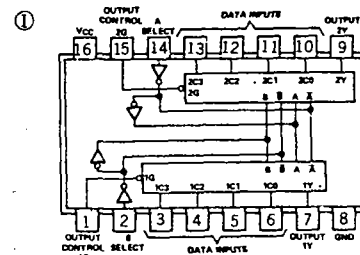
	SN54LS253			SN74LS253			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I_{OH}			-1			-2.6	mA
Low-level output current, I_{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature, T_A	-55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER*	TEST CONDITIONS†	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
V_{IH} High-level input voltage			2		V
V_{IL} Low-level input voltage				0.7	V
V_I Input clamp voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$, $I_I = -18 \text{ mA}$			-1.5	V
V_{OH} High-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$, $V_{IH} = 2 \text{ V}$, $V_{IL} = V_{IL \text{ max.}}$, $I_{OH} = \text{MAX.}$	SN54LS*	2.4	3.4	V
		SN74LS*	2.4	3.1	V
V_{OL} Low-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$, $V_{IH} = 2 \text{ V}$, $V_{IL} = V_{IL \text{ max.}}$	SN54LS*		0.25	0.4
		SN74LS*		0.25	0.5
$I_{O}(\text{off})$ Off-State (high-impedance state) output current	$V_{CC} = \text{MAX.}$, $V_{IH} = 2 \text{ V}$, $V_{OL} = 2.7 \text{ V}$, $V_{O} = 0.4 \text{ V}$			20	μA
I_I Input current at maximum input voltage	$V_{CC} = \text{MAX.}$, $V_I = 5.5 \text{ V}$			0.1	mA
I_{IH} High-level input current	$V_{CC} = \text{MAX.}$, $V_I = 2.7 \text{ V}$			20	μA
I_{IL} Low-level input current	$V_{CC} = \text{MAX.}$, $V_I = 0.4 \text{ V}$			-0.4	mA
I_{OS} Short-circuit output current*	$V_{CC} = \text{MAX.}$	SN54LS*	-30	-130	mA
		SN74LS*	-30	-130	mA
I_{CC} Supply current	$V_{CC} = \text{MAX.}$, See Note	Condition A	7	12	mA
		Condition B	8.5	14	mA
t_{PLH} from Data to output Y	$V_{CC} = 5 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		13	25	ns
t_{PHL} from Select to output Y			30	45	ns
t_{PLH} from Output Control to output Y	$C_L = 15 \text{ pF}$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$		21	32	ns
t_{ZH} from Output Control to output Y			15	28	ns
t_{ZL} from Output Control to output Y	$V_{CC} = 5 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_L = 5 \text{ pF}$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$		15	23	ns
t_{LZ}			27	41	ns
t_{LZ}			18	27	ns

NOTE: I_{CC} is measured with the outputs open under the following conditions:
A. All inputs grounded.
B. Output control at 4.5V, all inputs grounded.

Pin Assignment (Top View)



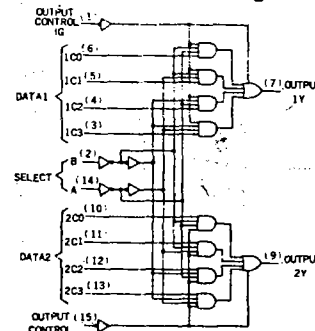
Positive logic: see function table

*LS253 - Function Table

SELECT INPUTS	DATA INPUTS	OUTPUT CONTROL	OUTPUT
B A	C0 C1 C2 C3	G	Y
X X	X X X X	H	Z
L L	L X X X	L	L
L L	L H X X	L	H
L H	L X L X	L	L
L H	L X H X	L	H
H L	L X X L	L	L
H L	L X X H	L	H
H H	X X X X	L	L
H H	X X X H	L	H

Address inputs A and B are common to both sections.
H = high level, L = low level, X = irrelevant, Z = high impedance (off)

Functional Block Diagram



*LS253 DUAL 4-LINE-TO-1-LINE DATA SELECTOR/MULTIPLEXER WITH 3-STATE OUTPUT

* t_{PLH} = Propagation delay time, low-to-high-level output
* t_{PHL} = Propagation delay time, high-to-low-level output
* t_{ZH} = Output enable time to high level
* t_{ZL} = Output enable time to low level
* t_{LZ} = Output disable time from high level
* t_{LZ} = Output disable time from low level
† For conditions shown as MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions for the applicable device type.
‡ All typical values are at $V_{CC} = 5 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$.
* Not more than one output should be shorted at a time.

5400/7400 Quadruple 2-Input Positive-NAND Gate

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL			
	Device Type	C	P	M	CF	Device Type	C	P	M	CF	Device Type	C	P	M	CF	Device Type	C	P	M	CF
T.I.	SN54S00	J	1	N	0	SN54H00	J	1	N	0	SN54LS00	J	1	N	0	SN5400	J	1	N	0
	SN74S00	J	1	N	0	SN74H00	J	1	N	0	SN74LS00	J	1	N	0	SN7400	J	1	N	0
FAIRCHILD	FMS4S00/FMS00	D	1	N	0	FMS4H00/FMS00	D	1	N	0	FMS4LS00/FMS00	D	1	N	0	FM 5400/FM500	D	1	N	0
	FC74S00/FC9S00	D	1	N	0	FC74H00/FC9H00	D	1	N	0	FC74LS00/FC9LS00	D	1	N	0	FC7400/FC900	D	1	N	0
MOTOROLA						MC3100	L	1	N	0						MC5400	L	1	N	0
						MC3000	L	1	N	0	SN74LS00	J	1	N	0	MC7400	L	1	N	0
N.S.C.	DM74S00	N	1	N	0	DM54H00	J	1	N	0	DM54LS00	J	1	N	0	DM5400	J	1	N	0
						DM74H00	J	1	N	0	DM74LS00	J	1	N	0	DM7400	J	1	N	0
PHILIPS	N74S00					G9H131/74H00					N74LS00					FJH131/7400				
	N54S00	F	1	N	0	S54H00	F	1	N	0						S5400	F	1	N	0
SIGNETICS	N74S00	F	1	N	0	N74H00	F	1	N	0	N74LS00	A	1	N	0	N7400	F	1	N	0
SIEMENS																FLH101				
FUJITSU						MB501					74LS00					MB400				
HITACHI	HD74S00										HD74LS00					HD7400/HD2503				
MITSUBISHI	M55000										M74LS00					M53200				
NEC	μ P82S00										74LS00					μ PB201				
TOSHIBA																TD3400 A				

Electrical Characteristics SN54LS00/SN74LS00

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V_{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	7V		SN74LS	0°C to 70°C
Intermittent voltage	5.5V	Storage temperature range		-65°C to 150°C

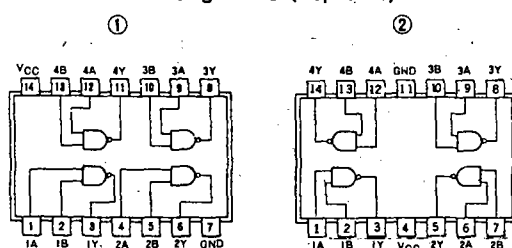
recommended operating conditions

	SN54LS00			SN74LS00			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I_{OH}			-400			-400	μ A
Low-level output current, I_{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature, T_A	-55		125	0		70	°C

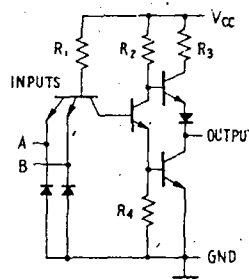
electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
V_{IH} High-level input voltage			2		V
V_{IL} Low-level input voltage				0.8	V
V_I Input clamp voltage	$V_{CC} = \text{MIN}$, $I_I = -18 \text{ mA}$			-1.5	V
V_{OH} High-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN}$, $V_{IL} = V_{IL \text{ max}}$, $I_{OH} = \text{MAX}$	2.7	3.4		V
V_{OL} Low-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN}$, $V_{IH} = 2 \text{ V}$, $I_{OL} = 4 \text{ mA}$	0.2	0.4		V
I_I Input current at maximum input voltage	$V_{CC} = \text{MAX}$, $V_I = 7 \text{ V}$		0.1		mA
I_{IH} High-level input current	$V_{CC} = \text{MAX}$, $V_{IH} = 2.7 \text{ V}$		20		μ A
I_{IL} Low-level input current	$V_{CC} = \text{MAX}$, $V_{IL} = 0.4 \text{ V}$		-0.4		mA
I_{OS} Short-circuit output current	$V_{CC} = \text{MAX}$	54LS Family	-20	-100	mA
		74LS Family	-18	-100	mA
I_{CCH} Supply current	$V_{CC} = \text{MAX}$	Total, outputs high	4	8	mA
I_{CCL} Supply current		Total, outputs low	12	22	mA
I_{CC} Supply current	$V_{CC} = 5 \text{ V}$	Average per gate (50% duty cycle)	0.4		mA
t_{PLH} Propagation delay time, low-to-high-level output	$V_{CC} = 5 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ \text{C}$		9	15	ns
t_{PHL} Propagation delay time, high-to-low-level output	$C_L = 15 \text{ pF}$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$		10	15	ns

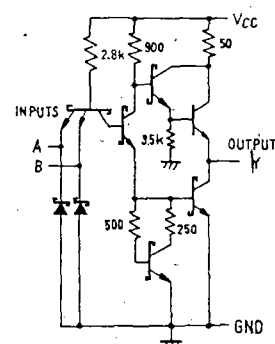
Pin Assignments (Top View)

positive logic:
 $Y = AB$

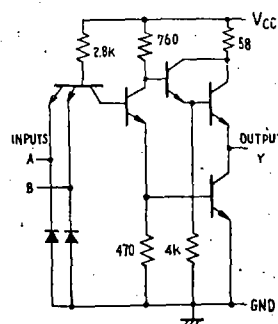
Schematics (each gate)



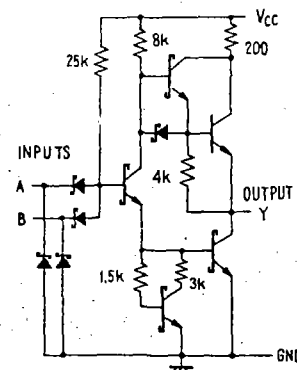
CIRCUIT	R_1	R_2	R_3	R_4
'00	4k	1.6k	130	1k
'00, '00	40k	20k	500	12k

Input clamp diodes not on SN54L/SN74L circuits.
'00, '00 CIRCUITS

'00 CIRCUIT



'00 CIRCUIT



LS00 CIRCUIT

Resistor values shown are nominal and in ohms.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ All typical values are at $V_{CC} = 5 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ \text{C}$.

• Not more than one output should be shorted at a time, and for SN54H/SN74H and SN54S/SN74S, duration of short-circuit should not exceed 1 second.

