ตำราวิชาโทรศัพท์

พ.ศ.๒๕๖๒

โดย

กองสื่อสารโทรคมนาคม กรมสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ทหารอากาศ

กองทัพอากาศ

ดอนเมือง กรุงเทพมหานคร

คำนำ

ตำราวิชาโทรศัพท์เล่มนี้ได้จัดทำและปรับปรุงใหม่ เพื่อให้กำลังพลในสายวิทยาการสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ ได้ใช้ศึกษาและทำความเข้าใจการทำงานของระบบชุมสายโทรศัพท์และเครือข่ายเคเบิลโทรศัพท์ ที่มีใช้งานในกองทัพอากาศ อีกทั้งสามารถใช้เป็นเอกสารคู่มือประกอบการปฏิบัติงาน ตามภารกิจที่ได้รับมอบหมายได้อย่างถูกต้องและเป็นแนวทางเดียวกัน

ตำรานี้ประกอบด้วยหัวข้อสำคัญ ๑๕ บท แบ่งเป็นวิชาชุมสายโทรศัพท์ ๖ บท และเครือข่ายเคเบิลโทรศัพท์ ๙ บท โดยเนื้อหาในตำราได้รับการปรับปรุงให้มีความถูกต้อง กระชับ และมีเนื้อหาที่ทันสมัยกับเทคโนโลยีในปัจจุบัน

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า เอกสารชุดนี้จะเป็นประโยชน์กับกำลังพล ในการพัฒนาขีดความสามารถในการปฏิบัติงานที่เกี่ยวกับระบบชุมสายโทรศัพท์ และเครือข่ายเคเบิลโทรศัพท์ให้ดียิ่งขึ้น แต่หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขอได้กรุณาแจ้งคณะผู้จัดทำให้รับทราบ เพื่อปรับปรุงแก้ไขตำราให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ในโอกาสต่อไป

นาวาอากาศเอก (ชนัสถา เอี่ยมเกตุแก้ว)
นาวาอากาศเอก (เกษม มณีมูล)
นาวาอากาศโท (นันทพล สุริยวงศ์)
นาวาอากาศโท (ฤทธินาท พึ่งผลพูล)
เรืออากาศเอก (จตุรงค์ วีระธรรมวิวัฒน์)
เรืออากาศโท (ก้องเกียรติ แสงศิริอนันต์)
คณะผู้จัดทำ

นาวาอากาศเอก (ธานี สินธวาชีวะ)
ผอ.กสท.สอ.ทอ.
ประธานที่ปรึกษา

สารบัญ

		หน้า
คำนำ		ก
สารบัญ		ข
สารบัญตาราง		ฉ
สารบัญภาพ		ช
บทที่ ๑	หลักการทำงานทั่วไปของระบบชุมสายโทรศัพท์	๑
	๑. โครงสร้างของชุมสายโทรศัพท์	๒
	๒. ลักษณะของการต่อการเรียก	๕
บทที่ ๒	ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบชุมสายโทรศัพท์	๑๘
	๑. ชุมสายโทรศัพท์ AVAYA	๒๑
	๒. ชุมสายโทรศัพท์ ERICSSON	๓๒
	๓. ชุมสายโทรศัพท์ NORTEL	๔๙
	๔. ชุมสายโทรศัพท์ ALCATEL	๕๘
	๕. Multi – Service Access Node (MSAN)	๖๕
	๖. ชุมสายรวมการติดต่อสื่อสาร (ICSS)	๗๑
บทที่ ๓	ระบบโทรศัพท์ของกองทัพอากาศ	๗๕
	๑. รายละเอียดชุมสายยุทธการ	๗๕
	๒. รายละเอียดชุมสายธุรการ	๗๗
	๓. ระบบการจัดเลขหมายโทรศัพท์ของ ทอ.(RTAF Close Numbering)	๗๙
บทที่ ๔	อุปกรณ์ป้องกันของชุมสายโทรศัพท์	๘๑
	๑. Main Distribution Frame (MDF)	๘๑
	๒. อันตรายที่เกิดกับระบบทางสายโทรศัพท์	๘๕
	๓. อุปกรณ์ป้องกันทางสายโทรศัพท์	๘๗
บทที่ ๕	ระบบจ่ายไฟ (Power Supply)	๘๙
	๑. ระบบจ่ายไฟชุมสายโทรศัพท์ (Power Supply)	๘๙
	๒. แบตเตอรี่	๙๐
	๓. การตรวจสอบแบตเตอรี่	๙๒

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ ๖	เทคโนโลยีและการทำงานของชุมสายโทรศัพท์ระบบ VoIP	๙๓
	๑. ลักษณะการใช้งานระบบสื่อสารผ่าน VoIP	๙๓
	๒. หลักการพื้นฐานของเครือข่าย IP	๙๔
	๓. Standard of VoIP Technology	๙๖
	๔. Internet Protocol (IP)	๙๗
	๕. โครงสร้างของชุมสายโทรศัพท์ VoIP	๙๗
	๖. อุปกรณ์มาตรฐานในระบบ VoIP	๙๙
	๗. กระบวนการส่งข้อมูลเสียงผ่านระบบ VoIP	๑๐๐
	๘. ขั้นตอนการทำงานของ VoIP	๑๐๑
	๙. ปัจจัยที่ทำให้เกิดการใช้ VoIP	๑๐๒
	๑๐. คุณสมบัติสำคัญของ VoIP เมื่อเทียบกับระบบโทรศัพท์แบบเดิม	๑๐๒
	๑๑. ประโยชน์ของ VoIP	๑๐๓
บทที่ ๗	เคเบิลโทรศัพท์	๑๐๔
	๑. งานสายตอนนอก	๑๐๔
	๒. โครงสร้างของสายเคเบิล	๑๐๖
	๓. การนับคู่สายเคเบิล	๑๐๘
	๔. โครงสร้างระบบข่ายสายเคเบิล	๑๑๐
	๕. การพิจารณาเส้นทางการวางสายเคเบิล	๑๑๑
	๖. สัญลักษณ์ข่ายทางสาย	๑๑๒
บทที่ ๘	ชนิดของเหตุเสีย	๑๑๕
	๑. ชนิดของเหตุเสีย	๑๑๕
	๒. การตรวจสอบคู่สาย	๑๑๗
บทที่ ๙	การใช้เครื่องมือพื้นฐานตรวจหาเหตุเสีย	๑๒๐
	๑. การตรวจหาเหตุเสียโดยใช้โวลต์มิเตอร์	๑๒๐
	๒. การตรวจหาเหตุเสียโดยใช้โอห์มมิเตอร์	๑๒๑
	๓. การตรวจหาเหตุเสียโดยใช้แบตเตอรี่ และหูฟัง	๑๒๒
	๔. ค่าความต้านทานฉนวน (Insulation Resistance)	๑๒๔
	๕. การตรวจวัดค่าความต้านทานฉนวนโดยใช้ Megger	๑๒๕
	๖. การวัดค่าทางไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดมัลติมิเตอร์ (Multimeter)	๑๒๖
	๗. การใช้งานมัลติมิเตอร์ (Multimeter)	๑๒๘
	๘. การตรวจหาจุดเสียของคู่สายเคเบิลด้วยโอห์มมิเตอร์	๑๓๑

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ ๑๐	ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน	๑๓๙
	๑. ขั้นตอนความปลอดภัยในการปฏิบัติงานช่างโทรศัพท์	๑๓๙
	๒. ขั้นตอนความปลอดภัยในการซ่อมตัวเครื่องโทรศัพท์	๑๔๐
บทที่ ๑๑	การบำรุงรักษาทางสาย	๑๔๑
	๑. สายกระจาย	๑๔๑
	๒. การวางสายกระจายภายนอกอาคาร	๑๔๒
	๓. การรวมสายกระจายเข้าตู้พัก (Terminating Wire at Cable Terminals)	๑๔๖
บทที่ ๑๒	ระบบสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber Optic Communication System)	๑๔๘
	๑. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแสงและการเดินทางของแสงในเส้นใยแก้วนำแสง	๑๕๑
	๒. คุณลักษณะในการส่งสัญญาณของเส้นใยแก้วนำแสง	๑๕๔
	๓. แบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณ (Transmission Bandwidth)	๑๖๐
	๔. โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง	๑๖๑
	๕. ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง	๑๖๒
	๖. เส้นใยแก้วนำแสงชนิดมัลติโหมดสเต็ปอินเด็กซ์ (Multimode Step Index)	๑๖๓
	๗. เส้นใยแก้วนำแสงชนิดมัลติโหมดเกรดเดดอินเด็กซ์ (Multimode Graded Index)	๑๖๔
	๘. เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว (Singlemode Optical Fibers, SM)	๑๖๕
	๘. เส้นใยแก้วนำแสงแบบพลาสติกแคลดดิ้ง	๑๖๖
	๑๐. เส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติกทั้งหมด	๑๖๗
	๑๑. อุปกรณ์รับแสง (Optical Receiver)	๑๖๘
	๑๒. ข้อดีของการสื่อสารระบบ Fiber Optic	๑๗๒
บทที่ ๑๓	การขยายสัญญาณแสง	๑๗๔
	๑. อุปกรณ์ขยายสัญญาณแสงในเส้นใยแก้ว (Optical Fiber Amplifier)	๑๗๗
	๒. สถานีทวนสัญญาณ หรือรีพีตเตอร์ (Repeater)	๑๗๘
	๓. สถานีทวนสัญญาณแสง Fiber Amplifier	๑๗๙
	๔. ระบบสื่อสารที่ใช้ EDF	๑๘๑
บทที่ ๑๔	หัวต่อ (Connectors) และสายเชื่อมต่อ (Patch Cord)	๑๘๓
	๑. ชนิดของหัวต่อ (Connector Type)	๑๘๔
	๒. ชนิดของสายเชื่อมต่อ (Patch Cord Type)	๑๘๘
บทที่ ๑๕	เครื่องมือทดสอบทางด้านสื่อสารใยแก้วนำแสง	๑๙๐
	๑. เครื่องวิเคราะห์สัญญาณเชิงความถี่ (Spectrum Analyzer)	๑๙๐
	๒. เครื่องตรวจสอบใยแก้วนำแสงโอทีดีอาร์ (Optical Time Domain Reflectometer, OTDR)	๑๙๙

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ ๑-๑ แสดงการเปรียบเทียบภาคควบคุม และภาคตัวต่อของเครื่องชุมสายแต่ละระบบ ๒
ตารางที่ ๓-๑ ระบบโทรศัพท์ข่ายยุทธการของ ทอ. ปี ๕๙ (ภาคกลาง) ๗๕
ตารางที่ ๓-๒ ระบบโทรศัพท์ข่ายยุทธการของ ทอ. ปี ๕๙ (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) ๗๖
ตารางที่ ๓-๓ ระบบโทรศัพท์ข่ายยุทธการของ ทอ. ปี ๕๙ (ภาคเหนือ) ๗๖
ตารางที่ ๓-๔ ระบบโทรศัพท์ข่ายยุทธการของ ทอ. ปี ๕๙ (ภาคใต้) ๗๗
ตารางที่ ๓-๕ ระบบโทรศัพท์ข่ายธุรการของ ทอ. ปี ๕๙ (ภาคกลาง) ๗๗
ตารางที่ ๓-๖ ระบบโทรศัพท์ข่ายธุรการของ ทอ. ปี ๕๙ (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) ๗๘
ตารางที่ ๓-๗ ระบบโทรศัพท์ข่ายธุรการของ ทอ. ปี ๕๙ (ภาคเหนือ) ๗๘
ตารางที่ ๓-๘ ระบบโทรศัพท์ข่ายธุรการของ ทอ. ปี ๕๙ (ภาคใต้) ๗๙
ตารางที่ ๓-๙ แสดงรายละเอียดการกำหนดเลขหมายตัวที่สาม ๘๐
ตารางที่ ๗-๑ รหัสสีของคู่สายเคเบิล ๑๐๘
ตารางที่ ๗-๒ รหัสสีของ Binder ที่คู่สายเคเบิลไม่เกิน ๖๐๐ คู่ ๑๐๙
ตารางที่ ๗-๓ รหัสสีของ ที่คู่สายเคเบิลไม่เกิน ๓,๐๐๐ คู่ ๑๑๐
ตารางที่ ๙-๑ ค่าต่ำสุดของความต้านทานฉนวน ๑๒๔
ตารางที่ ๙-๒ แสดงค่าความต้านทานของคู่สายเคเบิล ๑๓๔
ตารางที่ ๙-๓ แสดงตัวคูณเพื่อเปลี่ยนแปลงความต้านทานในแต่ละขนาดของคู่สาย ๑๓๕
ตารางที่ ๙-๔ แสดงความยาวของเคเบิลต่อค่า Loop Resistance ๑ โอห์ม ๑๓๖
ตารางที่ ๑๑-๑ ระยะแนวดิ่งอย่างต่ำสำหรับสายดรอพวายร์อากาศ ๑๔๕
ตารางที่ ๑๑-๒ ระยะการเดินสายดรอพวายร์และสายสเตย์ชั่นวายร์ (ภายนอกและภายในอาคาร) ๑๔๖
ตารางที่ ๑๒-๑ แสดงค่าดัชนีหักเหของแสงของตัวกลางต่างๆ ๑๕๓
ตารางที่ ๑๒-๒ โครงสร้างและคุณลักษณะทางประสิทธิภาพของเส้นใยแก้วนำแสงแบบพลาสติกแคลดดิ้ง ๑๖๗
ตารางที่ ๑๔-๑ ค่าการสูญเสียเปรียบเทียบออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ ๑๘๓
ตารางที่ ๑๔-๒ สายเชื่อมต่อ Patch Cord แบบ Simplex และ Duplex ชนิดจ่างๆ ๑๘๙
ตารางที่ ๑๕-๑ ฮาร์มอนิกของคลื่นรูปสี่เหลี่ยม รูปสามเหลี่ยม และรูปฟันเลื่อย ๑๙๑
ตารางที่ ๑๕-๒ ตำแหน่งของการเป็นศูนย์ของแอมพลิจูดของคลื่นพาห์ ๑๙๗

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ ๑-๑ โครงสร้างของเครื่องชุมสายโทรศัพท์ ๓

ภาพที่ ๑-๒ โครงสร้างของภาคตัวต่อ ๓

ภาพที่ ๑-๓ การรวมภาค Concentration และ Expansion เข้าด้วยกันเป็นภาค Subscriber Switching Network (SSN) ๔

ภาพที่ ๑-๔ การตรวจพบการเรียก (Call Detection) ภายในชุมสายเดียวกัน ๗

ภาพที่ ๑-๕ การส่งสัญญาณหมุน (Dial Tone) ไปยังเครื่องโทรศัพท์ ภายในชุมสายเดียวกัน ๗

ภาพที่ ๑-๖ การรับและวิเคราะห์เลขหมาย ๘

ภาพที่ ๑-๗ การต่อเส้นทางสนทนา และส่งสัญญาณกระดิ่ง ๙

ภาพที่ ๑-๘ การตอบรับการเรียกของ B-Sub ๑๐

ภาพที่ ๑-๙ แสดงเส้นทางการรับส่งสัญญาณ MFC ๑๒

ภาพที่ ๑-๑๐ เส้นทางส่งสัญญาณเรียกและสัญญาณกระดิ่งระหว่างชุมสาย ๑๔

ภาพที่ ๑-๑๑ เส้นทาง A-Sub กับ B-Sub สำหรับการเรียกออก และการเรียกเข้าระหว่างชุมสาย ๑๕

ภาพที่ ๒-๑ แสดงโครงสร้างของ PABX ๒๐

ภาพที่ ๒-๒ สัญลักษณ์ และประวัติความเป็นมาของ AVAYA ๒๑

ภาพที่ ๒-๓ ระบบโทรศัพท์แบบเดิม AVAYA รุ่น DEFFINITY ๒๒

ภาพที่ ๒-๔ การเชื่อมต่อระบบชุมสายโทรศัพท์ AVAYA โดยใช้โครงข่ายแบบ IP ๒๓

ภาพที่ ๒-๕ การเชื่อมต่อพื้นฐานของระบบโทรศัพท์ AVAYA รุ่น DEFFINITY ๒๔

ภาพที่ ๒-๖ Avaya S8700 Media Server และ G650 Media Gateway ๒๕

ภาพที่ ๒-๗ Avaya G250 Media Gateway ๒๖

ภาพที่ ๒-๘ Avaya G350 Media Gateway ๒๗

ภาพที่ ๒-๙ Avaya G700 Media Gateway ๒๗

ภาพที่ ๒-๑๐ Avaya G650 Media Gateway ๒๘

ภาพที่ ๒-๑๑ การ์ดชนิดต่างๆ (๑) ๒๘

การ์ดชนิดต่างๆ (๒) ๒๙

ภาพที่ ๒-๑๒ AVAYA Virtualization ๓๑

ภาพที่ ๒-๑๓ การเชื่อมต่อ MX-ONE TSW และอุปกรณ์ต่อร่วมในระบบ ๓๓

ภาพที่ ๒-๑๔ รายละเอียด Magazine ภายใน MX-ONE TSW ๓๔

ภาพที่ ๒-๑๕ รายละเอียดโครงสร้าง MX-ONE TSW Magazine ๓๔

ภาพที่ ๒-๑๖ การเชื่อมต่อระหว่าง MX-ONE TSW (2 LIMs without Group Switch) ๓๕

ภาพที่ ๒-๑๗ การเชื่อมต่อระหว่าง LIM ผ่าน Group Switch ๓๕

ภาพที่ ๒-๑๘ การเชื่อมต่อระหว่าง LIM และ Group Switch ๓๖

ภาพที่ ๒-๑๙ Example of Configurations without a Group Switch ๓๗

ภาพที่ ๒-๒๐ การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ Switching ภายใน LIM ๓๘

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ ๒-๒๑ Processor Board หรือ Lim Processor Unit (LPU) ๓๘
ภาพที่ ๒-๒๒ Extension Line Unit (Analog) ๓๙
ภาพที่ ๒-๒๓ Extension Line Unit (Digital) ๔๐
ภาพที่ ๒-๒๔ Extension Line Unit (DECT) ๔๑
ภาพที่ ๒-๒๕ Extension Line Unit (VoIP) ๔๑
ภาพที่ ๒-๒๖ Analogue Trunk Circuit ๔๒
ภาพที่ ๒-๒๗ Digital Trunk Circuit ๔๓
ภาพที่ ๒-๒๘ Digital Tie Line Circuit ๔๔
ภาพที่ ๒-๒๙ I/O Terminal Interface Unit ๔๕
ภาพที่ ๒-๓๐ Compact Flash หรือ Hardisk Unit ๔๕
ภาพที่ ๒-๓๑ Tone and Multiparty Conference Unit (TMU) ๔๖
ภาพที่ ๒-๓๒ Power Unit ๔๖
ภาพที่ ๒-๓๓ การเชื่อมการติดต่อระหว่าง NE กับ CE ๕๒
ภาพที่ ๒-๓๔ การกำหนดโครงสร้างของ Loop ๕๓
ภาพที่ ๒-๓๕ การกำหนดโครงสร้างของ Super Loop ๕๔
ภาพที่ ๒-๓๖ การจัดโครงสร้างของชุมสายโทรศัพท์ Meridian 1 ๕๕
ภาพที่ ๒-๓๗ การจัดโครงสร้างของชุมสายโทรศัพท์ Meridian 1 รุ่น Option 81C ๕๖
ภาพที่ ๒-๓๘ Terminal Number หรือ TN ๕๗
ภาพที่ ๒-๓๙ โครงสร้างพื้นฐานของชุมสายโทรศัพท์ Alcatel ๕๙
ภาพที่ ๒-๔๐ Card CPU7-2 ๖๐
ภาพที่ ๒-๔๑ Card GPA2 ๖๐
ภาพที่ ๒-๔๒ Card eZ32 ๖๐
ภาพที่ ๒-๔๓ Card eUA32 ๖๐
ภาพที่ ๒-๔๔ Card NDDI8 และ NDDI2-2 ๖๑
ภาพที่ ๒-๔๕ Card PRA 2 ๖๑
ภาพที่ ๒-๔๖ CPM2 ๖๒
ภาพที่ ๒-๔๗ Card INT-IP3 ๖๒
ภาพที่ ๒-๔๘ Card RMAB ๖๒
ภาพที่ ๒-๔๙ Card IO2N ๖๓
ภาพที่ ๒-๕๐ Power connections ๖๓
ภาพที่ ๒-๕๑ BRMA Connecting Box ๖๔
ภาพที่ ๒-๕๒ ระบบข่ายสายโทรศัพท์สมัยก่อน และระบบ MSAN ๖๕
ภาพที่ ๒-๕๓ MUX Fiber Optic รุ่นต่างๆ ๖๖

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ ๒-๕๔ Card GIS หรือ ICS ๖๖
ภาพที่ ๒-๕๕ Card POWER K ๖๗
ภาพที่ ๒-๕๖ Card TRK ๖๗
ภาพที่ ๒-๕๗ Card ALC ๖๘
ภาพที่ ๒-๕๘ Card GADL ๖๘
ภาพที่ ๒-๕๙ Card SEB ๖๙
ภาพที่ ๒-๖๐ Card PEB ๖๙
ภาพที่ ๒-๖๑ Card IEBC ๗๐
ภาพที่ ๒-๖๒ Card IEBA ๗๐
ภาพที่ ๒-๖๓ ชุมสายรวมการติดต่อสื่อสาร (ICSS) ๗๑
ภาพที่ ๒-๖๔ Communication Server Unit (CSU) ๗๒
ภาพที่ ๒-๖๕ Maintenance Server Unit (MSU) ๗๒
ภาพที่ ๒-๖๖ OIU Front/ Rear Panel ๗๒
ภาพที่ ๒-๖๗ Radio Interface Unit (RIU) ๗๓
ภาพที่ ๒-๖๘ LAN Interface Unit (LIU) ๗๓
ภาพที่ ๒-๖๙ Operator Console Unit (OCU) ๗๓
ภาพที่ ๒-๗๐ Voice Recorders or Digital Recorder Unit (DRU) ๗๓
ภาพที่ ๒-๗๑ The Headset, PTT Foot Switch และ Speaker ๗๔
ภาพที่ ๔-๑ Horizontal MDF ๘๒
ภาพที่ ๔-๒ MDF แบบติดตั้งบนพื้น ที่มีทั้งแนวตั้งและแนวนอน ๘๓
ภาพที่ ๔-๓ MDF ตั้งพื้นแบบมีแนวนอนทั้ง ๒ ด้าน ๘๔
ภาพที่ ๔-๔ MDF แบบชนิดติดตั้งกับผนัง (Wall Distributor) ๘๔
ภาพที่ ๔-๕ การเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าในสายโทรศัพท์ ที่เกิดจากภัยธรรมชาติ ๘๕
ภาพที่ ๔-๖ การเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าจากไฟฟ้าแรงสูง ๘๕
ภาพที่ ๔-๗ การสัมผัสกับระบบไฟฟ้าของระบบอื่น ๘๖
ภาพที่ ๔-๘ การวางระบบทางสายจากต้นทางไปปลายทาง ๘๖
ภาพที่ ๔-๙ อาร์เรสเตอร์ (Arrester) ๘๗
ภาพที่ ๔-๑๐ ฟิวส์ปลั๊ก (Protection Plug) ๘๗
ภาพที่ ๔-๑๑ วาริสเตอร์ (Varistor) ๘๘
ภาพที่ ๔-๑๒ ซีเนอร์ไดโอด ๒ ทาง (Bidirectional Z-Diode) ๘๘
ภาพที่ ๔-๑๓ พีทีซี (Positive Temperature Coefficient Thermistor : PTC) ๘๘
ภาพที่ ๔-๑๔ ฟิวส์ (Fuse) ๘๘
ภาพที่ ๕-๑ แผนผังระบบจ่ายไฟ (Power Supply) ๘๙

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ ๕-๒ โครงสร้างและส่วนประกอบของ Leaded–Acid Batteries ๙๑
ภาพที่ ๕-๓ โครงสร้างและส่วนประกอบของ Maintenance-Free Batteries ๙๑
ภาพที่ ๕-๔ โครงสร้างและส่วนประกอบของ Maintenance-Free Sealed Calcium Batteries ๙๒
ภาพที่ ๖-๑ PC to PC Communications ๙๓
ภาพที่ ๖-๒ PC to Phone Communications ๙๔
ภาพที่ ๖-๓ Phone to Phone Communications ๙๔
ภาพที่ ๖-๔ ระบบการสื่อสารแบบ Packet ๙๕
ภาพที่ ๖-๕ หลักการพื้นฐานของเครือข่าย IP ๙๕
ภาพที่ ๖-๖ ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานของ VoIP : H.323 vs SIP ๙๗
ภาพที่ ๖-๗ Block Diagram แสดงการทำงานของ Voice Processing Module ๙๙
ภาพที่ ๖-๘ Conversion to PCM (Pulse Code Modulation) ๑๐๐
ภาพที่ ๖-๙ Removal of Echo ๑๐๐
ภาพที่ ๖-๑๐ Framing ๑๐๐
ภาพที่ ๖-๑๑ Packetisation ๑๐๐
ภาพที่ ๖-๑๒ Address and Delivery ๑๐๑
ภาพที่ ๖-๑๓ Conversion to Analog ๑๐๑
ภาพที่ ๗-๑ งานสายตอนนอก ๑๐๔
ภาพที่ ๘-๑ สายทิป และริงสับกัน (Reverse pair) ๑๑๕
ภาพที่ ๘-๒ คู่สายสับกัน (Split pair) ๑๑๕
ภาพที่ ๘-๓ คู่สายไขว้กัน (Transposed pair) ๑๑๕
ภาพที่ ๘-๔ พันหรือลูป (Short) ๑๑๖
ภาพที่ ๘-๕ รับไฟ (Cross) ๑๑๖
ภาพที่ ๘-๖ แตะดิน (Ground) ๑๑๖
ภาพที่ ๘-๗ ขาด (Open) ๑๑๖
ภาพที่ ๘-๘ การตรวจสอบคู่สายโดยใช้แบตเตอรี่ และหูฟัง ๑๑๗
ภาพที่ ๘-๙ การตรวจสอบคู่สายโดยใช้ใช้แบตเตอรี่ และโวลท์มิเตอร์ ๑๑๗
ภาพที่ ๘-๑๐ การตรวจสอบคู่สายโดยใช้โอห์มมิเตอร์ ๑๑๘
ภาพที่ ๘-๑๑ การตรวจสอบคู่สายโดยใช้หลอดไฟทดสอบ ๑๑๘
ภาพที่ ๘-๑๒ แบบหลอดไฟทดสอบ ๒ ดวง (อนุกรม) ๑๑๘
ภาพที่ ๘-๑๓ แบบหลอดไฟทดสอบ ๒ ดวง (ขนาน) ๑๑๙
ภาพที่ ๙-๑ เคเบิลลูป-พัน (Short) หรือรับไฟ (Cross) ๑๒๐
ภาพที่ ๙-๒ เคเบิลแตะดิน (Ground) ๑๒๐
ภาพที่ ๙-๓ เคเบิลขาด (Open) ๑๒๑

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ ๙-๔ เคเบิลลูป-พัน (Short) หรือรับไฟ (Cross) ๑๒๑
ภาพที่ ๙-๕ เคเบิลแตะดิน (Ground) ๑๒๒
ภาพที่ ๙-๖ เคเบิลขาด (Open) ๑๒๒
ภาพที่ ๙-๗ เคเบิลลูป-พัน (Short) ๑๒๒
ภาพที่ ๙-๘ เคเบิลรับไฟ (Cross) ๑๒๓
ภาพที่ ๙-๙ เคเบิลแตะดิน (Ground) ๑๒๓
ภาพที่ ๙-๑๐ เคเบิลขาด (Open) ๑๒๓
ภาพที่ ๙-๑๑ ลักษณะของ Megger ๑๒๕
ภาพที่ ๙-๑๒ Multimeter ๑๒๖
ภาพที่ ๙-๑๓ ส่วนประกอบที่สำคัญของมัลติมิเตอร์ (Multimeter) ๑๒๗
ภาพที่ ๙-๑๔ การวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าสลับ (AC Volt) ๑๒๘
ภาพที่ ๙-๑๕ การวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าตรง (DC Volt) ๑๒๙
ภาพที่ ๙-๑๖ การวัดความต้านทาน (Ohm) ๑๒๙
ภาพที่ ๙-๑๗ การวัดกระแสไฟฟ้าสลับ (Alternating Current) ๑๓๐
ภาพที่ ๙-๑๘ การวัดกระแสไฟฟ้าตรง (Direct Current) ๑๓๐
ภาพที่ ๑๑-๑ รูปสายกระจายจากตัวอาคารมายังเสา ๑๔๓
ภาพที่ ๑๑-๒ กรณีวางสายร่วมกับเสาไฟฟ้า (๑) ๑๔๔
ภาพที่ ๑๑-๓ กรณีใช้เสาร่วมกับเสาไฟฟ้า (๒) ๑๔๔
ภาพที่ ๑๒-๑ องค์ประกอบของการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ๑๔๙
ภาพที่ ๑๒-๒ คุณสมบัติของแสง – แสงเดินทางเป็นเส้นตรง ๑๕๑
ภาพที่ ๑๒-๓ คุณสมบัติของแสง – การหักเหของแสง ๑๕๒
ภาพที่ ๑๒-๔ คุณสมบัติของแสง – การสะท้อนของแสง ๑๕๒
ภาพที่ ๑๒-๕ หลักการของแสง (Geometrical Optic) ๑๕๓
ภาพที่ ๑๒-๖ การเดินทางของแสงในสายไฟเบอร์ออพติก ๑๕๓
ภาพที่ ๑๒-๗ รูปแบบการสูญเสียแบบต่างๆ ๑๕๕
ภาพที่ ๑๒-๘ การกระจายแสงแบบเรย์เลห์ (Rayleigh Scattering) ๑๕๖
ภาพที่ ๑๒-๙ การสูญเสียแสงเนื่องจากการโค้งงอของเส้นใยแก้วนำแสง (Bending Loss) ๑๕๗
ภาพที่ ๑๒-๑๐ แสดงการสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยแก้วนำแสง (Coupling Loss) ๑๕๘
ภาพที่ ๑๒-๑๑ การเกิดการขยายกว้างออกของสัญญาณพัลส์ ๑๐๑๑ เมื่อผ่านเส้นใยแก้วนำแสง๑๕๙
ภาพที่ ๑๒-๑๒ การขยายกว้างออกของสัญญาณดิจิตอลที่ส่งในเส้นใยแก้วนำแสงชนิดต่างๆ ๑๕๙
ภาพที่ ๑๒-๑๓ แสดงการหาแบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณ ๑๖๐
ภาพที่ ๑๒-๑๔ แสดงการหาแบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณ (ต่อ) ๑๖๑
ภาพที่ ๑๒-๑๕ โครงสร้าง (ส่วนประกอบ) ของเส้นใยแก้วนำแสง ๑๖๑

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ ๑๒-๑๖ ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง แบ่งตามจำนวน Propagation Mode ๑๖๓
ภาพที่ ๑๒-๑๗ โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงชนิด Multimode Step Index ๑๖๓
ภาพที่ ๑๒-๑๘ โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงชนิด Multimode Graded Index ๑๖๔
ภาพที่ ๑๒-๑๙ โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงชนิด Single Mode ๑๖๕
ภาพที่ ๑๒-๒๐ โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติกแคลดดิ้งแบบ Multimode Step Index ๑๖๖
ภาพที่ ๑๒-๒๑ โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติกทั้งหมด ๑๖๗
ภาพที่ ๑๒-๒๒ Depletion Zone ๑๖๘
ภาพที่ ๑๒-๒๓ ความยาวคลื่นในการรับแสงของอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิด ๑๖๙
ภาพที่ ๑๒-๒๔ หลักการทำงานรับแสง และระดับพลังงานของพินโฟโตไดโอด ๑๗๐
ภาพที่ ๑๒-๒๕ หลักการทำงานของอวาลานซ์โฟโตไดโอด ๑๗๑
ภาพที่ ๑๓-๑ แสดงการขยายสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ ๑๗๔
ภาพที่ ๑๓-๒ แสดงลักษณะต่างๆของอุปกรณ์ขยายสัญญาณทางแสง ๑๗๕
ภาพที่ ๑๓-๓ การสร้างใยแก้วนำแสงชนิดเออร์เบียมโดป หรือเจือสารเออร์เบียม ๑๗๖
ภาพที่ ๑๓-๔ ลักษณะของระดับพลังงานของเออร์เบียม ๑๗๖
ภาพที่ ๑๓-๕ การใช้งานใยแก้วนำแสงขยายสัญญาณ ๑๗๗
ภาพที่ ๑๓-๖ แสดงบล็อกการทำงานสถานีทวนสัญญาณ ๑๗๙
ภาพที่ ๑๓-๗ แสดงโครงสร้างของสถานีทวนสัญญาณแสงที่ใช้ EDF ๑๘๑
ภาพที่ ๑๓-๘ แสดงระบบสื่อสารดิจิตอลด้วยเส้นใยแก้วที่ใช้ EDFA ระยะทาง ๙๐๐๐ กิโลเมตร ๑๘๑
ภาพที่ ๑๓-๙ รูปสัญญาณดิจิตอลขนาด ๕ Gb/s และ Eye Diagrams ๑๘๒
ภาพที่ ๑๔-๑ หัวต่อชนิดเอสเอ็มเอ (SMA) ๑๘๔
ภาพที่ ๑๔-๒ หัวต่อชนิดไบคอนิค (Biconic Connector) ๑๘๕
ภาพที่ ๑๔-๓ หัวต่อแบบเอสที (ST Connector) ๑๘๖
ภาพที่ ๑๔-๔ หัวต่อแบบเอฟซี (FC Connector) ๑๘๖
ภาพที่ ๑๔-๕ หัวต่อแบบเอสซี (SC Connector) ๑๘๗
ภาพที่ ๑๔-๖ หัวต่อแบบเอฟดีดีไอ (FDDI Connector) ๑๘๗
ภาพที่ ๑๔-๗ หัวต่อแบบแอลซี (LC Connector) ๑๘๗
ภาพที่ ๑๔-๘ Patch Cord ๑๘๘
ภาพที่ ๑๔-๙ Pigtail ๑๘๘
ภาพที่ ๑๕-๑ สัญญาณ Sine ใน Time Domain และ Frequency Domain ๑๙๑
ภาพที่ ๑๕-๒ คลื่นรูปสี่เหลี่ยมและฟันเลื่อยที่เกิดจากองค์ประกอบของคลื่นหลายๆ ฮาร์มอนิก และแอมพลิจูดต่างๆ กัน ๑๙๒

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ ๑๕-๓ แสดงผังวงจรกรองสัญญาณ ๑๙๒
(ก) บล็อกไดอะแกรม ๑๙๒
(ข) ลักษณะสมบัติเชิงความถี่ ๑๙๓
ภาพที่ ๑๕-๔ แสดงผังวงจรกรองที่ใช้คอมพิวเตอร์ ๑๙๓
ภาพที่ ๑๕-๕ แสดงให้เห็นถึงการเพี้ยนของฮาร์มอนิก ของคลื่นรูปไซน์ ๑๙๔
ภาพที่ ๑๕-๖ (ก) คลื่นรูปไซน์ที่ผิดเพี้ยนไปมาก และ ๑๙๔
(ข) สเปรตรับของความถี่ซึ่งประกอบด้วยหลายฮาร์มอนิกส์
ภาพที่ ๑๕-๗ สเปกตรัมของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตแบบเอเอ็ม ๑๙๕
ภาพที่ ๑๕-๘ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง J_ (β) กับ β ๑๙๖
ภาพที่ ๑๕-๙ แสดง 42% เอเอ็มกับเอฟเอ็มที่เหมือนกัน ๑๙๘
ภาพที่ ๑๕-๑๐ แสดงการทดลองเพื่อวัดความเร็วดอปเปลอร์ของของไหล ๑๙๙
โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สัญญาณเชิงความถี่
ภาพที่ ๑๕-๑๑ แสดงพัลส์ของแสงที่เดินทางไปและกลับภายในสายสัญญาณ ๒๐๐
ภาพที่ ๑๕-๑๒ หลักการ TDR กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัญญาณที่สะท้อนกลับ(แกนตั้ง) ๒๐๑
และระยะทาง(แกนนอน) สำหรับ(ก)Coaxial Cable และ(ข)Optical Fiber
ภาพที่ ๑๕-๑๓ แสดงเวลาต่างๆ ซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ และลักษณะของ ๒๐๒
Scattering Objects ภายในเส้นใยนำแสงและทิศทางของ Scattering Light
และ Back Scattering Light
ภาพที่ ๑๕-๑๔ การสะท้อนกลับของแสงที่บริเวณรอยต่อระหว่างตัวกลางแก้วกับอากาศ ๒๐๓
ภาพที่ ๑๕-๑๕ โครงสร้างของ OTDR ๒๐๓
ภาพที่ ๑๕-๑๖ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงสะท้อนกลับในเส้นใยนำแสงกับเวลา ๒๐๔
รวมถึงสาเหตุของการสะท้อนกลับ
ภาพที่ ๑๕-๑๗ แสดงการเดินทางสะท้อนกลับของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสง ๒๐๕
ภาพที่ ๑๕-๑๘ แสดงการกระเจิงกลับของแสง ๒๐๖
ภาพที่ ๑๕-๑๙ Fiber Signature ๒๐๗
ภาพที่ ๑๕-๒๐ แสดง Fiber Signature ๒๐๘
ภาพที่ ๑๕-๒๑ แสดงรูปแบบการตรวจวัดบนหน้าจอโอทีดีอาร์ ๒๑๓

บทที่ ๑
หลักการทำงานทั่วไปของระบบชุมสายโทรศัพท์

บทนำ

การทำงานของชุมสายโทรศัพท์มีจุดประสงค์เพื่อต่อการเรียกจากเครื่องโทรศัพท์ที่ยกหูโทรศัพท์ (Handset) ซึ่งตามชื่อทางโทรศัพท์เรียกว่า “ผู้เรียก” หรือ “ฝ่ายเรียก” มาจากคำในภาษาอังกฤษว่า Calling Subscriber หรือ A-Sub ไปยังเครื่องโทรศัพท์อีกเครื่องหนึ่งซึ่งเรียกว่า “ผู้ถูกเรียก” หรือ “ฝ่ายถูกเรียก” มาจากคำในภาษาอังกฤษว่า Called Subscriber หรือ B-Sub เมื่อ B-Sub ยกหูโทรศัพท์รับการเรียก (Answer) ทั้งสองฝ่ายต่างก็จะสามารถสนทนากันได้ เราเรียกสถานะตอนนี้ว่า “ต่อครบวงจรสนทนา (Through Connection)”