5402/7402 Quadruple 2-Input Positive-NOR Gate

	Schottky TTL					High-Speed TTL					Low-Power Schottky TTL					Standard TTL					Low-Power TTL													
	Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package												
		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF									
T.I.	SN54S02	J	Q		W						SN54LS02	J	Q		W					SN5402	J	Q		W					SN54L02	J	Q	N	T	Q
	SN74S02	J	Q	N	Q						SN74LS02	J	Q	N	Q					SN7402	J	Q	N	Q					SN74L02	J	Q	N	T	Q
FAIRCHILD	FMS402 / FMS902	D	Q		F						FMS4LS02 / FMS9LS02	D	Q		F				FMS402 / FMS902	D	Q		F											
	FC74S02 / FC9S02	D	Q	P	F						FC74LS02 / FC9LS02	D	Q	P	F				FC7402 / FC902	D	Q	P	F											
MOTOROLA																			MC5402	L	Q		F											
											SN74L S02		P	Q					MC7402	L	Q	P	Q		F									
N. S. C.											DM54LS02								DM5402	J	Q	N	Q		W				DM54L02	J	Q	N	Q	F
											DM74LS02								DM7402	J	Q	N	Q						DM74L02	J	Q	N	Q	F
PHILIPS	N74S02		Q								N74LS02		Q						FJH221/7402		Q													
SIGNETICS	N74S02		A	Q							N74LS02		A	Q					S5402	F	Q	A	Q		W									
																			N7402	F	Q	A	Q											
SIEMENS																			FLH191		Q													
FUJITSU											74L S02		M	Q					MB417		Q	M	Q											
HITACHI	HD74S02		P	Q							HD74L S02		P	Q					HD7402/HD2511		Q	P	Q											
MITSUBISHI											M74L S02		P	Q					M53202		P	Q												
NEC																			μ PB232		D	Q	C	Q										
TOSHIBA																			TD3402A		P	Q												

Electrical Characteristics SN54LS02/SN74LS02

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V_{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	7V	Storage temperature range	SN74LS	-65°C to 150°C

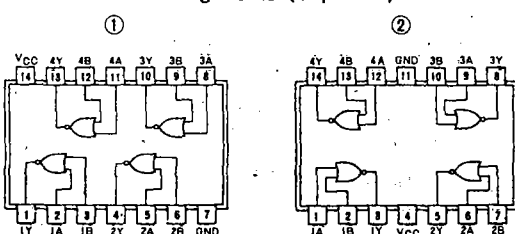
recommended operating conditions

	SN54LS02			SN74LS02			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I_{OH}			-400			-400	μ A
Low-level output current, I_{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature, T_A	-55		125	0		70	°C

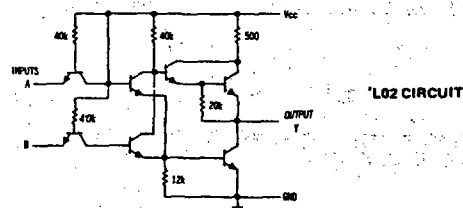
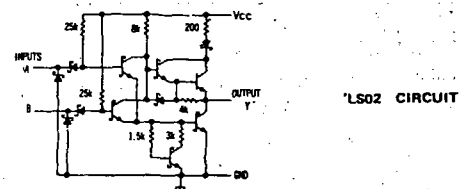
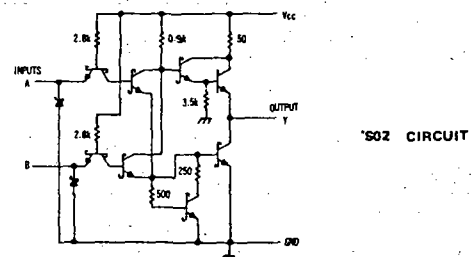
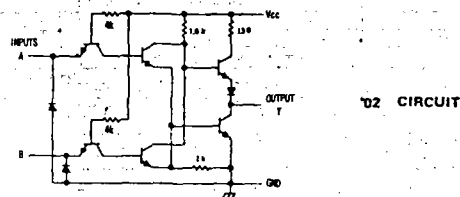
electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
V_{IH} High-level input voltage			2		V
V_{IL} Low-level input voltage				0.8	V
V_I Input clamp voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$, $I_I = -18 \text{ mA}$			-1.5	V
V_{OH} High-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$, $V_{IL} = V_{IL \text{ max.}}$, $I_{OH} = \text{MAX.}$	2.7	3.4		V
V_{OL} Low-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$, $V_{IH} = 2 \text{ V}$, $I_{OL} = 4 \text{ mA}$		0.25	0.4	V
I_I Input current at maximum input voltage	$V_{CC} = \text{MAX.}$, $V_I = 7 \text{ V}$		0.1		mA
I_{IH} High-level input current	Data inputs, $V_{CC} = \text{MAX.}$, $V_{IH} = 2.7 \text{ V}$		20		μ A
I_{IL} Low-level input current	Data inputs, $V_{CC} = \text{MAX.}$, $V_{IL} = 0.4 \text{ V}$		0.4		mA
I_{OS} Short-circuit output current	$V_{CC} = \text{MAX.}$, 54LS Family	-20		-100	mA
	74LS Family	-20		-100	mA
I_{CCH} Supply current	$V_{CC} = \text{MAX.}$, Total outputs high		1.6	3.2	mA
I_{CCL} Supply current	$V_{CC} = \text{MAX.}$, Total outputs low		2.8	5.4	mA
I_{CC} Supply current	$V_{CC} = 5 \text{ V}$, Average per gate (50% duty cycle)		0.55		mA
t_{PLH} Propagation delay time, low-to-high-level output	$V_{CC} = 5 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ \text{C}$		10	15	ns
t_{PHL} Propagation delay time, high-to-low-level output	$C_L = 15 \text{ pF}$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$		10	15	ns

Pin Assignments (Top View)



Schematics (each gate)



Resistor values shown are nominal and in ohms.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ All typical values are at $V_{CC} = 5 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ \text{C}$.

◆ Not more than one output should be shorted at a time, and for SN54S/SN74S*, duration of output short-circuit should not exceed one second.

5404/7404 Hex Inverter

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL			
	Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package	
			C	P	M	C	P	M	C	P	M	C			C	P	M	C		
T.I.	SN54S04	J	Q			W	Q			W	Q		SN5404	J	Q			W	Q	
	SN74S04	J	Q	N	D								SN7404	J	Q	N	D			
FAIRCHILD	FM54S04/FM9S04	D	D			FC74H04/FC9H04	D	D		F	Q		FM5404/FM9N04	D	D		F	Q		
	FC74S04/FC9S04	D	D	P									FM7404/FC9N04	D	D	P				
MOTOROLA						MC3108	L	Q		F	Q		MC5404	L	Q		F	Q		
						MC3008	L	Q	P		F	Q	MC7404	L	Q	P		F	Q	
N.S.C.						DM54H04	J	Q	N	D			DM5404	J	Q	N	D		F	Q
	DM74S04			N	D	DM74H04	J	Q	N	D			DM7404	J	Q	N	D		F	Q
PHILIPS						N74H04							FJH241/7404							
	N74S04					S54H04	F	Q	A	D	W		S5404	F	Q	A	D	W		
SIGNETICS						N74H04	F	Q	A	D	W		N7404	F	Q	A	D	W		
SIEMENS													FLH211							
FUJITSU																				
HITACHI																				
	HD74S04			P	D								HD7404/HD2522			P	D			
mitsubishi																				
	M55004			P	D								M53204			P	D			
NEC																				
	74S04			C	Q								μPB235			D	D			
TOSHIBA																				
													TD3404A			P	D			

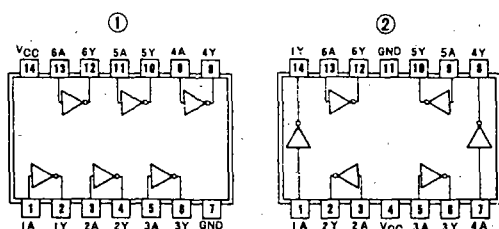
Electrical Characteristics SN54LS04/SN74LS04

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range							
Supply voltage, V_{CC}	TV	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C			
Input voltage	7V		SN74LS	0°C to 70°C			
		Storage temperature range		-65°C to 150°C			
recommended operating conditions							
	SN54LS04			SN74LS04			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I_{OH}			-400			-400	μA
Low-level output current, I_{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature, T_A	-55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

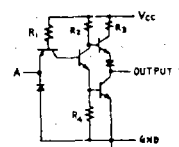
PARAMETER	TEST CONDITIONS †	MIN	TYP ‡	MAX	UNIT
V_{IH} High-level input voltage			2		V
V_{IL} Low-level input voltage				0.8	V
V_I Input clamp voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$, $I_I = -18 \text{ mA}$			-1.5	V
V_{OH} High-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$, $V_{IL} = V_{IL \text{ max.}}$, $I_{OH} = \text{MAX.}$	2.7	3.4		V
V_{OL} Low-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$, $V_{IH} = 2 \text{ V}$, $I_{OL} = 4 \text{ mA}$			0.4	V
I_I Input current at maximum input voltage	$V_{CC} = \text{MAX.}$, $V_I = 7 \text{ V}$			0.1	mA
I_{IH} High-level input current	$V_{CC} = \text{MAX.}$, $V_{IH} = 2.7 \text{ V}$			20	μA
I_{IL} Low-level input current	$V_{CC} = \text{MAX.}$, $V_{IL} = 0.4 \text{ V}$			-0.4	mA
I_{OS} Short-circuit output current *	$V_{CC} = \text{MAX.}$	54LS Family	-20	-100	mA
		74LS Family	-20	-100	mA
I_{CCH} Supply current	$V_{CC} = \text{MAX.}$	Total, outputs high	1.2	2.4	mA
I_{CCL} Supply current	$V_{CC} = \text{MAX.}$	Total, outputs low	3.6	6.6	mA
I_{CC} Supply current	$V_{CC} = 5 \text{ V}$	Average per gate (50% duty cycle)	0.4		mA
t_{PLH} Propagation delay time, low-to-high-level output	$V_{CC} = 5 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ \text{C}$, $C_L = 15 \text{ pF}$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$		9	15	ns
t_{PHL} Propagation delay time, high-to-low-level output			10	15	ns

Pin Assignments (Top View)



positive logic:
 $Y = \bar{A}$

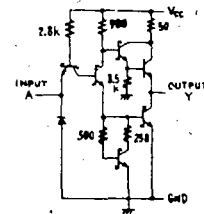
Schematics (each gate)



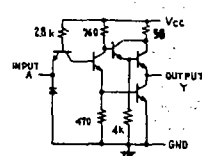
CIRCUIT	R1	R2	R3	R4
'04	4k	1.6k	130	1k
'L04	40k	20k	500	12k

Input clamp diodes not on SN54LS/SN74LS circuits.

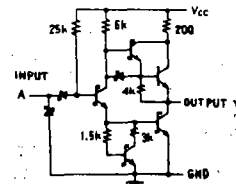
'04, 'L04 CIRCUITS



'S04 CIRCUIT



'H04 CIRCUIT



'LS04 CIRCUIT

Resistor values shown are nominal and in ohms.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ All typical values are at $V_{CC} = 5 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ \text{C}$.

* Not more than one output should be shorted at a time, and for SN54H/SN74H and SN54S/SN74S, duration of short-circuit should not exceed 1 second.

5474/7474 Dual D-Type Positive-Edge-Triggered Flip-Flop with Preset and Clear

	Schottky TTL					High-Speed TTL					Low-Power Schottky TTL					Standard TTL					Low-Power TTL				
	Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package			
		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF
T.I.	SN54S74	J	Q		W	SN54H74	J	Q		W	SN54LS74	J	Q		W	SN5474	J	Q		W	SN54L74	J	Q		W
	SN74S74	J	Q		W	SN74H74	J	Q		W	SN74LS74	J	Q		W	SN7474	J	Q		W	SN74L74	J	Q		W
FAIRCHILD	FMS474/FM9S74	D	Q		F	FMS4H74/FM9H74	D	Q		F	FMS4LS74/FM9LS74	D	Q		F	FMS474/FM9N74	D	Q		F	FMS4L74/FM9LN74	D	Q		F
	FC74S74/FC9S74	D	Q		F	FC74H74/FC9H74	D	Q		F	FC74LS74/FC9LS74	D	Q		F	FC7474/FC9N74	D	Q		F	FC74L74/FC9LN74	D	Q		F
MOTOROLA											SN74LS74														
N.S.C.	DM74S74					DM54H74	J	Q		W	DM54LS74	J	Q		W	DM5474	J	Q		W	DM54L74	J	Q		W
						DM74H74	J	Q		W	DM74LS74	J	Q		W	DM7474	J	Q		W	DM74L74	J	Q		W
PHILIPS	N74S74					GJJ131/74H74					N74LS74					FJJ131/7474									
SIGNETICS	S54S74					S54H74	F	Q		A	S54LS74	F	Q		A	S5474	F	Q		A	S54L74	F	Q		A
	N74S74					N74H74	F	Q		A	N74LS74					N7474	F	Q		A	N74L74				
SIEMENS																FLJ141									
FUJITSU											74LS74					MB420									
HITACHI	HD74S74										HD74LS74					HD7474/HD2510									
MITSUBISHI	M74S74										M74LS74					M5327/M5374									
NEC	74S74										74LS74					μPB214									
TOSHIBA																TD3474A									

Electrical Characteristics SN54LS74/SN74LS74

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V_{CC}	TV	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	5.5V		SN74LS	0°C to 70°C
		Storage temperature range		-65°C to 150°C

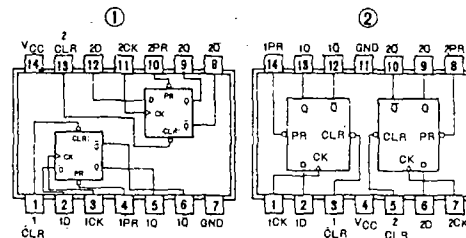
recommended operating conditions

		SN54LS74			SN74LS74			UNIT
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V_{CC}		4.5	5	5.5	4.75	5	5.75	V
High-level output current, I_{OH}				-400			-400	mA
Low-level output current, I_{OL}				4			8	mA
Pulse width, t_p	Clock high	25		25				ns
	Preset or clear low	25		25				ns
Input setup time, t_{SU}	High-level data	25		25				ns
	Low-level data	20		20				ns
Input hold time, t_{HD}		5		5				ns
Operating free-air temperature, T_A		-55	125	0	70			°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