“ผู้เรียก” และ “ผู้ถูกเรียก” อาจอยู่ภายในชุมสายโทรศัพท์เดียวกัน หรือคนละชุมสายโทรศัพท์ ในกรณีผู้ถูกเรียกอยู่ในชุมสายโทรศัพท์เดียวกัน ชุมสายโทรศัพท์ต้นทางของผู้เรียกจะรับทราบความต้องการและทำการต่อวงจรให้ แต่ถ้าอยู่คนละชุมสายโทรศัพท์ก็จะทำการเรียกไปยังชุมสายปลายทางนั้นๆ และส่งข้อมูลความต้องการไปให้ ซึ่งก็คือเลขหมายของผู้ถูกเรียก ชุมสายโทรศัพท์ที่ผู้ถูกเรียกจะทำการต่อวงจรให้ โดยชุมสายโทรศัพท์ของผู้ถูกเรียกจะส่งสัญญาณกระดิ่ง (Ringing) ไปยังเครื่องผู้ถูกเรียก และสัญญาณเรียก (Ring Back Tone) ไปยังเครื่องผู้เรียก

ชุมสายโทรศัพท์ที่ผู้ถูกเรียกใช้งานอยู่เราเรียกว่า “ชุมสายปลายทาง” และชุมสายของผู้เรียกเราเรียกว่า“ชุมสายต้นทาง” ในขณะที่สัญญาณเรียกและกระดิ่งกำลังดำเนินอยู่นั้น ชุมสายปลายทางจะทำการเฝ้าสังเกต (Supervision) อยู่ตลอดเวลาว่าเมื่อใดผู้ถูกเรียกจะตอบรับการเรียกนี้ ถ้าภายในเวลา ๗๐–๙๐ วินาที ผู้ถูกเรียกไม่ตอบรับ การเรียกครั้งนี้ก็จะถูกยกเลิกไป โดยชุมสายปลายทางจะตัดสัญญาณกระดิ่งและสัญญาณเรียก และส่งสัญญาณการยกเลิกการต่อ (Clear Back) มาบอกชุมสายต้นทาง และตัดอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้สำหรับการเรียกครั้งนี้ แล้วส่งสัญญาณไม่ว่าง (Busy Tone) ไปให้ผู้เรียกรับทราบ แต่ถ้าผู้ถูกเรียกยกหูรับสายก่อนครบเวลา ชุมสายปลายทางจะส่งสัญญาณตอบรับ (Answer) มายังชุมสายต้นทาง ชุมสายต้นทางจะเริ่มทำการคิดค่าบริการในการเรียกครั้งนี้กับผู้เรียก

ในขณะที่การสนทนาดำเนินอยู่ ชุมสายต้นทางจะเฝ้าสังเกตการวางหูของผู้เรียก ในขณะเดียวกันชุมสายปลายทาง จะคอยเฝ้าสังเกตการวางหูของผู้ถูกเรียก ในกรณีที่ผู้เรียกวางหูก่อน ชุมสายต้นทางจะตัดวงจรต่างๆ ที่ใช้งานอยู่ในขณะนั้นทันทีพร้อมกับส่งสัญญาณยกเลิกการเรียก (Clear forward) ไปบอกชุมสายปลายทาง ซึ่งก็จะตัดวงจรต่างๆ ที่ใช้ออก และส่งสัญญาณไม่ว่าง (Busy Tone) ไปยังผู้ถูกเรียก

แต่ในกรณีผู้ถูกเรียกวางหูก่อน จะมีวิธีการที่ซับซ้อนกว่าเล็กน้อย กล่าวคือ ชุมสายปลายทางจะส่งสัญญาณเลิกการต่อ (Clear Back) มาบอกชุมสายต้นทาง แต่วงจรการสนทนาจะยังไม่ถูกยกเลิกในทันที ถ้าภายใน ๗๒-๙๐ วินาที ผู้ถูกเรียกเปลี่ยนใจยกหูขึ้นมาก็จะสามารถสนทนาต่อได้ แต่ถ้าครบกำหนดเวลาแล้ว จะทำการตัดวงจรที่ทำงานอยู่ออกหมด พร้อมกับสั่งสัญญาณยกเลิกการเรียกไปยังชุมสายปลายทาง ซึ่งก็จะตัดวงจรต่างๆ ออก

สำหรับการเรียกภายในชุมสายเดียวกันไม่ต้องมีการส่งสัญญาณต่างๆ เพราะภาคควบคุมมีข้อมูลต่างๆ อยู่ในตัวเองแล้ว จากที่กล่าวมาแล้วนั้นเป็นหลักการของเครื่องชุมสายโทรศัพท์โดยทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นชุมสายประเภทใด ก็จะมีพื้นฐานการทำงานเหมือนกันทั้งหมด คือ เป็นการต่อการสนทนาระหว่างผู้ใช้ โดยมีสัญญาณที่ถูกส่งผ่านอุปกรณ์ตัวต่อนั้นก็คือ เสียงพูด (Voice) จนมีการพัฒนาเป็นชุมสาย SPC ที่ต้องเปลี่ยนเสียงพูดให้อยู่ในรูปแบบดิจิตอลก่อนจึงต่อผ่านได้ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในบทต่อไป

๑. โครงสร้างของชุมสายโทรศัพท์

โครงสร้างโดยทั่วไปของชุมสายโทรศัพท์ ประกอบด้วย ๒ ส่วนใหญ่ๆ (แสดงในภาพที่ ๑-๑) คือ

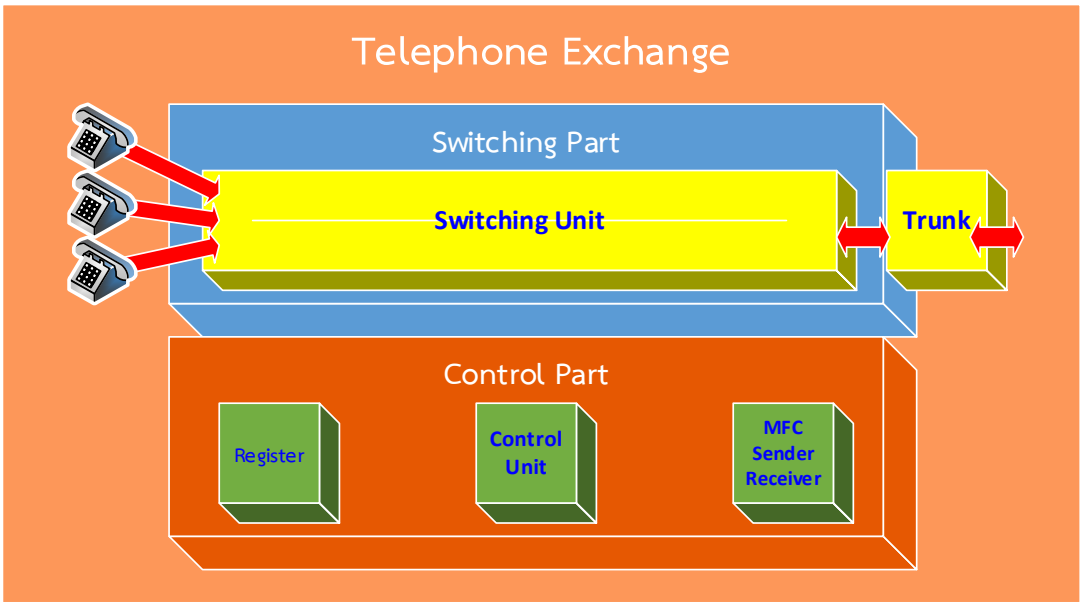
๑.๑ ภาคตัวต่อ (Switching Part) มีหน้าที่ควบคุม และดำเนินการต่อการเรียกต่าง ๆ เหล่านั้นจนสิ้นสุดการสนทนา

๑.๒ ภาคควบคุม (Control Part) มีหน้าที่ คือ ทำการเรียกจาก A-Sub ไปยัง B-Sub

ซึ่งถ้าเทียบระบบชุมสายโทรศัพท์แบบต่างๆ เช่น ระบบ Manual ภาคตัวต่อ คือ Switching Board ภาคควบคุม คือ Operator รายละเอียดโครงสร้างของชุมสายโทรศัพท์แบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นระบบ Manual, Step By Step, Crossbar หรือ SPC แสดงในตารางที่ ๑-๑

ตารางที่ ๑-๑ แสดงการเปรียบเทียบภาคควบคุม และภาคตัวต่อของเครื่องชุมสายแต่ละระบบ

ระบบเครื่องชุมสาย	ภาคตัวต่อ	ภาคควบคุม
Manual	ตู้ Switch Board	Operator
Step by Step	Rotary Switch	Hard-Wired Logic และ Direct control
Crossbar	Crossbar Switch	Hard-Wired Logic Stored
SPC (Analog)	Reed relay	Program Control, SPC
SPC (Digital)	Time division switch	Stored Program Control, SPC



ภาพที่ ๑-๑ โครงสร้างของเครื่องชุมสายโทรศัพท์

Register (R) = อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจเช็คตำแหน่งหมายเลขต่างๆ
Control Unit (C) = อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดการเส้นทางในการเชื่อมต่อเลขหมายนั้นๆ
MFC Sender/Receiver (M) = อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ประมวลผลและจัดการการกดเลขหมายจากเลขหมายต้นทาง

๑.๑ ภาคตัวต่อ (Switching Part)

ภาคตัวต่อของระบบ SPC ประกอบด้วยภาคตัวต่อย่อย ๓ ภาค คือ ภาค Concentration Stage, ภาค Distribution Stage และภาค Expansion Stage

ภาพที่ ๑-๒ โครงสร้างของภาคตัวต่อ

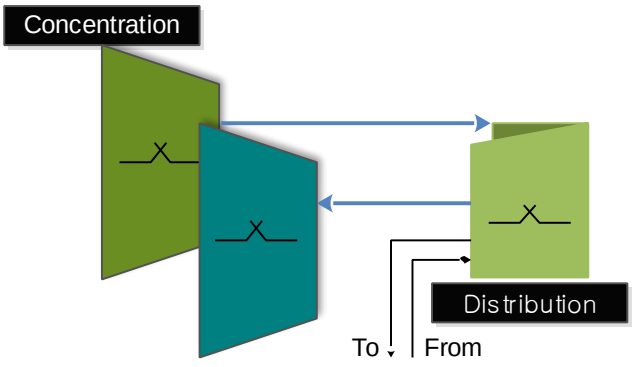
๑.๑.๑ Concentration Stage เป็นภาคตัวต่อที่ทำหน้าที่ลดจำนวนตัวต่อเส้นทางการสนทนา (Speech Path) จากคู่สายที่อยู่ทางด้านขาเข้า (Inlet) ให้สามารถต่อออกไปทางด้านขาออก (Outlet) ได้เพียงจำนวนหนึ่งเท่านั้น ทั้งนี้จะใช้อัตราส่วนของการลด Concentration Ratio ๒:๑, ๓:๑, และ ๔:๑ ขึ้นอยู่กับความคับคั่งของการเรียกในช่วงเวลาที่มีการใช้โทรศัพท์กันมากที่สุด โดยในสภาวะทั่วไปแล้วจะใช้อัตราส่วนเป็น ๔:๑ ซึ่งหมายความว่า เครื่องโทรศัพท์ ๔ เครื่องจะถูกต่อ

ให้เรียกใช้งานได้เพียง ๑ เครื่องในช่วงเวลาดังกล่าวเท่านั้น ถ้าเครื่องชุมสายมีจำนวนโทรศัพท์ ๔๐,๐๐๐ เครื่อง จะได้รับการต่อให้ใช้งานได้พร้อมกันเพียง ๑๐,๐๐๐ เครื่อง จะเห็นได้ว่าจุดมุ่งหมายหลักของ ภาคนี้คือ เพื่อเป็นการประหยัดในการสร้างภาคต่อ ทำให้ไม่จำเป็นต้องมีจำนวนตัวต่อเท่ากับจำนวนเครื่องโทรศัพท์ที่ทางด้านขาเข้า หรือจำนวนทั้งหมดในชุมสาย

๑.๑.๒ Distribution Stage เป็นภาคตัวต่อที่ทำหน้าที่ต่อเส้นทางการสนทนาแจกจ่ายไปยังวงจรต่าง ๆ ตามลักษณะของการเรียกทั้ง ๔ ลักษณะ (รายละเอียดอธิบายในหัวข้อ ลักษณะของการต่อการเรียก) อัตราส่วนของภาคนี้จะเป็น ๑:๑ คือ อุปกรณ์ตัวต่อจะมีจำนวนเท่ากับวงจรด้านเข้าเพื่อต่อออกไปยังวงจรด้านออก

๑.๑.๓ Expansion Stage เป็นภาคตัวต่อที่ทำหน้าที่ต่อโดยขยายเส้นทางสนทนาออกไปยังเครื่องโทรศัพท์ที่อยู่ด้านขาออก (B-Sub) ให้เท่ากับจำนวนเครื่องโทรศัพท์ทั้งหมดในชุมสาย ซึ่งจะเห็นว่าเป็นขบวนการที่ตรงกันข้ามกับภาค Concentration ดังนั้นจึงมีอัตราส่วนการขยายออกเป็น ๑:๔ ในทางปฏิบัติเราสามารถที่จะรวมภาค Concentration และภาค Expansion โดยการพับกลับเข้าหากันมารวมเป็นภาคเดียวกัน โดยมีสองทิศทาง คือขาไปและขากลับ ขาไป คือการพูดส่งจาก A-Sub ผ่านตัวต่อในภาค Concentration ถูกบีบด้วยอัตราส่วน ๔:๑ เข้าไปผ่านการต่อด้วยอัตราส่วน ๑:๑ ของภาค Distribution ออกมา แล้ววกกลับมาทำการต่อในภาค Expansion ด้วยอัตราส่วน ๑:๔ มารับที่หูฟังของ B-Sub

ในทางตรงกันข้ามเมื่อ B-Sub เป็นผู้พูด การทำงานจะเป็นลักษณะที่สวนทางกันดังแสดงในภาพที่ ๑-๓ และเนื่องจากทั้งสองภาคนี้เป็นภาคที่เชื่อมโดยตรงกับเครื่องโทรศัพท์ จึงเรียกชื่อใหม่ว่า “Subscriber Switching Network (SSN)” ส่วนภาค Distribution ทำหน้าที่เสมือนการจัดกลุ่มของตัวต่อ จึงเรียกว่า “Group Switching Network (GSN)”



ภาพที่ ๑-๓ การรวมภาค Concentration และ Expansion เข้าด้วยกัน
เป็นภาค Subscriber Switching Network (SSN)

๑.๒ ภาคควบคุม (Control Part)

ภาคควบคุมของเครื่องชุมสายโทรศัพท์ ถูกออกแบบให้มีการทำงานเลียนแบบหลักการทำงานของพนักงานตอบรับโทรศัพท์ โดยการคอยสังเกตว่ามีเครื่องโทรศัพท์เรียกเข้ามา, การวิเคราะห์ตำแหน่งของเครื่องที่เรียก, การรับทราบข้อมูลของเลขหมาย B-Sub, การตรวจสอบสถานะของ B-Sub ว่าว่างหรือไม่, การตรวจสอบว่ามีตัวต่อว่างหรือไม่ และการออกคำสั่งให้พนักงานตอบรับโทรศัพท์ต่อเส้นทางสนทนา เป็นต้น

การทำงานต่าง ๆ ดังได้ยกตัวอย่างมานี้ เป็นงานหลักของภาคควบคุมของชุมสายโทรศัพท์ทุกระบบ เพียงแต่วิธีการควบคุมที่ใช้ในแต่ละระบบนั้นแตกต่างกัน ซึ่งสามารถจัดแบ่งวิธีการควบคุมดังกล่าวแบ่งออกได้เป็น ๔ วิธี คือ

๑. Operator Control คือการควบคุมการต่อการเรียกโดยพนักงานตอบรับ (Operator) มีการใช้งานกับเครื่องชุมสายแบบ Manual

๒. Direct Control คือการควบคุมการต่อโดยตรงจากการหมุนเลขหมาย มีการใช้งานกับเครื่องชุมสายแบบ Step By Step

๓. Common Control คือการควบคุมการต่อโดยใช้ Hard-Wired Logic ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ Relay กับ Contacts ต่อเป็นวงจรให้ทำหน้าควบคุมตามที่กล่าวมาแล้ว มีการใช้งานกับเครื่องชุมสายแบบ Crossbar

๔. Stored Program Control คือการควบคุมการต่อผ่านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ซึ่งทำงานตามโปรแกรมที่บรรจุไว้ในหน่วยความจำ (Memory) ให้กับเครื่องชุมสาย SPC

๒. ลักษณะของการต่อการเรียก

การต่อการเรียกของเครื่องชุมสายท้องถิ่น (Local Exchange) นั้นจะจำแนกออกได้เป็น ๔ ลักษณะด้วยกัน คือ

๒.๑ การเรียกภายในชุมสายเดียวกัน (Intra Office หรือ Internal Call) คือ A-Sub ทำการเรียกไปหา B-Sub ที่อยู่ในชุมสายท้องถิ่น (Local Exchange) เดียวกัน

๒.๒ การเรียกออกไปยังชุมสายอื่น (Outgoing Call) คือ A-Sub ในชุมสายท้องถิ่น (Local Exchange) ทำการเรียกไปหา B-Sub ที่อยู่ชุมสายอื่น

๒.๓ การเรียกเข้ามาจากชุมสายอื่น (Incoming Call) คือ A-Sub อยู่ที่ชุมสายอื่นเรียกเข้ามาหา B-Sub ในชุมสายท้องถิ่น (Local Exchange)

๒.๔ การเรียกผ่านจากชุมสายหนึ่งไปยังอีกชุมสายหนึ่ง (Transit Call) คือ A-Sub จากชุมสายอื่น เรียกเข้ามาที่ชุมสายท้องถิ่น (Local Exchange) เพื่อขอให้ทำการต่อออกไปหา B-Sub ที่อยู่อีกชุมสายหนึ่ง

การต่อการเรียกทั้งสี่ลักษณะนี้จะเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลาในชุมสายที่อยู่ในโครงข่ายรูปใยแมงมุม (Mesh Network) แต่สำหรับโครงข่ายรูปดาว (Star Network) นั้น จะไม่มีการต่อการเรียกในลักษณะ “การเรียกผ่าน” ของชุมสายในท้องถิ่นเกิดขึ้น เนื่องจากชุมสายท้องถิ่นทุกชุมสายจะต้องเรียกผ่านชุมสายส่วนกลางเท่านั้น

๒.๑ การเรียกภายในชุมสายเดียวกัน (Intra Office Call) แบ่งเป็น ๖ ขั้นตอน คือ

๒.๑.๑ การรับรู้การเรียก (Call Detection) ชุมสายท้องถิ่นทุกๆ ระบบจะมีวงจรโทรศัพท์ (Line Circuit, LC) ต่ออยู่กับคู่สายที่มาจากเครื่องโทรศัพท์แต่ละเครื่องทุกๆ เครื่อง หน้าที่หลักของ LC คือ คอยรับรู้สภาพการยกหูหรือการวางหูของเครื่องโทรศัพท์ และจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรปากพูดและหูฟัง ซึ่งการยกหูหรือการวางหูนั้น จะมีสัญญาณอันหนึ่งที่เรียกว่า“Subscriber Line Signal” จะถูกส่งจากเครื่องโทรศัพท์มายังเครื่องชุมสาย ภาคควบคุมจะคอยเฝ้าสังเกต (Supervision) อยู่ตลอดเวลาที่ LC ของทุกๆ เครื่อง ในทันทีที่พบว่าเครื่องใดยกหู (Incoming Signal) ก็ดำเนินการรับเครื่องนั้นๆ เข้ามายังภาคควบคุม และการที่ภาคควบคุมดำเนินการกับเรียกนั้น เรียกว่า “Procession” โดยการดำเนินการจะทำงานต่อไปนี้ คือ

๑. วิเคราะห์ LC นั้นๆ ว่าเป็นเลขหมายอะไร และอยู่ที่ตำแหน่ง (Address) ใดในภาคตัวต่อ SSN

๒. วิเคราะห์ประเภทของผู้เช่า (Category) ว่าเป็นแบบใด และสามารถทำการเรียก (Barred) ได้หรือไม่

๓. ทดสอบว่ามีตัวต่อว่างหรือไม่ (เนื่องจากภาค SSN บีบการต่อเป็น ๔:๑)

๔. เลือกตัวต่อที่ว่างไว้เพียงหนึ่ง

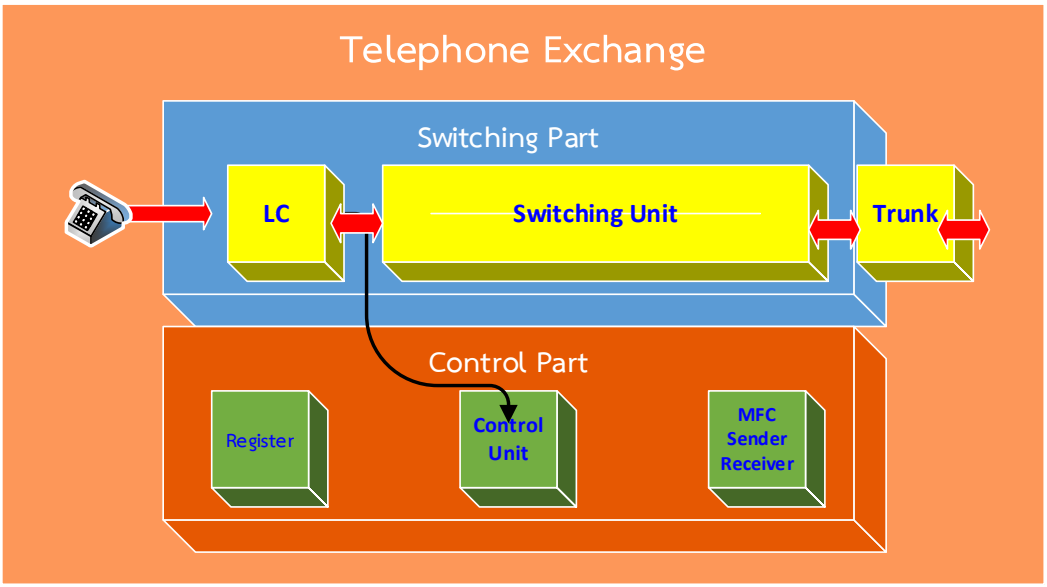
สำหรับระบบชุมสายโทรศัพท์ที่เป็นระบบ Digital คือระบบ SPC และ VoIP มีขั้นตอนเพิ่มเติมดังนี้

๑. ตรวจสอบว่าเครื่องโทรศัพท์เป็นแบบกดปุ่มหรือหมุนหน้าปัด ถ้าเป็นกดปุ่มก็จะทดสอบและเลือกอุปกรณ์รับความถี่ (จากปุ่มกด) ที่ว่างไว้หนึ่งตัว

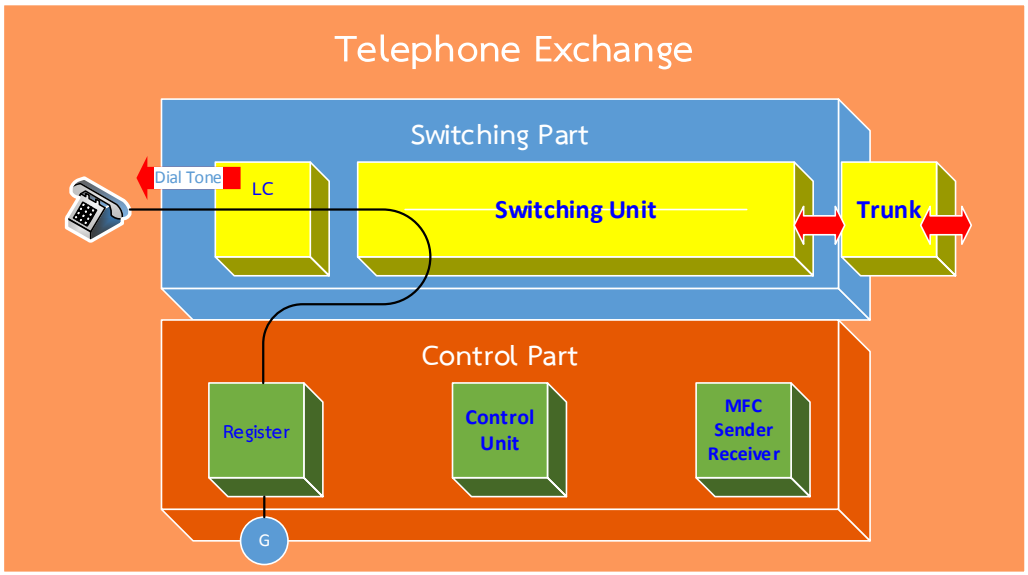
๒. หน่วยบันทึกข้อมูล (Register) เตรียมพร้อมรับ Digit เพื่อนำไปให้หน่วยประมวลผลวิเคราะห์หาตำแหน่งโดยจะต่อผ่าน SSN

๓. ส่งสัญญาณหมุน (Dial Tone) ไปยังเครื่องโทรศัพท์

๔. ในกรณีไม่สามารถทำการต่อให้ได้ เครื่องโทรศัพท์ถูกจำกัดการโทร (Barred) ไม่ให้เรียกออกอุปกรณ์ต่างๆ หรือในกรณีตัวต่อไม่ว่าง ก็จะทำการส่งสัญญาณไม่ว่าง (Busy Tone) ไปยัง เครื่องโทรศัพท์นั้นๆ

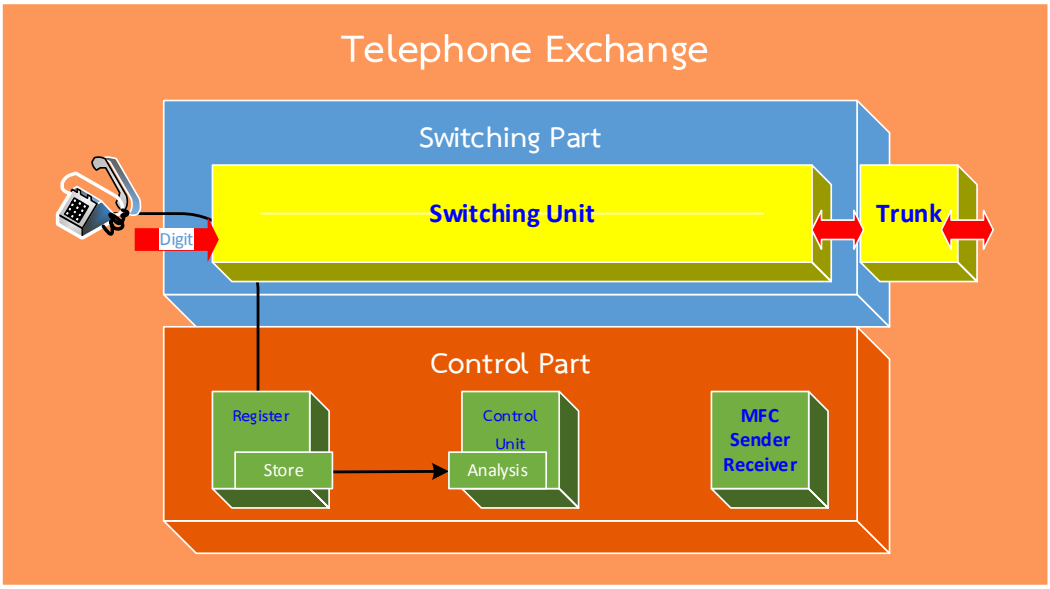


ภาพที่ ๑-๔ การตรวจพบการเรียก (Call Detection) ภายในชุมสายเดียวกัน



ภาพที่ ๑-๕ การส่งสัญญาณหมุน (Dial Tone) ไปยังเครื่องโทรศัพท์ ภายในชุมสายเดียวกัน

๒.๑.๒ การรับและวิเคราะห์เลขหมาย (Digit Reception and Analysis)



ภาพที่ ๑-๖ การรับและวิเคราะห์เลขหมาย

เมื่อ A-Sub ได้รับสัญญาณหมุน (Dial Tone) ก็จะเริ่มต้นส่งเลขหมายของ B-Sub โดยการหมุนหรือกดปุ่มเลขหมายก็แล้วแต่ชนิดของเครื่องโทรศัพท์นั้นๆ มายังเครื่องชุมสาย ผ่านตัวต่อที่ SSN แล้วเข้าเก็บบันทึกในหน่วยบันทึกข้อมูล พร้อมกันนั้นก็นำเลขหมายไปทำการวิเคราะห์ว่าเลขหมายตัวแรกนี้เป็นข้อมูลเพียงพอหรือยัง ที่จะแสดงให้รู้ว่าการเรียกครั้งนี้เป็นการเรียกลักษณะใด และในเวลาเดียวกันกับที่ได้รับเลขหมายตัวแรกเข้ามา ภาคควบคุมจะตัดสัญญาณหมุนออก เพื่อเป็นการแสดงการได้รับเลขหมายตัวแรกแล้ว การวิเคราะห์นี้จะกระทำเพียง ๒ หรือ ๓ หลักก็จะรู้ชุมสายปลายทางว่าอยู่ที่ใด ทั้งนี้เพราะชุมสายในภูมิภาคจะใช้รหัสสองหลักแรก และชุมสายในนครหลวงจะใช้รหัสสามหลักแรกเป็นรหัสประจำชุมสาย

เมื่อหน่วยบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์ได้รับเลขหมายพอแล้ว ในส่วนของเลขหมายตัวที่เหลือ ก็จะถูกทำการเก็บบันทึกเอาไว้เพียงอย่างเดียวโดยไม่ต้องทำการวิเคราะห์ ซึ่งขั้นตอนการรับเลขหมายเข้ามายังหน่วยบันทึกข้อมูลนั้น เรียกว่าเป็น Incoming Signal และการวิเคราะห์ก็คือ Processing นั้นเอง

๒.๑.๓ การตรวจสภาพ B-Sub และการเลือกตัวต่อ (Seizure B-Sub And Path Selection) จะดำเนินการหลังจากที่ได้รับเลขหมายของ B-Sub มาเก็บครบหมดทุกหลักแล้ว มีขั้นตอนดังนี้

๒.๑.๓.๑ วิเคราะห์ชนิดของ B-Sub ว่าได้รับอนุญาตให้เรียกได้หรือไม่

๒.๑.๓.๒ ตรวจสภาพว่า B-Sub ว่างอยู่หรือไม่ ถ้าไม่ว่างก็กำหนดเป็นไม่วางไว้

๒.๑.๓.๓ วิเคราะห์หาว่า B-Sub อยู่ตำแหน่งใดใน SSN

๒.๑.๓.๔ ทดสอบเพื่อหาและเลือกตัวต่อที่ว่างใน GSN และทำการจองเอาไว้ (Reserve)

๒.๑.๓.๕ ทดสอบและเลือกตัวต่อที่ว่างใน SSN ประกอบด้วยตำแหน่งที่ B-Sub อยู่

๒.๑.๓.๖ ในกรณีที่ B-Sub ห้ามเรียกเข้า ไม่ว่าง หรือตัวต่อไม่ว่าง จะส่งสัญญาณไม่ว่าง (Busy Tone) ไปให้

๒.๑.๔ การต่อเส้นทางสนทนา และส่งสัญญาณกระดิ่ง (Set Up and Ringing) เป็นขั้นตอนที่ดำเนินการภายหลังที่ได้ทำการตรวจสอบและจองตัวต่อไว้แล้ว มีขั้นตอนดังนี้

๒.๑.๔.๑ ต่อเส้นทางสนทนาโดยตัวต่อใน GSN ที่จองเอาไว้

๒.๑.๔.๒ ต่อเส้นทางสนทนาโดยตัวต่อใน SSN ผ่านทาง LC ไปยัง A-Sub

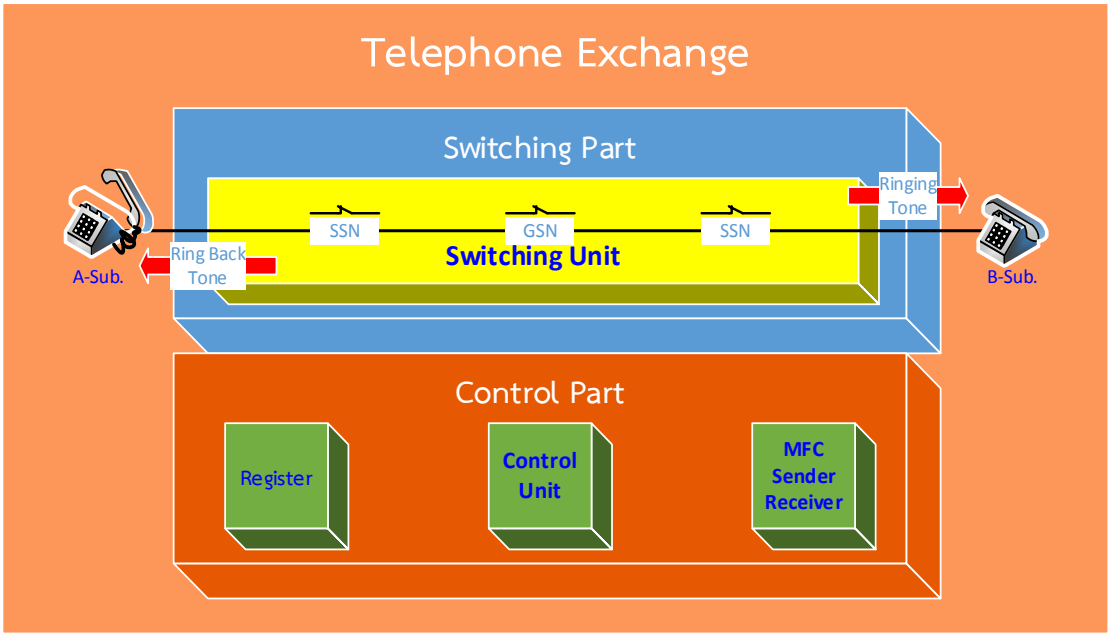
๒.๑.๔.๓ ต่อเส้นทางสนทนาโดยตัวต่อใน SSN ไปยัง LC ของ B-Sub แต่ยังไม่ต่อถึง B-Sub เพื่อยังคงแยกเส้นทางสนทนาระหว่าง A-Sub และ B-Sub ไว้ เพื่อป้องกันไม่ให้สัญญาณกระดิ่งที่จะส่งไปให้ B-Sub ไปรบกวน A-Sub และเพื่อไม่ให้ A-Sub ถูกคิดเงินค่าบริการ ในกรณีที่ B-Sub ไม่ตอบรับการเรียก

๒.๑.๔.๔ คิดเงินค่าบริการ (Charging) ตามกรรมวิธีและอัตราการคิดเงินในการเรียกภายในชุมสายเดียวกัน

๒.๑.๔.๕ ส่งสัญญาณเรียก (Ring Back Tone) ไปยัง A-Sub

๒.๑.๔.๖ ส่งสัญญาณกระดิ่ง (Ringing Signal) ไปยัง B-Sub

๒.๑.๔.๗ ในขณะทำการเรียกอยู่นั้น หน่วยบันทึกข้อมูลจะหมดหน้าที่แล้ว แต่ก่อนเลิกทำงานจะโอนความรับผิดชอบไปให้หน่วยสังเกตการณ์ (Supervisor) ทำหน้าที่คอยตรวจสอบการตอบรับหรือการยกเลิกการเรียกกลางคันของ A-Sub ก่อนหมดเวลาการส่งสัญญาณกระดิ่ง (ภายในเวลา ๗๐-๙๐ วินาที) ถ้า B-Sub ไม่ตอบรับ ภาคควบคุมจะตัดตัวต่อต่างๆ ทั้งใน SSN และ GSN ออกหมด และจะส่งสัญญาณไม่ว่างไปให้ A-Sub



ภาพที่ ๑-๗ การต่อเส้นทางสนทนา และส่งสัญญาณกระดิ่ง

๒.๑.๕ การตอบรับการเรียกของ B-Sub (B-Answer) เกิดเมื่อ B-Sub ยกหูตอบรับ ภาคควบคุมจะดำเนินการ ดังนี้

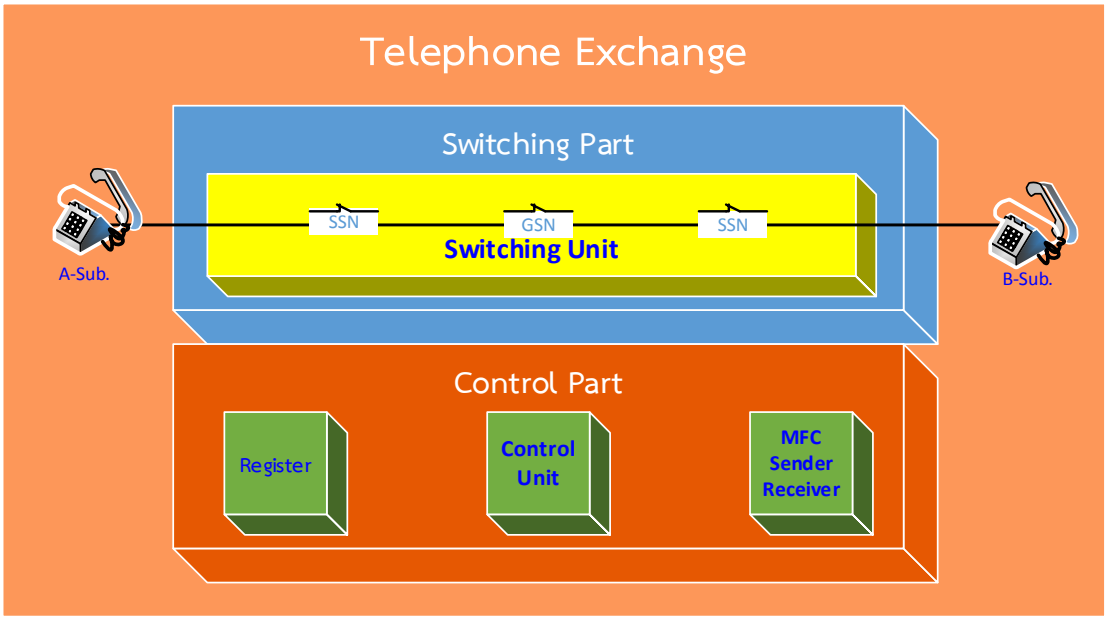
๒.๑.๕.๑ ตัดสัญญาณเรียกออกจากด้าน A-Sub

๒.๑.๕.๒ ตัดสัญญาณกระดิ่งออกจาก B-Sub

๒.๑.๕.๓ ต่อเส้นทางสนทนาถึงกันระหว่าง A-Sub และ B-Sub

๒.๑.๕.๔ คิดเงินค่าบริการ โดยการเลื่อนมิเตอร์ (Step Meter) ของ A-Sub

๒.๑.๕.๕ เฝ้าสังเกตการณ์วางหูเลิกการสนทนาของฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งอยู่ตลอดเวลา



ภาพที่ ๑-๘ การตอบรับการเรียกของ B-sub

๒.๑.๖ การเลิกสนทนา (Clearing and Disconnection) สามารถจำแนกออกได้เป็น ๒ ลักษณะคือ

๒.๑.๖.๑ A-Sub วางหูก่อน (Calling Clear First) การวางหูก่อนของ A-Sub นั้น ถือว่าผู้ที่เป็นฝ่ายทำการเรียกได้หมดความต้องการสนทนาแล้ว ภาคควบคุมจะดำเนินการ ดังนี้