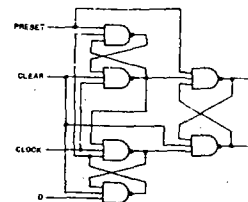
PARAMETER*	TEST CONDITIONS†	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
V_{IH} High-level input voltage		2			V
V_{IL} Low-level input voltage				0.8	V
V_I Input clamp voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$, $I_I = -18 \text{ mA}$			-1.5	V
V_{OH} High-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$, $V_{IH} = 2 \text{ V}$, $V_{IL} = 0.8 \text{ V}$, $I_{OH} = \text{MAX}$	2.7	3.4		V
V_{OL} Low-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$, $V_{IH} = 2 \text{ V}$, $V_{IL} = 0.8 \text{ V}$, $I_{OL} = 4 \text{ mA}$	0.25	0.4		V
I_I Input current at maximum input voltage	D, J, K, Clear, Preset, Clock			0.1	mA
I_{IH} High-level input current	D, J, K, Clear, Preset, Clock			20	μA
I_{IL} Low-level input current	D, J, K, Clear, Preset, Clock			-0.4	mA
I_{OS} Short-circuit output current	Series 54LS, Series 74LS			-20	mA
I_{CC} Supply current (Average per flip-flop)	$V_{CC} = \text{MAX}$			4	mA
f clock frequency	$V_{CC} = 5 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ \text{C}$, $C_L = 15 \text{ pF}$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$	25	33		MHz
t_{PLH} Propagation delay time, low-to-high-level output	from clear, preset or clock (as appropriate) to Q or $\bar{Q}$			13	ns
t_{PLH} Propagation delay time, high-to-low-level output				25	ns

* Conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
 ‡ Typical values are at $V_{CC} = 5 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ \text{C}$.
 § More than one output should be shorted at a time.
 ¶ t_{PLH} = propagation delay time, low-to-high-level output;
 ¶ t_{PLH} = propagation delay time, high-to-low-level output;
 ¶ The arrow indicate the edge of the clock pulse used for reference: † for the rising edge.

Pin Assignments (Top View)

Functional Table

'74, 'H74, 'LS74, 'S74 (See Note 2)

INPUTS				OUTPUTS	
PRESET	CLEAR	CLOCK	D	Q	$\bar{Q}$
L	H	X	X	H	L
H	L	X	X	L	H
L	L	X	X	H*	H*
H	H	↑	H	L	L
H	H	↑	L	L	H
H	H	L	X	Q ₀	$\bar{Q}_0$

Functional Block Diagram


'74, 'S74, 'H74, 'LS74, 'L74 DUAL D-FLIP-FLOP WITH CLEAR AND PRESET

NOTES: 1 With all outputs open, I_{CC} is measured with the Q and $\bar{Q}$ outputs high in turn. At the time of measurement, the clock input is grounded.
 2 H=high level (steady state), L=low level (steady state), X=irrelevant
 † = transition from low to high level.
 Q₀=the level of Q before the indicated input conditions were established.
 * This configuration is nonstable; that is, it will not persist when preset and clear inputs return to their inactive (high) level.

54112/74112 Dual J-K Negative-Triggered Flip-Flop with Preset and Clear

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL			
	Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package			Device Type	Package		
T.I.	SN54S112	J	P	M	CF	SN74S112	J	P	M	CF	SN54LS112	J	P	M	CF	SN74LS112	J	P	M	CF
	SN74S112	J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF
FAIRCHILD	FM54S112	J	P	M	CF	FM74S112	J	P	M	CF	FMS4LS112	J	P	M	CF	FM74LS112	J	P	M	CF
	FC74S112	J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF
MOTOROLA	DM74S112	J	P	M	CF	DM54S112	J	P	M	CF	DM74LS112	J	P	M	CF	DM54LS112	J	P	M	CF
	DM74S112	J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF
N.S.C.	N74S112	J	P	M	CF	N54S112	J	P	M	CF	N74LS112	J	P	M	CF	N54LS112	J	P	M	CF
	N74S112	J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF
PHILIPS	S54S112	J	P	M	CF	S74S112	J	P	M	CF	S54LS112	J	P	M	CF	S74LS112	J	P	M	CF
	S54S112	J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF
SIGNETICS	N74S112	J	P	M	CF	N74LS112	J	P	M	CF	N74LS112	J	P	M	CF	N74LS112	J	P	M	CF
	N74S112	J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF
SIEMENS	74S112	J	P	M	CF	74LS112	J	P	M	CF	74LS112	J	P	M	CF	74LS112	J	P	M	CF
	74S112	J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF
FUJITSU	74S112	J	P	M	CF	74LS112	J	P	M	CF	74LS112	J	P	M	CF	74LS112	J	P	M	CF
	74S112	J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF
HITACHI	HD74S112	J	P	M	CF	HD74LS112	J	P	M	CF	HD74LS112	J	P	M	CF	HD74LS112	J	P	M	CF
	HD74S112	J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF
MITSUBISHI	M54S112	J	P	M	CF	M74S112	J	P	M	CF	M54LS112	J	P	M	CF	M74LS112	J	P	M	CF
	M54S112	J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF
NEC	μPB2S112	J	P	M	CF	74LS112	J	P	M	CF	74LS112	J	P	M	CF	74LS112	J	P	M	CF
	μPB2S112	J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF
TOSHIBA	74S112	J	P	M	CF	74LS112	J	P	M	CF	74LS112	J	P	M	CF	74LS112	J	P	M	CF
	74S112	J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF		J	P	M	CF

Electrical Characteristics SN54LS112/SN74LS112

Absolute maximum ratings over operating free-air temperature range								
Supply voltage V_{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C				
Input voltage	7V		SN74LS	0°C to 70°C				
		Storage temperature range		-65°C to 150°C				
Recommended operating conditions								
		SN54LS112		SN74LS112		UNIT		
		MIN	NOM	MAX	MIN		NOM	MAX
Supply voltage V_{CC}		4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current I_{OH}				-400			400	mA
Low-level output I_{OL}				4			8	mA
Pulse width, t_p	Clock high		20		20			ns
	Clear or preset low		25		25			ns
Set-up time, t_{SU}	High-level data		20		20			ns
	Low-level data		20		20			ns
Hold time, t_{HD}			0.1		0.1			ns
Operating free-air temperature T_A			-55	125	0	70		°C

Electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER*		TEST CONDITIONS†	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
V _{IH}	High-level input voltage		2			V
V _{IL}	Low-level input voltage			0.8		V
V _I	Input clamp voltage	V _{CC} = MIN. I _I = -18mA		1.5		V
V _{OH}	High-level output voltage	Series 54LS V _{CC} = MIN. V _{IH} = 2 V, V _{IL} = 0.8 V, I _{OH} = -400µA	2.5	3.4		V
	Series 74LS		2.7	3.4		V
V _{OL}	Low-level output voltage	V _{CC} = MIN. V _{IH} = 2 V, V _{IL} = 0.8 V, I _{OL} = 4mA		0.5		V
I _I	Input current at	D, J, K		0.1		mA
	maximum input	Clear		0.3		
	voltage	Preset	V _{CC} = MAX. V _I = 7V	0.3		
		Clock		0.4		
I _{IH}	High-level input current	J, K, or D		20		µA
		Clear		60		
		Preset	V _{CC} = MAX. V _I = 2.7V	60		
		Clock		80		
I _{IL}	Low-level input current	J, K, or D		0.4		mA
		Clear		0.8		
		Preset	V _{CC} = MAX. V _I = 0.5V	0.8		
		Clock		0.8		
I _{OS}	Short-circuit output current*	V _{CC} = MAX	-20		-100	mA
I _{CC}	Supply current (average per flip-flop)	V _{CC} = MAX. See Note 1		4	6	mA
f _{max}	maximum clock frequency	V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C, C _L = 15pF, R _L = 2kΩ		30	45	MHz
t _{PLH}	from clear, Preset or clock to 0 or $\bar{Q}$			15	20	ns
t _{PHL}				15	20	ns

NOTE: 1

With all outputs open, I_{CC} is measured with the Q and $\bar{Q}$ outputs high in turn. At the time of measurement, the clock input is grounded.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ All typical values are at $V_{CC} = 5\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$.

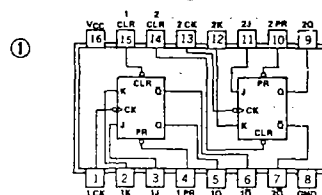
* Not more than one output should be shorted at a time, and duration of short-circuit should not exceed one second.

† t_{PLH} = propagation delay time, low-to-high-level output

† t_{PHL} = propagation delay time, high-to-low-level output

‡ The arrow indicates that the falling edge of the clock pulse is used for reference.

Pin Assignment (Top View)



'S112 'LS112 Function Table (See Note 2)

INPUTS				OUTPUTS	
PRESET	CLEAR	CLOCK	J K	Q	$\bar{Q}$
L	H	X	X X	H	L
H	L	X	X X	L	H
L	L	X	X X	H*	H*
H	H	L	L L	Q_0	$\bar{Q}_0$
H	H	L	H L	H	L
H	H	L	L H	L	H
H	H	L	H H	TOGGLE	
H	H	H	X X	Q_0	$\bar{Q}_0$

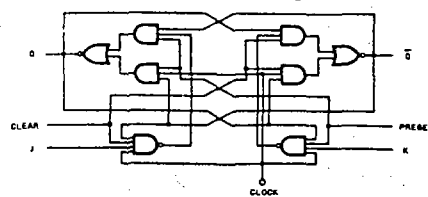
H=high level (steady state).

L=low level (steady state).

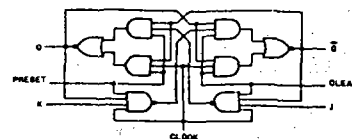
X=irrelevant.

↓=transition from high to low level.

Functional Block Diagrams



'S112 DUAL J-K WITH CLEAR AND PRESET



'LS112 DUAL J-K WITH CLEAR AND PRESET

NOTE: 2

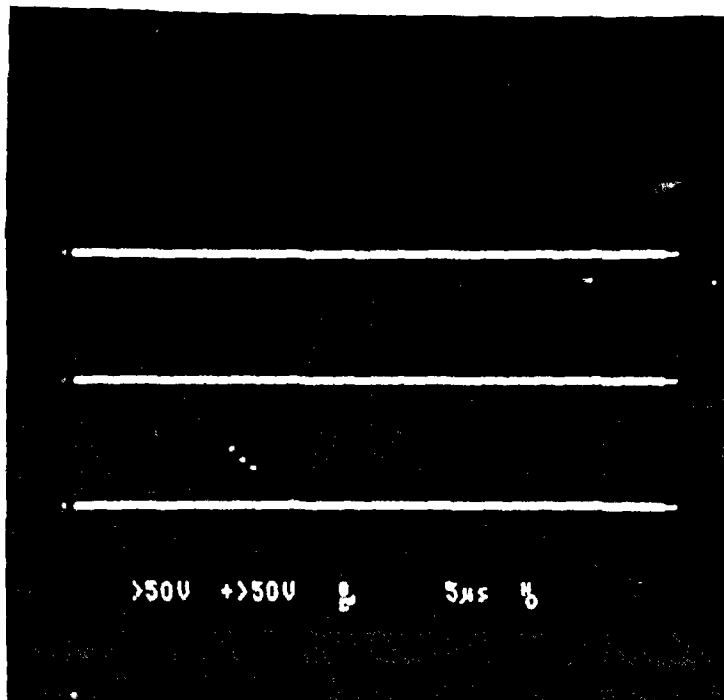
Q_0 =the level of Q before the indicated input conditions were established.

TOGGLE: Each output changes to the complement of its previous level on each active transition (pulse) of the clock.

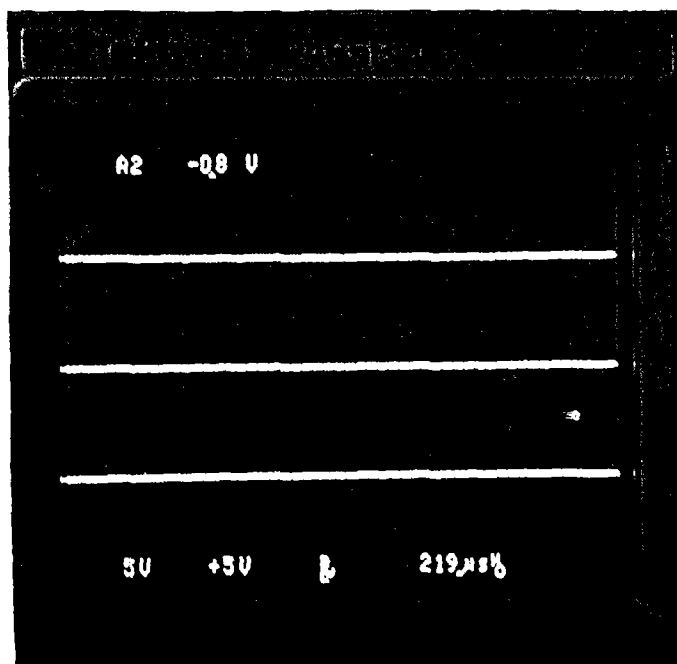
* This configuration is nonstable, that is, it will not persist when preset and clear inputs return to their inactive (high) state.