๑. ตัดตัวต่อทั้งในภาค SSN และภาค GSN ออก

๒. ส่งสัญญาณไม่ว่างไปยัง B-Sub เพื่อแจ้งให้รู้ว่า A-Sub วางหูไปแล้ว

๓. ถ้า B-Sub ไม่วางหูภายใน ๔๕ วินาที ภาคควบคุมก็จะตัดสัญญาณที่ไม่ว่างออก และ B-Sub จะเงียบ จนกว่าจะวางหูและยกขึ้นใหม่จึงจะได้รับสัญญาณอีกครั้ง สภาพที่ทางสายเงียบไปนั้น เรียกว่า “Line lock-Out”

๒.๑.๖.๒ B-Sub วางหูก่อน (Called Clear First) การวางหูก่อนของ B-Sub นั้น เพื่อ เปิดโอกาสให้ A-Sub ซึ่งเป็นผู้เรียก ได้ตัดสินใจการเลิก สนทนานี้ในส่วนของภาคควบคุมจะดำเนินการ ดังนี้

๑. จับเวลาการวางหู (Time Supervision) โดยที่ B-Sub สามารถยกหูขึ้นมาสนทนาต่อได้ใหม่ ถ้ายังไม่พ้นกำหนดเวลาประมาณ ๙๐ วินาทีหลังจากวางหูครั้งแรก

๒. ตัดตัวต่อทั้งในภาค GSN และ SSN ออก เมื่อหมดเวลา ๙๐ วินาที

๓. ส่งสัญญาณไม่ว่างไปให้ A-Sub เพื่อแจ้งว่า B-Sub วางหูแล้ว

๔. ถ้าภายใน ๔๕ วินาที A-Sub ยังไม่วางหู ก็จะเข้าสู่สภาวะ Line Lock-Out เช่นกัน

๒.๒ การเรียกออกไปยังชุมสายอื่น (Outgoing Call) แบ่งเป็น ๙ ขั้นตอน คือ

๒.๒.๑ การรับรู้การเรียก (Call Detection) มีขั้นตอนการทำงานเช่นเดียวกับหัวข้อ ๒.๑.๑

๒.๒.๒ การรับและวิเคราะห์เลขหมาย (Digit Reception and Analysis) มีขั้นตอนการทำงานเช่นเดียวกับที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ ๒.๑.๒

๒.๒.๓ การวิเคราะห์ทางออก (Route Analysis) เมื่อผลลัพธ์ของการวิเคราะห์เลขหมายปรากฏว่าเป็นการเรียกออกไปยังชุมสายอื่น ภาคควบคุมจะดำเนินการต่อไป ดังนี้

๒.๒.๓.๑ วิเคราะห์ว่าชุมสายที่จะเรียกไปนั้น จะใช้ทางออก (Route) เส้นทางใด

๒.๒.๓.๒ วิเคราะห์ว่าในทางออกนั้น ๆ มีทางออกอื่น (Alternative Route) หรือไม่

๒.๒.๓.๓ วิเคราะห์ว่าจะใช้ Line Signaling ประเภทใดในทางออกนั้น ๆ (ทอ.ใช้ MFC Signaling)

๒.๒.๓.๔ วิเคราะห์ว่าสัญญาณที่จะส่งเลขหมายของ B-Sub (Register Signaling) เป็นอย่างไร

๒.๒.๔ การวิเคราะห์อัตราค่าบริการ (Charging Analysis) ภาคควบคุมจะทำการวิเคราะห์อัตราคิดเงินตาม Traffic Rate ที่ได้กำหนดและเก็บบันทึกไว้ในหน่วยบันทึกข้อมูล

๒.๒.๕ การเรียกวงจรต่อออก (Outgoing Trunk, OGT) และตัวต่อ (Seizure OGT and Path Selection) การดำเนินการหลังจากที่รู้แล้วว่าจะใช้ทางออกใด มีดังนี้

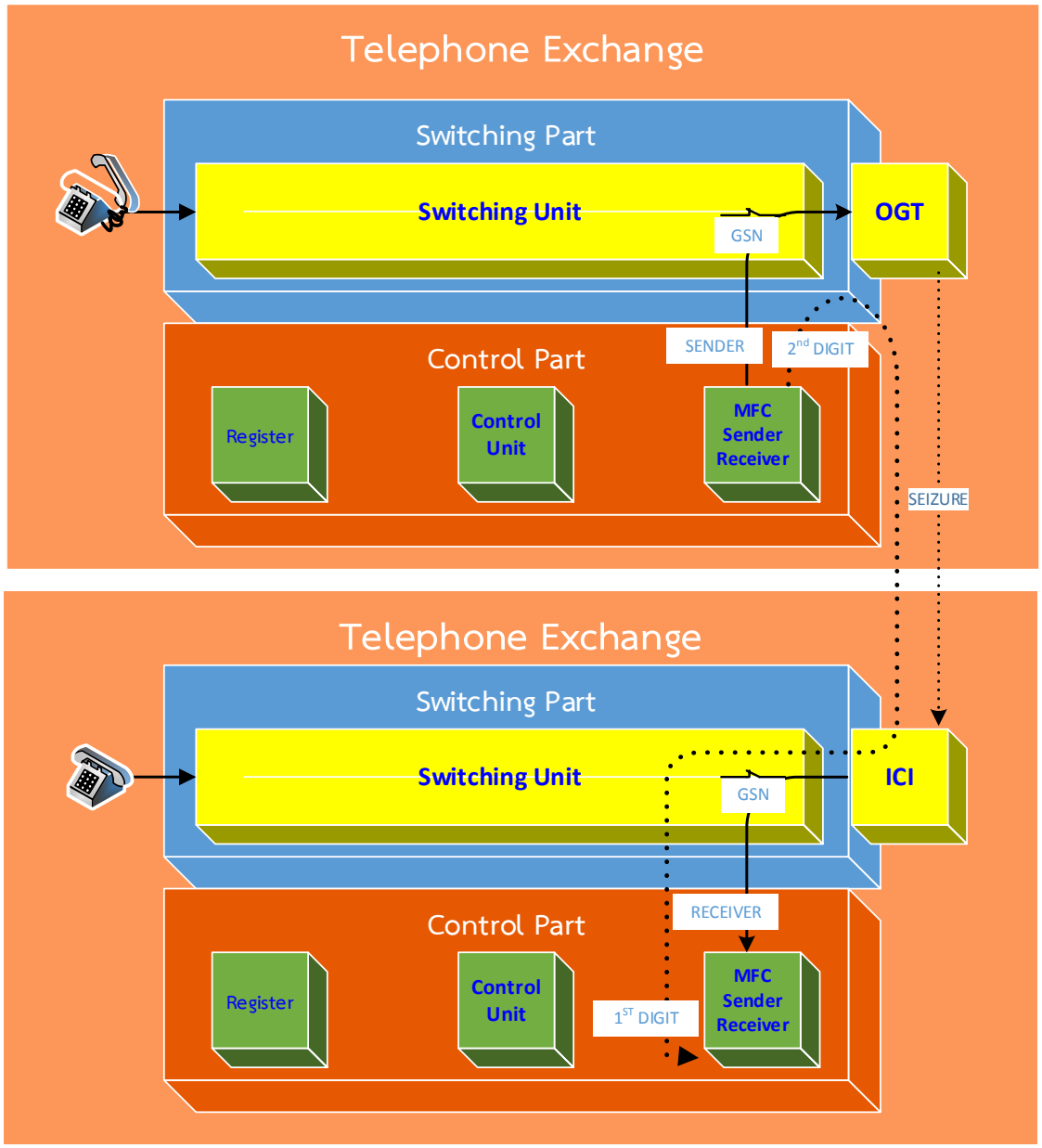
๒.๒.๕.๑ เลือกวงจรทางออกที่ว่างไว้หนึ่งวงจร

๒.๒.๕.๒ วิเคราะห์ว่าวงจรที่ถูกเลือกไว้นั้นอยู่ที่ GSN ตำแหน่งใด

๒.๒.๕.๓ เลือกอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ MFC (Code Sender หรือ MFC Sender)

๒.๒.๕.๔ วิเคราะห์ว่าอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ MFC นั้นอยู่ใน GSN ตำแหน่งใด

๒.๒.๕.๕ เลือกตัวต่อที่ว่างใน GSN



ภาพที่ ๑-๙ แสดงเส้นทางการรับส่งสัญญาณ MFC

๒.๒.๖ การต่อเส้นทางสนทนาและส่งสัญญาณเรียกชุมสาย (Set Up and Send Seizure Signal) ภาคควบคุมจะดำเนินการ ดังนี้

๒.๒.๖.๑ ต่อเส้นทางส่งสัญญาณระหว่างวงจรต่อออกกับอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ

๒.๒.๖.๒ ส่งสัญญาณเรียกชุมสาย (Seizure Signal) ไปยังชุมสายปลายทาง

๒.๒.๗ การส่งและรับข้อมูลระหว่างชุมสาย (Transmission of B-Number and Control Information) ข้อมูลที่ส่งได้แก่ เลขหมายของ B-Sub และชนิดของ A-Sub ส่วนข้อมูลที่รับ ได้แก่ สัญญาณที่ใช้ควบคุมการส่งข้อมูล ตลอดจนข้อมูลเพื่อแจ้งสภาพของ B-Sub และสถานะการต่อของชุมสายปลายทาง (Terminating Exchange)

การส่งข้อมูล Outgoing Signal ที่ส่งออกจากภาคควบคุมไปยังชุมสายปลายทาง ภาคควบคุมจะดำเนินการ ดังนี้

๒.๒.๗.๑ ส่งเลขหมายตัวแรกที่เก็บไว้ในหน่วยบันทึกข้อมูลจาก MFC Sender ผ่านเส้นทางวงจรต่อออกไปยังชุมสายปลายทาง ซึ่งการส่งเลขหมายจะกระทำทันทีภายหลังที่ส่งสัญญาณเรียกชุมสายไปแล้ว

๒.๒.๗.๒ หยุดส่งเลขหมายในทันทีที่ได้รับสัญญาณควบคุมตอบกลับมา ทำให้ชุมสายปลายทางหยุดส่งสัญญาณควบคุม

๒.๒.๗.๓ วิเคราะห์ว่าสัญญาณควบคุมนั้นส่งให้ทำอะไร (กรณีนี้คือขอให้ส่งเลขหมายหลักต่อไป)

๒.๒.๗.๔ ส่งเลขหมายหลักต่อไปตามขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วทีละหลัก จนกว่าสัญญาณควบคุมจะสั่งเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างอื่น

๒.๒.๗.๕ ส่งชนิดของ A-Sub เมื่อได้รับคำสั่งจากสัญญาณควบคุม

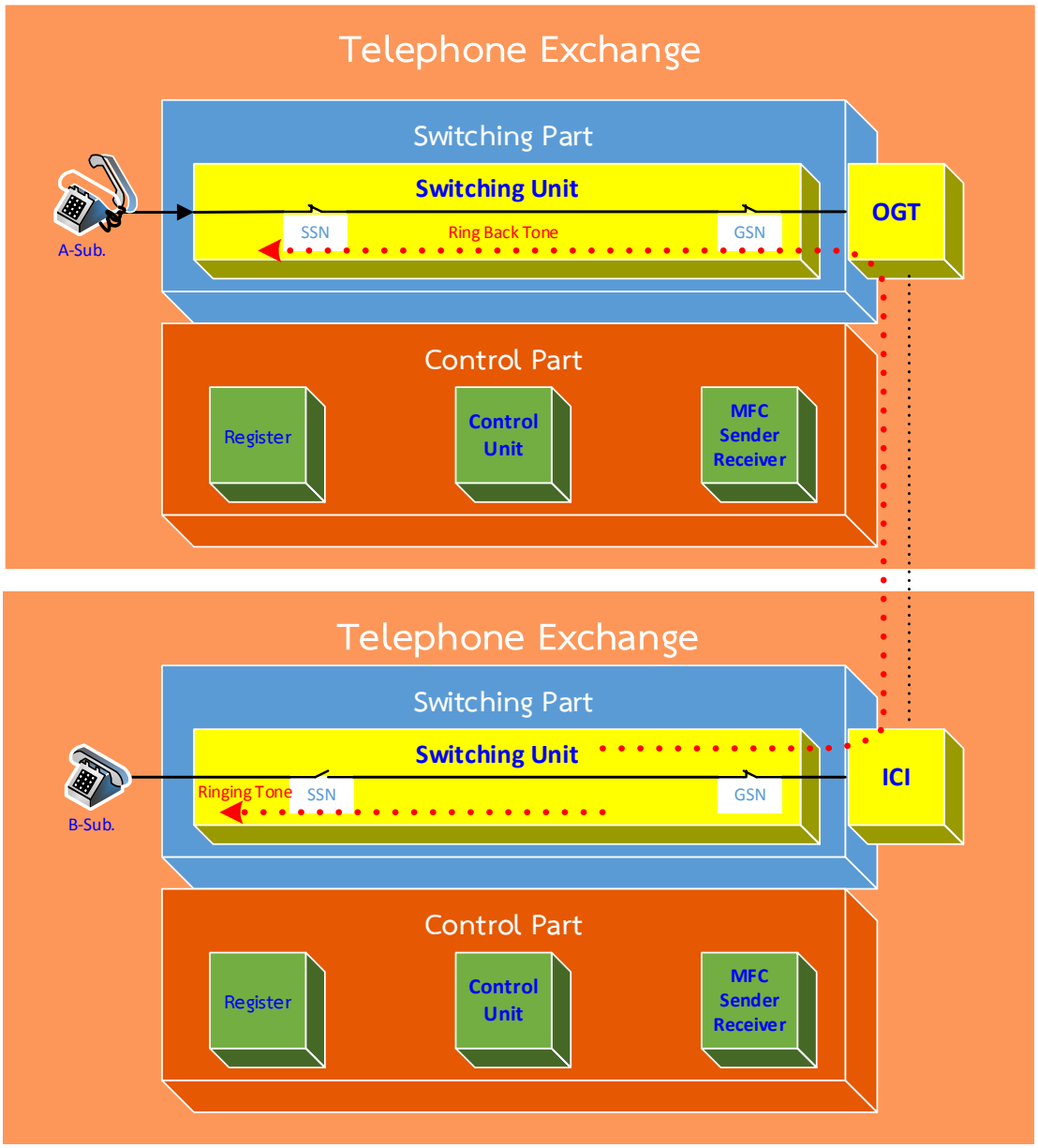
๒.๒.๗.๖ วิเคราะห์สัญญาณควบคุมสุดท้าย (End of Selection) ที่แจ้งสภาพ B-Sub หรือสถานะของการต่อที่ชุมสายปลายทาง

๒.๒.๘ การตอบรับการเรียกของ B-Sub (B-Answer) ในขณะที่เรียก B-Sub อยู่นั้น ชุมสายปลายทางจะส่งสัญญาณเรียก (Ringing Tone) มายัง B-Sub ภาคควบคุมของชุมสายปลายทางจะคอยเฝ้าสังเกตการยกหูของ B-Sub อยู่ตลอดเวลา ในทันทีที่ B-Sub ตอบรับ ชุมสายปลายทางจะส่งสัญญาณตอบรับ (Answer Signal) จากอุปกรณ์ต่อเข้า (Incoming Trunk) มายังอุปกรณ์ต่อออก (Outgoing Trunk) ของชุมสายต้นทางที่ต่อกันอยู่ จากนั้นภาคควบคุมของชุมสายต้นทาง จะดำเนินการดังนี้

๒.๒.๘.๑ ทำการคิดเงินกับ A-Sub ตามอัตราคาบริการที่ได้กำหนดไว้แล้ว โดยการคิดเงินจะเป็นระบบ Time-Zone Metering, Multi-Metering หรือ Toll Ticketing ก็ได้

๒.๒.๘.๒ คอยสังเกตการวางหูของ A-Sub

๒.๒.๙ การเลิกสนทนา (Clearing and Disconnection) จะเกิดขึ้นทันทีที่ภาคควบคุมตรวจพบว่า A-Sub วางหู หรือได้รับสัญญาณเลิกสนทนาจากชุมสายปลายทาง (Clear Back) แล้วจึงทำการตัดตัวต่อในภาค SSN และ GSN ออก เป็นการสิ้นสุดการสนทนา ในขณะที่ได้รับสัญญาณ Clear Back ภาคควบคุมจะส่งสัญญาณไม่ว่างไปให้ A-Sub ด้วย



ภาพที่ ๑-๑๐ เส้นทางส่งสัญญาณเรียกและสัญญาณกระดิ่งระหว่างชุมสาย

๒.๓ การเรียกเข้ามาจากชุมสายอื่น (Incoming Call)

การเรียกเข้ามาจากชุมสายอื่นหรือ Incoming Call นั้น ภาคควบคุมจะดำเนินการเหมือนกับการทำงานในลักษณะของการเรียกภายในชุมสายเดียวกัน แต่มีข้อแตกต่างกันในขั้นตอนการรับรู้การเรียก การตอบรับการเรียก และการเลิกสนทนา ซึ่งขั้นตอนการทำงานของการเรียกเข้ามาจากชุมสายอื่น แบ่งออกเป็นขั้นตอนใหญ่ๆ ได้ ๖ ขั้นตอนดังนี้

๒.๓.๑ การรับรู้การเรียก (Call Detection) ภาคควบคุมจะทำการเฝ้าสังเกตที่วงจรต่อเข้าอยู่ตลอดเวลา ว่ามีสัญญาณเรียกระหว่างชุมสายเข้ามาหรือไม่ ทันทีที่ตรวจพบจะดำเนินการ ดังนี้

๒.๓.๑.๑ วิเคราะห์วงจรต่อเข้าว่าอยู่ใน Route อะไร และตำแหน่งใดในภาคตัวต่อทำการวิเคราะห์ Route นี้ว่ามีการรับส่งสัญญาณข้อมูลระบบใด

๒.๓.๑.๒ เลือกอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ MFC (Code Receiver หรือ MFC Receiver)

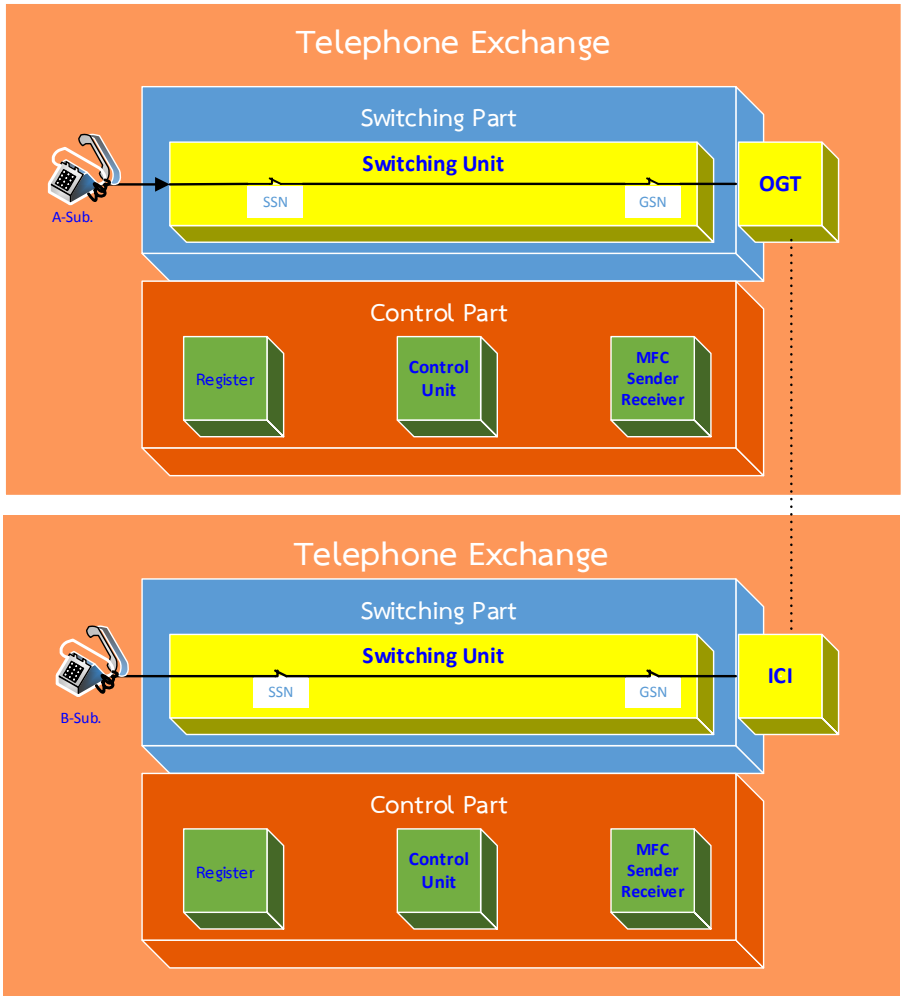
๒.๓.๑.๓ วิเคราะห์ว่าอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ MFC นั้นอยู่ในตำแหน่งใด

๒.๓.๑.๔ เลือกตัวต่อที่ว่างใน GSN

๒.๓.๑.๕ เตรียมพร้อมหน่วยบันทึกข้อมูล

๒.๓.๑.๖ ต่อเส้นทางรับสัญญาณระหว่างวงจรต่อเข้ากับอุปกรณ์รับส่ง MFC

๒.๓.๒ การรับและวิเคราะห์เลขหมาย (Digit Reception and Analysis) มีขั้นตอนการทำงานเช่นเดียวกับที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ ๒.๑.๒



ภาพที่ ๑-๑๑ เส้นทาง A-Sub กับ B-Sub สำหรับการเรียกออก และการเรียกเข้าระหว่างชุมสาย

๒.๓.๓ การตรวจสภาพ B-Sub และการเลือกการตัวต่อ (Seizure B-Sub And Path Selection) มีขั้นตอนการทำงานเช่นเดียวกับที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ ๒.๑.๓ มีเพิ่มเติมขั้นตอนเมื่อได้รับเลขหมายครบแล้ว ภาคควบคุมจะส่งสัญญาณควบคุมไปขอให้จัดส่งชนิดของ A-Sub มาให้ เพื่อ

มาประกอบการวิเคราะห์ว่าจะอนุญาตให้เรียกเข้า B-Sub เครื่องนี้หรือไม่ และภายหลังที่ทำการต่อเส้นทางสนทนาเสร็จแล้ว ก็จะส่งสภาพของ B-Sub ไปให้ชุมสายต้นทาง โดยใช้สัญญาณ “End of Selection”

๒.๓.๔ การต่อเส้นทางสนทนาและการส่งสัญญาณกระดิ่ง (Setup and Ringing Tone) มีขั้นตอนการทำงานเช่นเดียวกับที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ ๒.๑.๔ ยกเว้นไม่ต้องเตรียมการคิดเงิน เนื่องจากชุมสายต้นทางเป็นผู้กระทำการคิดเงินที่ A-Sub

๒.๓.๕ การตอบรับการเรียกของ B-Sub (B-Answer) มีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

๒.๓.๕.๑ ตัดสัญญาณเรียกและสัญญาณกระดิ่งออก

๒.๓.๕.๒ ต่อเส้นทางสนทนาระหว่าง A-Sub และ B-Sub

๒.๓.๕.๓ ส่งสัญญาณตอบรับระหว่างชุมสาย (Answer Signal) จากวงจรต่อเข้าไปยังวงจรต่อออกของชุมสายต้นทาง

๒.๓.๕.๔ เฝ้าสังเกตการวางหูเลิกสนทนาของ B-Sub

๒.๓.๖ การเลิกสนทนา (Clearing And Disconnection) มีอยู่สองลักษณะคือ A-Sub วางหูก่อน และ B-Sub วางหูก่อน

๒.๓.๖.๑ A-Sub วางหูก่อน จะมีการส่งสัญญาณเลิกสนทนาจาก A-Sub (Clear Forward) มายังอุปกรณ์ต่อเข้า ทำให้ภาคควบคุมดำเนินการตัดตัวต่อในภาค SSN และ GSN ออกทันที และส่งสัญญาณไม่วางไปให้ B-Sub

๒.๓.๖.๒ B-Sub วางหูก่อน ชุมสายปลายทางจะทำการส่งสัญญาณเลิกสนทนาจาก B-Sub (Clear Back) ไปยังชุมสายต้นทาง ชุมสายต้นทางจะทำการจับเวลา ๙๐ วินาที ถ้ายังไม่หมดเวลา B-Sub จะยกหูขึ้นมาสนทนาต่อได้ เมื่อหมดเวลาแล้วชุมสายต้นทางจะตัดตัวต่อของภาคต่างๆ ออกหมด จากนั้นชุมสายปลายทาง (B-Sub) ก็จะตัดอุปกรณ์ต่างๆ ตามชุมสายต้นทาง

๒.๔ การเรียกผ่านจากชุมสายหนึ่งไปยังอีกชุมสายหนึ่ง (Transit Call)

การเรียกผ่านจากชุมสายหนึ่งไปยังอีกชุมสายหนึ่ง ภาคควบคุมจะดำเนินการเหมือนการเรียกเข้ามาจากชุมสายอื่นรวมกับการเรียกออกไปยังชุมสายอื่น แต่ต่างตรงกันที่ไม่ต้องดำเนินการเรียกไปยัง B-Sub ซึ่งการเรียกผ่านจากชุมสายหนึ่งไปยังอีกชุมสายหนึ่ง แบ่งออกเป็น ๙ ขั้นตอน คือ

๒.๔.๑ การรับรู้การเรียก (Call Detection)

๒.๔.๒ การรับรู้และวิเคราะห์เลขหมาย (Digit Reception and Analysis)

๒.๔.๓ การวิเคราะห์ทางออก (Route Analysis)

๒.๔.๔ การเลือกวงจรต่อออกและตัวต่อ (Seizure OGT and Path Selection)

๒.๔.๕ การต่อเส้นทางสนทนาและส่งสัญญาณเรียกชุมสาย (Set up and Send Seizure Signal)

๒.๔.๖ การตรวจสภาพ B-Sub และการเลือกการตัวต่อ (Seizure B-Sub and Path Selection)

๒.๔.๗ การต่อเส้นทางสนทนาและการส่งสัญญาณกระดิ่ง (Setup and Ringing Tone)

๒.๔.๘ การตอบรับการเรียกของ B-Sub (B-Answer)

๒.๔.๙ การเลิกสนทนา (Clearing and Disconnection)

ขั้นตอนในหัวข้อ ๒.๔.๑ – ๒.๔.๕ มีการทำงานเช่นเดียวกับหัวข้อที่กล่าวมาแล้ว ส่วนขั้นตอนการตอบรับ การเรียก จะมีการส่งต่อ Line Signal ต่างๆ จากชุมสายต้นทางไปยังชุมสายปลายทาง เช่นเดียวกันกับการยกเลิกการสนทนาก็จะมีการส่งต่อ Line Signal ย้อนกลับจากชุมสายปลายทาง ไปยังชุมสายต้นทาง และสำหรับชุมสายต่อผ่านทางไกลที่ต้องมีการคิดเงิน หรือ Billing จะมีขั้นตอนการทำงานเกิดขึ้นทันทีที่ B-Sub ตอบรับการเรียก

บทที่ ๒
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบชุมสายโทรศัพท์

กล่าวทั่วไป

ชุมสายโทรศัพท์ คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อเลขหมายต่างๆ เข้าด้วยกัน มีทั้งเชื่อมต่อโดยอัตโนมัติ และเชื่อมต่อโดยมีพนักงานต่อสาย (Operator) ซึ่งระบบชุมสายโทรศัพท์มีหลายประเภท หลายขนาด มีความสามารถแตกต่างกัน และมีระบบการทำงานไม่เหมือนกัน เราจึงสามารถแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ ๔ ประเภท ดังนี้

๑. ชุมสายท้องถิ่น (Local Exchange) เป็นชุมสายโทรศัพท์สาธารณะที่ให้บริการทั่วไป เป็นชุมสายที่เชื่อมต่อเข้ากับผู้เช่าโดยตรง ติดตั้งอยู่ตามชุมชนต่างๆ เช่น ในตัวจังหวัด อำเภอ ตำบล หรือหมู่บ้าน เป็นต้น

๒. ตู้สาขาโทรศัพท์ (PABX : Private Automatic Branch Exchange) คือ ชุมสายโทรศัพท์ขนาดเล็กเหมาะสำหรับใช้งานภายในบ้าน สำนักงาน แฟลต หรือโรงแรม เพื่อช่วยให้การติดต่อกันภายในนั้นๆ สะดวก และยังสามารถโทรติดต่อกับเลขหมายภายนอกหรือชุมสายท้องถิ่น โดยการนำเลขหมายหรือวงจรเชื่อมต่อกัน ตู้สาขานี้สามารถซื้อมาติดตั้งใช้งานได้เลย เพราะไม่ได้เกี่ยวข้องกับชุมสายมาสาธารณะแต่อย่างใด และยังสามารถนำเอาเลขหมายของชุมสายมาสาธารณะมาเชื่อมต่อเข้ากับตู้สาขานี้ได้ด้วย

๓. ชุมสายต่อผ่าน (Transit Exchange) เป็นชุมสายที่ไม่ได้ต่อเข้ากับผู้เช่าโดยตรง แต่ทำหน้าที่เชื่อมชุมสายกับชุมสายเข้าด้วยกันชุมสายต่อผ่าน แบ่งได้ ๒ ชนิด คือ

๓.๑ ชุมสายต่อผ่านท้องถิ่น (Tandem Exchange) เป็นชุมสายที่เชื่อมชุมสายท้องถิ่นเข้าด้วยกัน ซึ่งเป็นชุมสายท้องถิ่นที่อยู่ในเขต รหัสทางไกล เดียวกันด้วย

๓.๒ ชุมสายต่อผ่านทางไกล (Transit Exchange) เป็นชุมสายต่อผ่านที่เชื่อมชุมสายต่อผ่านท้องถิ่นเข้าด้วยกันอีกชั้นหนึ่ง นั่นคือจะต้องหมุนรหัสทางไกล จึงจะสามารถติดต่อหรือผ่านชุมสายนี้ไปได้

๔. ชุมสายวิทยุโทรศัพท์ (Radio Telephone Exchange) ชุมสายวิทยุโทรศัพท์เป็นชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือที่เรียกว่า โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบรวงผึ้ง (Cellular Mobile Telephone) ชุมสายเหล่านี้ จะให้บริการกับวิทยุโทรศัพท์ทั่วๆ ไป ทำหน้าที่เชื่อมต่อผู้เช่าวิทยุโทรศัพท์เข้าด้วยกัน และเชื่อมต่อโทรศัพท์ธรรมดาทั่วๆ ไปด้วย

ตามคุณลักษณะการทำงานที่ได้กล่าวมาข้างต้น กองทัพอากาศได้นำชุมสายโทรศัพท์ประเภท ตู้สาขาโทรศัพท์ และชุมสายต่อผ่านมาประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ เหมาะกับประเภทชุมสายโทรศัพท์ของกองทัพอากาศ ซึ่งตู้สาขาโทรศัพท์ และชุมสายต่อผ่านมีโครงสร้างทั้งหมด ๕ ประเภท (แสดงในภาพที่ ๒-๑) ดังนี้

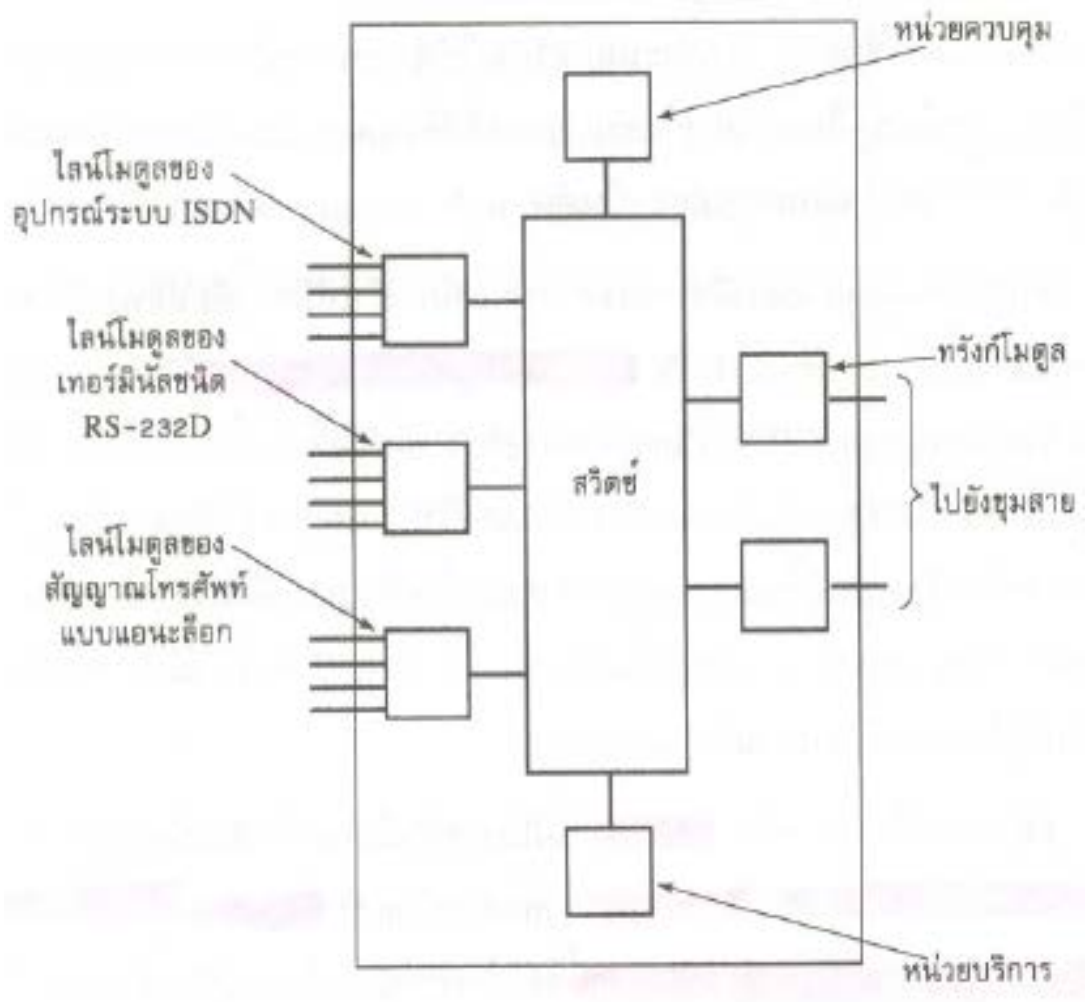
๑. เซอร์กิตสวิตชิ่ง คือส่วนที่มีโมดูลการ์ด (Module Card) ติดตั้งอยู่ โดยที่แต่ละโมดูลการ์ดจะอินเตอร์เฟซกับอุปกรณ์ชนิดต่างๆ โดยโมดูลการ์ดแต่ละชนิดจะรับสัญญาณข้อมูลรูปแบบแตกต่างกันไป ไม่ว่าจะเป็นสัญญาณอนาล็อกของเสียง สัญญาณดิจิตอลของระบบ RS-232 หรือสัญญาณดิจิตอลของอุปกรณ์ ISDN แต่ที่เหมือนกันคือสัญญาณที่จ่ายออกมาจะอยู่ในรูปแบบสัญญาณดิจิตอลของระบบ ISDN เช่น โมดูลการ์ดสำหรับโทรศัพท์อนาล็อกนั้นจะต้องใช้เทคนิคของ PCM ในการแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิตอลในรูปแบบของ ISDN เพื่อทำงานใน PABX และอาจจะต้องแปลงสัญญาณดิจิตอล กลับเป็นสัญญาณเสียงอีกครั้งให้แก่เทอร์มินัลเสียง สำหรับทรังก์โมดูล (Trunk Module) นั้นเชื่อมไปยังชุมสาย ISDN เพื่อติดต่อกับโลกภายนอก

๒. หน่วยควบคุม (Control Unit) เป็นคอมพิวเตอร์ชนิด General Purpose ซึ่งควบคุมการทำงานของ PABX เช่น เมื่อมีการยกหูโทรศัพท์ หรือมีการติดต่อจากเทอร์มินอล จะเกิดอินเตอร์รัปต์จากไลน์โมดูล (Line Module) ของอุปกรณ์เหล่านั้นมายังหน่วยควบคุม รวมทั้งรวบรวมหมายเลขของผู้เรียก และผู้ถูกเรียกที่ต้องการติดต่อกันแล้วส่งสัญญาณไปยังสวิตช์ เพื่อให้สร้างวงจรเชื่อมต่อการสนทนาระหว่างอุปกรณ์ทั้งสอง

๓. ส่วนหน่วยบริการ (Service Unit) จะทำหน้าที่ให้บริการเสียงโทรศัพท์ต่างๆ เช่น สัญญาณสายไม่ว่าง ตลอดจนบริการพิเศษอื่นๆ (Facility) ที่หน่วยควบคุมได้ส่งมาให้

๔. Line Module ทำหน้าที่แปลงสัญญาณข้อมูลที่รับมาในรูปแบบต่างๆ (ขึ้นอยู่กับประเภทของ Line Module เช่น Analog, RS-232, ISDN เป็นต้น) ให้อยู่ในรูปแบบสัญญาณดิจิตอลของระบบ ISDN

๕. Trunk Module ทำหน้าที่ตรงข้ามกับ Line Module คือแปลงสัญญาณสัญญาณดิจิตอลของระบบ ISDN ให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณปลายทาง (Analog, RS-232, ISDN)



ภาพที่ ๒-๑ แสดงโครงสร้างของ PABX

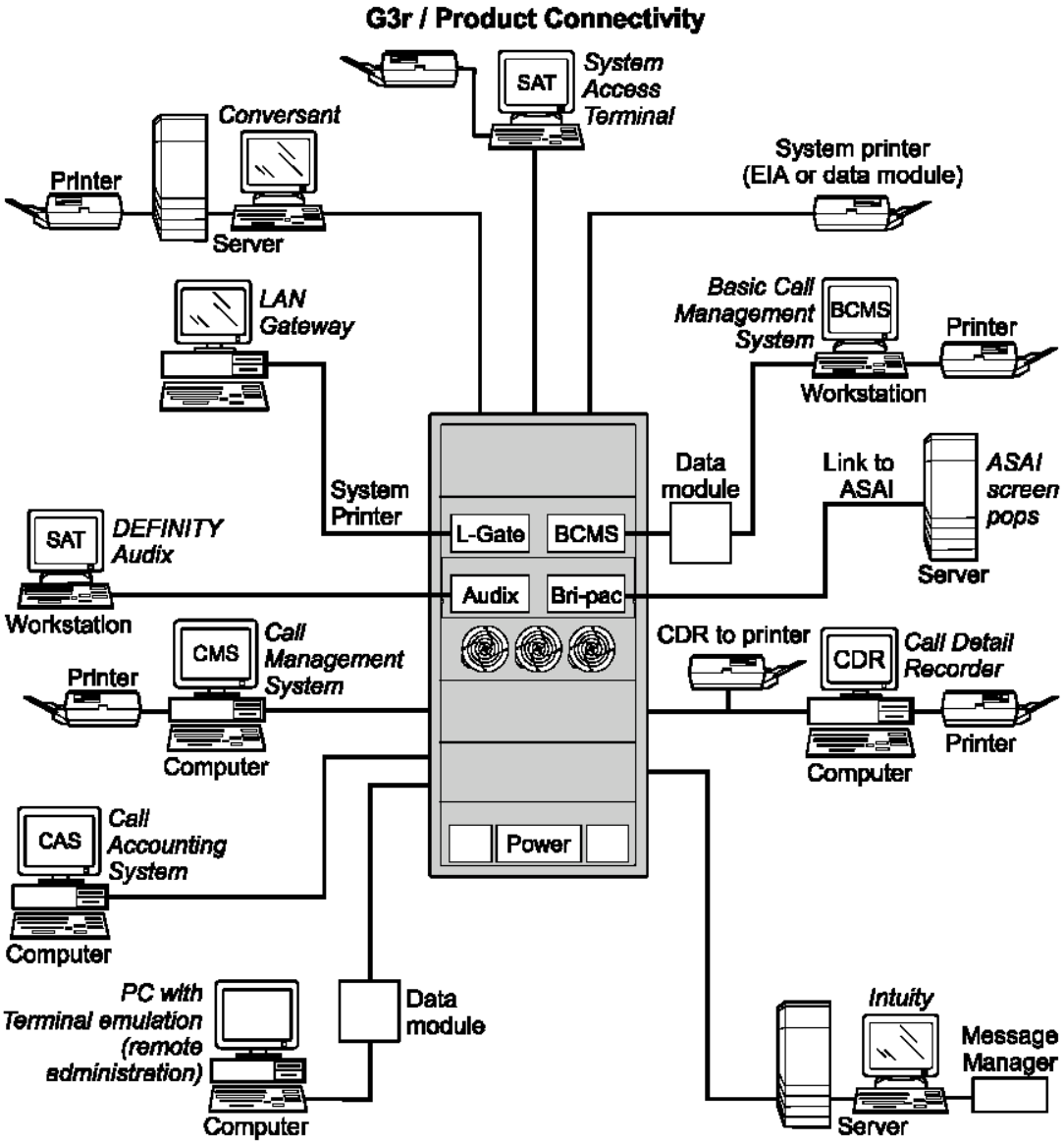
โครงสร้างของตู้สาขาโทรศัพท์และชุมสายต่อผ่านที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น เป็นโครงสร้างพื้นฐานของตู้สาขาโทรศัพท์ที่กองทัพอากาศได้นำมาใช้ไม่ว่าจะเป็นยี่ห้อใด ต่างกันตรงชื่อของอุปกรณ์ แต่มีลักษณะการทำงานเหมือนกัน โดยในกองทัพอากาศมีใช้งานอยู่ ๔ ผลิตภัณฑ์ คือ ชุมสาย AVAYA, ERICSSON, ALCATEL และ NORTEL นอกจากนั้นกองทัพอากาศได้มีระบบที่ทำงานคล้ายกับชุมสายโทรศัพท์อีก ๒ ระบบ คือ Multi-Service Access Node (MSAN) และชุมสายรวมการติดต่อสื่อสาร (ICSS) ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดต่อไป

๑. ชุมสายโทรศัพท์ AVAYA

ชุมสายโทรศัพท์ AVAYA ในระยะเริ่มต้นที่ติดตั้งใช้งานภายใน ทอ.เป็นผลิตภัณฑ์ภายใต้ชื่อ AT&T ต่อมาได้เปลี่ยนชื่อเป็น LUCENT และในปัจจุบันใช้ชื่อ AVAYA และได้รับการปรับปรุงให้ทันเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

ภาพที่ ๒-๒ สัญลักษณ์ และประวัติความเป็นมาของ AVAYA

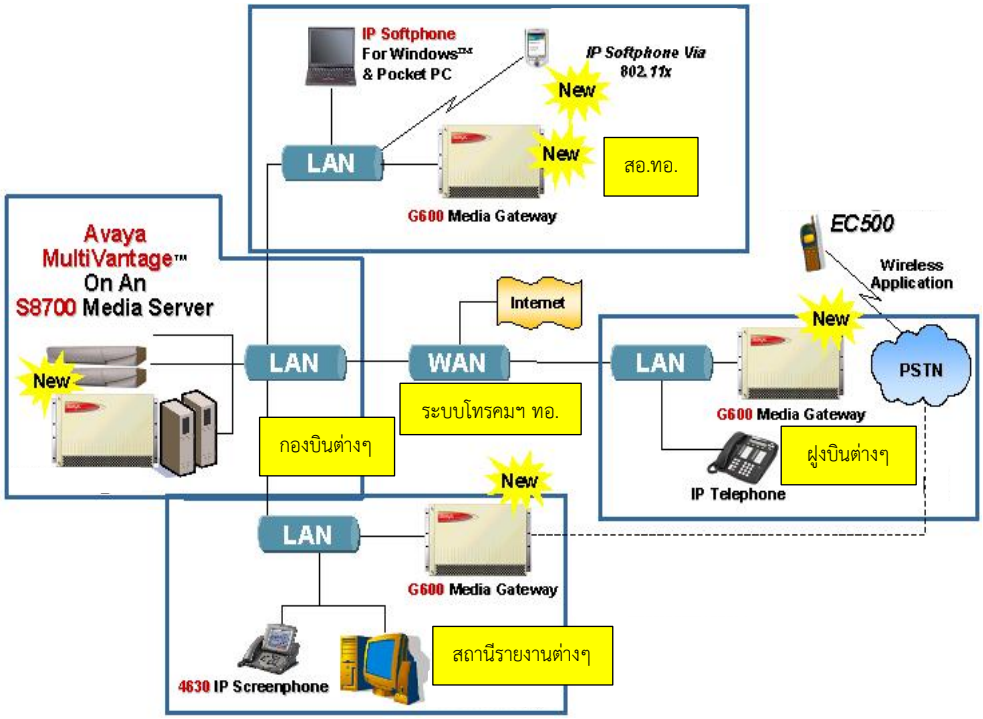
ชุมสายโทรศัพท์ AVAYA รุ่น DEFINITY มีการทำงานแบบดิจิตอลสวิตซ์ (Digital Switch) สามารถใช้งานได้ทั้งในรูปสัญญาณเสียง (Telephone Call) และข้อมูล (Data Communication) จากจุดหนึ่งไปยังจุดอื่นๆ ดังภาพที่ ๒-๓ โดยทุกจุดปลายทางในรูปจะถือว่าเป็นอุปกรณ์ภายนอกของระบบ และสัญญาณเสียงและข้อมูลที่ติดต่อสื่อสารกัน จะติดต่อผ่าน “วงจรพอร์ต” (Port Circuit) แต่เนื่องจากเป็นการติดต่อสื่อสารในรูปแบบแบบดิจิตอลความเร็วสูง ระบบจะแปลงสัญญาณอนาล็อกที่เข้ามาจากภายนอกให้เป็นสัญญาณภายในแบบดิจิตอลก่อนทุกครั้ง หากสัญญาณที่เข้ามาเป็นสัญญาณดิจิตอลอยู่แล้ว ระบบสามารถส่งต่อข้อมูลได้ทันที โดนไม่ต้องมีการแปลงสัญญาณอีก สำหรับการเรียกออกจากระบบแบบดิจิตอลสู่สายภายนอกที่เป็นแบบอนาล็อก จะต้องมีการแปลงสัญญาณกลับเป็นอนาล็อกก่อนเช่นเดียวกัน



ภาพที่ ๒-๓ ระบบโทรศัพท์แบบเดิม AVAYA รุ่น DEFINITY

ภาพที่ ๒-๓ แสดงระบบชุมสายโทรศัพท์ AVAYA รุ่น DEFINITY ในการเชื่อมต่อกับระบบการจัดการการใช้งานโทรศัพท์ โดยใช้โครงข่ายสายสัญญาณ Analog และ Digital

ปัจจุบันชุมสายโทรศัพท์ AVAYA ทอ. ได้ถูกพัฒนาจากรุ่น DEFINITY มาเป็นรุ่น Aura Communication Manager เพื่อให้การใช้งานร่วมกับระบบโทรคมนาคม ทอ. ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการเชื่อมต่อระหว่างชุมสายของหน่วยขึ้นตรง ทอ. อื่นๆ จะใช้โครงข่ายแบบ IP ดังแสดงในภาพที่ ๒-๔



ภาพที่ ๒-๔ การเชื่อมต่อระบบชุมสายโทรศัพท์ AVAYA โดยใช้โครงข่ายแบบ IP

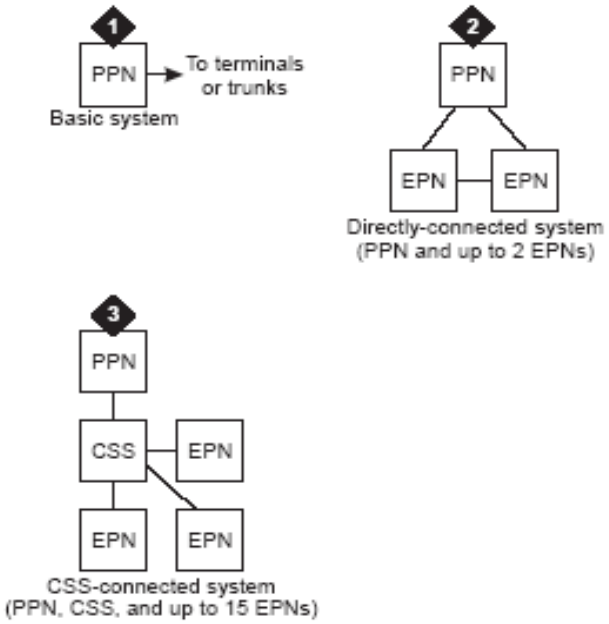
๑. ส่วนประกอบของระบบชุมสายโทรศัพท์ AVAYA

๑.๑ ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบชุมสายโทรศัพท์ AVAYA รุ่น DEFINITY

๑.๑.๑ ชุด Control Part ทำหน้าที่ประมวลผลจัดการการทำงานโทรศัพท์และเชื่อมต่อต่างๆ ทั้งภายในและภายนอกตู้ชุมสายโทรศัพท์ ประกอบด้วย

- Processor Port Network (PPN) ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลหลักของระบบ เช่น CPU Server, Port Network (PN)
- Expansion Port Network (EPN) ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลรองเพื่อติดต่อกับหน่วยประมวลผลหลัก (PPN) การใช้งานจะติดตั้งไว้กับตู้ส่วนขยาย ซึ่งสามารถรองรับการใช้งานได้สูงสุด 3 PN (1 PPN + 2 EPN)
- Center Stage Switch (CSS) ทำหน้าที่จัดการการเชื่อมต่อระหว่างหน่วยประมวลผลหลัก (PPN) และหน่วยประมวลผลรอง (EPN) เข้าด้วยกัน ในกรณีที่ชุมสายโทรศัพท์ต้องมี PN มากกว่า 3 PN

การใช้งานระบบชุมสายโทรศัพท์ AVAYA รุ่น DEFINITY นั้น จะใช้ชุด Control ทั้ง ๓ ประเภท เนื่องจากมีผู้ใช้งานจำนวนมาก (1 PN = 484 Port)



ภาพที่ ๒-๕ การเชื่อมต่อพื้นฐานของระบบชุมสายโทรศัพท์ AVAYA รุ่น DEFINITY

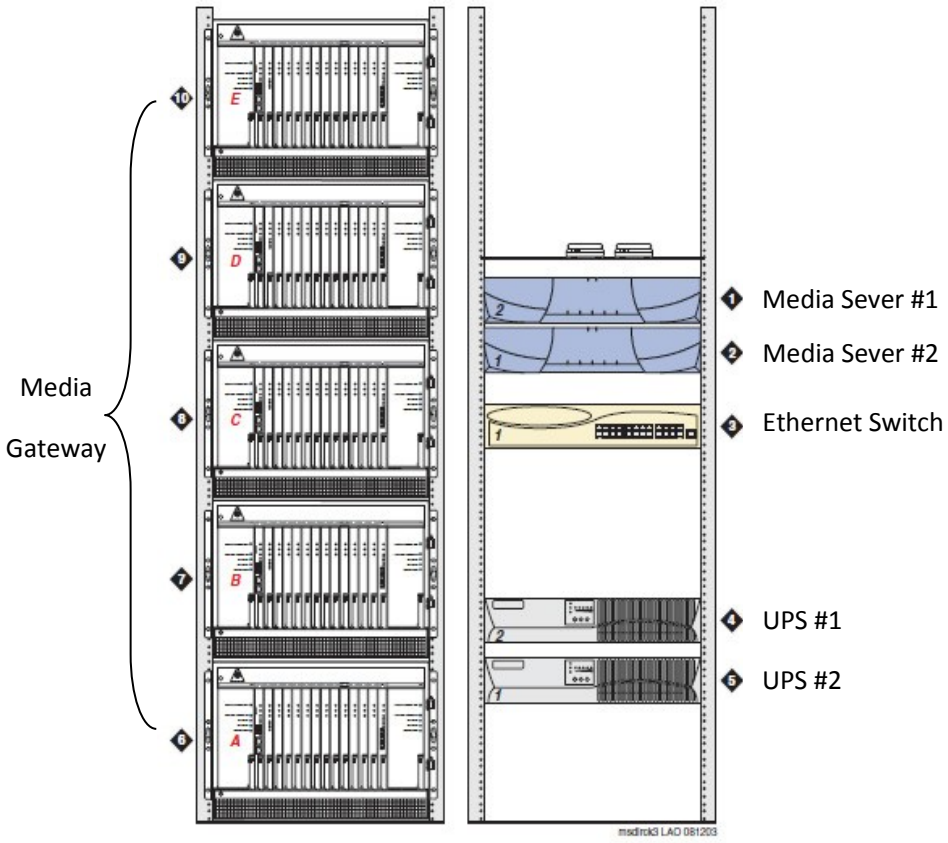
๑.๒ ชุด Switch Part ทำหน้าที่จัดการการเชื่อมต่อหมายเลขผู้ใช้งานกับตู้ชุมสายโทรศัพท์ ลักษณะการใช้งานเป็นการ์ดที่ใช้เสียบเข้ากับตู้ชุมสายโทรศัพท์ แบ่งออกเป็น

๑.๒.๑ การ์ดเลขหมายโทรศัพท์

๑.๒.๒ การ์ดเชื่อมต่อชุมสายโทรศัพท์

<u>อุปกรณ์ที่ติดตั้งใช้งานในชุมสาย AVAYA</u>

ชุมสาย AVAYA ที่มีใช้งานใน ทอ. ได้รับการติดตั้งอุปกรณ์หลักที่สำคัญ ดังแสดงในภาพที่ ๒-๖ และมีรายละเอียด ดังนี้



ภาพที่ ๒-๖ Avaya S8700 Media Server และ G650 Media Gateway

๑. AVAYA Media Servers

Media Server ทำหน้าที่ประมวลผลและควบคุมการเชื่อมต่อข้อมูลเสียง (Voice), ข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ (Data) และวีดีโอ (Video) ระหว่างช่องสัญญาณอนาล็อก (Analog), ดิจิตอล (Digital), เครื่องคอมพิวเตอร์ในระบบ (Host Computer) รวมถึงการเชื่อมต่อทางอินเตอร์เน็ต โดย Server นี้ทำงานร่วมกับซอร์ฟแวร์ AVAYA Communication Manager

Media Servers ที่มีใช้งานใน ทอ.มีหลายรุ่นหลายชนิด ได้แก่

๑. S8300 Media Server เหมาะสำหรับใช้งานกับองค์กรที่มีขนาด 40-450 Stations และรองรับ Trunks ไม่เกิน 450 Trunks โดยติดตั้งใช้งานร่วมกับ Media Gateway ตั้งแต่รุ่น G250, G700 หรือ G350

๒. S8500 Media Server เหมาะสำหรับใช้งานกับองค์กรที่มีขนาด 2400 Stations และรองรับ Trunk ไม่เกิน 800 Trunks

๓. S8700 Media Server เหมาะสำหรับใช้งานกับองค์กรขนาดใหญ่และต้องการความเสถียรสูง เนื่องจาก S8700 จะมี Server ติดตั้ง ๒ ตัว (Duplicated Server) ที่สามารถทำหน้าที่ทดแทนกันได้ ในกรณีที่ Server หลักขัดข้องหรือชำรุด

๒. AVAYA Media Gateway

AVAYA Media Gateway เป็นอุปกรณ์ในส่วน EPN ที่มี Slot สำหรับใส่การ์ดต่างๆ ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ในระบบโทรศัพท์ โดยมีโปรแกรม Communication Manager ที่ติดตั้งบน Media Server เป็นตัวควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ Media Gateway

Media Gateway ที่มีใช้งานใน ทอ.มีหลายรุ่นหลายชนิด ได้แก่

๑. G250 Media Gateway เหมาะสำหรับสำนักงานขนาดเล็ก โดยจะแบ่งเป็น ๒ รุ่นย่อยๆ ดังนี้

ภาพที่ ๒-๗ Avaya G250 Media Gateway

๑.๑ G250-DCP จะเน้นการต่อพ่วงกับโทรศัพท์ดิจิตอลโดยจะมีพอร์ทพื้นฐาน ดังนี้

๑.๑.๑ พอร์ทอนาล็อก Trunk (FXO) 4 พอร์ท

๑.๑.๒ พอร์ทอนาล็อกไลน์ (FXS) 2 พอร์ท พร้อมกับ 1 ETR ฟังก์ชั่น

๑.๑.๓ พอร์ทดิจิตอล 12 พอร์ท

๑.๑.๔ พอร์ท Fast Ethernet 2 พอร์ท

๑.๒ G250-DS1 จะเน้นการต่อพ่วงกับแบบ E1 โดยจะมีพอร์ทพื้นฐานทั้งหมดดังนี้

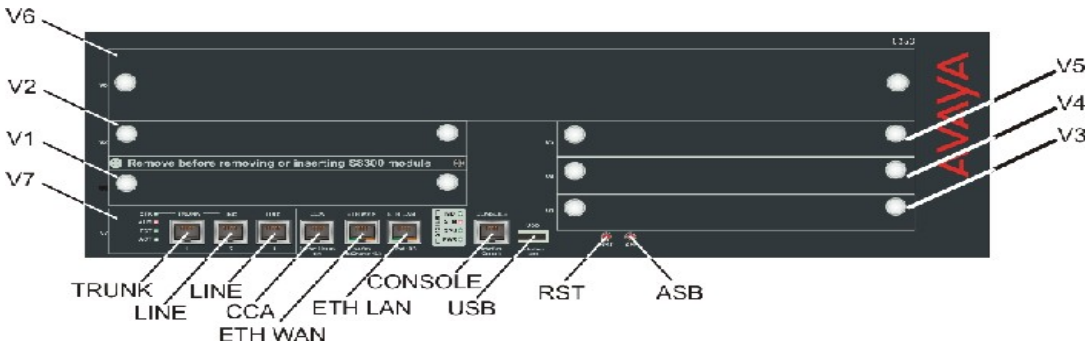
๑.๒.๑ พอร์ทอนาล็อก Trunk (FXO) 1 พอร์ท

๑.๒.๒ พอร์ทอนาล็อกไลน์ (FXS) 2 พอร์ท พร้อมกับ 1 ETR ฟังก์ชั่น

๑.๒.๓ พอร์ท E1 1 พอร์ท

๑.๒.๔ พอร์ท POE 8 พอร์ท

๒. G350 Media Gateway เหมาะสำหรับใช้งานในสำนักงานขนาดเล็ก หรือบริษัทที่มีสาขา (Branch) โดยสามารถรองรับการบริการได้ 8 – 40 Stations ต่อสาขา และให้บริการโทรศัพท์แบบอนาล็อก, ดิจิตอล และ VoIP ได้ แต่ G350 Media Gateway ยังไม่สนับสนุนระบบ Call Center (ระบบ Call Center มีให้บริการในรุ่น G700 ขึ้นไป)



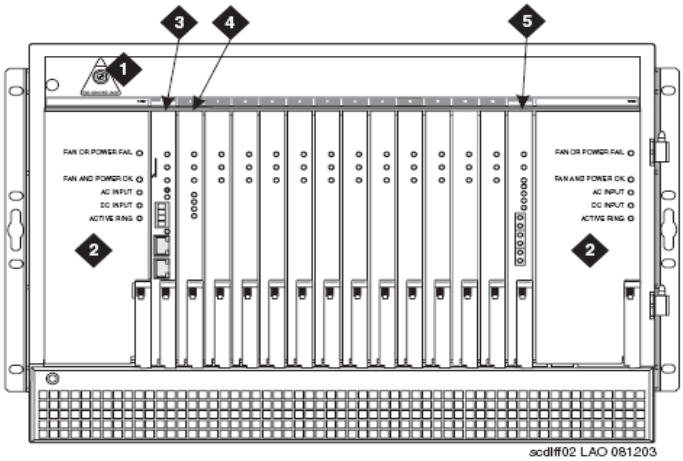
ภาพที่ ๒-๘ Avaya G350 Media Gateway

๓. G700 Media Gateway ประกอบด้วย 4 Module Media Slots สามารถเชื่อมต่อได้หลายแบบ เช่น อนาล็อกไลน์/ทรังค์, ดิจิตอล, T1/E1, S8300 Media Server, MM270 เชื่อมต่อ ISDN แบบ BRI

ภาพที่ ๒-๙ Avaya G700 Media Gateway

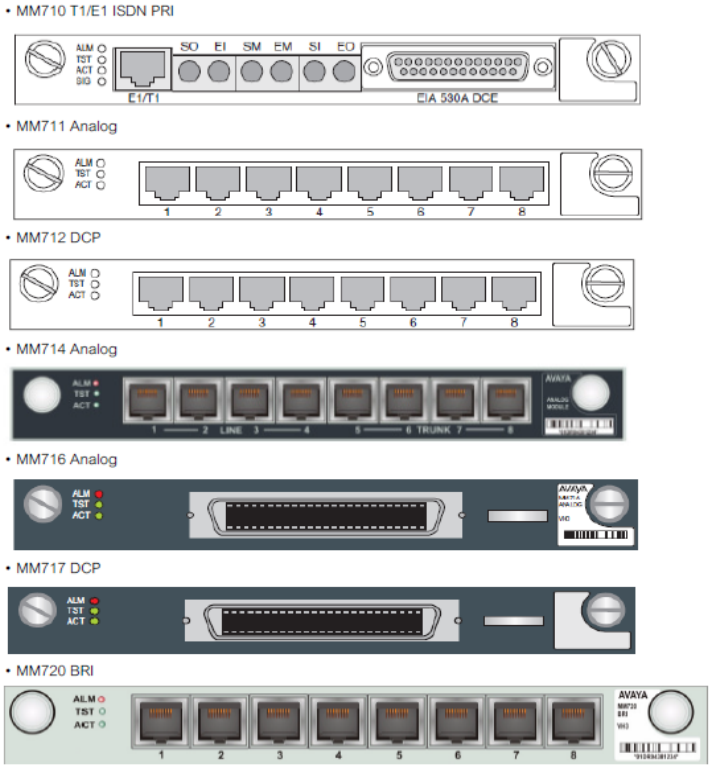
ในองค์กรขนาดใหญ่ สามารถเลือกใช้ S8300 Media Server ที่รองรับ G700 Media Gateway ได้สูงสุด ๕๐ ตัว หรือ S8500 และ S8700 Media Server ที่รองรับ G700 Media Gateway ได้สูงสุดถึง ๒๕๐ ตัว

๔. G650 Media Gateway เป็นอุปกรณ์ขนาดใหญ่ มีความกว้างเท่ากับ Rack 19” มาตรฐาน สูง 14 นิ้ว พาวเวอร์ซับพลาย 2 ตัว สามารถถอดสับเปลี่ยนตัวใดตัวหนึ่งในขณะใช้งานได้ (Hot Swappable) และมีช่องให้ใส่การ์ด 14 ช่อง สามารถให้บริการที่หลากหลายประเภทได้ เช่น T1/E1 ISDN PRI, T1/E1 WAN, Analog Line, Digital Line, DCP, Ethernet Port เป็นต้น

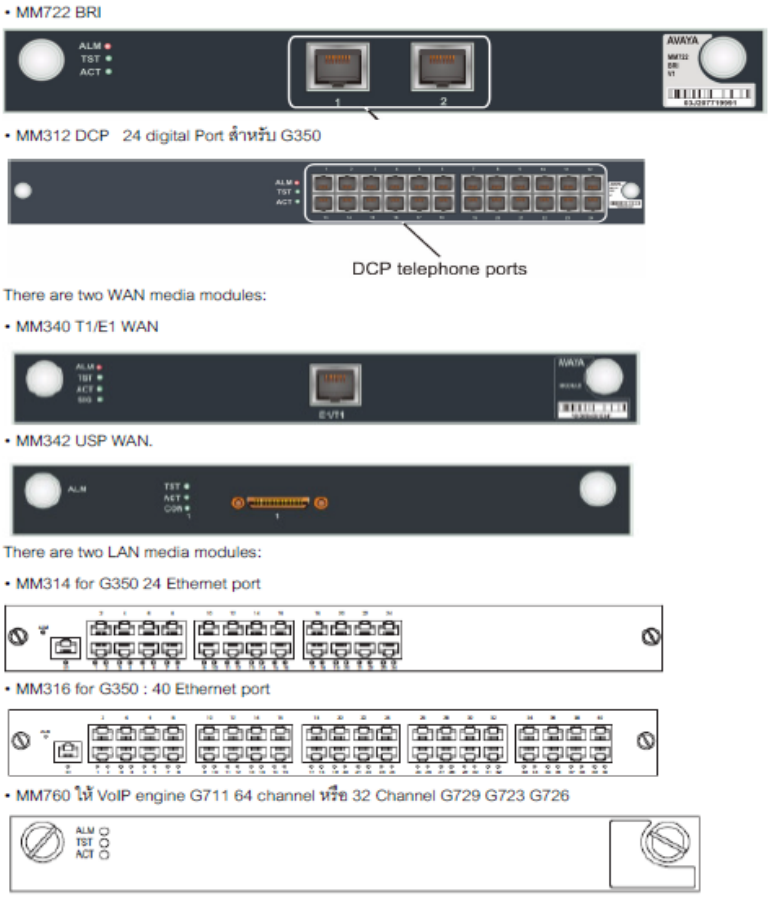


Number	Description
1.	Wrist strap for ESD (electrostatic discharge).
2.	655A power supply
3.	TN2312BP IP server interface (IPSI)
4.	TN799DP CLAN
5.	TN2302AP IP Media Processor or TN2602AP IP Media Resource 320

ภาพที่ ๒-๑๐ Avaya G650 Media Gateway



ภาพที่ ๒-๑๑ การ์ดชนิดต่างๆ (๑)



ภาพที่ ๒-๑๑ การ์ดชนิดต่างๆ (๒)

<u>รายละเอียดของ Card ที่ใช้งานในชุมสาย AVAYA</u>

แบ่งได้เป็น ๒ ประเภท คือ ส่วนเชื่อมต่อกับระบบ และส่วนเชื่อมต่อใช้งาน

๑. ส่วนเชื่อมต่อกับระบบ

๑.๑ IP Server Interface หรือ IPSI (TN2312) ทำหน้าที่ รับ-ส่ง Control Message บน IP เพื่อทำให้ S8700 Media Server ติดต่อสื่อสารกับ PNs (Port Network) ได้

๑.๒ Tone / Clock (TN2182) ทำหน้าที่ Generate Dial Tone และ DTMF Tone ทำหน้าที่คล้ายกับ Call Classify แต่ต้องเสียบอยู่ใน Slot ที่กำหนดให้เท่านั้น

๑.๓ Expansion Interface (TN570) ทำหน้าที่เชื่อมต่อ Link ระหว่าง PPN ไปยัง EPN

๑.๔ Maintenance / Test (TN771) ทำหน้าที่เชื่อมต่อ Link ระหว่าง PPN ไปยัง EPN ในแต่ละ PPN or EPN ต้องมี Maintenance / Test 1 card

๑.๕ Call Classify (TN744) ทำหน้าที่ Generate Dial Tone และ DTMF Tone

๑.๖ Control LAN หรือ CLAN (TN799) ทำหน้าที่เชื่อมต่อระบบ LAN ขององค์กร ทำให้สามารถ Admin ตู้สาขาผ่านระบบ LAN ได้ นอกจากนั้นสามารถใช้เชื่อมต่อการส่งข้อมูลในระบบ Call Center เช่น โปรแกรม BCMS_Vu หรือ CMS หรือ โทรศัพท์แบบ IP (IP Phone)

๑.๗ IP Media Processor หรือ MAPRO (TN2302) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่เป็น Data ให้เป็น Voice หรือ แปลงสัญญาณที่เป็น Voice ให้เป็น Data เพื่อรองรับการทำงานของโทรศัพท์แบบ IP (IP Phone) IP media processor สามารถจัดการเสียงได้ระหว่าง ๓๒ และ ๖๔ ช่องสัญญาณเสียงแล้วแต่การเข้ารหัสสัญญาณเสียง (CODEC)

๒. ส่วนเชื่อมต่อใช้งาน

๒.๑ Analog Line (TN2793) มี 24 ports สามารถใช้เชื่อมต่อกับโทรศัพท์แบบอนาล็อก

๒.๒ Digital Line (TN2214) มี 24 ports สามารถใช้เชื่อมต่อกับโทรศัพท์แบบดิจิตอลของ Avaya เท่านั้น

๒.๓ DS1 Interface (TN2464) ใช้เชื่อมต่อกับสัญญาณ MFCR2 หรือ ISDN ของชุมสาย หรือ ใช้เชื่อมต่อระหว่างตู้สาขาด้วยกัน สามารถ Set ให้เป็นแบบ T1 หรือ E1 ได้โดย Set Jumper ที่อยู่บน Card

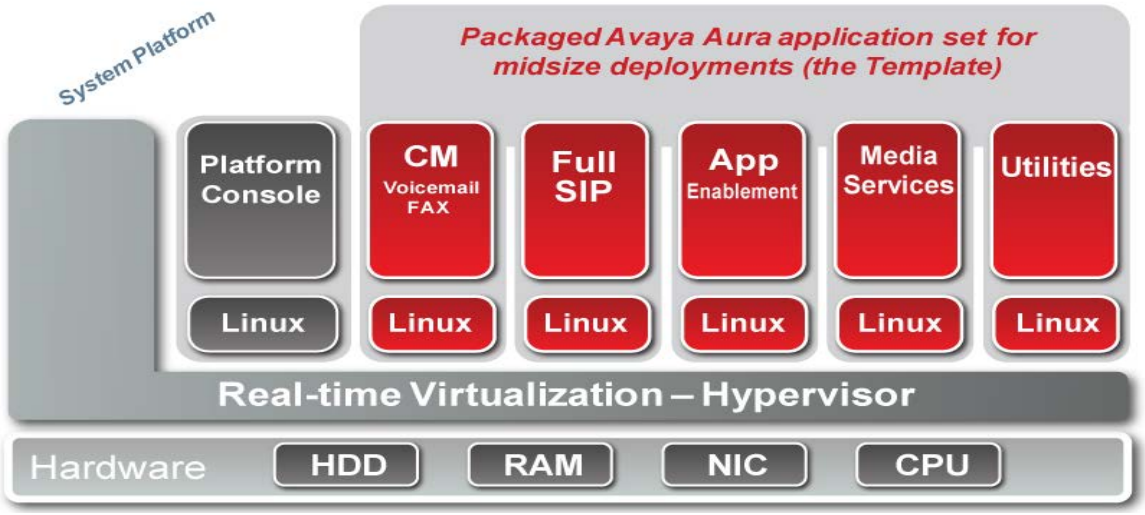
๒.๔ CO Trunk (TN747) มี 8 ports ใช้เชื่อมต่อเบอร์ตรงกับตู้สาขา

๒.๕ Announcement (TN2501) ใช้เก็บเสียงที่ต้องการให้ระบบประกาศเสียงออกไป สามารถเก็บเสียงได้ประมาณ ๑ ชั่วโมง

AVAYA Virtualization

ในปัจจุบันชุมสาย AVAYA รุ่นใหม่ๆ เช่น AVAYA AURA ได้ถูกออกแบบให้ใช้งานบนเทคโนโลยี Real Time Virtualization ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยทำให้การใช้งานทรัพยากรต่างๆ บนอุปกรณ์ Server หนึ่งอุปกรณ์ สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

เทคโนโลยี Real Time Virtualization เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำ Server เสมือนหลายๆ Server บนอุปกรณ์ Server จริงเพียงอุปการณ์เดียว ส่งผลให้ Application ที่แตกต่างกัน ซึ่งตามปกติต้องติดตั้งลงบน Server คนละตัวกัน สามารถติดตั้งและใช้งานได้บน Server เพียงตัวเดียวได้ อันเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้งาน Server อย่างเต็มรูปแบบ



ภาพที่ ๒-๑๒ AVAYA Virtualization

AVAYA เรียกระบบปฏิบัติการที่ใช้สร้าง เหล่า Server เสมือนนี้ว่า AVAYA System Plafrom : SP (แสดงภาพส่วนสีเทาของภาพที่ ๒-๑๒) และเรียกกลุ่มของ Server เสมือนที่ถูกสร้างขึ้นว่า Template AVAYA Commnication Manager โดย Appliction ต่างๆ ของ AVAYA อาทิ CM Voicemail FAX, Full SIP ฯลฯ จะถูกติดตั้งลงบน Template นี้ (แสดงในส่วนสีส้มของภาพที่ ๒-๑๒) นอกจากนี้ ระบบ AVAYA System Platfrom นี้ยังสามารถใช้งานร่วมกับเทคโนโลยี ของ VM Ware อันเป็นเทคโนโลยีในปัจจุบันได้ด้วย

สำหรับการรใช้งานในส่วนของกองทัพอากาศ แต่เดิมที่ผ่านมาจะใช้เพียง Server ที่ทำหน้าที่เป็นระบบ Switching System เพียง Server เดียวเท่านั้น จึงทำให้ชุมสายโทรศัพท์สามารถให้บริการในรูปแบบชุมสายได้เพียงรูปแบบเดียวเท่านั้น แต่ในปัจจุบันด้วยเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าขึ้น การใช้ Server เดียวที่ทำหน้าที่อย่างเดียวเริ่มไม่ตอบสนองต่อการพัฒนาทางเทคโนโลยี และความต้องการของผู้รับบริการที่เปลี่ยนไปได้ กองทัพอากาศจึงได้เริ่มนำเทคโนโลยี Real Time Virtualization สำหรับชุมสายโทรศัพท์มาใช้งาน

เทคโนโลยี Real Time Virtualization ถูกนำมาใช้ครั้งแรกกับชุมสาย บน.๔๑ ตามโครงการปรับปรุงระบบชุมสายโทรศัพท์กองทัพอากาศ ในปี ๒๕๖๐ ด้วยเทคโนโลยีนี้ทำให้ชุมสายโทรศัพท์ของ บน.๔๑ มี Server เสมือนหลาย Server สำหรับระบบทำงานหลายระบบ อาทิ ระบบ Switching System Server (ระบบชุมสายหลัก), SIP Server (ระบบชุมสาย Soft Phone), ASBCE Server (ระบบเชื่อมต่อข่ายภายนอกผ่าน Internet), Utility Service Server (ระบบ File Server) ซึ่งทำให้ชุมสายโทรศัพท์ศัพท์ บน.๔๑ สามารถในบริการ ทั้งในรูปแบบชุมสายโทรศัพท์ปกติ และชุมสายภายในแบบ Mobile ได้

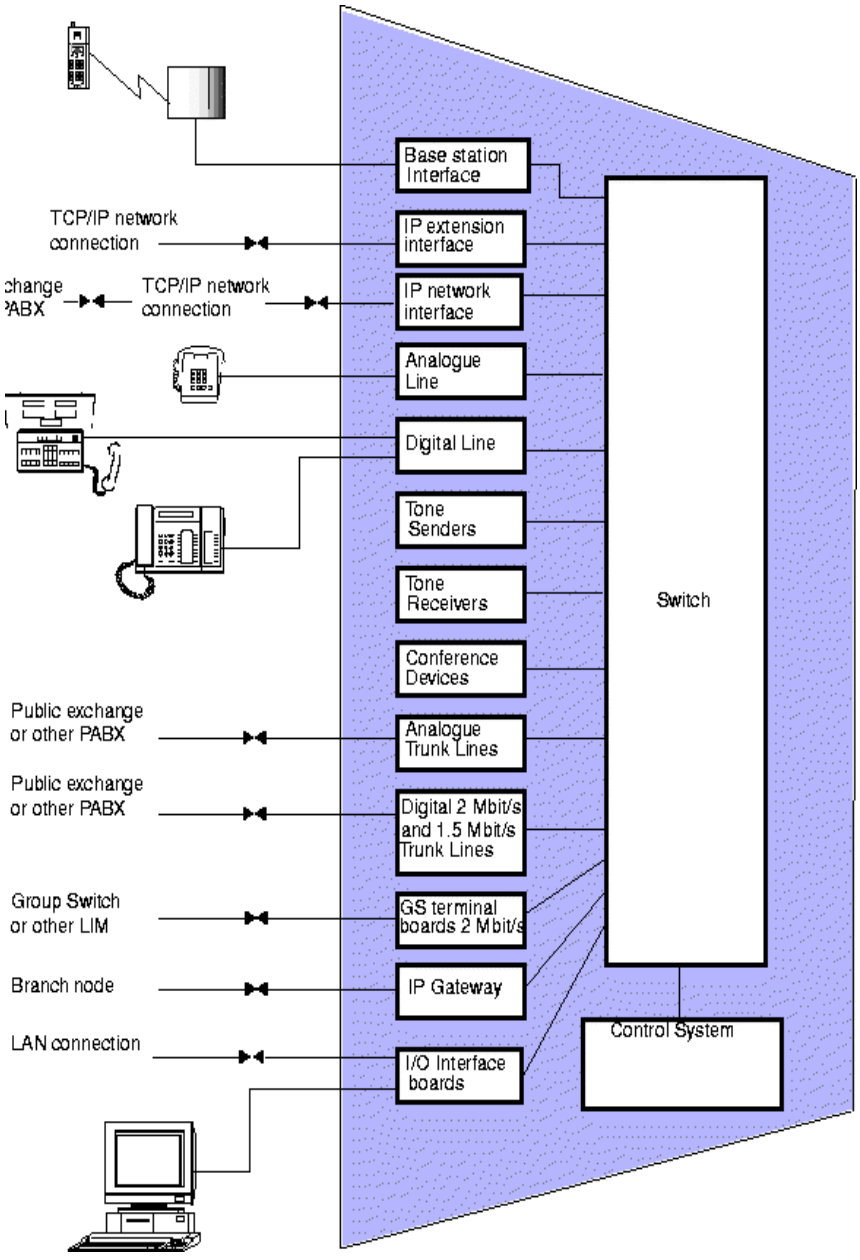
ด้วยความสามารถของเทคโนโลยี Real Time Virtualization นี้เอง ทำให้การพัฒนาเทคโนโลยีชุมสายโทรศัพท์ในอนาคตสามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่อง ยกตัวอย่างเช่น การพัฒนาระบบ AI บนระบบชุมสายโทรศัพท์, การติดตั้งระบบ Call Center, การติดตั้งระบบระบุตัวตนและการเข้าถึงผ่านการใช้งานโทรศัพท์ รวมถึงการใช้อุปกรณ์โทรศัพท์เป็นกุญแจสำหรับ Smart Office เป็นต้น