ภาคผนวก ค

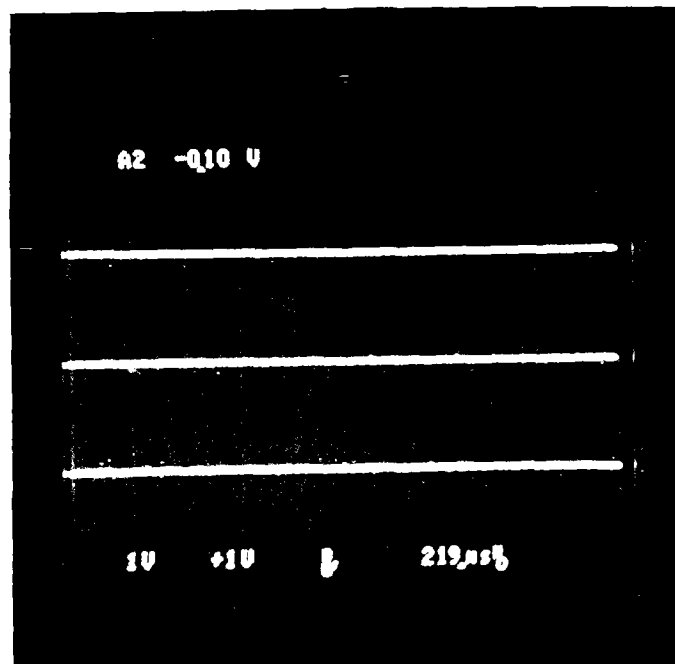
การทดสอบและภาพประกอบเกี่ยวกับการสร้าง



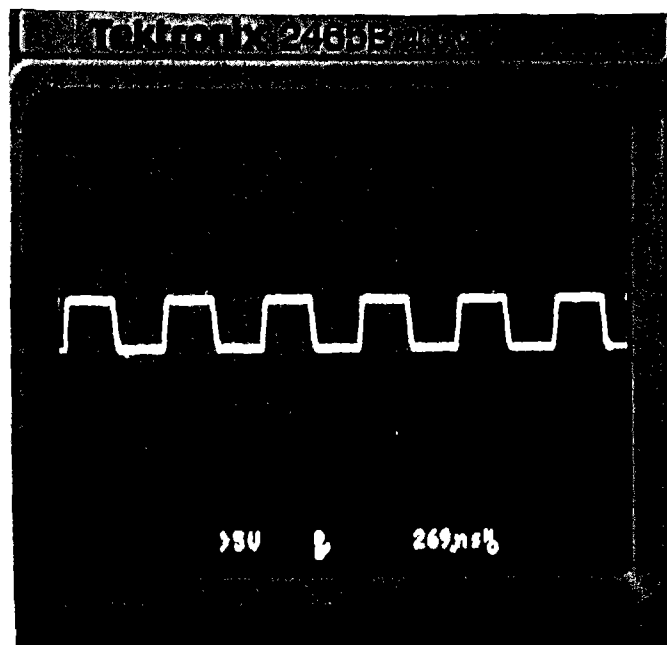
ภาพประกอบ 86 สัญญาณเอาต์พุตของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ± 48 โวลต์



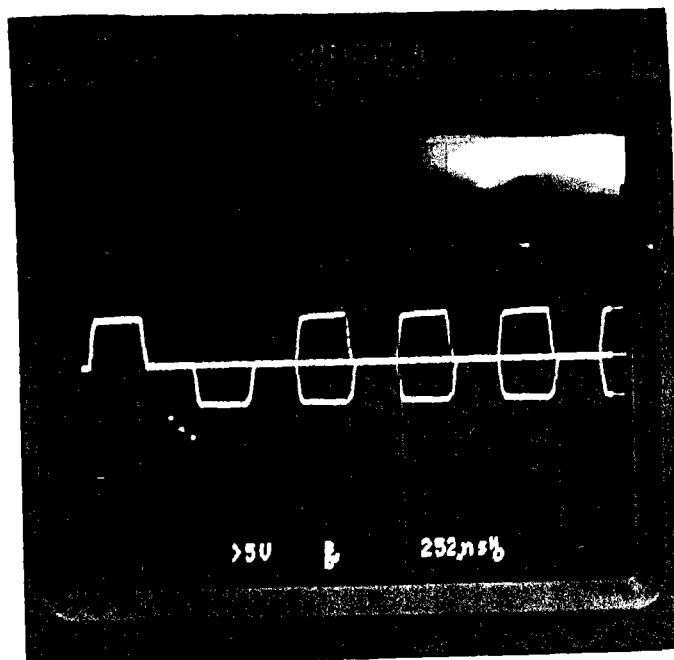
ภาพประกอบ 87 สัญญาณเอาต์พุตของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ± 5 โวลต์



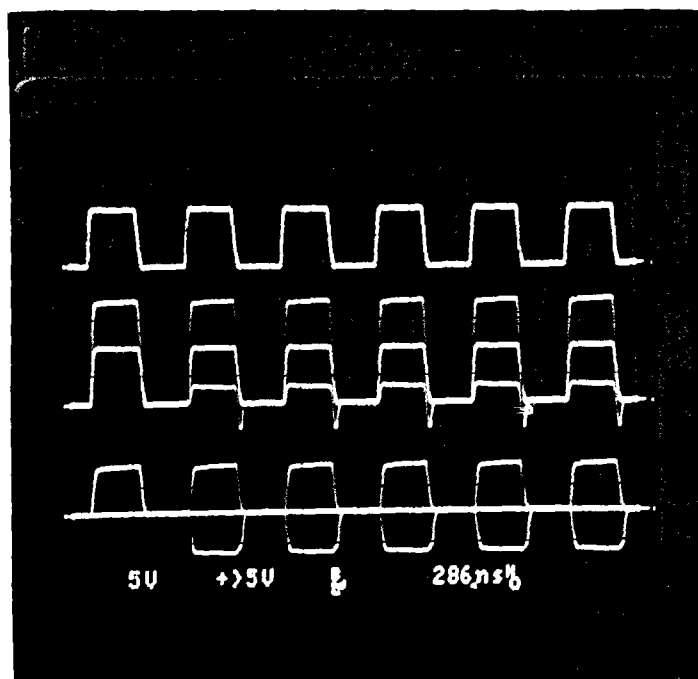
ภาพประกอบ 88 สัญญาณเอาต์พุตของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ± 1 โวลต์



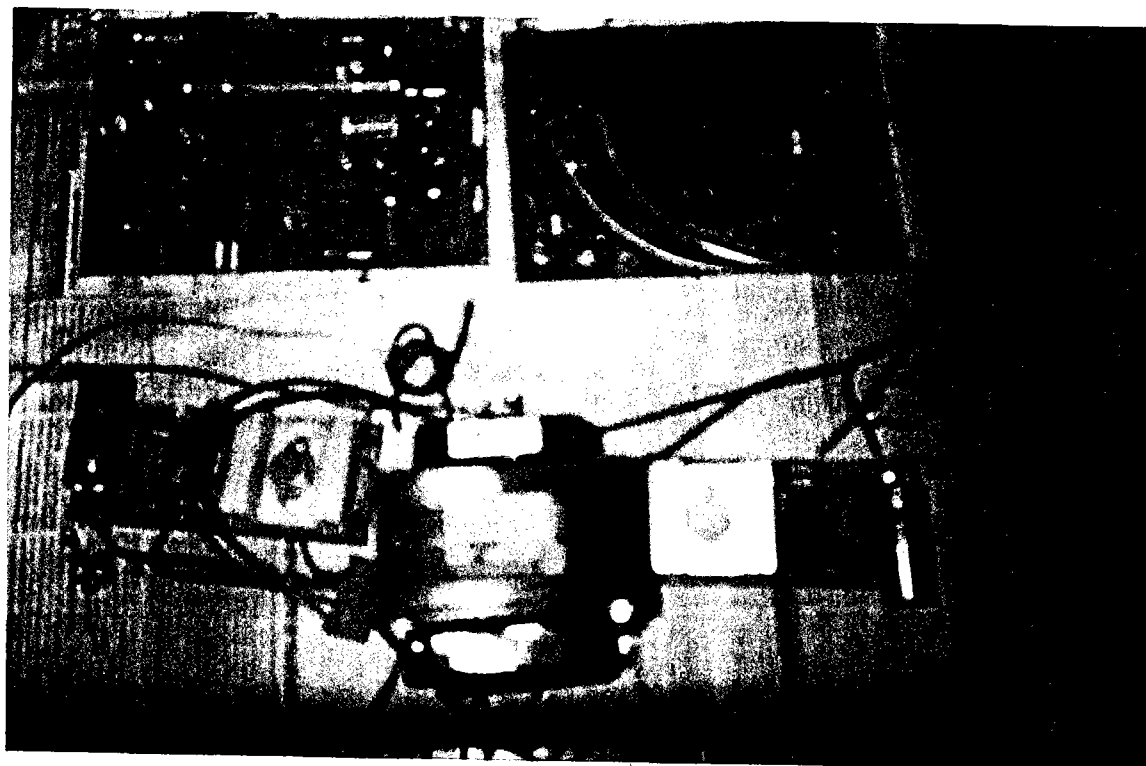
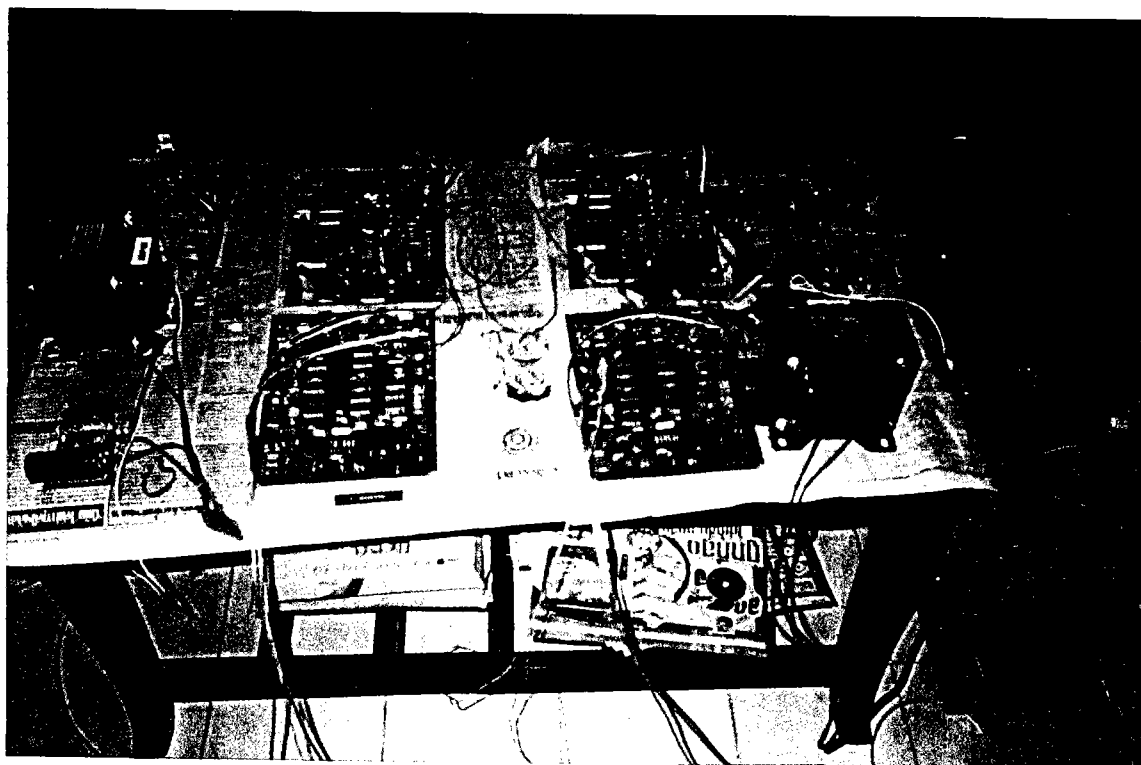
ภาพประกอบ 89 สัญญาณอินพุตที่ป้อนให้เครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์
ขนาด 32 ช่องสัญญาณ (2.048 Mb/s หรือ 269 ns)