๒. ชุมสายโทรศัพท์ ERICSSON

ชุมสายโทรศัพท์ Ericsson รุ่น MX-ONE TSW จัดเป็นระบบชุมสายโทรศัพท์ SPC (Stored Program Controlled - Private Automatic Branch Exchange) ผลิตโดยบริษัทแอสตร้า ประเทศแคนาดา ซึ่งสามารถต่อเครื่องรับโทรศัพท์ใช้งานได้ทั้งแบบ Analog และ Digital รวมไปถึงการใช้งานร่วมกับ IP Phone และเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Extension) โดยอุปกรณ์ที่ติดทั้งในระบบใช้เทคนิคทาง Digital จึงทำให้มีความคล่องตัวในการใช้งานสูง ทั้งยังใช้งานได้กับโทรศัพท์แบบสัญญาณ Rotary และ Dual Tone Multi Frequency (DTMF) รวมถึงการเชื่อมต่อกับ Base Station เพื่อใช้งานร่วมกับเครื่องรับโทรศัพท์ไร้สาย (Cordless Telephone) สำหรับการเชื่อมต่อกับชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่น (องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย) สามารถเชื่อมต่อได้ทั้งแบบ Analog และ Digital Trunk

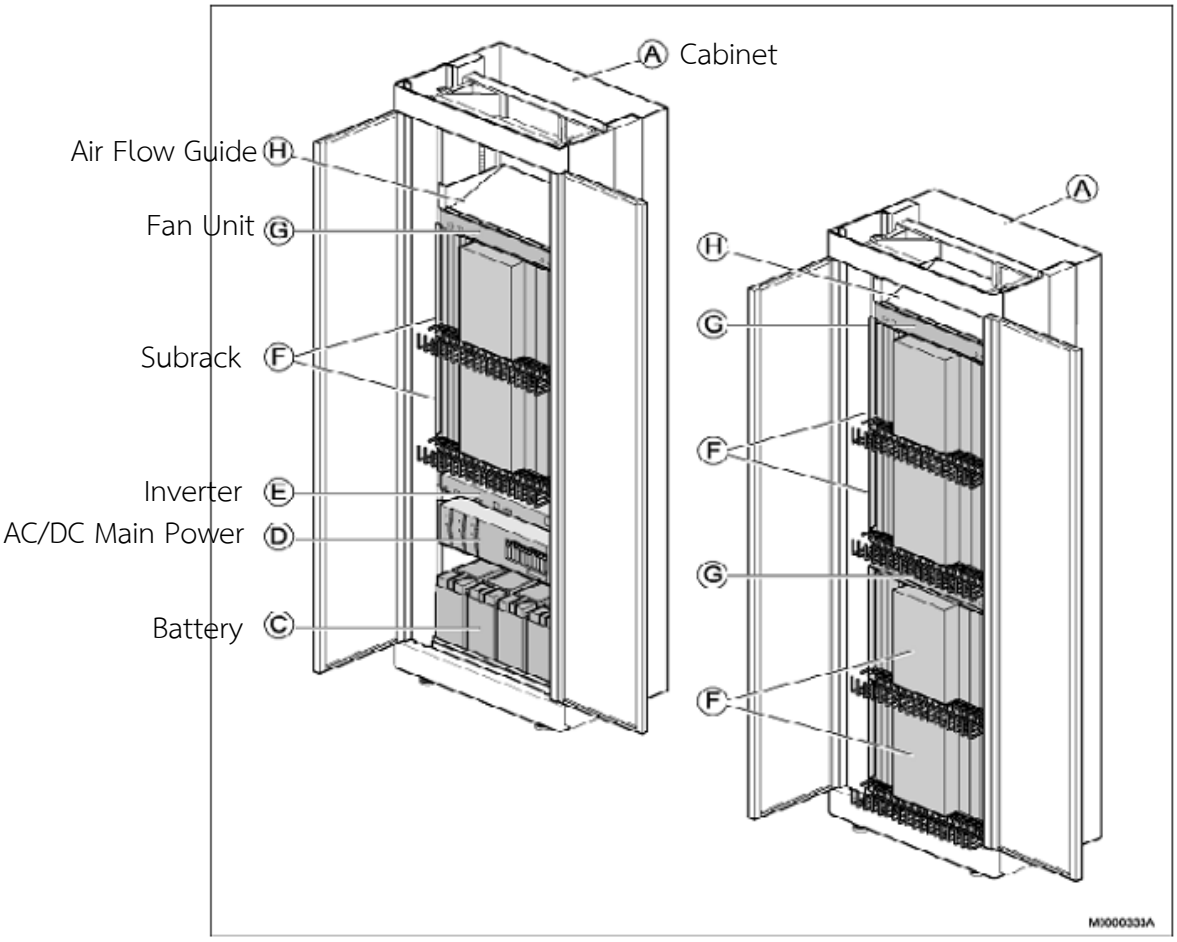
โครงสร้างการทำงานของ MX-ONE TSW เป็นแบบแยกส่วน (Decentralized Control) ดังอสดงในภาพ ๒-๑๓ โดยแต่ละส่วนทำงานเป็นอิสระ เปรียบเสมือนเป็นชุมสายเล็กๆ ที่เรียกว่า Line Interface Module (LIM) ซึ่งสามารถนำแต่ละส่วนไปติดตั้งตามสถานที่ต่างๆ ที่ห่างไกลกันได้ (Remote Switching) โดยจะทำการเชื่อมต่อแต่ละส่วนด้วยระบบ PCM (Pulse Code Modulation) และมีบริการพิเศษ (Facility) ต่างๆ มากมาย

โดยทั่วไป LIM หรือ MX-ONE TSW จะประกอบไปด้วย Magazine จำนวนไม่เกิน 4 Magazine ต่อหนึ่ง LIM และในแต่ Magazine จะมีชุด Control เพื่อเชื่อมต่อแต่ละ Magazine เข้าด้วยกัน ตามรายละเอียดภาพที่ ๒-๑๔ และ ๒-๑๕

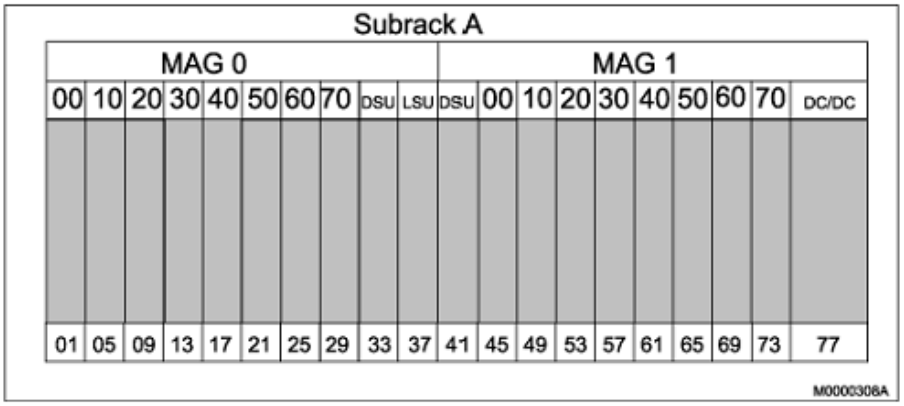


ภาพที่ ๒-๑๓ การเชื่อมต่อ MX-ONE TSW และอุปกรณ์ต่อร่วมในระบบ

<u>รายละเอียดอุปกรณ์ชุมสาย Ericsson แบบ MX-ONE TSW</u>



ภาพที่ ๒-๑๔ รายละเอียด Magazine ภายใน MX-ONE TSW

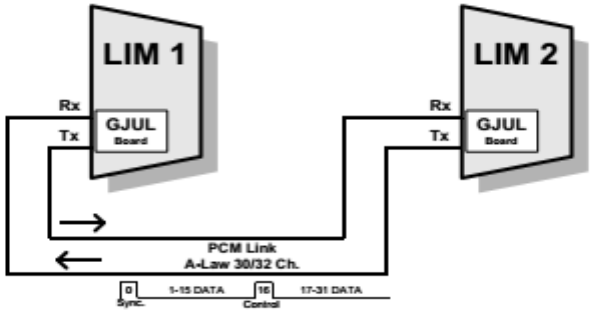


ภาพที่ ๒-๑๕ รายละเอียดโครงสร้าง MX-ONE TSW Magazine

<u>หลักการทำงานของชุมสาย Ericsson</u>

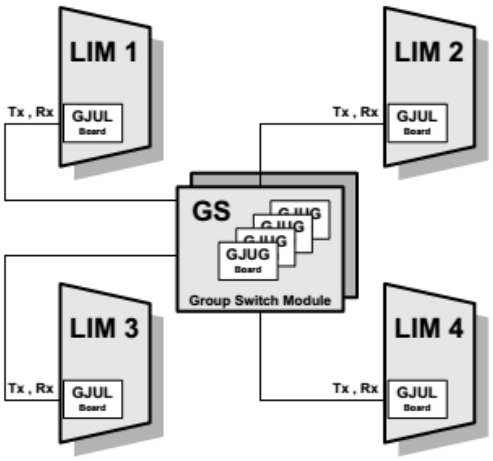
โดยปกติในแต่ละ LIM สามารถขยายจำนวนเลขหมายภายในได้สูงสุดถึง ๖๔๐ เลขหมาย ถ้าต้องการขยายชุมสายโทรศัพท์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น จะต้องทำการเพิ่ม LIM โดยใช้ PCM Link (A Law 30/32 Ch.)

โดย Time Slot ที่ ๑ ถึง ๑๕ และ Time Slot ที่ ๑๗ ถึง ๓๑ จะถูกใช้สำหรับ Voice และ Data ส่วน Time Slot ที่ ๐ ใช้เป็น Synchronization Signal และ Time Slot ที่ ๑๖ ใช้เป็น Control Signal และหากมีจำนวนไม่เกิน 2 LIMs ก็สามารถนำแต่ละ LIM เชื่อมต่อกันโดยผ่านทาง PCM Link ได้โดยตรงดังรูป



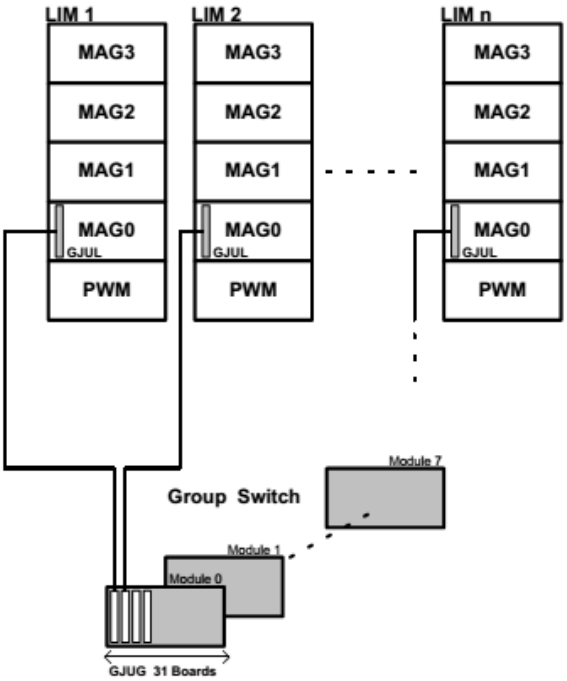
ภาพที่ ๒-๑๖ การเชื่อมต่อระหว่าง MX-ONE TSW (2 LIMs without Group Switch)

ในกรณีที่มีจำนวน LIM มากกว่า 2 LIMs ขึ้นไป การเชื่อมต่อด้วย PCM จะต้องผ่านทาง GS (Group Switch) สำหรับการเชื่อมต่อระหว่าง LIM ดังรูป



ภาพที่ ๒-๑๗ การเชื่อมต่อระหว่าง LIM ผ่าน Group Switch

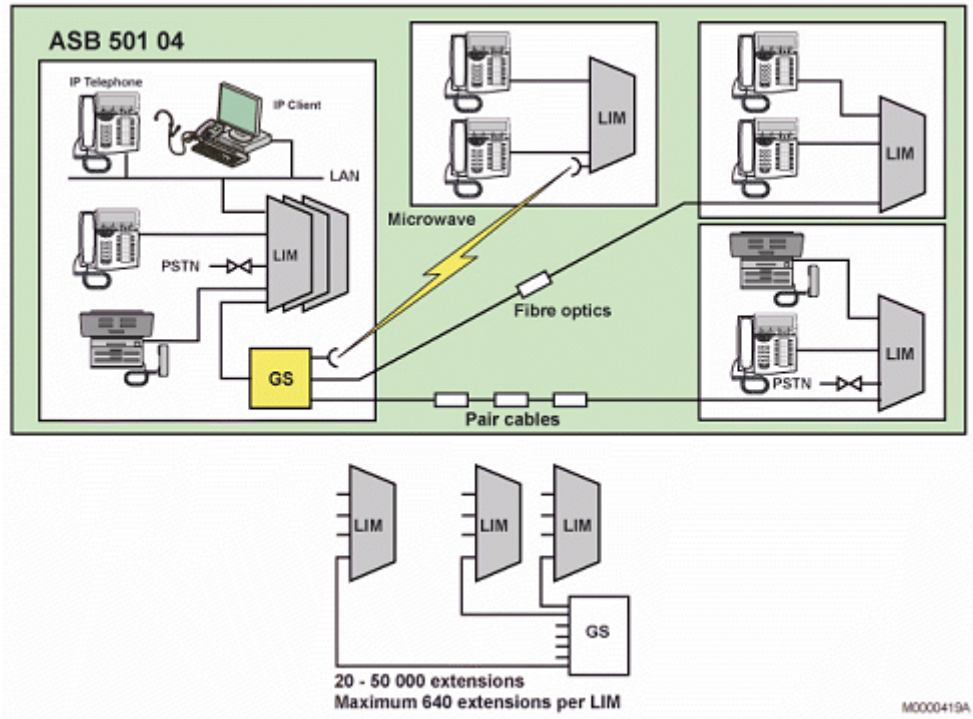
การเชื่อมต่อระหว่าง LIM ด้วยกันเอง หรือระหว่าง LIM กับ Group Switch โดยใช้ PCM Link ตามปกติจะใช้ เพียง 2 PCM Links แต่ถ้ามีการติดต่อผ่าน LIM สูงมาก ก็อาจเพิ่มเป็น 3 PCM Link ซึ่งสูงสุดไม่เกิน 8 PCM Links และเพื่อให้ระบบมีความเชื่อถือได้สูงจึงสามารถจัดให้มี Group Switch เป็น ๒ ชุด โดยเมื่อชุดใดชุดหนึ่งเกิดขัดข้องอีกชุดจะทำงานแทนที่กันโดยอัตโนมัติ



ภาพที่ ๒-๑๘ การเชื่อมต่อระหว่าง LIM และ Group Switch

การเชื่อมต่อจาก LIM โดยใช้ PCM Link จะถูกต่อจาก GJUL Board ใน LIM มาเข้าที่ Group Switch ที่ GJUG Board โดยที่ในแต่ละ Time Switch Module สามารถเชื่อมต่อกับ PCM Link ได้ 31 PCM Links หรือสามารถต่อกับ GJUG Board ได้ 31 Boards

การขยาย Group Switch เพิ่มขึ้น ก็ต้องทำการเพิ่ม Time Switch Module เข้าไปด้วย โดยสามารถขยายได้สูงสุด 8 Modules รวม 248 PCM Links โดย Group Switch ไม่มีส่วนควบคุมการทำงาน แต่จะถูกควบคุมโดยตรงจาก LIM ซึ่ง GJUG Board ใน Group Switch จะบรรจุไว้ด้วย Micro Processor มีหน้าที่เป็นตัวติดต่อกับ LIM โดยผ่านทาง Time Slot ที่ 16 และอุปกรณ์ต่างๆ ใน Group Switch ยังถูกจัดเรียงในตู้เช่นเดียวกับใน LIM โดยจัดแถวในรูปของ Switch Matrix และสอดคล้องกับ GJUG ทั้ง 31 Boards



ภาพที่ ๒-๑๙ Example of Configurations without a Group Switch

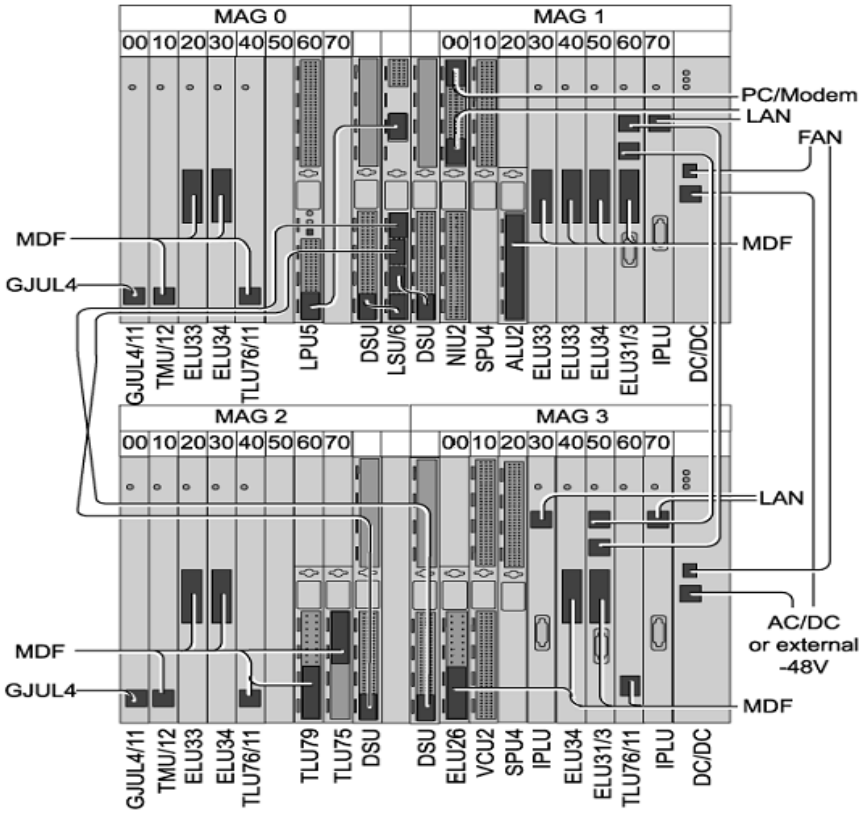
<u>ชนิดของ BOARD ต่างๆ ภายในระบบ</u>

๑. อุปกรณ์เชื่อมต่อวงจรการสนทนา

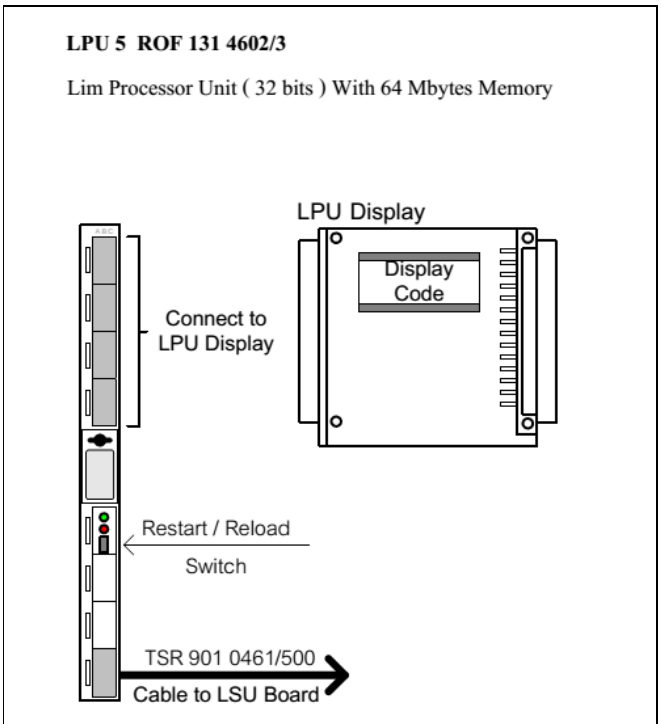
เป็น Digital Switching Network ขนาด 1024 Time Slots แบบ Non-Blocking (สามารถติดตั้ง Board สายในหรือสายนอก ในช่องเสียบ Board เดียวกันได้) ภายใน Time Switch ประกอบด้วย Basic Board หรือ Lim Switch Unit (LSU) ซึ่งในแต่ละ LIM มีจานวน 1 Board และ Supplementary Board หรือเรียกว่า Distributed Switch Unit (DSU) แต่ละ Magazine มีจำนวน 1 Board แต่ละ Board มีขนาด 256 Time Slots

๒. อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบ (Lim Processor Unit) อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบ ประกอบด้วย

๒.๑ Processor Board หรือเรียกว่า Lim Processor Unit (LPU) และหน่วยความจำ ซึ่งเรียกว่า Dynamic RAM (DRAM) ในส่วนของ LPU ประกอบด้วย Micro Processor ชนิด 32 Bits ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานภายใน LIM



ภาพที่ ๒-๒๐ การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ Switching ภายใน LIM



ภาพที่ ๒-๒๑ Processor Board หรือ Lim Processor Unit (LPU)

๒.๒ อุปกรณ์สายใน Analog (Extension Line Unit - Analog)

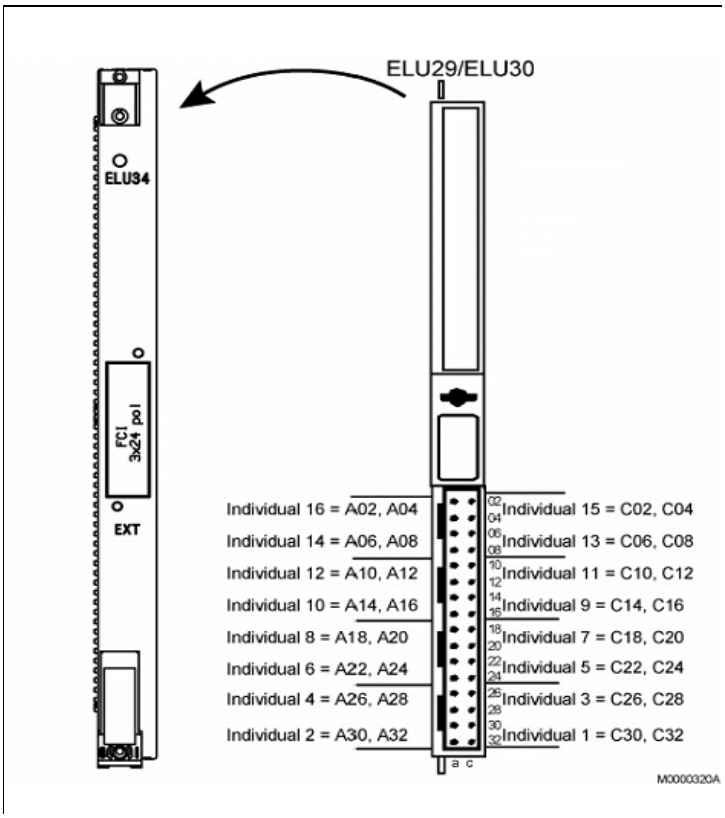
มีหน้าที่เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างเครื่องโทรศัพท์ Analog และ Time Switch การเปลี่ยนสัญญาณ Analog ให้เป็นสัญญาณทาง Digital ถูกกระทำใน Board ของ ELU-A โดยใช้วงจร CODEC สำหรับใน ELUA จำนวน 1 Board ประกอบด้วย Analog Line ขนาด ๘, ๑๖ และ ๓๒ เลขหมาย ขึ้นกับชนิดของ Board เช่น

๒.๒.๑ ELU11 (Old) Analog Extension (8 Circuits / Board)

๒.๒.๒ ELU29 (Old) Analog Extension (16 Circuits / Board)

๒.๒.๓ ELU30 (Old) Analog Extension (12 Circuits / Board)

๒.๒.๔ ELU34 (New) Analog Extension (32 Circuits / Board)



ภาพที่ ๒-๒๒ Extension Line Unit (Analog)

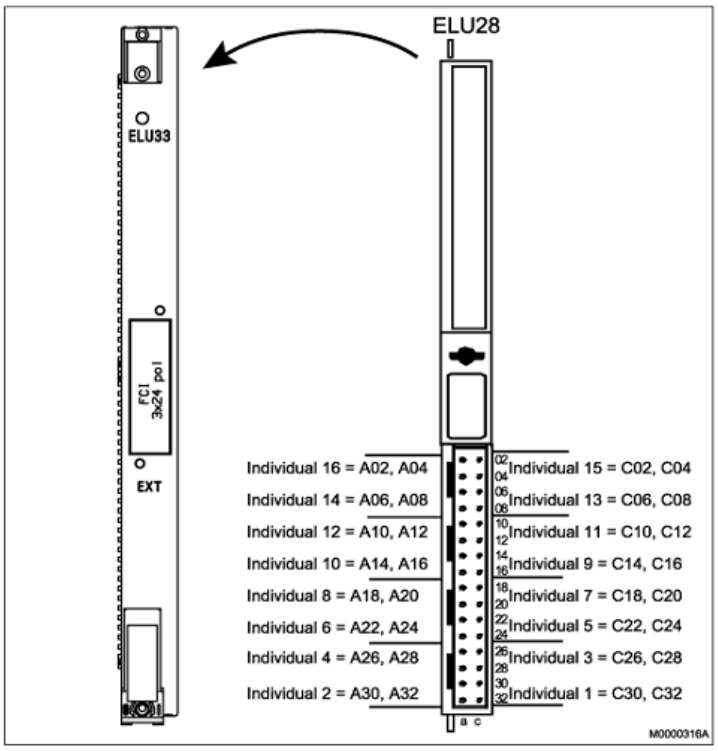
๒.๓ อุปกรณ์สายใน Digital (Extension Line Unit - Digital)

มีหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างเครื่องโทรศัพท์ Digital หรือ Operator Console และ Time Switch การเปลี่ยนสัญญาณ Analog เป็น Digital จะถูกกระทำตั้งแต่ในเครื่องโทรศัพท์ Digital นั้น หรือใน Operator Console สำหรับใน ELU-D 1 Board ประกอบด้วย Digital Line ขนาด ๘, ๑๖ และ ๓๒ เลขหมาย ขึ้นอยู่กับชนิดของ Board เช่น

๒.๓.๑ ELU5, ELU25 (Old) Digital Extension (8 Circuits / Board)

๒.๓.๒ ELU28 (Old) Digital Extension (16 Circuits / Board)

๒.๓.๓ ELU33(New) Digital Extension (32 Circuits / Board) With Line Filter Unit



ภาพที่ ๒-๒๓ Extension Line Unit (Digital)

๒.๔ อุปกรณ์สายใน Cordless (Extension Line Unit - DECT)

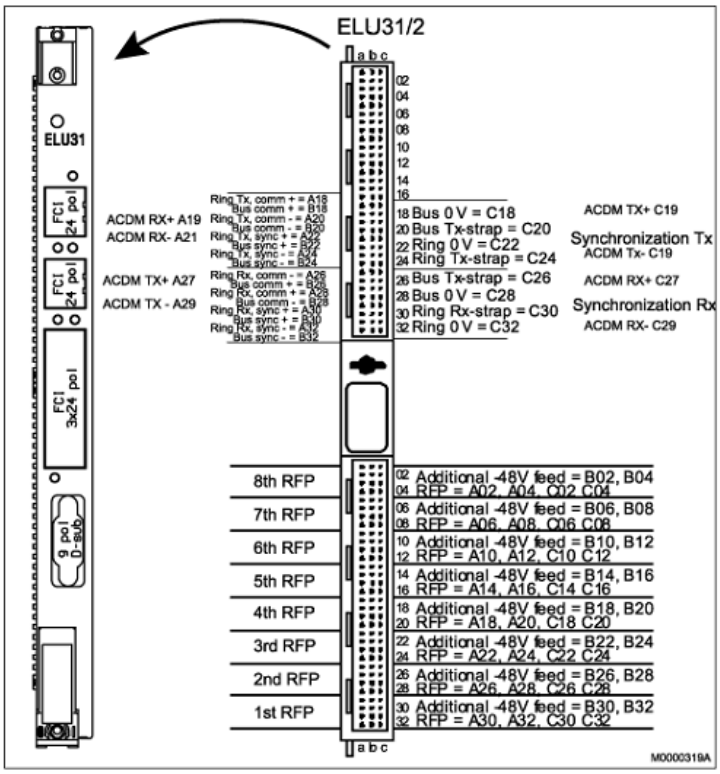
มีหน้าที่เชื่อมต่อกับ DECT Radio Base Stations เพื่อส่งสัญญาณให้เครื่อง DECT (Cordless extension) สำหรับ ELU31 สามารถเชื่อมต่อได้ 8 Base station เช่น ELU31 DECT Radio Base Stations (8 Base / Board)

๒.๕ อุปกรณ์สายใน VoIP (Extension Line Unit - VoIP)

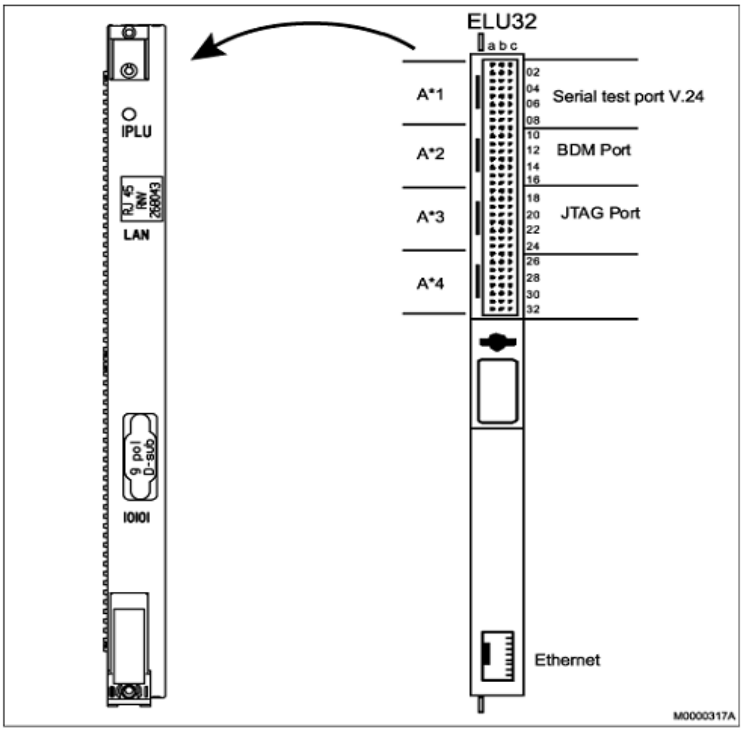
เป็น Board ที่ใช้ต่อแบบ VoIP สามารถเชื่อมต่อ ๒ แบบคือ ใช้เชื่อมต่อเป็น Extension (IP Phone) หรือ ใช้เชื่อมต่อเป็น Trunk (IP Trunk) เช่น

๒.๕.๑ ELU32 (Old) IP Extension or IP Trunk

๒.๕.๒ IPLU (New) IP Extension or IP Trunk



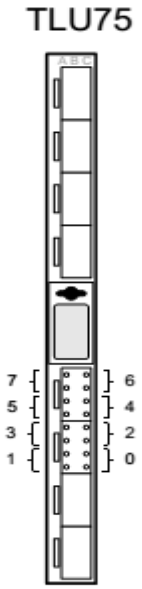
ภาพที่ ๒-๒๔ Extension Line Unit (DECT)



ภาพที่ ๒-๒๕ Extension Line Unit (VoIP)

๒.๖ อุปกรณ์สายนอก Analog PSTN (Trunk Line Unit - Analog)

Analog Trunk Circuit มีหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างตู้สาขากับชุมสายท้องถิ่นหรือ PABX อื่นๆ ที่เป็นสัญญาณ Analog ด้วยกัน การเปลี่ยนสัญญาณ Digital เป็น Analog จะถูกกระทำใน Board TLU-A โดย CODEC เช่นเดียวกับ ELU-A โดยใน TLU-A จำนวน 1 Board ประกอบด้วย Analog Trunk 8 Trunks ขึ้นอยู่กับชนิดของ Board เช่น TLU75 Analog Trunk (8 Circuits / Board) With Line Filter Unit



ภาพที่ ๒-๒๖ Analog Trunk Circuit

๒.๗ อุปกรณ์สายนอก Digital PSTN (Trunk Line Unit - Digital)

Digital Trunk Circuit มีหน้าที่เป็นวงจรเชื่อมต่อระหว่าง ตู้สาขากับชุมสายท้องถิ่นหรือ PABX อื่นๆ ที่เป็น Digital ด้วยกันโดย TLU-A จำนวน 1 Board ประกอบด้วย Digital Trunk จำนวน 30 Trunks ได้แก่

E1, DID : Direct Inward Dialing

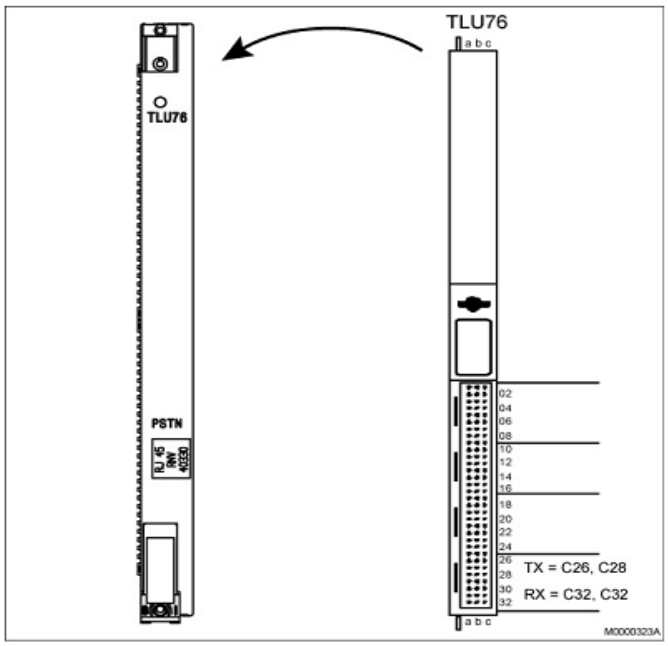
๒.๗.๑ TLU20 Digital Trunk, PSTN (30/32 Circuits / Board)

๒.๗.๒ TLU76/3, TLU76/13 Digital Trunk, PSTN (30/32 Circuits / Board)

ISDN: Integrated Service Digital Networks

๒.๗.๓ TLU64/1 Digital Trunk, ISDN PRI (30B+D)

๒.๗.๔ TLU76/1, TLU76/11 Digital Trunk, ISDN PRI (30B+D)



ภาพที่ ๒-๒๗ Digital Trunk Circuit

๒.๘ อุปกรณ์สายนอก Digital Tie Line (Trunk Line Unit - Digital)

Digital Tie Line Circuit มีหน้าที่เป็นวงจรเชื่อมต่อระหว่าง ตู้สาขา MD-110 กับตู้สาขา MD-110 ที่เป็น Digital ด้วยกัน โดย TLU-D จำนวน 1 Board ประกอบด้วย Digital Tie Line จำนวน 30 Trunks ได้แก่

ISDN : Integrated Service Digital Networks

๒.๘.๑ TLU64 Digital Tie line, Q-SIG (30/32 Circuits / Board)

๒.๘.๒ TLU76/1, TLU76/11 Digital Tie line, Q-SIG (30/32 Circuits / Board)

DPNSS : Digital Private Networks Signaling System

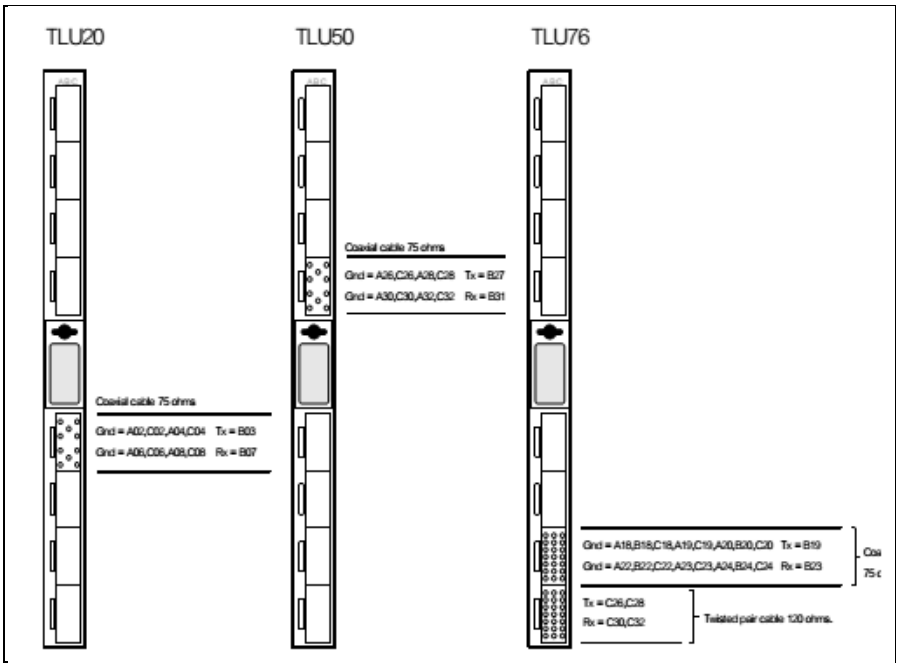
๒.๘.๓ TLU50 Digital Tie line, DPNSS (30/32 Circuits / Board)

๒.๘.๔ TLU76/2, TLU76/12 Digital Tie line, DPNSS (30/32 Circuits / Board)

CAS: Channel Associated Signaling System

๒.๘.๕ TLU20 Digital Tie line, CAS (30/32 Circuits / Board)

๒.๘.๖ TLU76/3, TLU76/13 Digital Tie line, CAS (30/32 Circuits / Board)



ภาพที่ ๒-๒๘ Digital Tie Line Circuit

๒.๙ อุปกรณ์สำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก

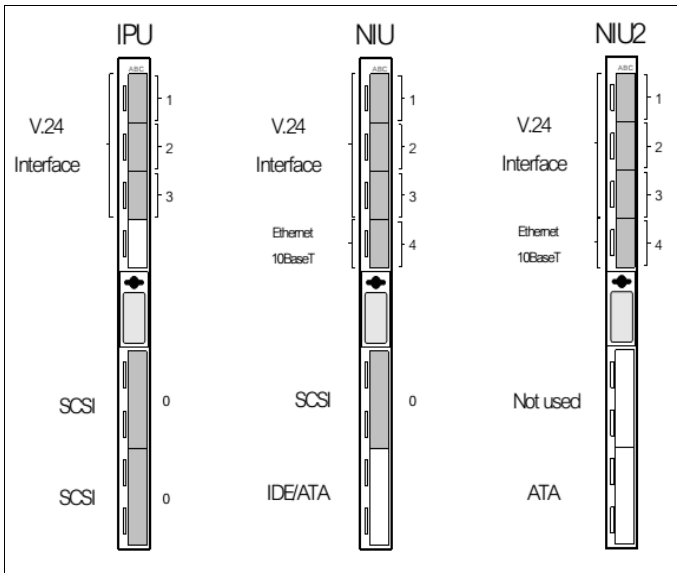
I/O Terminal Interface Unit มีหน้าที่เชื่อมต่อกับ Hard Disk และ I/O Equipment อื่นๆ โดยในการต่อ Hard Disk ก็เพื่อการเก็บข้อมูลทั้งหมดของชุมสายโทรศัพท์ ซึ่งเมื่อเกิดการทำงานล้มเหลว ระบบจะดึงข้อมูลเหล่านี้ป้อนกลับไปใช้ได้อีกสำหรับการต่อ Computer Terminal ก็เพื่อประโยชน์ในการเปลี่ยนแปลงแก้ไขหรือเพิ่มเติมข้อมูล รวมถึงการซ่อมบำรุง โดยปกติจะมี I/O Terminal Interface Unit เพียง Board เดียวโดยเมื่อติดตั้งที่ LIM ใดก็จะเรียก LIM นั้นว่า I/O LIM เช่น

๒.๙.๑ IPU I/O Terminal Interface Unit

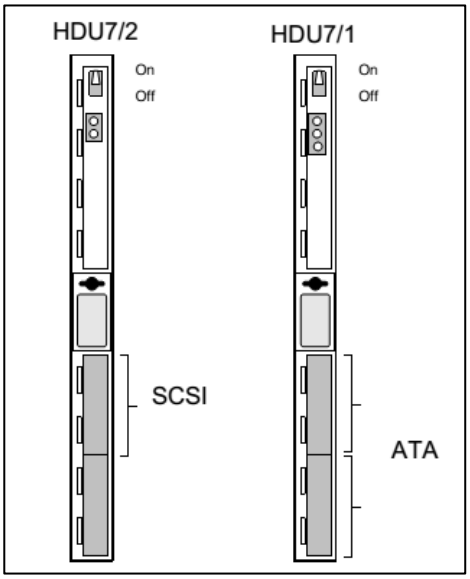
๒.๙.๒ NIU, NIU2 Network Interface Unit

๒.๑๐ อุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลของระบบ

Compact Flash หรือ Hard Disk Unit จัดเป็นอุปกรณ์ภายยนอกระบบ โดยทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์เก็บสำรองข้อมูลของระบบทั้งหมด เพื่อเป็นแหล่งข้อมูลสำหรับกรณีที่ระบบเกิดการทำงานล้มเหลวสิ้นเชิง หรือกรณีที่ระบบไฟฟ้าขัดข้อง และระบบสำรองไฟหมด โดยเหตุการณ์ทั้งสองจะทำให้ข้อมูลภายในหน่วยความจำชั่วคราว (Memory Unit) สูญหาย



ภาพที่ ๒-๒๙ I/O Terminal Interface Unit



ภาพที่ ๒-๓๐ Compact Flash หรือ Hard Disk Unit

๒.๑๑ อุปกรณ์รับ/ส่งสัญญาณ Tone และประชุมทางโทรศัพท์

Tone and Multiparty Conference Unit (TMU) มีหน้าที่กำเนิดและส่งสัญญาณต่างๆ เช่น Dial Tone, Special Dial Tone, Busy Tone, Call Waiting Tone, Ring back Tone, Congestion Tone, Number Unobtainable Tone และ Intrusion Tone เป็นต้น ทั้งยังทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์รับสัญญาณการกดเลขหมายของผู้เรียก, เชื่อมวงจรการสนทนาระหว่างผู้เรียกภายนอกหรือภายในกับพนักงานโทรศัพท์ รวมถึงเชื่อมต่อวงจรการสนทนาแบบประชุม (Conference) ตั้งแต่ ๓ ถึง ๘ เลขหมาย และส่งผ่านสัญญาณดนตรีพักสาย (Music On Hold) ตัวอย่างอุปกรณเช่น TMU Tone and Multiparty Conference Unit (32 Circuits/Board, 8Board/LIM Max.)

๒.๑๒ อุปกรณ์จ่ายไฟภายใน Magazine

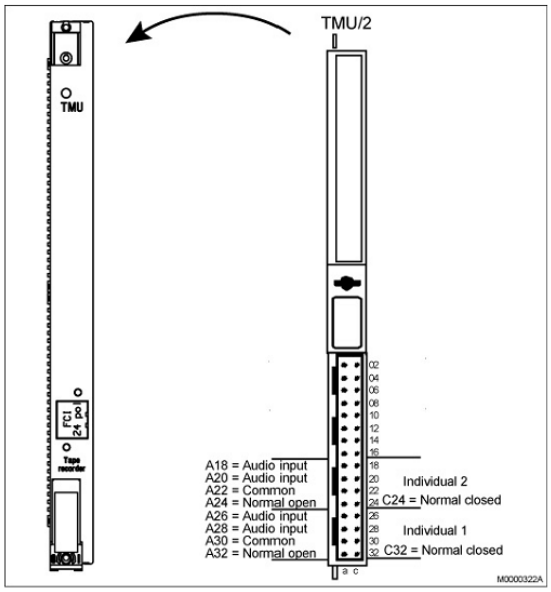
Power Unit มีหน้าที่ในการปรับระดับแรงดันไฟ 48V ที่รับมาจาก PWM (Power Module) ให้เป็น ๔ ระดับคือ + 5V, -5V, +12V, -12V เพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์ที่ติดตั้งบน Board ต่างๆ ใน Magazine เดียวกัน เช่น

๒.๑๒.๑ PU4DC* Power Unit

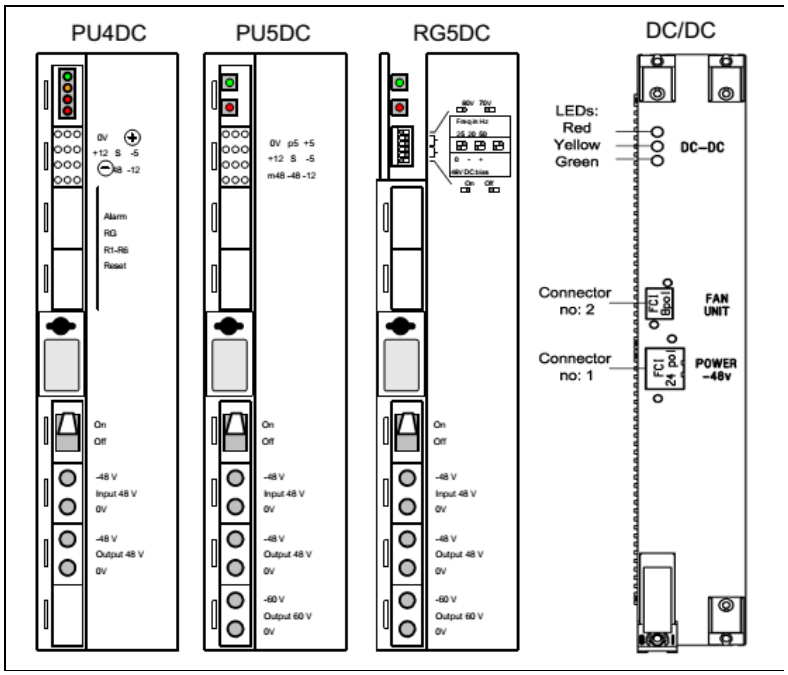
๒.๑๒.๒ PU5DC* Power Unit

๒.๑๒.๓ RG5DC (Old for old LBP) Power Unit with Ringing Equipment

๒.๑๒.๔ DC-DC Converter (New for LBP22)



ภาพที่ ๒-๓๑ Tone and Multiparty Conference Unit (TMU)



ภาพที่ ๒-๓๒ Power Unit

บริการพิเศษ (Extension Facility)

ชุมสาย Ericsson มีบริการพิเศษที่สำคัญที่ให้บริการแก่ผู้ใช้งาน ดังนี้

๓.๑ การรับสายหลัง Operator เลิกงาน (Night Service) เป็นการกำหนดให้เลขหมายใดๆ เป็นผู้รับสายแทนพนักงานสลับสาย (Operator) หลังจากปิดเครื่อง

๓.๒ การพักสายเพื่อสอบถามไปยังเลขหมายอื่น (Hold for Enquire) ในขณะที่เลขหมายภายในกำลังติดต่อกับสายในหรือสายนอกก็ตาม สามารถพักสายนั้นและทำการติดต่อกับหมายเลขอื่นๆได้ อาจเป็นเลขหมายภายใน, ภายนอกหรือพนักงานสลับสายก็ได้ เมื่อสนทนาเสร็จก็สามารถกลับมาพูดกับสายเดิมที่พักอยู่ จะติดต่อกลับไปกลับมากี่ครั้งก็ได้

๓.๓ การโอนสาย (Transfer of Call) ในขณะที่ติดต่อกับเลขหมายใดเลขหมายหนึ่งอยู่ สามารถโอนสายให้เลขหมายนั้นไปติดต่อกับเลขหมายอื่นได้ทั้งโดยอัตโนมัติหรือผ่านพนักงานสลับสายก็ตาม

๓.๔ การประชุมทางโทรศัพท์ (Conference) ความสามารถในการให้เลขหมายต่างๆ เข้ามาสนทนาร่วมกันได้ตั้งแต่ ๓ ถึง ๘ เลขหมาย

๓.๕ การจองสายเรียกกลบกรณีสายไม่ว่าง (Call Back on Busy) การที่ผู้เรียก ทำการเรียกไปยังเลขหมายใดๆ แต่เลขหมายนั้นไม่ว่าง ก็ สามารถบังคับให้มีการเรียกกลับมายังผู้เรียกทันทีที่เลขหมายนั้นว่างลง

๓.๖ การจองสายเรียกกลบกรณีไม่มีคนรับสาย (Call Back on No Reply) การที่ผู้เรียกทำการเรียกไปยังเลขหมายใดๆ แต่หมายเลขนั้นไม่มีผู้รับสาย สามารถบังคับให้มีการเรียก กลับมายังผู้เรียกทันที ที่เลขหมายนั้นมีการใช้งาน ๑ ครั้ง

๓.๗ การจองสายเรียกกลบกรณีสายนอกของระบบเต็ม (Automatic Call Back if Trunk External Line Busy) การที่ผู้เรียกทำการเรียกไปยังเลขหมายสายนอกใดๆ แต่วงจรของสายนอกนั้นไม่ว่าง สามารถบังคับให้มีการเรียกกลับมายังผู้เรียกใหม่ได้ ทันทีที่มีวงจรสายนอกว่าง

๓.๘ การส่งสัญญาณเพื่อเตือนวามสายมารออยู่ (Call Waiting) การที่ผู้เรียกทำการเรียกไปยังเลขหมายใดๆ แต่เลขหมายนั้นไม่ว่าง ก็สามารถส่งสัญญาณเตือน (Waiting Tone) ให้เลขหมายนั้นได้เมื่อเลขหมายนั้นวางหูลงก็จะได้รับสัญญาณเรียก และติดต่อกันได้ทันทีเมื่อยกหูตอบรับ

๓.๙ การแทรกสาย (Intrusion) การที่ผู้เรียกทำการเรียกไปยังเลขหมายใดๆ แต่เลขหมายนั้น ไม่ว่าง ก็สามารถส่งสัญญาณแทรกสาย (Intrusion Tone) พร้อมกับพูดแทรกการสนทนานั้นได้ (หรืออาจตัดให้เลขหมายนั้นว่างลงได้ถ้าเป็นพนักงานสลับสาย)

๓.๑๐ การฝากสายไปยงจุดรับสายส่วนรวม (Common Call Diversion) การที่ผู้เรียกทำการเรียกไปยังเลขหมายใดๆ ภายในชุมสาย แต่เลขหมายนั้นไม่มีผู้ตอบรับในระยะเวลาที่กำหนด (เช่น 15วินาที) สามารถทำให้สัญญาณเรียกไปดังในเครื่องที่กำหนดได้

๓.๑๑ การฝากสายกรณีไม่มีคนรับสาย (Call Diversion on No Reply) การที่เมื่อมีการเรียกเลขหมายหนึ่ง แต่เลขหมายนั้นไม่มีผู้ตอบรับในระยะเวลาที่กำหนด เช่น ๑๒ วินาทีก็สามารถทำให้ สัญญาณเรียกไปดังที่เลขหมายอื่นตามที่กำหนดไว้

๓.๑๒ การฝากสายกรณีสายไม่ว่าง (Call Diversion on Busy) การที่เมื่อมีการเรียกไปยังเลขหมายใดๆ แต่เลขหมายนั้นไม่ว่าง สามารถทำให้สัญญาณเรียก ไปดังที่เลขหมายอื่นตามที่กำหนดไว้

๓.๑๓ การฝากสายตามตัว (Follow Me) การโปรแกรมที่เครื่องโทรศัพท์ เพื่อให้เปลี่ยนจุดรับสายไปยังหมายเลขอื่น

๓.๑๔ การเปลี่ยนจุดรับสายจากปลายทาง

๓.๑๕ การยกเลิกฝากสายโดยชั่วคราว เมื่อเราทราบว่าเบอร์นี้ทำการฝากสายอยู่ และต้องการที่จะสนทนากับสายนี้ด่วน

๓.๑๖ การจัดกลุ่มช่วยรับสาย (Group Hunting) การจัดกลุ่มเลขหมายโทรศัพท์หลายๆ เลขหมาย โดยมีเลขหมายประจำกลุ่มเพียง ๑ เลขหมาย โดยเมื่อมีการเรียกมายัง เลขหมายประจำกลุ่ม สัญญาณเรียกจะไปดังที่เลขหมายในเครื่องโทรศัพท์ที่ว่างอยู่ภายในกลุ่มโดยอัตโนมัติ

๓.๑๗ การฝากสายตามตัว (External Follow Me) การโปรแกรมที่เครื่องโทรศัพท์ เพื่อให้เปลี่ยนจุดรับสายไปยังหมายเลขอื่น ๆ เช่น เบอร์ที่บ้าน หรือ มือถือ เป็นต้น

๓.๑๘ การฝากสายของทั้งกลุ่มของ Group Hunting การโปรแกรมที่เครื่องโทรศัพท์ เพื่อให้เปลี่ยนจุดรับสายของกลุ่ม Group Hunting

๓.๑๙ การทำเลขย่อส่วนตัว (Individual Abbreviated Dialing) การทำให้โทรศัพท์เลขหมายใดๆ หมุนเลขหมายย่อ (Abbreviated Number) เพื่อติดต่อกับหมายเลขอื่นที่ ตั้งไว้ล่วงหน้าเมื่อทำการโปรแกรมผ่าน PC เสร็จสิ้น ก็สามารถเรียกใช้งานเลขย่อได้ทันที

๓.๒๐ การทวนเลขหมายสุดท้าย (Last External Number Redial) เมื่อผู้ใช้โทรศัพท์ติดต่อกับหมายเลขภายนอกเลขหมายใดๆ ครั้งสุดท้าย เมื่อต้องการเรียกเลขหมายนั้นอีกครั้งก็สามารถทำได้

๓.๒๑ การทำสายตรงผ่านตู้สาขาโทรศัพท์ (Direct in Dialing) ความสามารถในการเรียกเข้า จากภายนอกถึงเครื่องรับภายใน ทั้งโดยผ่านหรือไม่ผ่านพนักงานสลับสายก็ได้

๓.๒๒ การรับสายแทนกัน (Call Pick Up) การที่เมื่อมีสัญญาณเรียกมายังเลขหมายใดๆ สามารถใช้โทรศัพท์เลขหมายอื่นรับสายแทนได้ รวมทั้งสามารถรับสายจากโทรศัพท์ที่พักสายอยู่ได้

๓. ชุมสายโทรศัพท์ NORTEL

<u>กล่าวนำทั่วไป</u>

ชุมสายโทรศัพท์ NORTEL ที่ใช้งานในกองทัพอากาศเป็นแบบ Meridian 1 มีใช้งานอยู่ ๒ ชุมสาย คือ ชุมสาย ส.ทอ.บนอ. (ให้บริการบ้านพักฝั่งดอนเมือง) และชุมสายทุ่งสีกัน (ให้บริการบ้านพักฝั่งทุ่งสีกัน)

<u>ส่วนประกอบของระบบ</u>

ชุมสายโทรศัพท์ Meridian 1 มีส่วนประกอบหลัก ๓ ส่วน ซึ่งแต่ละส่วนมีหน้าที่และการทำงานแตกต่างกัน ซึ่งทั้งสามส่วนจะถูกต่อเชื่อมเข้าด้วยกันเพื่อที่จะสามารถทำหน้าที่ของชุมสายโทรศัพท์ได้ ส่วนประกอบหลัก ๓ ส่วน ได้แก่

๑. Peripheral Equipment (PE) มีหน้าที่หลัก คือ จัดการเชื่อมต่อ (Connection) ให้กับเครื่องโทรศัพท์และวงจรเชื่อมต่อแบบอนาล็อก (Analog Trunk) ซึ่งอุปกรณ์ในส่วนของ PE จะถูกจัดรวมเข้าเป็นกลุ่มเพื่อเชื่อมการทำงานกับ Network Equipment ต่อไป อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อ ได้แก่

๑.๑ เครื่องโทรศัพท์ชนนิดต่างๆ และอุปกรณ์ Data Terminal เช่น เครื่องโทรศัพท์แบบอนาล็อก และเครื่องโทรศัพท์แบบดิจิตอล

๑.๒ ชุดโทรศัพท์สำหรับพนักงานโทรศัพท์กลาง (Attendant Console)

๑.๓ วงจรเชื่อมต่อแบบอนาล็อกชนิดต่างๆ (Analog Trunk) เช่น Loop-Start Trunk และ E&M Trunk

๑.๔ ชุด Music Source สำหรับให้กำเนิดเสียงดนตรี

๑.๕ ชุด Announcement สำหรับบันทึกเสียงตอบรับ

๑.๖ ชุด Paging สำหรับใช้ร่วมกับระบบวิทยุติดตามตัว

นอกจากนี้ใน PE ยังมีการ์ดที่ทำหน้าที่อื่น (ไม่ได้ทำหน้าที่เชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์ภายนอก) ได้แก่ Ringing Generator, Tone Detection (DTR) และ Network Interface เป็นต้น

๒. Network Equipment (NE) มีหน้าที่หลัก คือ จัดการเชื่อมต่อ (Connection) ระหว่าง PE กับ NE รวมทั้งจัดการเชื่อมต่อให้กับวงจรเชื่อมต่อแบบดิจิตอล (Digital Trunk) และเชื่อมการทำงานของ Serial Device กับหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ใน Control Equipment อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อได้แก่

๒.๑ วงจรเชื่อมต่อแบบดิจิตอล (Digital Trunk)

๒.๒ ชุด Teletype และเครื่องพิมพ์สำหรับระบบควบคุมชุมสายโทรศัพท์

๒.๓ โมเด็มสำหรับการเชื่อมต่อระยะไกล (Remote Accress)

๒.๔ ชุด Call Detail Recording (CDR) สำหรับเก็บข้อมูลการใช้โทรศัพท์ภายในชุมสายโทรศัพท์และการตัดออกภายนอก

๒.๕ ชุด Auxiliary Processor สำหรับระบบเสริมอื่นๆเช่น ชุดVoice Mail

๒.๖ Peripheral Equipment โดยที่ PE จะถูกเชื่อมการทำงานกับ NE โดยผ่าน Network Interface

๒.๗ Tone and Digit Out-Pulsing Control ใช้สำหรับควบคุมการส่งสัญญาณ Tone และ Digit ทั้งหมดภายในชุมสาย

๒.๘ Conference Bridge ใช้สำหรับสนับสนุนการการประชุมทางโทรศัพท์

๓. Control Equipment (CE) มีหน้าที่หลัก คือ ควบคุมการทำงานทั้งหมดภายในระบบ จัดเก็บข้อมูลของระบบและของผู้ใช้ทั้งหมด โดยที่ CE จะทำหน้าที่ เชื่อมการทำงานระหว่าง CPU กับหน่วยความจำ (Memory) และระหว่าง CPU กับหน่วยจัดเก็บข้อมูล (Storage) อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อได้แก่

๓.๑ CPU หรือหน่วยประมวลผลกลาง มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของชุมสายโทรศัพท์

๓.๒ Memory หรือหน่วยความจำ ทำหน้าที่เหมือนกับ RAM ในเครื่องคอมพิวเตอร์

๓.๓ CPU and Memory Control มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของ CPU และ Memory

๓.๔ Storage Device หรืออุปกรณ์เก็บข้อมูล เช่น Hard Disk, Floppy Disk, Flash Memory

๓.๕ Clock Controller มีหน้าที่ให้กำเนิดสัญญาณนาฬิกา เพื่อใช้ในการซิงโครไนเซชั่น (Synchronization) ของสัญญาณในชุมสายโทรศัพท์

๓.๖ Network Interface มีหน้าที่เชื่อมการทำงานกับ NE

<u>การเชื่อมการติดต่อระหว่าง PE กับ NE</u>

PE และ NE จะถูกเชื่อมการทำงานและการติดต่อกันผ่าน Interface Card โดยใช้สายเคเบิ้ลจำนวน ๑ เส้น ซึ่งการจัดรูปแบบการเชื่อมต่อระหว่าง PE และ NE จะแตกต่างกันในแต่ละรุ่น แต่ละระบบและชนิดของ PE ในกระบวนการเชื่อมต่อการติดต่อระหว่าง PE และ NE สามารถแบ่งได้ ๒ กระบวนการ คือ

๑. <u>กระบวนการเชื่อมต่อด้าน Signaling</u> เมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ต้องการตอบสนองจาก CPU เช่น เกิดการยกหูโทรศัพท์, การกดหมายเลขโทรศัพท์บนเครื่องดิจิตอล หรือการส่งสัญญาณกระดิ่งไปยังเครื่องโทรศัพท์ เป็นต้น

สัญญาณ Signaling จะถูกส่งจาก PE ไปยัง CPU ผ่าน Peripheral Signaling Card ใน NE ซึ่ง Peripheral Signaling Card จะทำหน้าที่ตรวจจับและเก็บ Signaling ที่ได้รับจาก PE และส่งสัญญาณ Interrupt ไปยัง CPU โดยทั่วไปใน Signaling จะมีรหัสบอกประเภทของสัญญาณและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องด้วย

เมื่อ CPU ต้องการติดต่อกับ PE สัญญาณ Signaling จาก CPU จะถูกส่งตรงไปยัง PE โดยผ่าน Network Card

๒. <u>กระบวนการเชื่อมต่อด้าน Switching</u> จะทำการเชื่อมต่อผ่าน NE โดยใช้ Time Slot ที่มีขนาด 64 kbit/s สามารถแบ่งการเชื่อมต่อแบ่งเป็น ๒ แบบ คือ

๒.๑ Two Way เป็นการเชื่อมต่อที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปในวงจรสนทนาปกติ เช่น การสนทนาระหว่างเครื่องโทรศัพท์ ๒ เครื่อง

๒.๒ One Way เป็นการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ใดๆ เช่น การส่งสัญญาณ Dial Tone ไปยังเครื่องโทรศัพท์

การเชื่อมต่อทุกครั้งจะต้องกระทำผ่าน NE โดยที่จะไม่มีการเชื่อมต่อกันใดๆ เกิดขึ้นภายใน PE เลยถึงแม้ว่าจะเป็นการเชื่อมต่อภายใน Module เดียวกัน การเชื่อมต่อระหว่าง PE และ NE สามารถทำได้ทั้งในแบบ 30 หรือ 120 Time Slot ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของ PE Network Interface Card และจำนวน Time Slot ที่ต้องการใช้งาน

<u>การเชื่อมการติดต่อระหว่าง NE กับ CE</u>

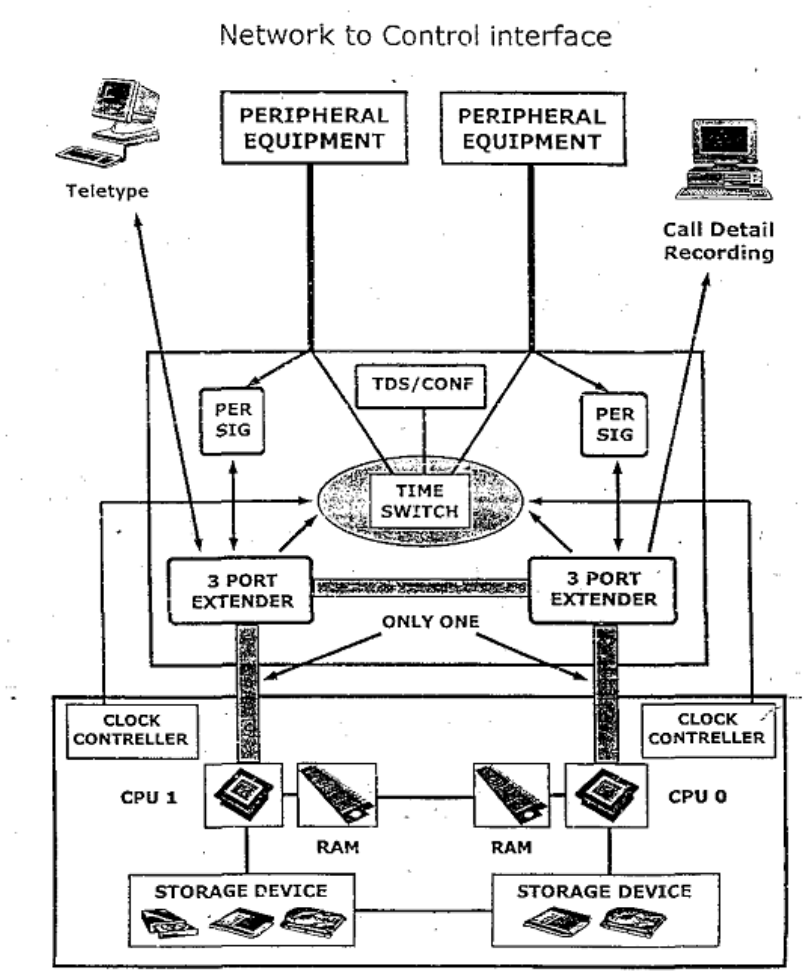
การเชื่อมการติดต่อระหว่าง NE และ CE จะขึ้นอยู่กับขนาด และการกำหนดโครงสร้างของระบบ ในระบบมีหน่วยประมวลผลกลาง ๒ ชุด (Dual Processor) เช่น รุ่น Option 61c และ 81c นั้น CPU ทั้ง ๒ ชุดจะถูกเชื่อมการทำงานเข้ากับ NE โดยผ่าน 3 Port Extender Card ซึ่งจะเชื่อมต่อการทำงานระหว่าง NE และหน่วยประมวลผลกลาง ๒ ชุด กระบวณการ Switching จะถูกควบคุมโดย Network และหน่วยควบคุมที่ทำงาน (Active Processor) อยู่เท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ ๒-๓๓ โดยการติดต่อและการทำงานระหว่าง NE และ CE มี ๓ วิธีคือ

๑. การส่งสัญญาณ Signaling เข้ามาที่ CPU ได้แก่
   - Signaling จาก PE โดยผ่าน Peripheral Signaling Card
   - Signaling จาก Serial Device ใน PE
   - Signaling จากสัญญาณ signaling ของวงจรเชื่อมต่อแบบดิจิตอลใน NE (Digital Trunk Signaling Channel)

๒. การส่งสัญญาณ Signaling ออกจาก CPU ได้แก่
   - Signaling ไปที่ PE เช่น สัญญาณการดิ่ง สัญญาณไฟกระพริบในเครื่องโทรศัพท์ดิจิตอล
   - Signaling ไปที่ Serial Device ใน NE
   - Signaling ไปที่วงจรเชื่อมต่อแบบดิจิตอลใน NE (Digital Trunk Signaling Channel)
   - Signaling ไปที่ Network Card เพื่อสร้างและลบการเชื่อมต่อที่เกิดขึ้นทุกๆครั้ง

๓. การซิงโครไนเซชั่นของระบบ (System Synchronization)

การซิงโครไนเซชั่นมีความจำเป็นเมื่อมีการติดตั้งวงจรต่อแบบดิจิตอลในระบบ ซึ่งการ์ดควบคุมสัญญาณนาฬิกา (Clock Controller Cards) จะถูกเสียบใช้งานมนส่วนของ CE และทำหน้าที่จ่ายสัญญาณนาฬิกาให้กับ NE และ Inter Group Module



ภาพที่ ๒-๓๓ การเชื่อมการติดต่อระหว่าง NE กับ CE

<u>การทำงานของ Network Switch</u>

Network Switch เป็นส่วนหนึ่งใน NE มีหน้าที่จัดวงจรการเชื่อมต่อให้กับการสนทนาในแบบ Two Way และจัดให้อุปกรณ์ใดๆ ในแบบ One Way โดยมีหน่วยประมวลผลการทำงานที่ควบคุมการ Switch ที่เกิดขึ้น ขนาดของ Network Switch ขึ้นอยู่กับชนิดของระบบ ซึ่งจะส่งผลถึงการควบคุมและกำหนดจำนวนของ PE ที่จะสามารถต่อเข้ากับระบบได้ การเชื่อมต่อระหว่าง PE และ NE จะทำผ่าน Interface Card โดยผ่านสายเคเบิ้ล

Network switch จะถูกแบ่งเป็นกลุ่ม หรือเรียกว่า Group จากนั้นจะถูกแบ่งย่อยเป็นวง หรือเรียกว่า Loop ในชุมสายแต่ละรุ่นจะมีการแบ่ง Group และ Loop ต่างกันไป

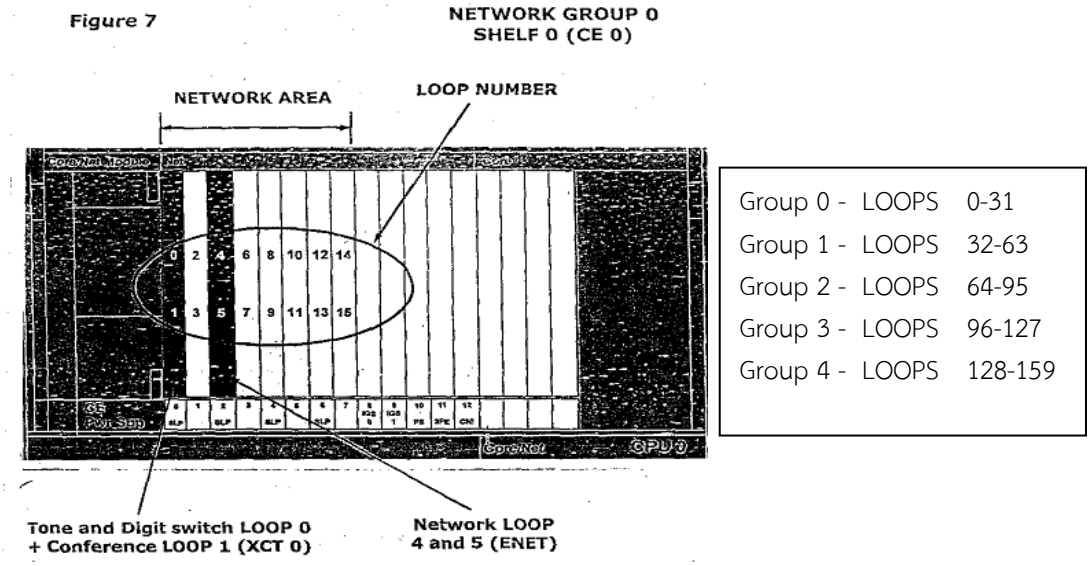
Super Loops เป็นการเรียกชื่อ Interface Card อีกรุ่นหนึ่ง ซึ่งสามารถเชื่อมกับ Network Switch ได้ถึง 4 Loops

๑. Loops

ในแต่ละ Network Group สามารถมีได้ 32 Loop ซึ่งในแต่ละ Loop จะจัดให้มี Signaling & Control Wire พร้อมด้วย 30 Time Slot สำหรับวงจรสนทนา ซึ่งมีการจัด Time Slot ดังนี้

- Time Slot ที่ ๐ ใช้สำหรับ Signaling
- Time Slot ที่ ๑ใช้สำหรับการ Synchronization
- Time Slot ที่ ๒-๓๑ ใช้เป็นช่องสนทนา จำนวน ๓๐ ช่อง

Enhanced Network Card (ENET) เป็น Interface Card ชนิดหนึ่งทำให้เกิด Loop ได้จำนวน ๑ Loop ซึ่งสามารถต่อเข้ากับ Peripheral Equipment, Meridian Mail และ Digital Trunk

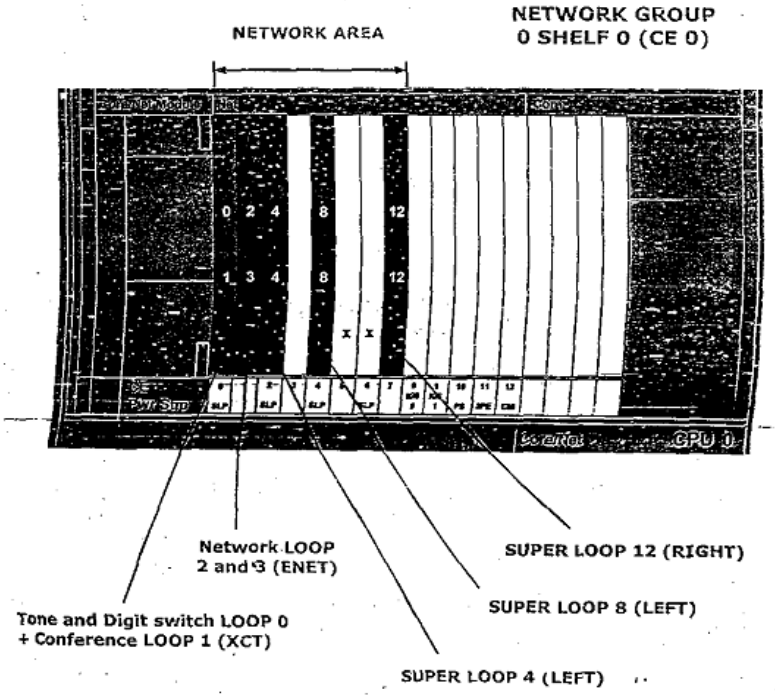


ภาพที่ ๒-๓๔ การกำหนดโครงสร้างของ Loop

Loop แต่ละ Loop จะถูกเชื่อมการทำงานเข้ากับ Tone and Digit Switch และ Conference Pack ใน Moduld เดียวกัน การเรียกชื่อ Loop นั้น จะเรียกตามลำดับจาก Loop 0 – Loop 159 การกำหนดโครงสร้างของ Loop แสดงได้ดังภาพที่ ๒-๓๔

๒. Super Loop

Super Loops ทำให้เกิดจำนวน Loop เพื่อเชื่อมต่อกับ PE ได้ถึง 4 Loop ซึ่งทำให้สามารถรองรับปริมาณทราฟิคได้เพิ่มขึ้น โดยใช้จำนวน Module ที่ใช้ในการเสียบการ์ดเท่าเดิม Super Loop จะสามารถเชื่อมกับตู้ PE ที่เป็นแบบ IPE (Intelligent Perripheral Equipment) เท่านั้น โครงสร้างของ Super Loop ดังแสดงดังในภาพที่ ๒-๓๕



ภาพที่ ๒-๓๕ การกำหนดโครงสร้างของ Super Loop

ในการใช้งาน Super Loop จะต้องมีการเปลี่ยน Interface Card ระหว่าง NE กับ PE เป็น SNET Card ที่มีได้ 4 Loop แทน ENET Card ที่มีได้เพียง 1 Loop รวมทั้งจะต้องมีการเปลี่ยนค่า Configuration ในส่วนของ NE ด้วย

ในแต่ละ Super Loop จะจัดให้มีสัญญาณ Signaling, Control Wire และ Time Slot จำนวน ๑๒๐ ช่อง สำหรับเป็นช่องสนทนา

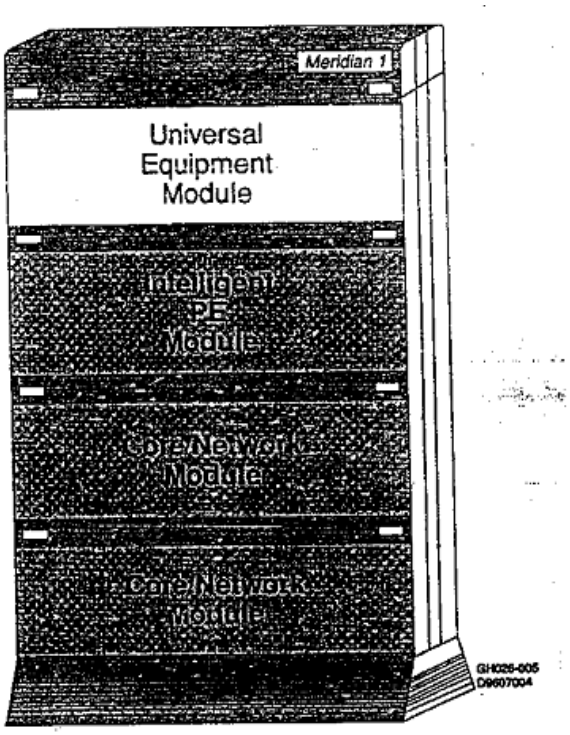
เมื่อมีการเสียบใช้งาน SNET Card ไปในส่วนของ NE จะทำให้ไม่สามารถใช้งาน Slot ที่ติดอยู่กับ SNET Card ได้ (ต้องเว้น 1 Slot) เนื่องมาจาก SNET จะใช้งาน Time Slot ที่มีอยู่ไป แต่ก็ยังสามารถใช้งานกับการ์ดที่ไม่ต้องการ Time Slot ได้ ซึ่งได้แก่

- Digital Trunk Interface Card (DTI) เป็นการ์ดที่ใช้เป็นวงจรเชื่อมต่อดิจิตอลแบบ DTI
- Primary Rate Interface Card (PRI) เป็นการ์ดที่ใช้เป็นวงจรเชื่อมต่อดิจิตอล ISDN แบบ PR
- Serial Data Interface Card (SDI, QSDI, ESDI, DCHI)