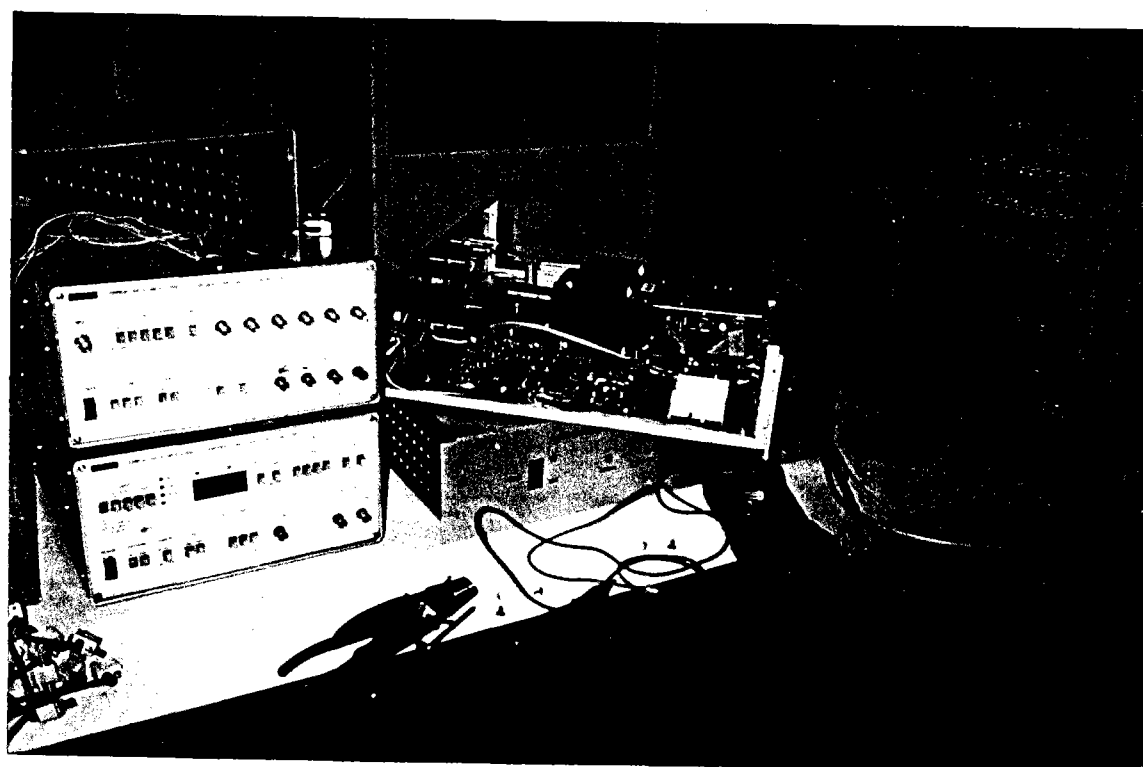
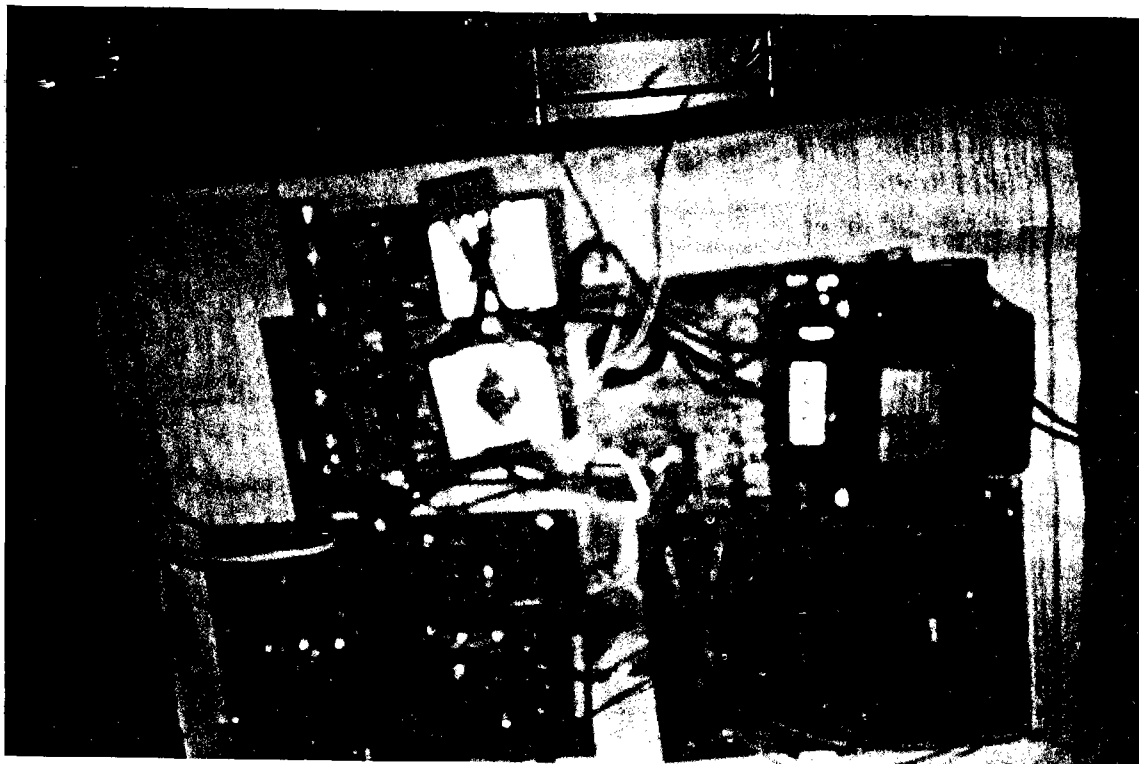
ภาพประกอบ 90 สัญญาณเอาต์พุตของเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์
ขนาด 32 ช่องสัญญาณ (2.048 Mb/s หรือ 252.2 ns)



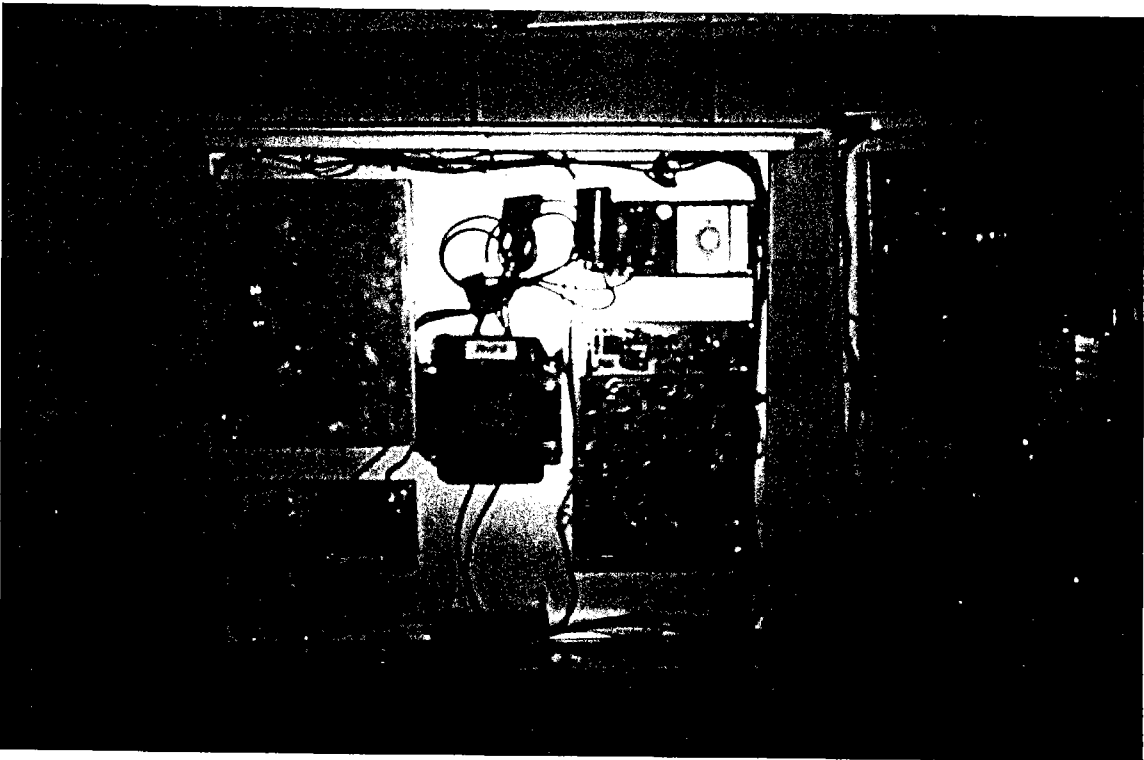
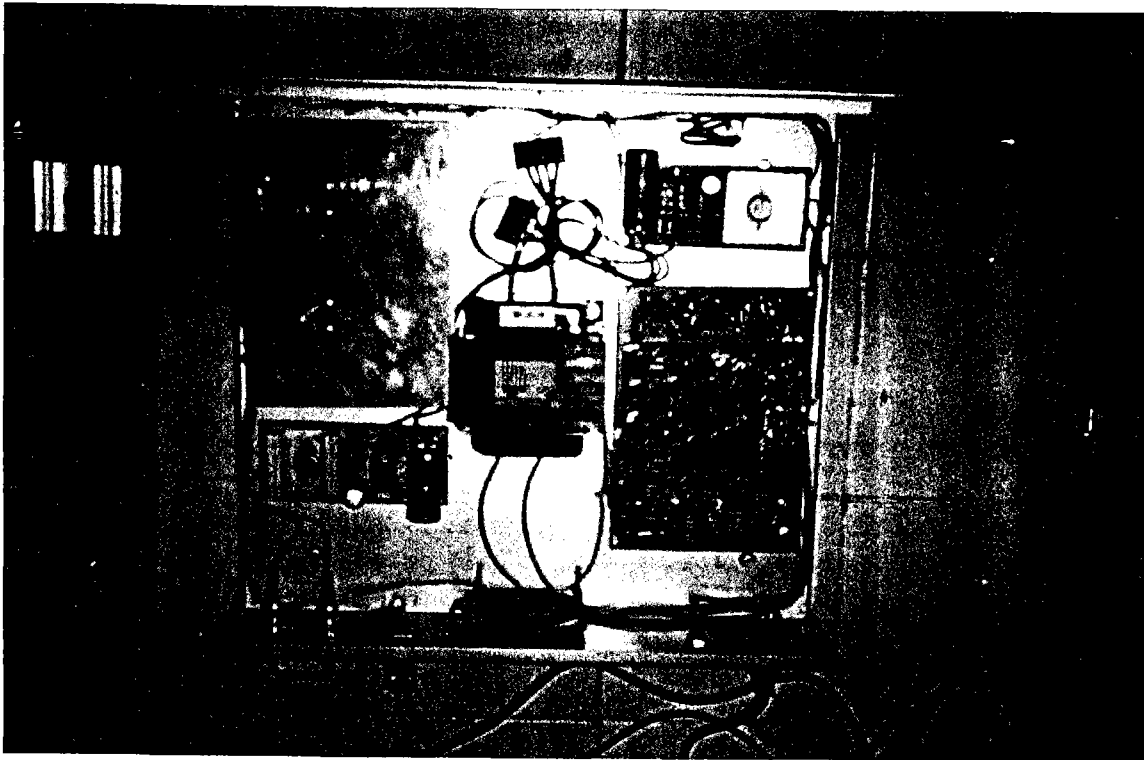
ภาพประกอบ 91 การผสมสัญญาณของเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์
ขนาด 32 ช่องสัญญาณ (2.048 Mb/s)



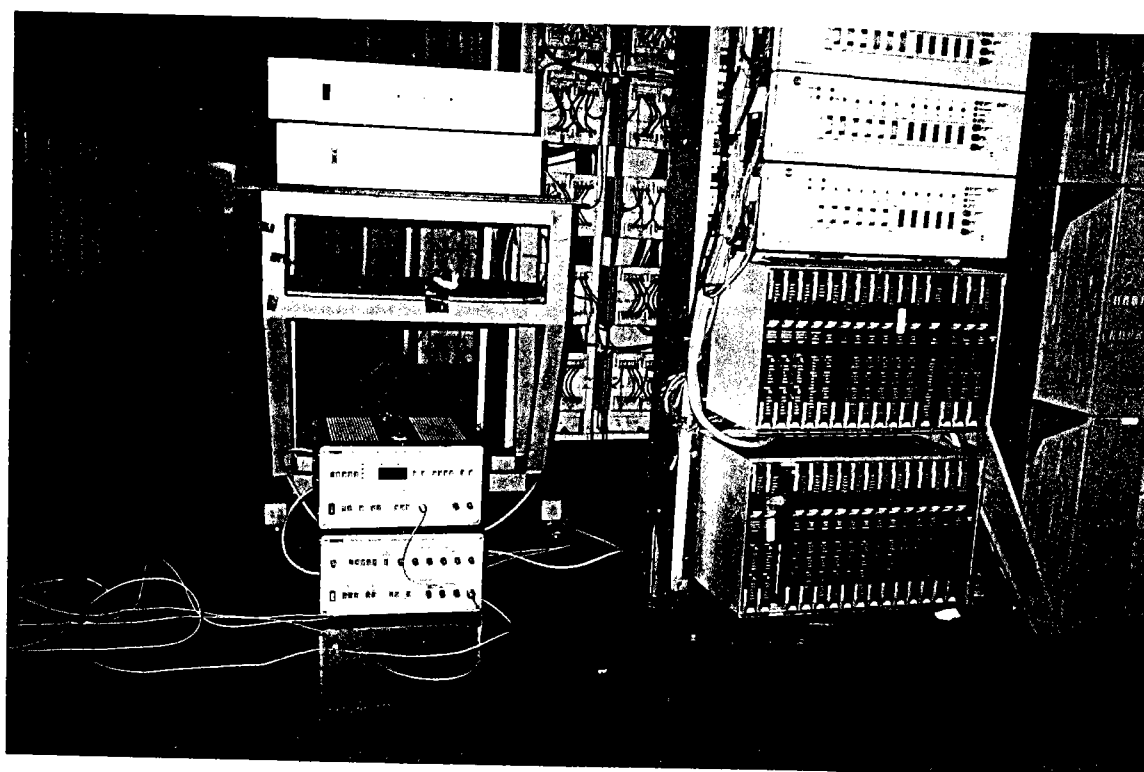
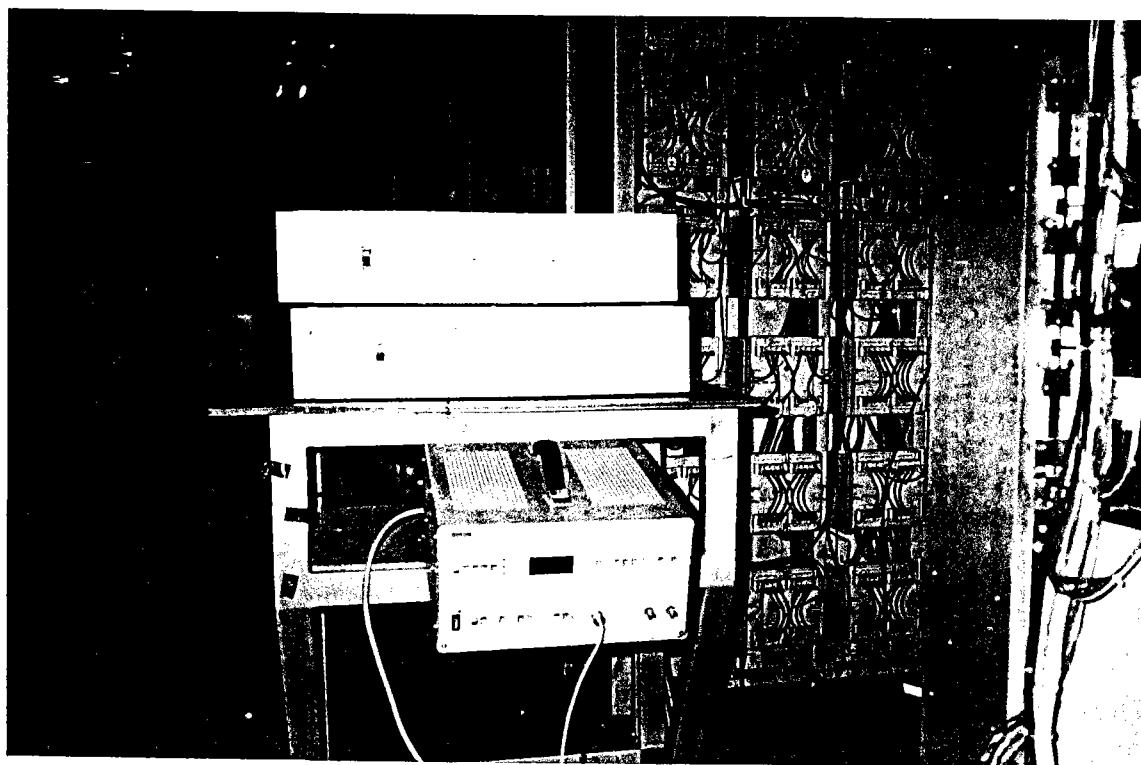
ภาพประกอบ 92 แผงวงจรอุปกรณ์ของเครื่องผลิตฟิล์ม



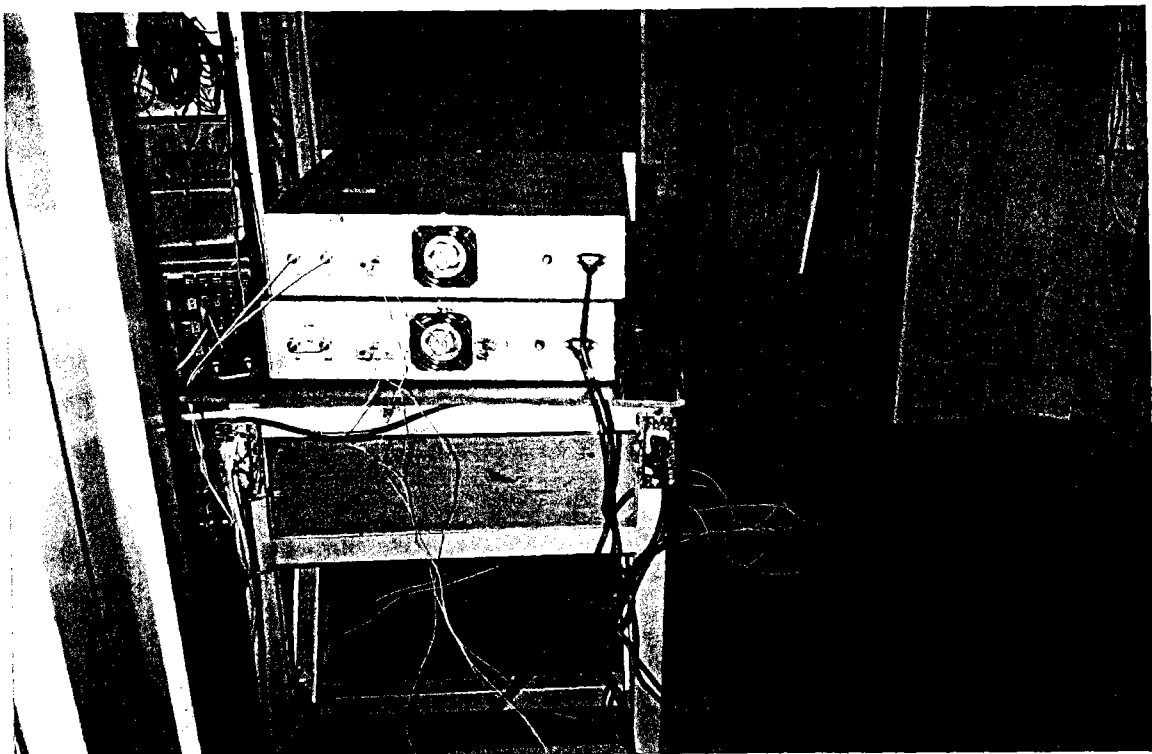
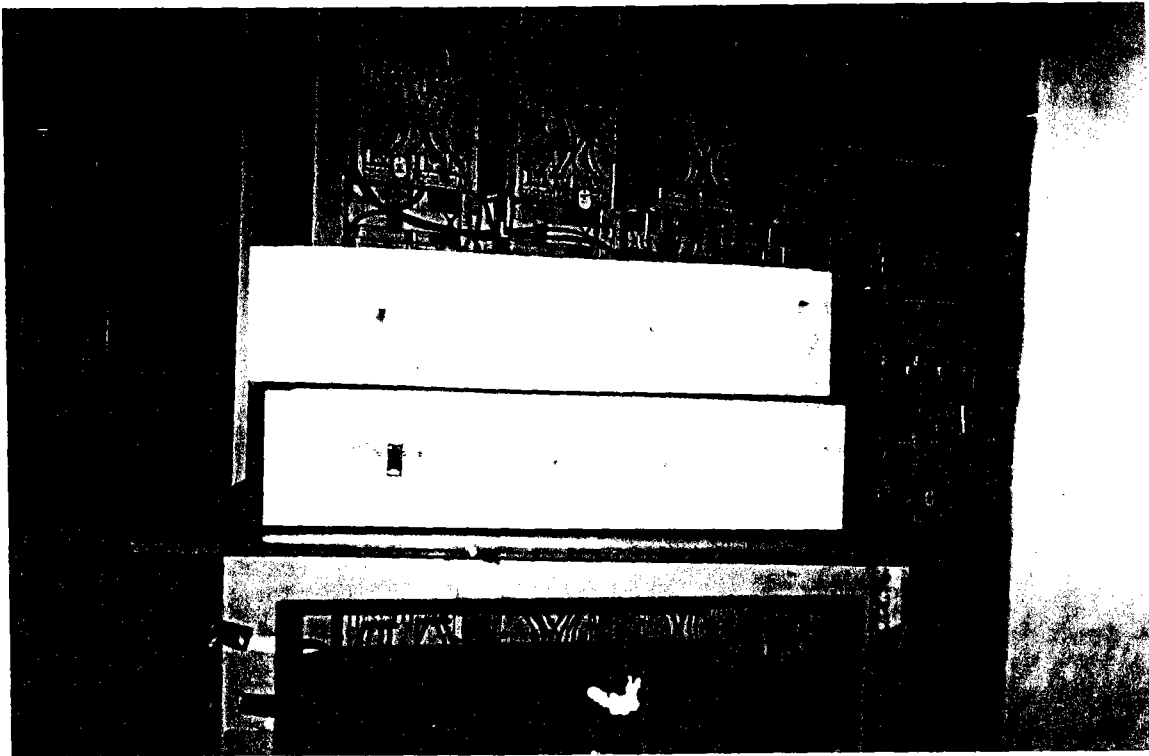
ภาพประกอบ 93 แผงวงจรและอุปกรณ์วงจรพิมพ์ที่พร้อมประกอบเชื่อมโยงเข้าด้วยกัน