การจัดโครงสร้างของชุมสายโทรศัพท์ Meridian 1 รุ่น Option 61C และ option 81C

ชุมสายโทรศัพท์ Meridian 1 รุ่น Option 61C

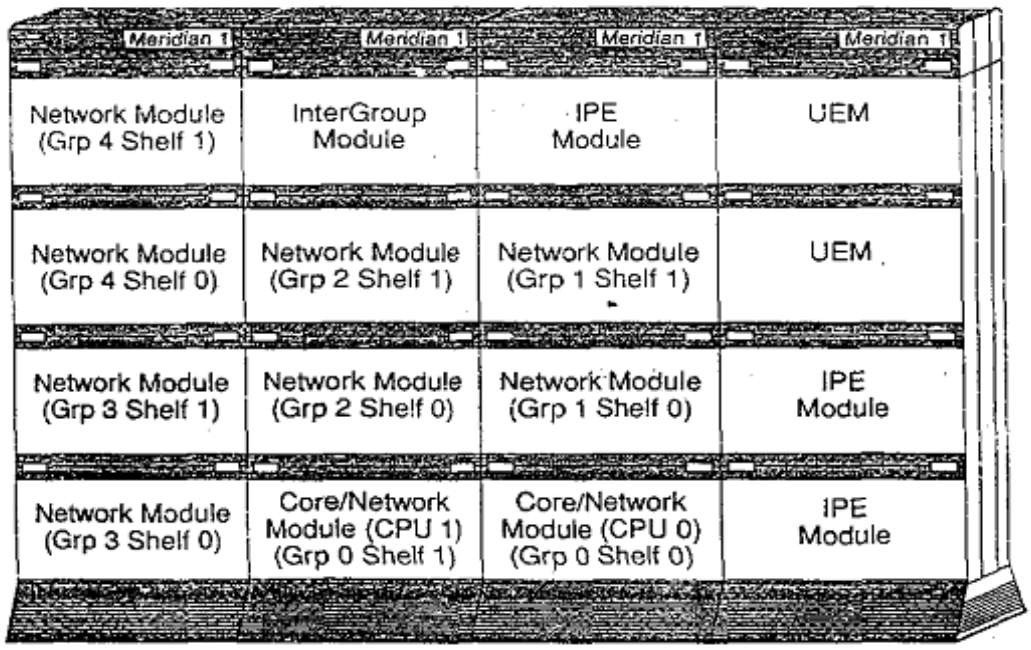
ชุมสายโทรศัพท์ Meridian รุ่น Option 61C เป็นชุมสายขนาดกลาง มีชุดหน่วยประมวลผลกลาง ๒ ชุด (Dual Processor) สารารถขยายได้สูงสุดถึง ๒๐๐๐ พอร์ต ชุมสายรุ่นนี้ใช้เทคโนโลยีของ Core Module ซึ่งสามารถจัดให้ส่วนของ CE และ NE อยู่ใน Module เดียวกันได้ชุมสายโทรศัพท์ Meridian รุ่น Option 61C มีการจัดโครงสร้างตามรูป ซึ่งจะมี Core Network Module จำนวน ๒ ชุด ซึ่งภายในจะมีหน่วยประมวลผลกลางแยกกันอยู่ในแต่ละ Core



ภาพที่ ๒-๓๖ การจัดโครงสร้างของชุมสายโทรศัพท์ Meridian 1

<u>ชุมสายโทรศัพท์ Meridian 1 รุ่นOption 81C</u>

ชุมสายโทรศัพท์ Meridian รุ่น Option 61C เป็นชุมสายขนาดกลาง มีชุดหน่วยประมวลผลกลาง ๒ ชุด (Dual Processor) สามารถขยายได้สูงสุดถึง ๑๐๐๐๐ พอร์ต ชุมสายรุ่นนี้ใช้เทคโนโลยีของ Core Module เหมือนกันในรุ่น Option 61C สามารถรองรับปริมาณการใช้โทรศัพท์ได้สูงสุดถึง ๗๐๐๐๐ ครั้งต่อชั่งโมง (Call per Hour) สามารถเชื่องต่อกับ Network ได้สูงสุด 5 Network Group นอกจากนี้ยังสามารถเชื่อมต่อกับ Meridian Mail และอุปกรณ์เสริมเกี่ยวข้องได้ผ่าน Super Loop Network Interface Card ชุมสายโทรศัพท์ Meridain รุ่น Option 81C มีการสร้างตามรูปและมี Module แบบ UEM ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ NE ใช้งานเป็น Application Module เสียบการ์ด PRI/DTI หรือเป็น IPE Module



ภาพที่ ๒-๓๗ การจัดโครงสร้างของชุมสายโทรศัพท์ Meridian 1 รุ่น Option 81C

Intelligent Peripheral Equipment (PE)

IPE มีช่องสำหรับเสียบการ์ดได้ ๑๖ ช่อง สามารถแบ่งเป็น Segment ได้ 4 Segment และสนับสนุนได้ Time Slot ได้ถึง 512 Time Slot ใช้สำหรับ Voice/Data ซึ่งการแบ่ง Segment ภายใน Super Loop ทำให้สามารถจัดจำนวน Time Slot เพื่อแบ่งให้กับผู้ใช้งานที่เชื่อมกับ IPE นั้นๆ ได้

IPE เป็นส่วนที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ Terminal ต่างๆ (เช่น เครื่องโทรศัพท์, วงจรเชื่อมต่อแบบอนาล็อก, Digital Tone Receiver และ Console) กับ Network Loop ซึ่งใน IPE Module จะมีช่องเสียบแบบ Universal Slot ซึ่งใช้เสียบการ์ดชนิดต่างๆ ได้แก่ Line Card, Trunk Card และ Digital Tone Receiver Card นอกจากนั้น IPE จะมี Controller Card ที่ทำหน้าที่เชื่อมการทำงานเข้ากลับ Network Loop และควบคุมการทำงานของ IPE รวมถึง Ringing Card และ Power card ซึ่งทำหน้าที่จ่ายสัญญาณกระดิ่งและจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ใน IPE ตามลำดับ

ชนิดของการ์ดที่ใช้งานใน IPE

๑. Line Card เป็นการ์ดที่ใช้ต่อเข้ากับเครื่องโทรศัพท์ อุปกรณ์รับส่งข้อมูล และชุด Attendant Console

๒. Trunk Card เป็นการ์ดที่ใช้เชื่อมต่อกับวงจรเชื่อมต่ออนาล็อก ทั้งในแบบ CO Trunk เพื่อเชื่อมเครือข่ายโทรศัพท์ภายนอก และแบบ Tie Trunk เพื่อเชื่อมกับเครือข่ายภายใน

๓. Digit Tone Recievers (DTRs) เป็นการ์ดที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณ DTMF เป็นสัญญาณในรูปแบบ Digit Format เพื่อใช้ติดต่อกับ CPU ซึ่ง DTR จะทำหน้าที่รับสัญญาณ DTMF จากเครื่องโทรศพท์แบบอนาล็อก, จาก Digitone Tie Trunk และจาก Digitone DID Trunk โดยจำนวนของ DTR จะขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้งาน Digitone ในระบบ

๔. Controller Cards ทำหน้าที่เชื่อมต่อและควบคุมการทำงาน Network Card กับเครื่องโทรศัพท์ ชุด Console และวงจรเชื่อมต่อ ซึ่ง Controller Card จะถูกเสียบใน Slot ที่กำหนดไว้โดยเฉพาะใน IPE และในแต่ละIPE จะต้องมี Controller Card หนึ่งการ์ดเสมอ

Terminal Number

Terminal Number หรือ TN เป็นที่ตัวเลขที่ใช้บอกตำแหน่งของ Card ภายในชุมสายโทรศัพท์ และใช้เป็นเลขหมายอ้างอิงในการโปรแกรม Card ต่างๆ ในชุมสายโทรศัพท์ด้วย TN ประกอบด้วยตัวเลข ๔ ชุด ดังแสดงในภาพที่ ๒-๓๘ เช่น หมายเลข ๓-๑๕๓๗ อยู่ที่ TN = 4-0-1-15 หมายถึงหมายเลข 3-1578 อยู่ใน Super Loop = 4, Shelf = 0, Card ที่ Slot = 1, Unit = 15

LOOP	Shelf	Card	Unit
0-159	0-1	0-15	0-31
LOOP : แสดง Super Loop ที่เชื่อมต่อโดยทั่วไปการนับจะเริ่มจาก Super Loop 4, 8, 12.....	Shelf: แสดง Shelf ที่การ์ดเสียบใช้งานอยู่ โดยที่ในแต่ละ Super Loop สามารถเชื่อมต่อกับ IPE ได้สูงสุด 2 Module เรียกว่า Shelf 0 และ 1 ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับการแบ่ง segmentation ในแต่ละ Superloop	Card: แสดงตำแหน่งของ Slot ที่การ์ดเสียบใช้งาน ในแต่ละ Module ซึ่งมีจำนวน Slot ได้ 16 Slot จาก Slot 0 -15 ตามลำดับ	Unit: แสดงตำแหน่ง Port ในแต่ละการ์ดซึ่งจะถูกต่อเชื่อมไปยังอุปกรณ์ปลายทาง เช่น เครื่องโทรศัพท์ (Unit 0-15) หรือวงจร Trunk (Unit 0-7)

ภาพที่ ๒-๓๘ Terminal Number หรือ TN

๔. ชุมสายโทรศัพท์ ALCATEL

<u>กล่าวนำทั่วไป</u>

ชุมสายโทรศัพท์ ALCATEL ที่ใช้ในกองทัพอากาศเป็นแบบ Omni PCX 4400 ติดตั้งใช้งานที่ รร.การบินฯ เพียงแห่งเดียวเท่านั้น เป็นชุมสายระบบ SPC (Stored Program Control) โดยมี Switching แบบ Digital Switch และมีระบบควบคุมการทำงานเป็นแบบ Redundant ซึ่งเป็นมาตรฐานที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะมีระบบควบคุม ๒ ชุด เมื่อตัวใดตัวหนึ่งขัดข้องจะสลับไปอีกตัวหนึ่งทันที CPU ที่ใช้ในชุมสายโทรศัพท์ Alcatel รุ่นนี้จะใช้ CPU Intel 386, 486 Pentium 32 bit RAM 12-32 Mbit มี Hard Disk และ Floppy Disk เป็นตัวเก็บข้อมูลของชุมสาย มีรูปแบบการให้บริการที่ช่วยอำนวยความสะดวกทั้งหมด ๕ แบบ ดังนี้

๑. เครื่องโทรศัพท์เป็นแบบ Reflex สำหรับการใช้งานแบบเดี่ยวและแบบกลุ่ม

๒. ระบบสื่อสารเคลื่อนที่ ชุมสายโทรศัพท์ Alcatel ได้รวบรวมคุณประโยชน์ของ Mobility Features ของเครื่องโทรศัพท์แบบมีสาย โทรศัพท์ดิจิตอลแบบไร้สาย ตามมาตรฐาน DECT และ Paging

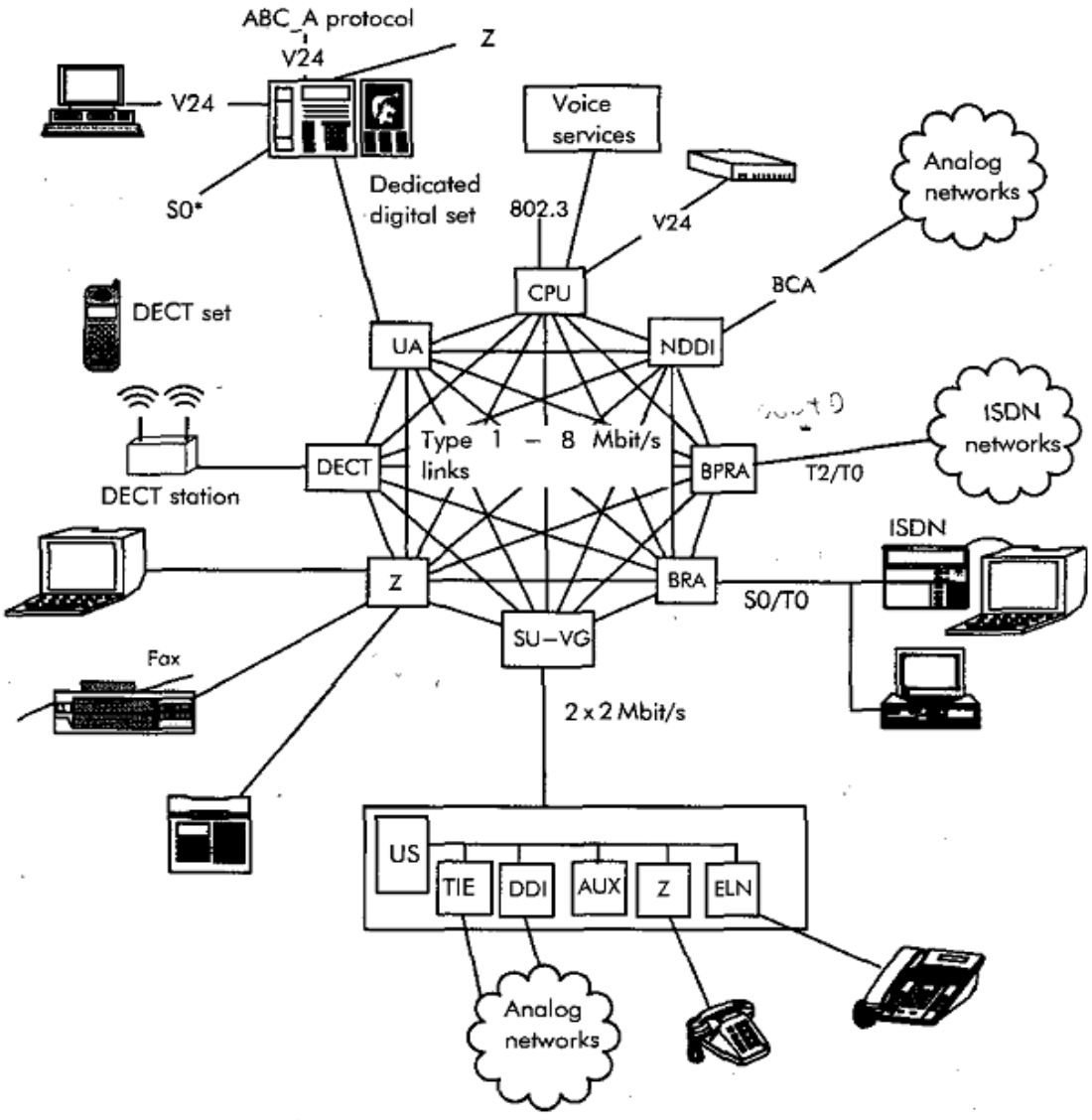
๓. ระบบการตอบรับ มีรูปแบบการตอบรับส่วนรวมของทั้งระบบ และการตอบรบสำหรับสายตรง DID แต่ละสาย รวมถึงระบบการฝากข้อความ โดยอาศัยระบบเสียงพูดแนะแนวทางการใช้งานระบบ Automated Attendent, ระบบ Personal Assistant และระบบ Voice Mail

๔. การเชื่อมต่อระบบและการบริหารระบบแบบ ABC (Alcatel Business Communication) ซึ่ง ABC สามารถปรับตัวเองให้เข้ากับลักษณะของเครือข่าย (Topologies) และอุปกรณ์เชื่อมโยง (Transport Infrastructures) ทุกรูปแบบ ระบบเครือข่ายสามารถทำงานเสมือนเป็นระบบเดียวกัน การบริหารระบบเครื่อข่ายสามารถทำด้วยซอฟแวร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ PC หรือ SUN Platform

๕. สถาปัตยกรรม ACT (Alcatel Crystal Technology) เป็นนวัตกรรมใหม่ของชุมสายโทรศัพท์ Alcatel การออกแบบอยู่บนพื้นฐานสถาปัตยกรรมแบบ Client – Server สามารถใช้งานได้ทั้งกับการสื่อสารแบบช่วงคลื่นแคบ (Narrowband) และแบบช่วงคลื่นกว้าง (Broadband)

<u>โครงสร้างพื้นฐานของชุมสายโทรศัพท์ ALCATEL</u>

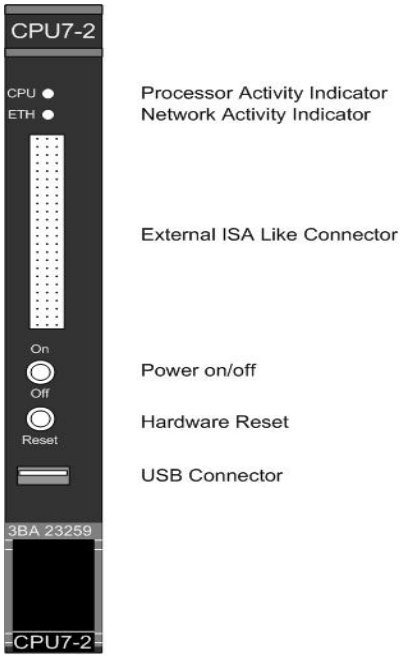
ชุมสายโทรศัพท์ Alcatel มีโครงสร้างพื้นฐานในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งภายในและภายนอกชุมสาย โดยผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ดังภาพที่ ๒-๓๙



ภาพที่ ๒-๓๙ โครงสร้างพื้นฐานของชุมสายโทรศัพท์ Alcatel

ชนิดของ BOARD ต่างๆ ภายในชุมสายโทรศัพท์

๑. CPU7-2 มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบ และเก็บข้อมูลต่างๆ ของชุมสาย โทรศัพท์ มีคุณลักษณะที่สำคัญ คือ เป็นชิพเซ็ตแบบ Ultra low Power Celeron ที่ความถี่ 650MHz และติดตั้ง SDRAM ได้สูงสุด 256 MB (แสดงในภาพที่ ๒-๔๐)



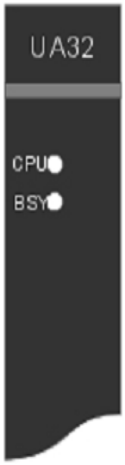
ภาพที่ ๒-๔๐ Card CPU7-2

ภาพที่ ๒-๔๑ Card GPA2

๒. Card GPA2 (General Purpose Auxiliary 2) มีหน้าที่เป็น Voice Guide ให้เสียงคำแนะนำการใช้โทรศัพท์ในแบบต่างๆ รวมทั้งจัดการความถี่ของเสียงสัญญาณ Tones and DTMF Frequencies (แสดงในภาพที่ ๒-๔๑)

๓. Card eZ32 เป็น Analog Board ที่สามารถสร้างให้บริการโทรศัพท์อนาล็อก ๓๒ วงจร (แสดงในภาพที่ ๒-๔๒)

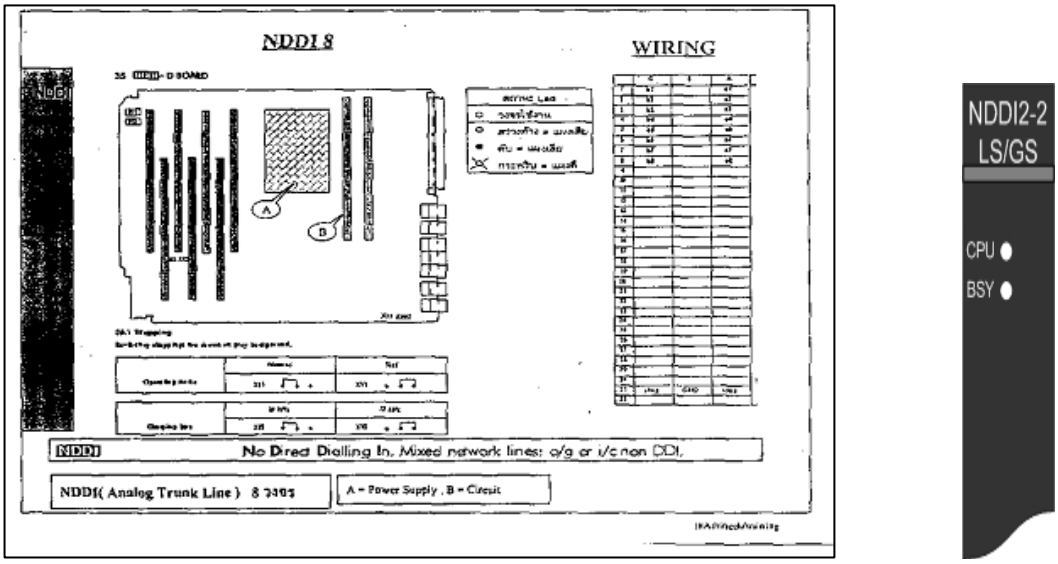
ภาพที่ ๒-๔๒ Card eZ32



ภาพที่ ๒-๔๓ Card eUA32

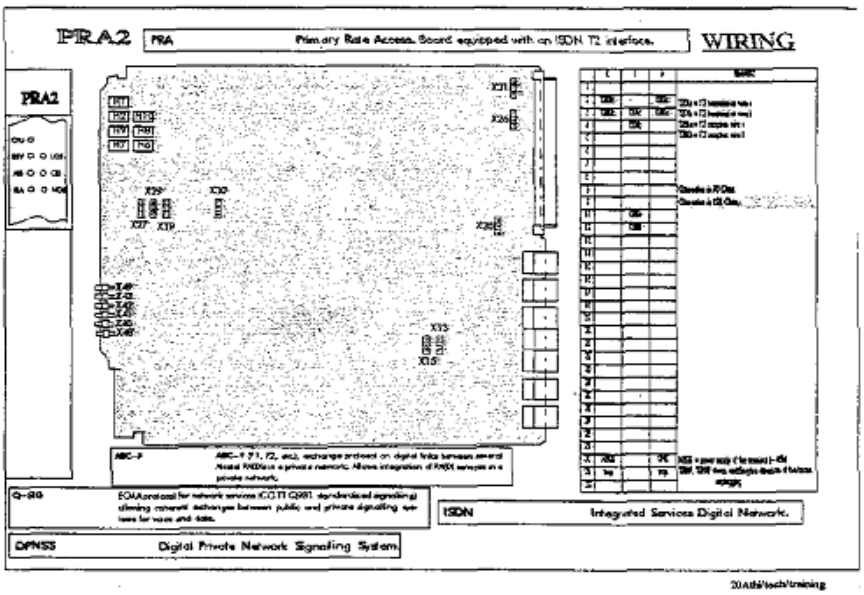
๔. Card eUA32 เป็น Digital Board ที่สามารถสร้างให้บริการโทรศัพท์ดิจิตอล ๓๒ วงจร (แสดงในภาพที่ ๒-๔๓)

๕. NDDI 8 และ NDDI2-2 (No Direct Dialing Interface) เป็น CO Line Board มีหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างชุมสายโทรศัพท์กับเครือข่ายภายนอก ให้บริการแบบ Analog ขนาด ๘ วงจร (แสดงในภาพที่ ๒-๔๔)



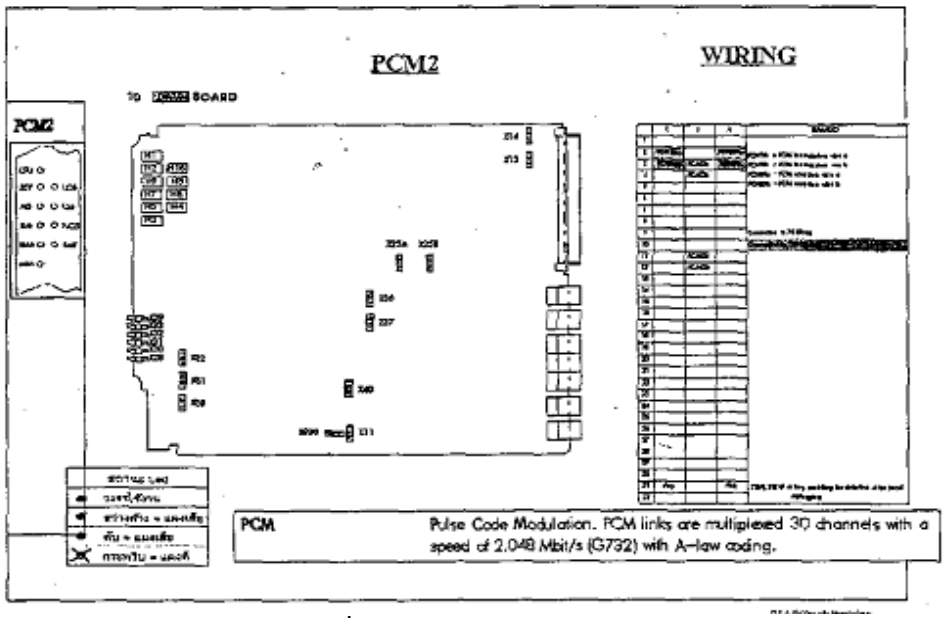
ภาพที่ ๒-๔๔ Card NDDI 8 และ NDDI2-2

๖. PRA 2 (Primary Rate Access 2) มีหน้าที่เป็นวงจรเชื่อมต่อระหว่างชุมสายโทรศัพท์แบบดิจิตอล (E1 แบบ QSIG) ใน 1 Board สามารถเชื่อมต่อได้ ๓๐ วงจร (แสดงในภาพที่ ๒-๔๕)



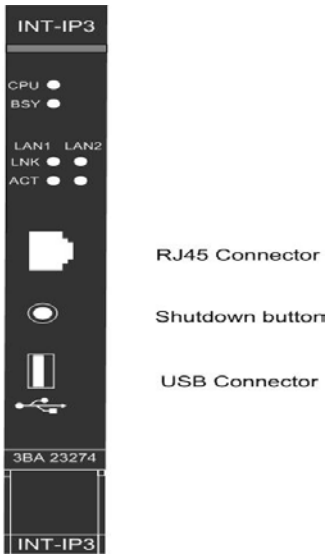
ภาพที่ ๒-๔๕ Card PRA 2

๗. PCM 2 (Pulse Code Modulation) มีหน้าที่เป็นวงเชื่อมต่อระหว่างชุมสายโทรศัพท์แบบดิจิตอล (E1 แบบ CAS) ใน 1 Board สามารถเชื่อมต่อได้ ๓๐ วงจร (แสดงในภาพที่ ๒-๔๖)

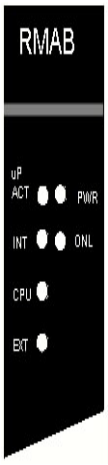


ภาพที่ ๒-๔๖ Card PCM 2

๘. Card INT-IP3 เป็น ACT Board ที่ให้บริการ Voice over IP (แสดงในภาพที่ ๒-๔๗)



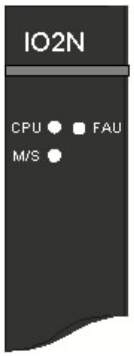
ภาพที่ ๒-๔๗ Card INT-IP3



ภาพที่ ๒-๔๘ Card RMAB

๙. Card RMAB (Remote Maintenance Access Board) มีหน้าที่เชื่อมต่อระหว่าง PABX กับเครื่องผู้ดูแลระบบส่วนท้องถิ่น หรือจากระยะไกล (Local or Remote Operator) ที่จะเชื่อมต่อระบบ เพื่อการซ่อมบำรุง (แสดงในภาพที่ ๒-๔๘)

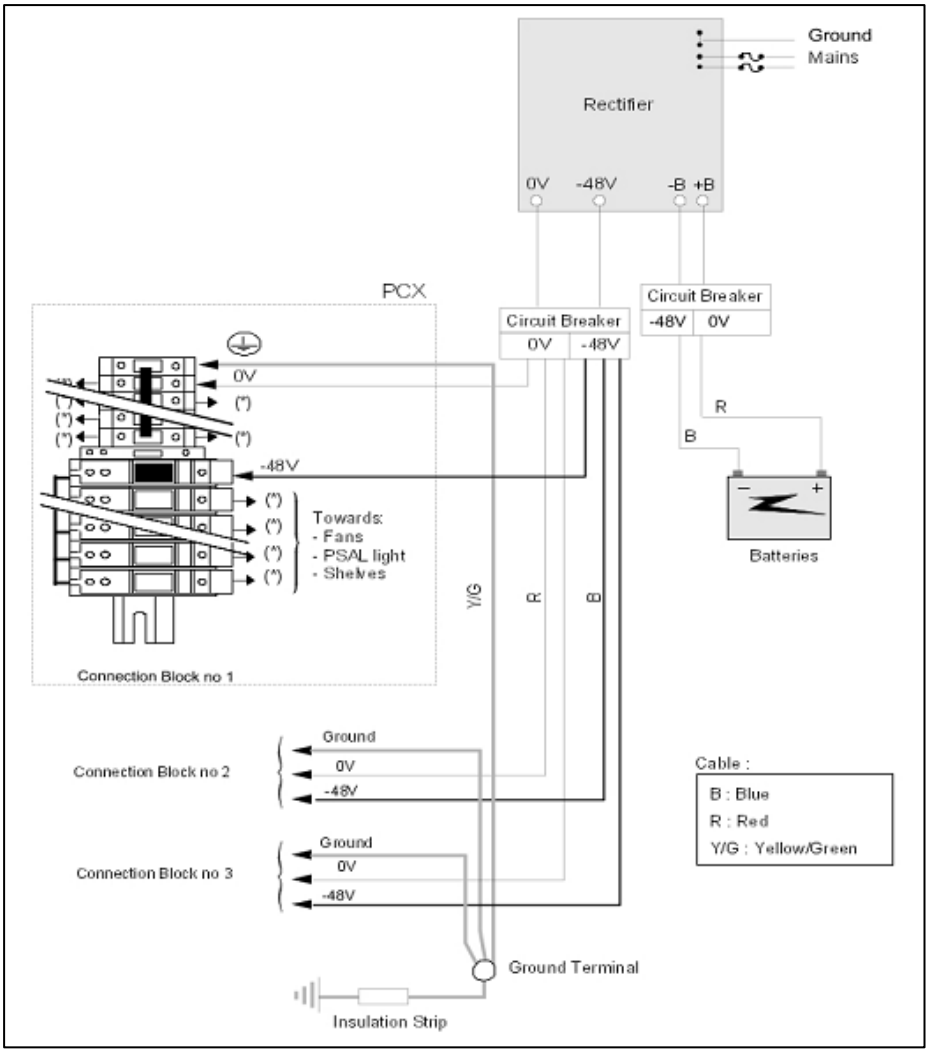
๑๐. Card IO2N มีหน้าที่จัดเตรียม Concentration, Switching, and Distribution Packets (แสดงในภาพที่ ๒-๔๙)



ภาพที่ ๒-๔๙ Card IO2N

ภาค Power Supply

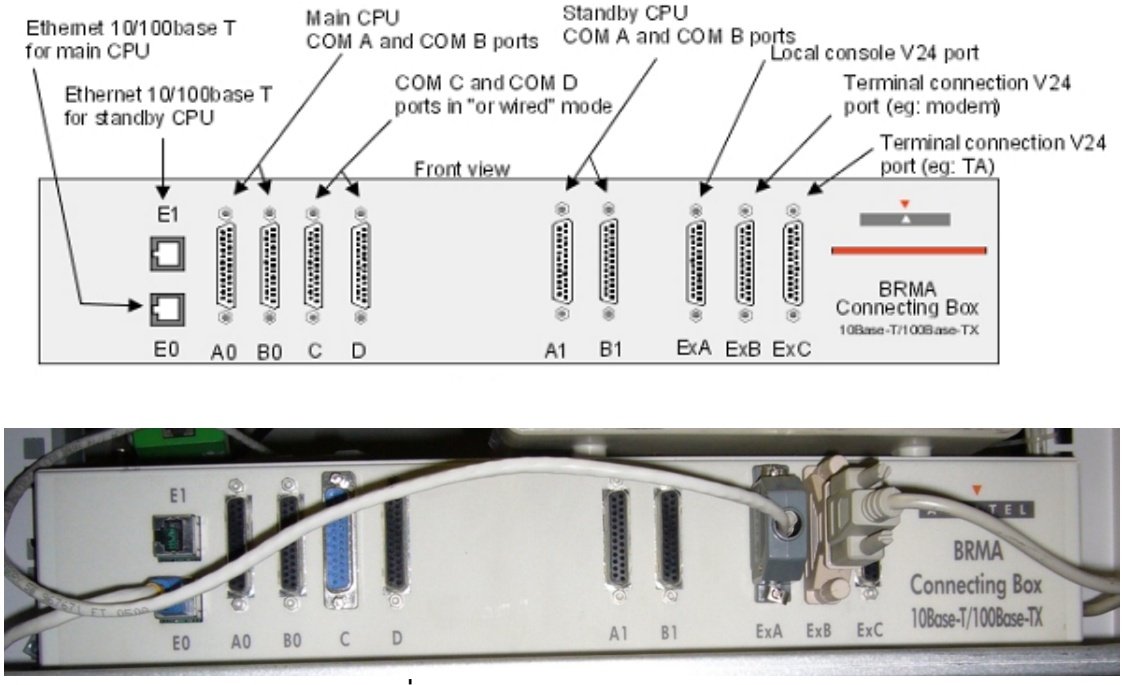
ชุมสายโทรศัพท์ Alcatel มีระบบจ่ายไฟตามดังวงจรในภาพที่ ๒-๕๐



ภาพที่ ๒-๕๐ Power Connections

<u>แผงเชื่อมต่อภายนอก</u>

ชุมสายโทรศัพท์ Alcatel มีจุดสำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก เพื่อการบำรุงรักษา และซ่อมบำรุง ได้จาก RMAB Card และอีกจุดบริเวณ BRMA Connecting Box มีรายละเอียดการเชื่อมต่อดังแสดงในภาพที่ ๒-๕๑



ภาพที่ ๒-๕๑ BRMA Connecting Box

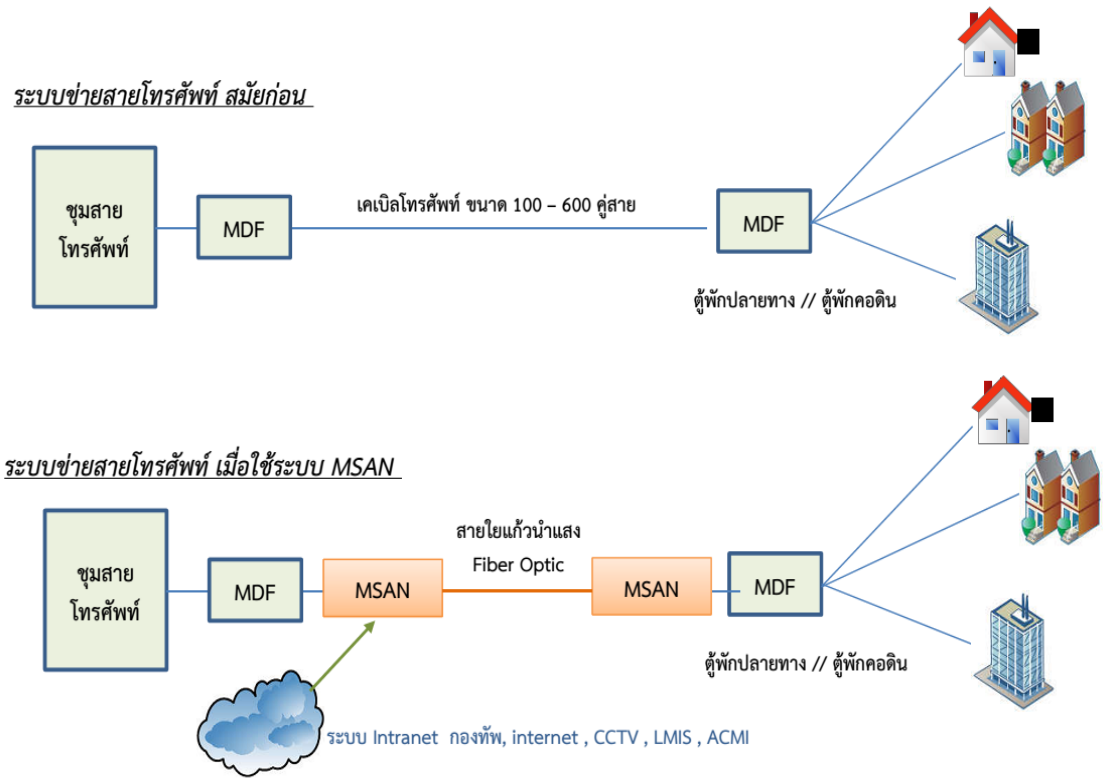
๕. Multi-Service Access Node (MSAN)

MSAN (Multi Service Access Node) คือ อุปกรณ์ที่ให้บริการ Data, Voice, VDO Streaming หรือ Triple Play ซึ่งในระบบเดิม สัญญาณข้อมูลต่างๆ จะถูกส่งออกมาจากชุมสายโทรศัพท์ผ่านไปบนเครือข่ายเคเบิลทองแดง ซึ่งปกติระยะทางของสายเคเบิลทองแดงช่วงนี้จะมีระยะไกลมาก ส่งผลให้คุณภาพของสัญญาณเสียงไม่ชัดเจน หรือไม่สามารถรองรับบริการรับส่งข้อมูลได้ จึงได้มีการนำระบบ MSAN นี้เข้ามาติดตั้ง เพื่อพัฒนาคุณภาพของสัญญาณให้ดีขึ้น โดยการเปลี่ยนสื่อกลางจากเดิมที่เป็นสายเคเบิลทองแดง มาเป็นเคเบิลใยแก้วนำแสง โดยมีอุปกรณ์ MSAN เป็นตัวเชื่อมต่อสัญญาณ ดังแสดงในภาพที่ ๒-๕๒ ซึ่งระบบ MSAN มีข้อดีกว่าระบบเดิม ดังนี้

๑. สามารถประหยัดงบประมาณ เนื่องจากสามารถลดคู่สายทองแดงที่มีราคาสูงขึ้น

๒. คุณภาพของสัญญาณโทรศัพท์ไปยังผู้ใช้ปลายทางดีขึ้น

๓. สามารถรองรับบริการสารสนเทศ และ ระบบอื่นๆ ได้มากขึ้น



ภาพที่ ๒-๕๒ ระบบข่ายสายโทรศัพท์สมัยก่อน และระบบ MSAN

โครงสร้าง และอุปกรณ์ MSAN ประกอบด้วย ๒ อุปกรณ์ คือ

๑. อุปกรณ์ Fiber Optic MUX ที่มีใช้งาน เช่น S200, S300

๒. อุปกรณ์ MSAN Indoor/ Outdoor

ภาพที่ ๒-๕๓ MUX Fiber Optic รุ่นต่างๆ

<u>Card ที่ติดตั้งใช้งานในระบบ MSAN</u>

๑. GIS หรือ ICS เป็น Card ที่ใช้ ควบคุมการทำงานของทั้งระบบ และเชื่อมต่อกับ Switch Networks ใน 1 Shelf ส่วนใหญ่จะใช้ 2 Card โดยใช้เป็น Master and Slave กรณี Card หนึ่งเกิดการขัดข้องอีก Card จะทำงานแทน

LED	Color	Status	Description	คำอธิบาย
RUN	Green	Flashing	Card is running normally.	ใช้งานได้ ปกติ
ALM	Red	ON	Card is faulty.	Card มีปัญหา
	-	OFF	Card is Normal.	ใช้งานได้ ปกติ
M/S	Green	ON	Card is active.	มีไฟเขียวขึ้น แสดงว่าเป็น Master Card
	-	OFF	Card is standby.	แสดงว่าเป็น Card สำรอง
NACT	Green	Flashing	Narrowband service is running normally.	สามารถเชื่อมต่อกับ Soft switch ปกติ
BACT	Green	Flashing	Broadband service is running normally.	สามารถเชื่อมต่อ ไป Card สำรอง ได้
DT	Green	ON	2 Mbps trunk is running normally.	สามารถเชื่อมต่อกับสาย E1ได้
	-	OFF	2 Mbps trunk is running abnormally.	ไม่สามารถเชื่อมต่อกับสาย E1 ได้
GE1	Green	Flashing	Uplink port 1 is running normally.	port 1 สามารถใช้งานได้ ปกติ
GE2	Green	Flashing	Uplink port 2 is running normally.	port 2 สามารถใช้งานได้ ปกติ