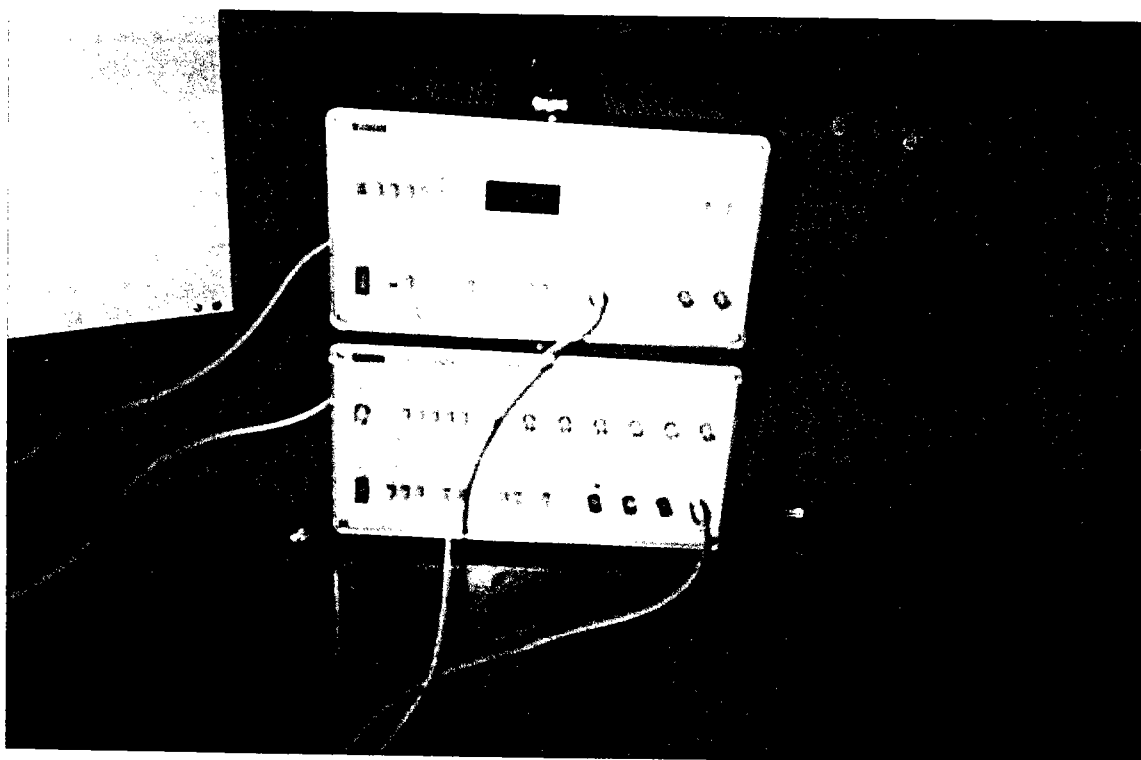
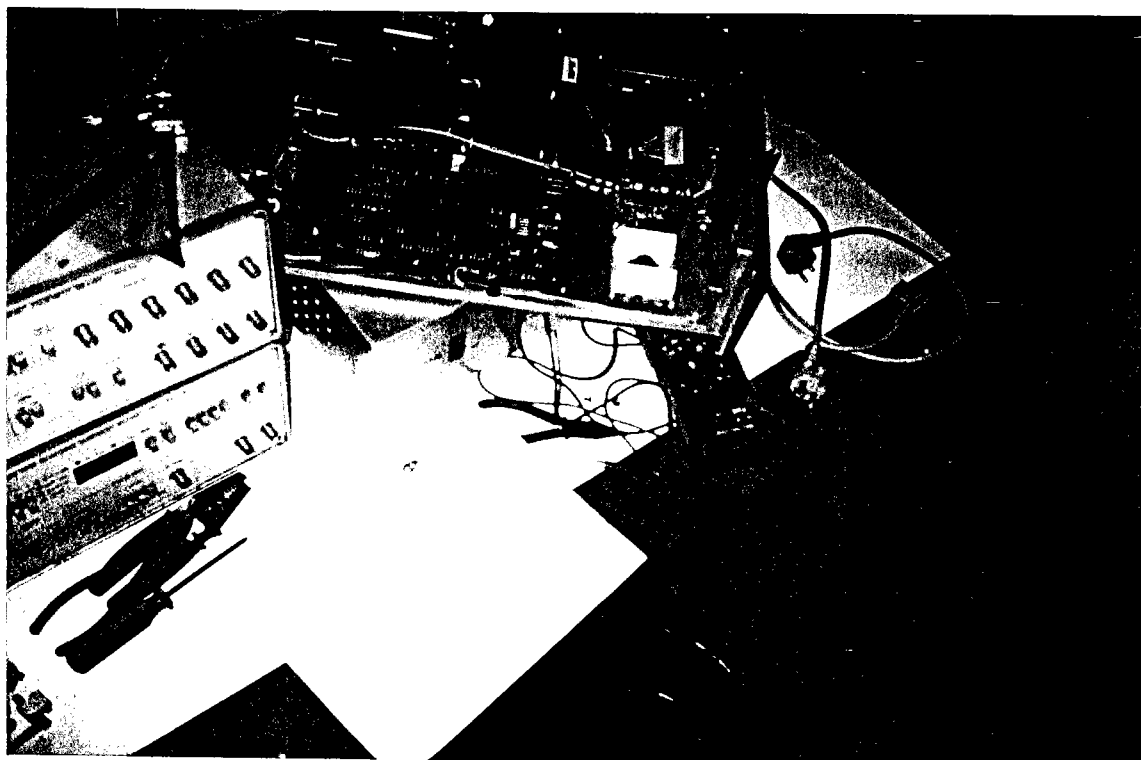
ภาพประกอบ 94 การวางแผงวงจรและอุปกรณ์ลงกล่องตามความเหมาะสม



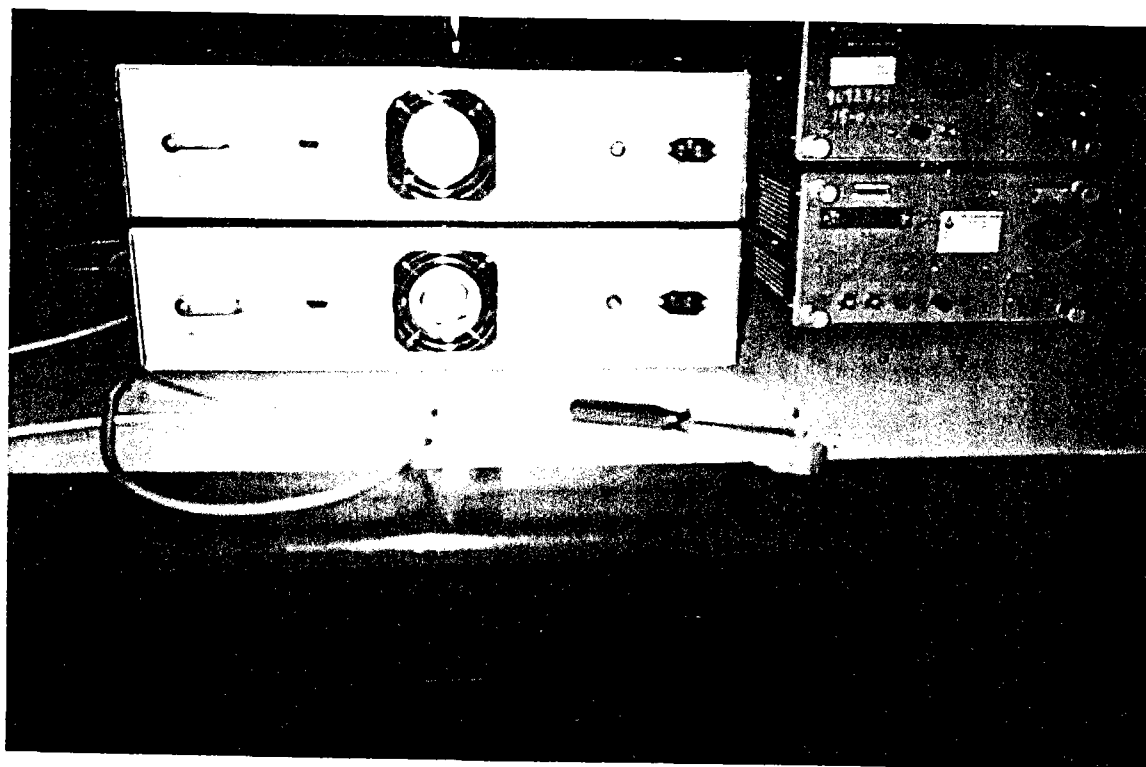
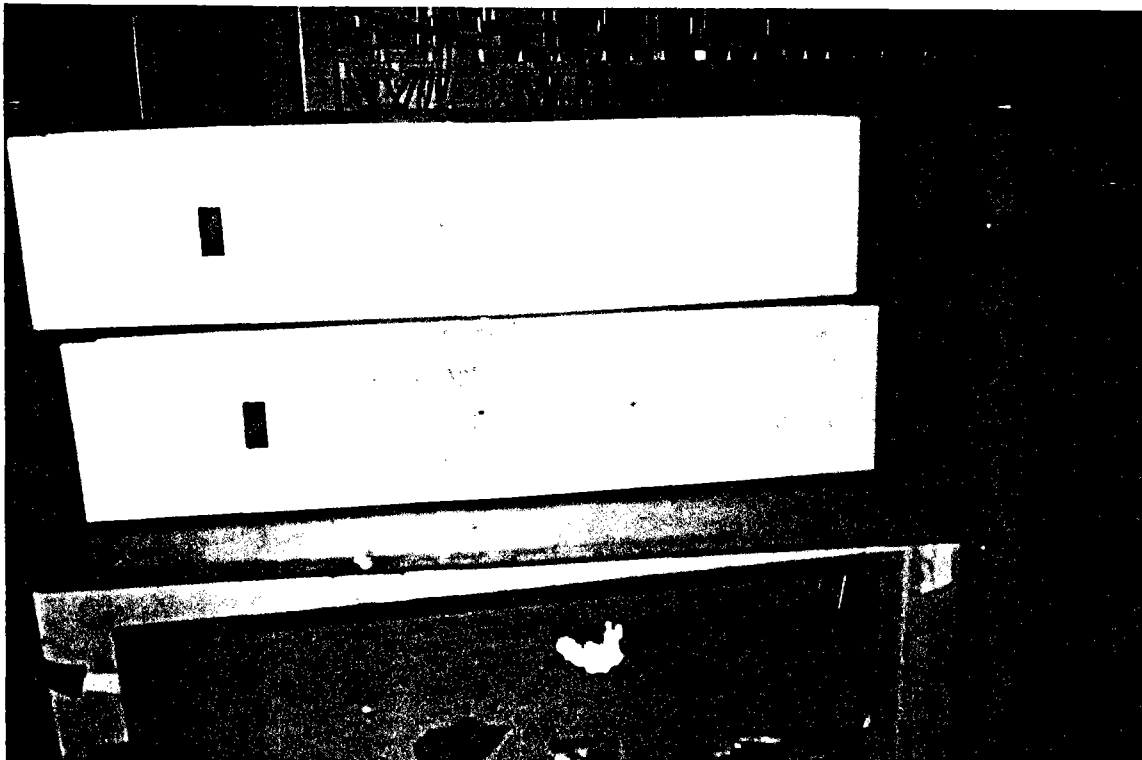
ภาพประกอบ 95 การทดสอบการทำงานของเครื่องมัลติเพล็กซ์โดยใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบ



ภาพประกอบ 96 การทดสอบการใช้งานของเครื่องมัลติเพล็กซ์กับอุปกรณ์โทรคมนาคม
ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์



ภาพประกอบ 97 อุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดสอบเครื่องมัลติเพล็กซ์



ภาพประกอบ 98 เครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณที่สมบูรณ์

ภาคผนวก ง

คู่มือการใช้เครื่องมือผลิตเพล็ทในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

คำนำ

คู่มือการใช้เครื่องมือผลิตเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อให้ท่านได้ทำความเข้าใจเกี่ยวกับชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องมือผลิตเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ รวมทั้งการใช้งานและการบำรุงรักษา เพื่อให้การใช้งานเครื่องมือผลิตเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ เป็นไปอย่างถูกต้องและปลอดภัยและมีอายุการใช้งานพร้อมทั้งการบำรุงรักษา

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมั่นใจว่าคู่มือฉบับนี้จะทำให้ท่านผู้ใช้งานเครื่องมือผลิตเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

นิยม สังขวิเชียร

สารบัญ

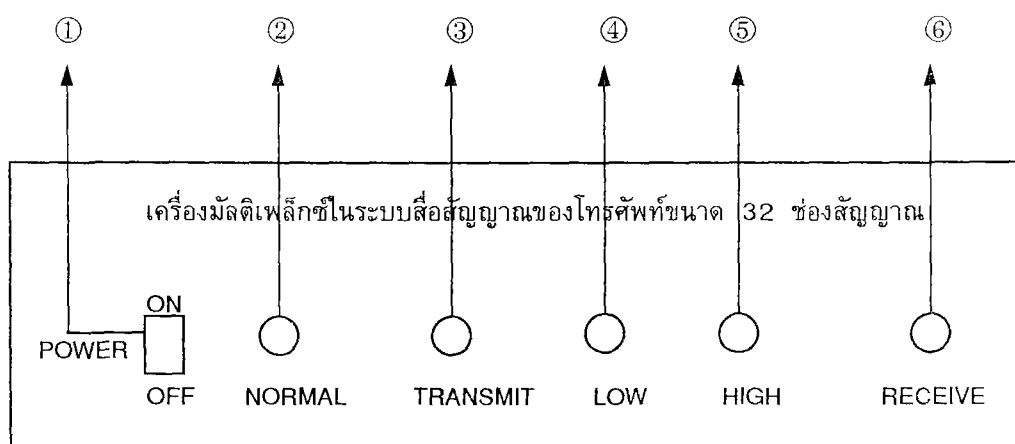
	หน้า
ความรู้ทั่วไปของการใช้เครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ	147
ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ	147
ส่วนประกอบด้านหน้าของเครื่อง	147
ส่วนประกอบด้านหลังของเครื่อง	148
ส่วนประกอบภายในเครื่อง	148
วิธีการติดตั้งเครื่องมัลติเพล็กซ์ในการใช้งาน	149
วิธีการตรวจสอบการใช้งานของเครื่องมัลติเพล็กซ์	150
วิธีการบำรุงรักษาเครื่องมัลติเพล็กซ์	150

ความรู้ทั่วไปของการใช้เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ ถูกออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อใช้งานทางด้านระบบสื่อสารของโทรศัพท์ และระบบโทรคมนาคมต่างๆ โดยใช้เป็นสื่อกลางในการเชื่อมโยงสัญญาณจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยมีส่วนประกอบดังนี้

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

1. ส่วนประกอบด้านหน้าของเครื่องมือมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 99 ด้านหน้าของเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

หมายเลข 1 สวิตช์เปิด-ปิดเครื่อง

หมายเลข 2 หลอด LED (สีเขียว) แสดงสถานะการทำงานของเครื่องปกติ

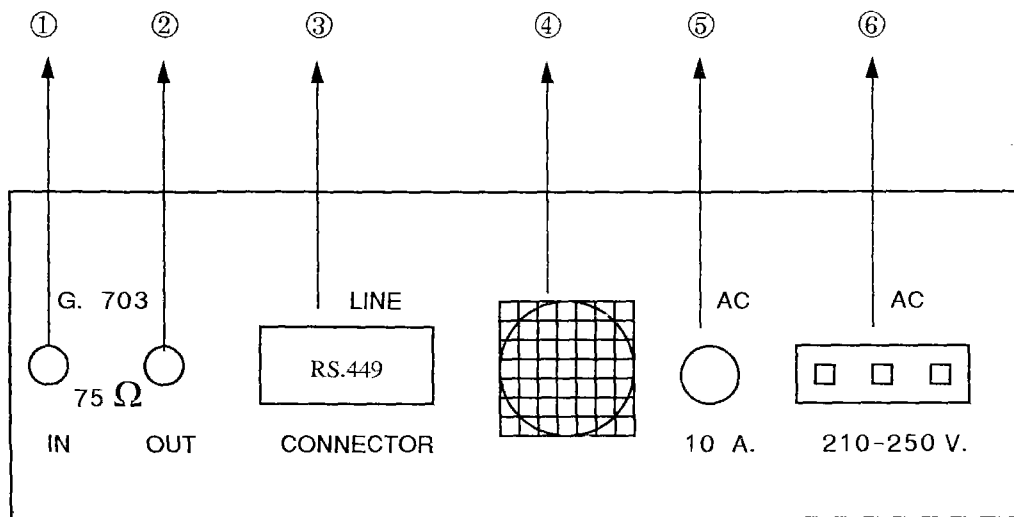
หมายเลข 3 หลอด LED (สีแดง) แสดงสถานะการทำงานของเครื่องผิดปกติ (ไม่สามารถส่งสัญญาณได้)

หมายเลข 4 หลอด LED (สีเหลือง) แสดงสถานะการทำงานของเครื่องผิดปกติ (สายที่ใช้ในการส่งและรับสัญญาณมีระยะทางยาวเกินกว่าที่เครื่องจะรับได้)

หมายเลข 5 หลอด LED (สีเหลือง) แสดงสถานะการทำงานของเครื่องผิดปกติ (สายที่ใช้ในการส่งและรับสัญญาณมีความต้านทานสูงเกินกว่าที่เครื่องจะรับได้)

หมายเลข 6 หลอด LED (สีแดง) แสดงสถานะการทำงานของเครื่องผิดปกติ (ไม่สามารถรับสัญญาณได้)

2. ส่วนประกอบด้านหลังของเครื่องมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 100 ด้านหลังเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

หมายเลข 1 สายรับสัญญาณเข้า (IN) เป็น หัว BNC 75 Ω

หมายเลข 2 สายส่งสัญญาณออก (OUT) เป็น หัว BNC 75 Ω

หมายเลข 3 สายเคเบิลที่ใช้ในการเชื่อมโยงระหว่างอุปกรณ์จำนวน 4 เส้น โดยใช้ RS.449

หมายเลข 4 พัดช่วยระบายอากาศภายในเครื่องฯ

หมายเลข 5 พิวส์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์ 10 แอมแปร์

หมายเลข 6 ตำแหน่งสายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เข้าตัวเครื่อง

3. ส่วนประกอบภายในเครื่อง

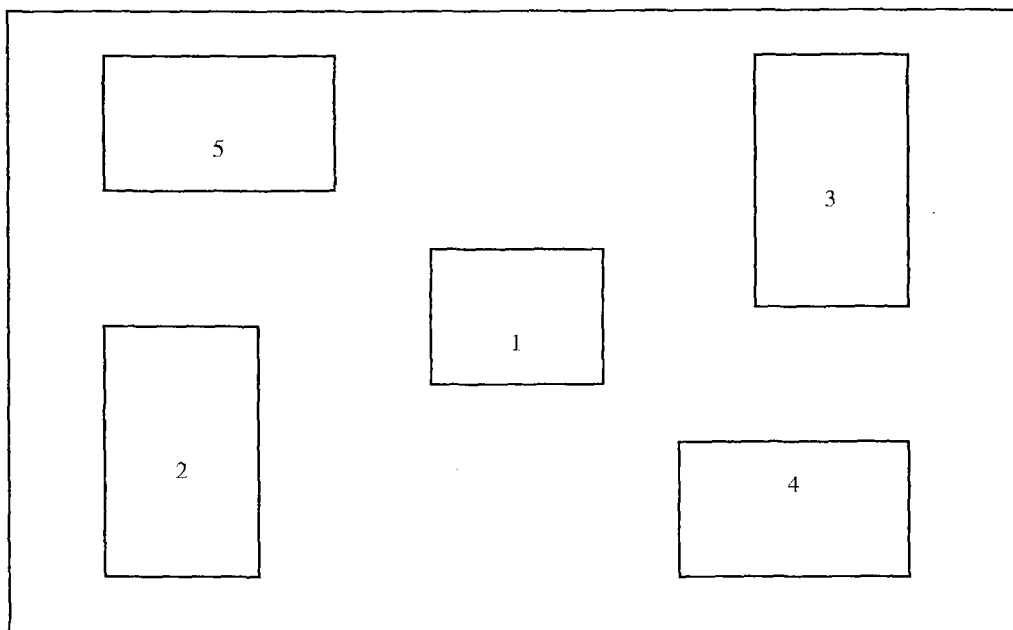
หมายเลข 1 คือ หม้อแปลงไฟฟ้า

หมายเลข 2 คือ ชุดแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 1 โวลต์, 5 โวลต์

หมายเลข 3 คือ ชุดมัลติเพล็กซ์ & ดีมัลติเพล็กซ์

หมายเลข 4 คือ ชุดแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง +48 โวลต์

หมายเลข 5 คือ ชุดแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง -48 โวลต์



ภาพประกอบ 101 ภายในเครื่องมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารสัญญาณของโทรศัพท์ขนาด 32 ช่องสัญญาณ

4. วิธีการติดตั้งเครื่องมัลติเพล็กซ์ในการใช้งานควรดำเนินการดังต่อไปนี้

- 4.1 จัดเตรียมเครื่องที่พร้อมจะใช้งานจำนวน 1 ชุด (2 ตัว)
- 4.2 จัดเตรียมแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์
- 4.3 สํารวจจำนวนคู่ของเคเบิลที่พร้อมจะใช้งานจำนวน 2 คู่สาย (4 เส้น) เคเบิลควรเป็นขนาด 0.4, 0.5 มม.
- 4.4 วัดความต้านทานของเคเบิลที่จะใช้งานควรมีความต้านทานไม่เกิน 800Ω โดยใช้มัลติมิเตอร์ในการวัดความต้านทาน ในสายเคเบิลที่ใช้นั้นควรตรวจเช็คแรงดันไฟฟ้าด้วย
- 4.5 เมื่อได้คู่เคเบิลแล้วให้นำเอาเคเบิลที่ได้มาต่อกับ Line Connector (RS.449) ทางด้านต้นทางดังนี้
 - 4.5.1 คู่เคเบิลคู่ที่ 1 ให้ต่อเข้ากับ RS.449 แบบไพรมารีเข้าเข็มที่ 1,6
 - 4.5.2 คู่เคเบิลคู่ที่ 2 ให้ต่อเข้ากับ RS.449 แบบไพรมารีเข้าเข็มที่ 4,9
- 4.6 เมื่อได้คู่เคเบิลแล้วให้นำเอาเคเบิลที่ได้มาต่อกับ Line Connector (RS.449) ทางด้านปลายทางดังนี้
 - 4.6.1 คู่เคเบิลคู่ที่ 1 ให้ต่อเข้ากับ RS.449 แบบไพรมารีเข้าเข็มที่ 4,9
 - 4.6.2 คู่เคเบิลคู่ที่ 2 ให้ต่อเข้ากับ RS.449 แบบไพรมารีเข้าเข็มที่ 1,6
- 4.7 ต่อสายเชื่อมโยงสัญญาณทาง G.703 75Ω (หัว BNC) ออกจากเครื่องมัลติเพล็กซ์ดังนี้
 - 4.7.1 สายเชื่อมโยงทางด้าน IN ของเครื่องมัลติเพล็กซ์ให้ต่อเข้ากับทางด้าน OUT ของอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้งาน

4.7.2 สายเชื่อมโยงทางด้าน OUT ของเครื่องมัลติเพล็กซ์ให้ต่อเข้ากับทางด้าน IN ของอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้งาน

4.8 เมื่อต่อคู่เคเบิลเข้ากับ RS.449 แบบไพรมารีเรียบร้อยแล้วให้นำเอา RS.449 แบบไพรมารีมาต่อเข้ากับ RS.449 แบบเซคันดารี

5. วิธีการตรวจสอบการใช้งานของเครื่องมัลติเพล็กซ์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 เปิดสวิตช์ให้เครื่องทำงานจะมีหลอดไฟที่สวิตช์ติดเป็นสีแดง กับหลอดไฟสีเขียว NORMAL ติดแสดงว่าเครื่องทำงานเป็นปกติ (โดยมีสัญญาณจากอุปกรณ์โทรคมนาคมที่ใช้อยู่)

5.2 เมื่อเปิดสวิตช์แล้วมีหลอดไฟสีแดงติดที่ TRANSMIT หรือที่ RECEIVE แสดงว่าการติดตั้งสายเชื่อมโยงของสัญญาณผิดให้ทำการสลับสายที่ใช้ในการเชื่อมโยงใหม่(โดยมีสัญญาณจากอุปกรณ์โทรคมนาคมที่ใช้อยู่)

5.3 เมื่อเปิดสวิตช์แล้วมีหลอดไฟสีแดงติดที่ HIGH แสดงว่าการติดตั้งคู่สายเคเบิลนั้นมีความต้านทานมากกว่าค่าที่กำหนด หรือสภาพของคู่สายเคเบิลไม่ดีแต่ยังคงใช้งานได้เป็นปกติ(โดยมีสัญญาณจากอุปกรณ์โทรคมนาคมที่ใช้อยู่)

5.4 เมื่อเปิดสวิตช์แล้วมีหลอดไฟสีแดงติดที่ LOW แสดงว่าการติดตั้งคู่สายเคเบิลนั้นมีความต้านทานมากกว่าค่าที่กำหนด หรือสภาพของคู่สายเคเบิลไม่ดีไม่สามารถใช้งานได้(โดยมีสัญญาณจากอุปกรณ์โทรคมนาคมที่ใช้อยู่)

6. วิธีการบำรุงรักษาเครื่องมัลติเพล็กซ์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.1 การติดตั้งเครื่องใช้งานควรอยู่ในห้องที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 25° C

6.2 การเก็บรักษาเครื่องควรอยู่ในที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก

6.3 ไม่ควรให้เครื่องตกกระแทกหรือมีการสั่นสะเทือนแรงๆ

6.4 การซ่อมบำรุงเครื่องควรปิดสวิตช์เครื่องทุกครั้งทั้ง 2 ด้าน

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ - ชื่อสกุล	นายนิยม สังขวิเชียร
วัน เดือน ปีเกิด	15 มิถุนายน 2513
สถานที่เกิด	112 หมู่ที่ 1 ตำบลบางชัน อำเภอบางชัน จังหวัดนครศรีธรรมราช 80360 โทร (075) 371213
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	1449/104 หมู่บ้านจตุสุข ถนนกรุงเทพ - นนท์ บางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800 โทร (02) 9120928 (01) 9389079
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกร 5
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย อาคารชุมสายพลโยธิน สามเสนใน พญาไท กรุงเทพมหานคร 10400 โทร (02) 279-5550-1
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2529	มัธยมศึกษาปีที่ 3 จากโรงเรียนทุ่งสง อำเภอบางชัน จังหวัดนครศรีธรรมราช
พ.ศ. 2532	อาชีวศึกษา (ปวช.) สาขาอิเล็กทรอนิกส์ จากวิทยาลัยเทคนิค นครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช
พ.ศ. 2536	อุดมศึกษา (ปริญญาตรี) สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร
พ.ศ. 2542	อุดมศึกษา (ปริญญาโท) วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จังหวัดกรุงเทพมหานคร