ภาพที่ ๒-๕๔ Card GIS หรือ ICS

๒. POWER K เป็น Card ที่ใช้สำหรับจ่ายไฟให้กับ Shelf หรือระบบ ใน 1 Shelf ส่วนใหญ่จะใช้ 2 Card โดยใช้เป็น Master and Slave กรณี Card ใด Card หนึ่งเกิดการขัดข้องอีก Card จะทำงานแทน

LED	Color	Status	Description	คำอธิบาย
ALM	Red	ON	The card is faulty.	Card มีปัญหา
-48V	Green	ON	The -48 V supply is normal.	ใช้งานได้ ปกติ
Ring	Green	Flashing	The card is running normally.	ใช้งานได้ ปกติ
+5V	Green	ON	The +5 V supply is normal.	ใช้งานได้ ปกติ
+5VJ	Green	ON	The +5VJ supply is normal.	ใช้งานได้ ปกติ
-5V	Green	ON	The -5 V supply is normal.	ใช้งานได้ ปกติ

ภาพที่ ๒-๕๕ Card POWER K

๓. TRK เป็น Card ที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อเลขหมายโทรศัพท์ ที่ชุมสายโทรศัพท์ สำหรับ MSAN Indoorโดยหนึ่ง Card รองรับได้ 16 เลขหมาย

LED	Color	Status	Description	คำอธิบาย
RUN	Green	Flashing	The card is running normally.	ใช้งานได้ ปกติ
ALM	Red	ON	The card or the software is faulty.	Card มีปัญหา
HOOK	Green	ON	One or more subscribers hook(s) off.	มีคนกำลังใช้โทรศัพท์อยู่

ภาพที่ ๒-๕๖ Card TRK

๔. ALC เป็น Card ที่ใช้สำหรับผลิตเลขหมายโทรศัพท์ ใช้สำหรับ MSAN Outdoor โดยหนึ่ง Card รองรับได้ 32 เลขหมาย

LED	Color	Status	Description	คำอธิบาย
RUN	Green	Flashing	The card is running normally.	ใช้งานได้ ปกติ
ALM	Red	ON	The card or the software is faulty.	Card มีปัญหา
HOOK	Green	ON	One or more subscribers hook(s) off.	มีคนกำลังใช้โทรศัพท์อยู่

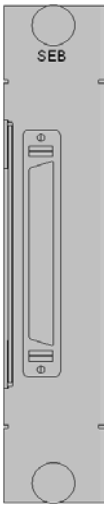
ภาพที่ ๒-๕๗ Card ALC

๕. GADL เป็น Card ที่ใช้สำหรับ เชื่อม ADSL กับ Switch อื่นๆ เพื่อที่จะสามารถใช้ Internet ได้ โดย หนึ่ง Card รองรับได้ 16 Port

LED	Color	Status	Description	คำอธิบาย
RUN	Green	Flashing	The card is running normally.	ใช้งานได้ ปกติ
ALM	Red	ON	The card or the software is faulty.	Card มีปัญหา
HOOK	Green	ON	One or more subscribers hook(s) off.	มีคนกำลังใช้โทรศัพท์อยู่

ภาพที่ ๒-๕๘ Card GADL

๖. SEB เป็น Card ที่ใช้กับ Shelf ชนิด 9U (Front Access) โดย Card จะเชื่อมต่อกับวงจรภายใน Shelf โดย Card นี้จะต้องอยู่ตำแหน่งเดียวกับที่ใส่ ALC Card ที่อยู่ด้านบน ด้านหน้า SEB Card จะมี Connector เชื่อมต่อกับสาย 32 คู่สาย เพื่อนำสัญญาณไปยัง MDF ที่ติดตั้ง



ภาพที่ ๒-๕๙ Card SEB

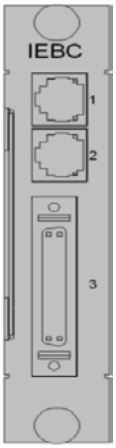
๗. PEB เป็น Card ที่ทำหน้าที่รับกระไฟฟ้า 48V DC ไปจ่ายให้กับ Card POWER K เป็น Card ที่ใช้กับ Shelf ชนิด 9U (Front Access) โดย Card จะเชื่อมต่อกับวงจรภายใน Shelf โดย Card นี้จะต้องอยู่ตำแหน่งเดียวกับที่ใส่ Card POWER K ที่อยู่ด้านบน

ภาพที่ ๒-๖๐ Card PEB

๘. IEBC เป็น Card ที่ใช้งานเชื่อมต่อกับ Control Card และ Switching Card ใน Slot 10 เช่น GIS, GISB เป็นต้น

Slot ที่ 1 และ 2 เป็น Port SFP ใช้สำหรับเชื่อมต่อระบบเข้ากับ Network ของ Soft Switch

Slot ที่ 3 ใช้สำหรับ สายที่ใช้เชื่อมต่อจาก Shelf ที่ 1 ไปยัง Shelf ที่ 2 และ 3 กรณีมีการใช้ Shelf มากกว่า 1 Shelf ขึ้นไป โดยสายที่ใช้เชื่อมต่อจะเรียกว่า Highway Cable

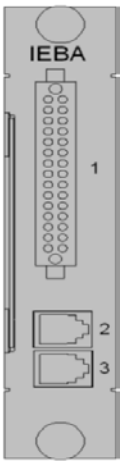


ภาพที่ ๒-๖๑ Card IEBC

๙. IEBA เป็น Card ที่ใช้งานเชื่อมต่อกับ Control Card และ Switching Card ใน Slot 9 เช่น GIS, GISB เป็นต้น

Slot ที่ 1 ใช้สำหรับเชื่อมต่อระบบ E1 และสาย E1

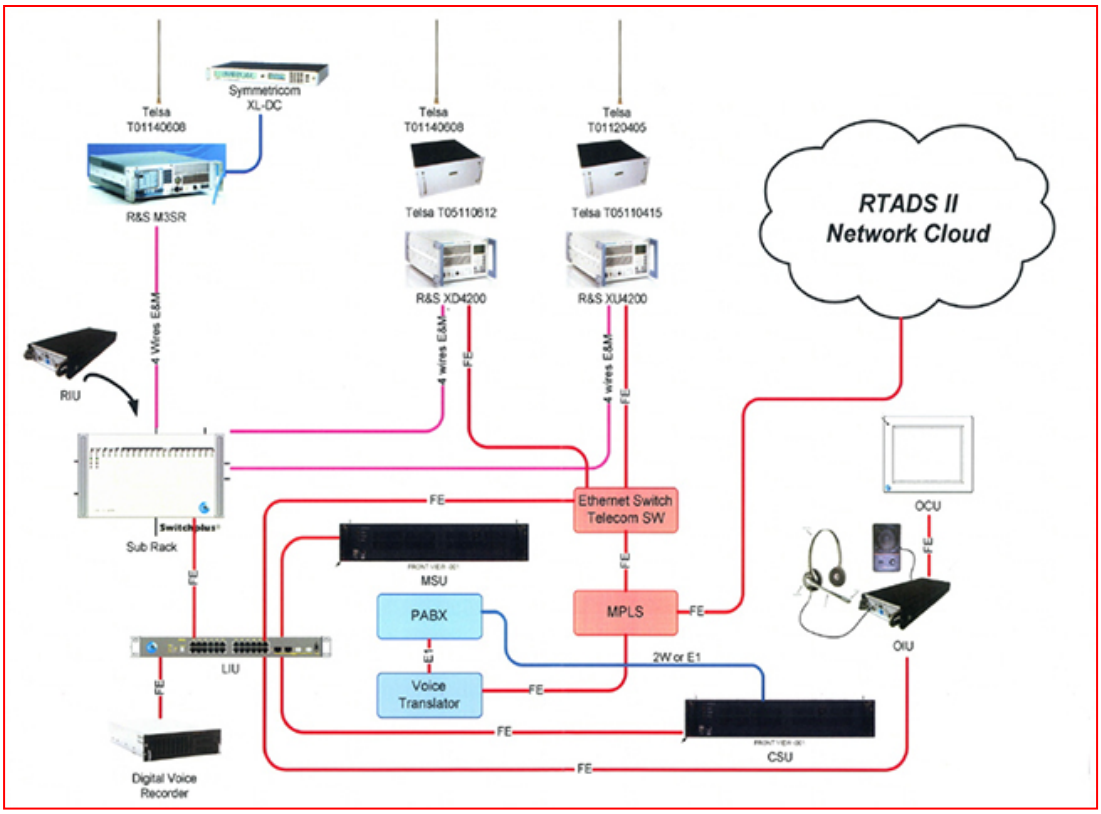
Slot ที่ 2 และ3 ใช้สำหรับ ตรวจสอบ หรือ แก้ไขระบบ ผ่าน NMS หรือ Telnet



ภาพที่ ๒-๖๒ Card IEBA

๖. ชุมสายรวมการติดต่อสื่อสาร (ICSS)

ระบบชุมสายรวมการติดต่อสื่อสาร หรือ Integrated Communication Switching System (ICSS) เป็นระบบเครือข่ายรวมการติดต่อสื่อสารทางเสียง ที่รองรับการสื่อสารผ่านระบบวิทยุ Ground-Air, ระบบโทรศัพท์ (ข่ายยุทธการ) และ Intercom ระหว่างผู้ทำการในอากาศ และ จนท. ภาคพื้น ติดตั้งในปี ๒๕๔๔ โดยบริษัท Nera Telecommunications Ltd. (Singapore) ปัจจุบัน ทอ. มีติดตั้งใช้งานทั้งสิ้น ๒๒ สถานี



ภาพที่ ๒-๖๓ ชุมสายรวมการติดต่อสื่อสาร (ICSS)

<u>ประเภทของสถานีผู้ใช้งานในระบบ ICSS</u>

๑. Operation Centers : Operators สามารถเรียกใช้วิทยุได้ทุกความถี่ในระบบ

๒. Remote Sites with Digital Recording Unit [DRU] : Operators สามารถเรียกใช้วิทยุที่อยู่ใน Coverage Area ของตนเองเท่านั้น มีเครื่องบันทึกสัญญาณเสียงทั้งสิ้น ๒๔ ช่องสัญญาณ (วิทยุ โทรศัพท์ Intercom)

๓. Remote Sites with Existing Voice Recorder [VR] : Operators สามารถเรียกใช้วิทยุที่อยู่ใน Coverage Area ของตนเองเท่านั้น มีเครื่องบันทึกสัญญาณเสียงแบบเก่าที่บันทึกได้เฉพาะสัญญาณ Analog ของวิทยุ

๔. Remote Radio Sites : ไม่มี Operators แต่มีวิทยุติดตั้งให้สถานีอื่นเข้ามาเรียกใช้งาน

๕. Remote Operator Sites : ไม่มีวิทยุเป็นของตัวเองแต่สามารถเรียกใช้วิทยุจากสถานีอื่นได้

๖. Remote Radio and Operator Sites : มีวิทยุเป็นของตัวเองและสามารถเรียกใช้วิทยุจากสถานีอื่นได้

<u>รายละเอียดอุปกรณ์ในระบบ ICSS</u>

๒.๑ Communication Server Unit (CSU) ทำหน้าที่เป็น Server จัดเก็บข้อมูลค่าการใช้งาน (Configurations) ของ Site และทำหน้าที่จัดเส้นทางให้ข้อมูล มีพอร์ทเชื่อมต่อ Analog 2 wire FXO, or Digital E1 Trunks

ภาพที่ ๒-๖๔ Communication Server Unit (CSU)

๒.๒ Maintenance Server Unit (MSU) ทำหน้าที่เป็น Server สำหรับการซ่อมบำรุง, ปรับเปลี่ยนค่า Configurations ในระบบ, กำกับดูแลข้อมูลการใช้งานของทุก Operators ให้ใช้ข้อมูลที่ได้รับการกำหนดล่าสุด ตลอดจนดูแลการปัญหาข้อขัดข้องที่เกิดในระบบ

ภาพที่ ๒-๖๕ Maintenance Server Unit (MSU)

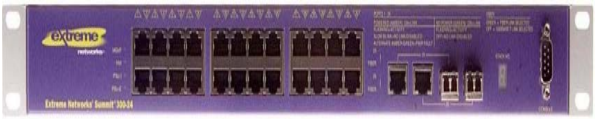
๒.๓ Operator Interface Unit (OIU) เป็นอุปกรณ์ที่ Operator ใช้ติดต่อสื่อสารระหว่างกันหรือ สื่อสารกับนักบิน

ภาพที่ ๒-๖๖ OIU Front / Rear Panel

๒.๔ Radio Interface Unit (RIU) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณเสียงจาก Analog เป็น IP หรือจาก IP เป็น Analog สามารถเชื่อมต่อกับวิทยุสื่อสารได้ ๔ ชุด และ 1 LAN โดยรองรับการสื่อสารแบบ Multicast and Unicast VOIP

ภาพที่ ๒-๖๗ Radio Interface Unit (RIU)

๒.๕ LAN Interface Unit (LIU) เป็นตัวกลางทำหน้าที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ทุกอย่างใน Site เข้าด้วยกัน เป็น Intelligent Layer 2 Switch ที่มีทั้ง ๒๔ และ ๔๘ พอร์ท



ภาพที่ ๒-๖๘ LAN Interface Unit (LIU)

๒.๖ Operator Console Unit (OCU) จอแสดงผลแบบ Touch Screen สำหรับ Operator ใช้ปฏิบัติงาน โดยติดตั้ง Windows XP Pro Embedded Operating System

ภาพที่ ๒-๖๙ Operator Console Unit (OCU)

๒.๗ Voice Recorders or Digital Recorder Unit (DRU) ทำหน้าที่บันทึกข้อมูลเสียง และ Playback ข้อมูลการใช้งาน

ภาพที่ ๒-๗๐ Voice Recorders or Digital Recorder Unit (DRU)

๒.๘ อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ Headset, PTT Foot Switch และ Speaker

ภาพที่ ๒-๗๑ Headset, PTT Foot Switch และ Speaker

บทที่ ๓

ระบบโทรศัพท์ของกองทัพอากาศ

กล่าวนำทั่วไป

กองทัพอากาศได้แบ่งระบบโทรศัพท์ออกเป็น ๒ ข่าย คือ

๑. ข่ายยุทธการ เป็นข่ายการติดต่อสื่อสารทางด้านเสียง(ระบบโทรศัพท์) ที่มีจุดมุ่งหมายที่ใช้เฉพาะงานด้านยุทธการเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการจัดระบบเครือข่ายจึงถูกกำหนดให้เป็นระบบปิด คือ มีการเชื่อมต่อกันเฉพาะชุมสายที่เป็นชุมสายยุทธการเพียงอย่างเดียว ไม่มีการเชื่อมต่อกับข่ายอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นข่ายธุรการของ ทอ.เอง ข่ายโทรศัพท์ของเหล่าทัพอื่น หรือข่ายโทรศัพท์ของเอกชน การจัดเลขหมายของข่ายนี้จะยึดถือตามระบบการจัดเลขหมายโทรศัพท์ของ ทอ. (Closed Numbering) โดยมีความแตกต่างเฉพาะเลขหมายหลักที่ ๒ ที่กำหนดให้เป็น ๙ เพื่อกำหนดให้ทราบว่าเป็นข่ายยุทธการของ ทอ.

๒. ข่ายธุรการ เป็นข่ายการติดต่อสื่อสารทางด้านเสียง (ระบบโทรศัพท์) ที่มีจุดมุ่งหมายที่ใช้งานด้านธุรการ หรือการติดต่อประสานงานทั่วไป ทั้งในหน่วยงานของ ทอ. และหน่วยงานนอก ทอ.

๑. รายละเอียดชุมสายยุทธการ

ในปัจจุบันระบบโทรศัพท์ข่ายยุทธการ ทอ. มีการปรับปรุงระบบชุมสายจากระบบ SPC ให้เป็นระบบ VoIP ซึ่งเป็นระบบชุมสายที่ทันสมัยที่สุดในปัจจุบัน รายละเอียดต่างๆ ของชุมสายโทรศัพท์ข่ายยุทธการ ทอ. แสดงได้ตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ ๓-๑ ระบบโทรศัพท์ข่ายยุทธการของ ทอ. ปี ๕๙ (ภาคกลาง)

ลำดับ	ชุมสาย	เลขหมายยุทธการ	ยี่ห้อ/รุ่น	จำนวน
๑	ศคปอ.(SOC)	๒๙๐๐๐ – ๒๙๓๙๙	Avaya/CM6	๔๐๐
๒	รร.การบิน	๒๙๔๐๐ – ๒๙๔๔๙	Alcatel/Omni PCX 4400	๕๐
๓	สร.กาญจนบุรี	๒๙๔๕๐ – ๒๙๔๙๙	Avaya/S8720	๕๐
๔	ศปก.ทอ.	๒๙๙๐๐ – ๒๙๙๙๙	Avaya/CM6	๑๐๐

ตารางที่ ๓-๒ ระบบโทรศัพท์ข่ายยุทธการของ ทอ. ปี ๕๙ (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ)

ลำดับ	ชุมสาย	เลขหมายยุทธการ	ยี่ห้อ/รุ่น	จำนวน
๑	สร.เขาเขียว	๔๙๐๐๐ – ๔๙๐๔๙	Avaya/G430	๕๐
๒	สร.อุบลราชธานี	๔๙๐๕๐ – ๔๙๐๙๙	Avaya บน.๒๑	๕๐
๓	สร.อุดรธานี	๔๙๑๐๐ – ๔๙๑๔๙	Avaya บน.๒๓	๕๐
๔	สร.เขาพนมรุ้ง	๔๙๑๕๐ – ๔๙๑๙๙	Avaya/S8720	๕๐
๕	สร.บ้านเพ	๔๙๒๐๐ – ๔๙๒๔๙	Ericsson/MD110 BC13	๕๐
๖	สร.ภูเขียว	๔๙๓๐๐ – ๔๙๓๔๙	Ericsson/MD110 BC13	๕๐
๗	บน.๑	๔๙๓๕๐ – ๔๙๓๙๙	Avaya/G3si	๕๐
๘	บน.๒๑	๔๙๔๐๐ – ๔๙๔๔๙	Avaya/S8720	๕๐
๙	บน.๒๓	๔๙๔๕๐ – ๔๙๔๙๙	Avaya/G3si	๕๐
๑๐	ฝง.๒๓๗ (น้ำพอง)	๔๙๖๕๐ – ๔๙๖๙๙	Ericsson/MD110 BC7	๕๐

ตารางที่ ๓-๓ ระบบโทรศัพท์ข่ายยุทธการของ ทอ. ปี ๕๙ (ภาคเหนือ)

ลำดับ	ชุมสาย	เลขหมายยุทธการ	ยี่ห้อ/รุ่น	จำนวน
๑	สถทค.เขาวงจันแดง	๕๙๔๐๐ – ๕๙๔๔๙	Avaya/G650	๕๐
๒	สร.พิษณุโลก	๕๙๕๐๐ – ๕๙๕๔๙	Ericson บน.๔๖	๕๐
๓	บน.46	๕๙๕๕๐ – ๕๙๕๙๙	Ericsson/MD110 BC13	๕๐
๔	บน.4	๕๙๖๕๐ – ๕๙๖๙๙	Avaya/G3si	๕๐
๕	บน.2	๕๙๗๐๐ – ๕๙๗๔๙	Avaya/G3si	๕๐
๖	บน.๔๑	๕๙๘๐๐ – ๕๙๘๔๙	Ericsson/MD110 BC13	๕๐
๗	สร.ดอยอินทนนท์	๕๙๘๕๐ – ๕๙๘๙๙	Ericsson/MD110 BC13	๕๐
๘	สร.ภูหมันขาว	๕๙๙๐๐ – ๕๙๙๔๙	Avaya/S8720	๕๐

ตารางที่ ๓-๔ ระบบโทรศัพท์ข่ายยุทธการของ ทอ. ปี ๕๙ (ภาคใต้)

ลำดับ	ชุมสาย	เลขหมายยุทธการ	ยี่ห้อ/รุ่น	จำนวน
๑	ศคปอ.สฎ.(S-SOC)	๖๙๐๐๐ – ๖๙๔๙๙	Avaya/S8720	๕๐๐
๒	สร.สมุย	๖๙๕๐๐ – ๖๙๕๔๙	Avaya Gateway	๕๐
๓	สร.หาดใหญ่(เขาวังชิง)	๖๙๕๕๐ – ๖๙๕๙๙	Avaya Gateway	๕๐
๔	สร.ภูเก็ต	๖๙๖๐๐ – ๖๙๖๔๙	Avaya Gateway	๕๐
๕	บน.7	๖๙๖๕๐ – ๖๙๖๙๙	Avaya/S8800	๕๐
๖	บน.5	๖๙๗๐๐ – ๖๙๗๔๙	Siemens/Hicom 300E	๕๐
๗	บน.56	๖๙๗๕๐ – ๖๙๗๙๙	Siemens/Hicom 300E	๕๐
๘	สถทค.บ้านทุ่งโพธิ์	-	Remote จาก บน.๗	-

๒. รายละเอียดชุมสายธุรการ

ในปัจจุบันระบบโทรศัพท์ข่ายธุรการ ทอ. มีการปรับปรุงระบบชุมสายจากระบบ SPC ให้เป็นระบบ VoIP ซึ่งเป็นระบบชุมสายที่ทันสมัยที่สุดในปัจจุบัน รายละเอียดต่างๆ ของชุมสายโทรศัพท์ข่ายธุรการ ทอ. แสดงได้ตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ ๓-๕ ระบบโทรศัพท์ข่ายธุรการของ ทอ. ปี ๕๙ (ภาคกลาง)

ชุมสาย	เลขหมายธุรการ*	ยี่ห้อ/รุ่น	ขนาด*
สอ.ทอ., คปอ., บก.ทอ., ขส.ทอ. และ NCOC	๒๐๐๐๐ – ๒๖๙๙๙	Avaya/S8800/S8730/ ESS server/GW 650	๗๕๐๐
	๒๘๐๐๐ – ๒๘๖๙๙		
สอ.ทอ.(ทุ่งสีกัน)	๓๐๐๐๐ – ๓๐๖๙๙	Nortel/NT81C และ ZTE/MSAN	๙๐๐
	๒๘๗๐๐ – ๒๘๙๙๙	Avaya/CM6 และ ZTE/MSAN	
สอ.ทอ.(บ้านพัก,ทุ่งสีกัน) & UC	๓๑๐๐๐ – ๓๕๙๙๙	Nortel/NT81C/IP SIP	๕๐๐๐
รพ.ภูมิพลฯ อาคารคุ้มเกล้า	๒๗๐๐๐ – ๒๗๖๙๙	Ericsson/MD110 TSW	๑๐๐๐
รพ.ภูมิพลฯ อาคารคุ้มเกศ	๒๗๗๐๐ – ๒๗๙๙๙	Alcatel/Omni Enterprise	๔๐๐
ชอ.(บางซื่อ)	๓๖๐๐๐ – ๓๖๙๙๙	Ericsson/MD110 BC13	๘๐๐
รร.การบิน	๓๗๐๐๐ – ๓๘๔๙๙	Alcatel/Omni PCX 4400 และ Avaya/G650	๑๐๐๐
รพ.จันทรุเบกษา	๓๘๕๐๐ – ๓๘๖๙๙	Ericsson/MD110 TSW	๒๐๐
สร.กาญจนบุรี	๓๘๗๐๐ – ๓๘๙๙๙	Avaya/S8720/G650	๑๐๐

*** หมายเหตุ** - การจัดสรรช่วงของเลขหมายให้กับหน่วยผู้ใช้ จะจัดสรรให้เต็มจำนวนช่วง ซึ่งอาจมีจำนวนมากกว่าขนาดของชุมสายของหน่วยนั้นๆ อย่างไรก็ตามหน่วยผู้ใช้สามารถใช้เลขหมายได้เท่ากับจำนวนของเลขหมายที่ได้รับอนุญาตเท่านั้น เช่น ชุมสาย รร.การบิน ได้รับการจัดสรรเลขหมายในช่วง

๓๗๐๐๐ – ๓๘๔๙๙ (จำนวนเลขหมาย ๑๕๐๐ เลขหมาย) แต่ชุมสาย รร.การบินจะสามารถให้บริการเลขหมายโทรศัพท์กับ นขต.รร.การบิน ได้ ๑๐๐๐ เลขหมาย (ตาม License ที่ได้รับการติดตั้ง)

ตารางที่ ๓-๖ ระบบโทรศัพท์ข่ายธุรการของ ทอ. ปี ๕๙ (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ)

ชุมสาย	เลขหมาย*	ยี่ห้อ/รุ่น	ขนาด*
บน.๑	๔๐๐๐๐ – ๔๑๙๙๙	Avaya/S8800	๑๕๐๐
บน.๒๑	๔๓๐๐๐ – ๔๔๙๙๙	Avaya/S8720/G650	๑๕๐๐
สร.เขาเขียว	๔๗๐๐๐ – ๔๗๐๙๙	Avaya/S8300/G430	๑๐๐
สร.เขาพนมรุ้ง	๔๒๗๐๐ – ๔๒๗๙๙	Avaya/S8720	๑๐๐
สร.ภูเขียว	๔๒๕๐๐ – ๔๒๕๙๙	Ericsson/MD110 BC13 และ Avaya/G250	๑๐๐
ฝูง.๒๓๖ (สกลนคร)	๔๒๒๐๐ – ๔๒๒๙๙	Avaya/G350	๘
ฝูง.๒๓๗ (น้ำพอง)	๔๒๓๐๐ – ๔๒๓๙๙	Ericsson/MD110 BC7 และ Avaya/G250	๑๐๐
ฝูง.๒๓๘ (นครพนม)	๔๒๔๐๐ – ๔๒๔๙๙	-	-
สร.บ้านเพ	๔๒๘๐๐ – ๔๒๘๙๙	Ericsson/MD110 BC13 และ AVAYA/G650	๑๐๐
ฝูง.๑๐๖ (อู่ตะเภา)	๔๒๐๐๐ – ๔๒๐๙๙	Ericsson/MX1-TSE	๑๐๐
ฝูง.๒๐๖ (วัฒนานคร)	๔๒๙๐๐ – ๔๒๙๙๙	AVAYA/G430	๑๐๐

ตารางที่ ๓-๗ ระบบโทรศัพท์ข่ายธุรการของ ทอ. ปี ๕๙ (ภาคเหนือ)

ขุมสาย	เลขหมาย*	ยี่ห้อ/รุ่น	ขนาด*
บน.๔๑	๕๗๐๐๐ – ๕๘๙๙๙	Avaya/ DL360G9 HP/ G450	๑๐๐๐
บน.๔	๕๓๐๐๐ – ๕๔๙๙๙	Avaya/G3si/G650	๑๕๐๐
บน.๔๖	๕๕๐๐๐ – ๕๖๙๙๙	Ericsson/MD110 BC13	๑๐๐๐
สร.พิษณุโลก	-	Remote จาก บน.๔๖	-
สร.ดอยอินทนนท์	๕๒๔๐๐ – ๕๒๔๙๙	Ericsson/MD110 BC13	๑๐๐
สร.ภูหมันขาว	๕๒๕๐๐ – ๕๒๕๙๙	Avaya/S8720	๑๐๐
สนามฝึกใช้อาวุธฯ (บก.)	๕๒๑๐๐ – ๕๒๑๙๙	Ericsson/MD110 BC13	๑๐๐
สนามฝึกใช้อาวุธฯ (หอ.)	-	Remote จาก สอ.ทอ.	-
สถทค.เขาวงจันแดง	-	Remote จาก สอ.ทอ.	-
ฝูง.๔๖๖ (น่าน)	๕๒๓๐๐ – ๕๒๓๙๙	Ericsson/MD110 BC7	๑๐๐
บน.๒	๕๐๐๐๐ – ๕๑๙๙๙	Avaya G3si/G650	๑๐๐๐

ตารางที่ ๓-๘ ระบบโทรศัพท์ข่ายธุรการของ ทอ. ปี ๕๙ (ภาคใต้)

ชุมสาย	เลขหมาย*	ยี่ห้อ/รุ่น	ขนาด*
บน.๗	๖๕๐๐๐ – ๖๖๙๙๙	Avaya/S8800/G650	๑๕๐๐
บน.๕	๖๐๐๐๐ – ๖๑๙๙๙	Avaya/G650	๑๐๐๐
บน.๕๖	๖๓๐๐๐ – ๖๔๙๙๙	Siemens/Hicom 300E และ Avaya/G6500	๑๐๐๐
ศคปอ.สฎ.(S-SOC)	๖๒๕๐๐ – ๖๒๕๙๙	Avaya/S8720/G650	๑๐๐
สร.สมุย	๖๒๑๐๐ – ๖๒๑๙๙	Avaya/S8720/G430	๑๐๐
สร.ภูเก็ต	๖๒๒๐๐ – ๖๒๒๙๙	Avaya/G430	๑๐๐
สร.หาดใหญ่ (เขาวังชิง)	๖๒๓๐๐ – ๖๒๓๙๙	Avaya/G430	๑๐๐
สนามบินบ่อทอง	๖๒๖๐๐ – ๖๒๖๙๙	Ericsson/MX1	๑๐๐
ฝูง.๕๐๙ (บ่อฝ้าย)	๖๒๗๐๐ – ๖๒๗๙๙	Alcatel/Omni Enterprise	๑๐๐
สนามบินบ้านทอน	๖๒๘๐๐ – ๖๒๘๙๙	Ericsson/MX1	๑๐๐

ส่วนการจัดเลขหมายของข่ายธุรการ เป็นการจัดตามระบบการจัดเลขหมายโทรศัพท์ของ ทอ. (RTAF Closed Numbering) โดยใช้เลขหมาย ๕ ตัวในทุกๆ หน่วย และการหมุนติดต่อกัน

ส่วนการเชื่อมต่อระหว่างชุมสายนั้น ตามที่กำหนดไว้ในแผนของชุมสายโทรศัพท์ที่จะทำการเชื่อมต่อแบบดิจิตอล (IP Trunk : H323) ซึ่งในปัจจุบันชุมสายของ ทอ.ใช้การเชื่อมเป็นแบบดิจิตอลทั้งหมด

๓. ระบบการจัดเลขหมายโทรศัพท์ของ ทอ. (RTAF Closed Numbering)

RTAF Closed Numbering เป็นระบบการจัดเลขหมายโทรศัพท์ของ ทอ. มีวัตถุประสงค์ให้การใช้งานทางโทรศัพท์สะดวก และรวดเร็ว อีกทั้งง่ายต่อการจดจำ โดยการกำหนดให้เลขหมายภายในของ ทอ.เป็นกลุ่มเลขหมาย 5 ตัว ทุกหน่วยงานของ ทอ.ทั่วประเทศที่มีชุมสายโทรศัพท์ สามารถหมุนติดต่อและสนทนากันได้ โดยใช้เพียงเลขหมาย 5 ตัวนี้ และไม่จำเป็นต้องตัดรหัสพื้นที่ เนื่องจากระบบเลขหมาย 5 ตัว (A-BCDE) ที่ใช้นั้น มีหลักเกณฑ์การกำหนด ดังนี้

๓.๑ เลขหมายหลักที่ ๑ (A) และหลักที่ ๒ (B) ใช้ในการบอกตำแหน่งของสถานที่ตั้งชุมสายในภูมิภาคต่างๆ โดยแบ่งเป็น

A = 2 และ 3 หมายถึง ภาคกลาง
A = 4 หมายถึง ภาคตะวันออก/ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
A = 5 หมายถึง ภาคเหนือ
A = 6 หมายถึง ภาคใต้

๓.๒ เลขหมายหลักที่ ๓ เป็นตัวบอกหน่วยขึ้นตรงของกองบิน กำหนดดังแสดงในตารางที่ ๓-๙

ตารางที่ ๓-๙ แสดงรายละเอียด การกำหนดเลขหมายตัวที่สาม

หมายเลข	รายละเอียด
๐	ส่วนของผู้บังคับบัญชา
๑	ส่วนของฝูงบิน
๒	ส่วนของกองบังคับการ หรือกองบัญชาการ และแผนกการเงิน
๓	ส่วนของกองเทคนิค หรือกองซ่อมบำรุงอากาศยาน
๔	ส่วนของกองบริการ
๕	ส่วนของแผนกสนับสนุนการบิน หรือกองฝึกการบิน
๖	ส่วนของกองร้อยสารวัตรทหาร และกองพันทหารอากาศโยธิน
๗	ส่วนของบ้านพักอาศัย
๘	ส่วนของบ้านพักอาศัย
๙	ส่วนของหมายเลขพิเศษ ๆ และหน่วยสมทบ

๓.๓ เลขหมายหลักที่ ๔ (D)และ ๕ (E) ใช้คู่กันเพื่อบอกตำแหน่งหรือหน่วยงานต่างๆ ในสังกัดของของหน่วยงานที่ระบุถึงในหลักที่ ๓ และเพื่อให้ง่ายต่อการจดจำ สำหรับเลขหมายของผู้บังคับบัญชา, หน.หน่วย ต่างๆ และกลุ่มเลขหมายสำคัญ จะถูกกำหนดให้เป็นเลขหมายที่เหมือนกันทุกหน่วย เช่น หากต้องการติดต่อ ผบ.บน.๗ เราก็สามารถติดต่อไปยังเลขหมาย ๖-๕๐๑๐

A = ๖ แทนภาคใต้

B = ๕ แทน บน.๗

C = ๐ แทน ส่วนของผู้บังคับบัญชา

DE = ๑๐ แทน ผบ.กองบิน

บทที่ ๔
อุปกรณ์ป้องกันของชุมสายโทรศัพท์

กล่าวนำทั่วไป

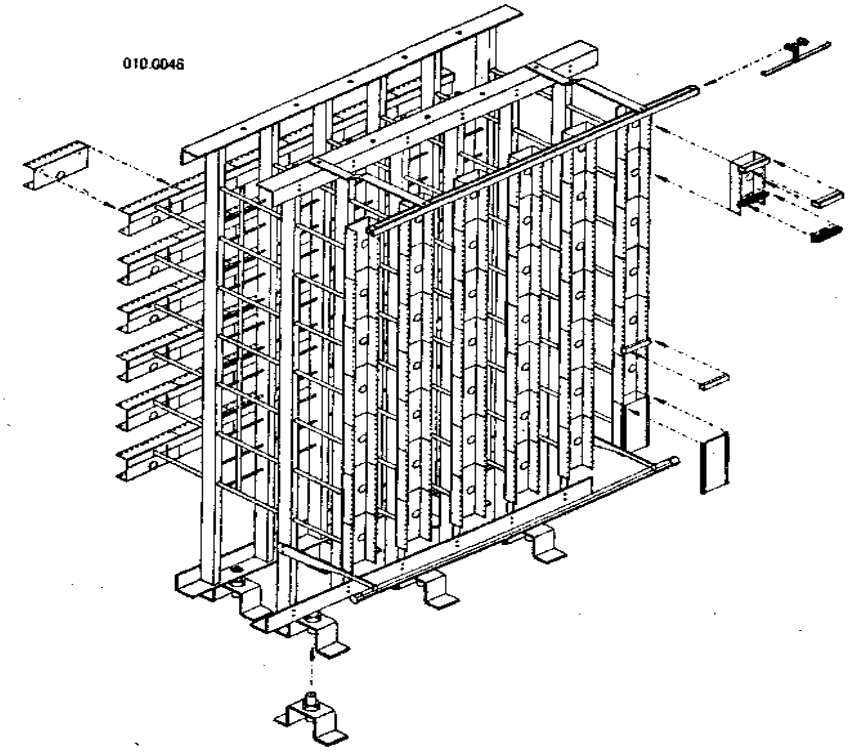
ชุมสายโทรศัพท์ (Exchange) มีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สลับสายส่วนกลาง เพื่อให้การติดตั้งเคเบิลเชื่อมไปถึงผู้ใช้งานแต่ละแห่งมีเพียง ๑ คู่สาย แทนที่ต้องติดตั้งอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์ทุกเครื่องถึงกันทั้งหมด ทำให้สามารถลดจำนวนของตัวกลางนำสัญญาณหรือคู่สายเคเบิลให้ลดเหลือเพียง N จุด (เท่ากับจำนวนขนาดของชุมสายนั้นๆ) ซึ่งจะทำให้ประหยัดต้นทุนในการสร้างเครือข่ายลดลงอย่างมาก อีกทั้งทำให้การควบคุมระบบ รวมถึงการซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ สามารถทำได้ที่ส่วนกลางเพียงแห่งเดียว ซึ่งจะมีความสะดวกและรวดเร็ว ประหยัดงบประมาณ และลดการใช้บุคลากรในการจัดการอีกทั้งยังก่อให้เกิดความอ่อนตัวในการขยายระบบในอนาคต

อุปกรณ์สลับสายที่กล่าวถึงข้างต้นนี้ เรียกว่า MDF (Main Distribution Frame) ซึ่งอุปกรณ์นี้ประกอบด้วยโครง ที่แต่ละด้านของโครงนี้จะมีจุดของกล่องพักสาย (Terminal) ซึ่งด้านหนึ่งของ MDF จะมีที่พักสายเคเบิลที่มาจากอุปกรณ์ชุมสาย เรียกว่า Exchange Side ส่วนอีกด้านหนึ่งของ MDF จะเป็นเคเบิลที่ออกไปสู่ผู้ใช้งานเรียกว่า Subscribers Line-Terminating Unit หรือที่ ทอ.กำหนดเรียกว่า Out Side และระหว่างด้านทั้งสองนี้จะมีการใช้ Jumper Wire เชื่อมซึ่งกันและกันตามคู่สายที่ต้องการ ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการเปลี่ยนแปลง เพื่อให้วงจรใดๆ ด้านอุปกรณ์ชุมสายเชื่อมไปยังเคเบิลด้านที่ต่อไปยังผู้ใช้งานที่ต้องการ และที่ MDF นี้เอง เป็นจุดติดตั้งฟิวส์และอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าต่างๆ ที่ทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายที่มาจากสายเคเบิล ที่จะเข้าทำอันตรายและก่อให้เกิดความเสียหายต่อชุมสายโทรศัพท์ได้

๑. Main Distribution Frame (MDF)

MDF เป็นจุดพักสายเคเบิลที่มาจากชุมสายโทรศัพท์ ก่อนจะกระจายสายไปยังผู้ใช้ปลายทางที่อยู่ตามสถานที่ต่างๆ โดยจะจ่ายผ่านไปยังห้องรวมเคเบิล ซึ่ง MDF มีหลายขนาดและหลายรูปแบบ ตั้งแต่ขนาดเล็กไม่กี่สิบคู่สายจนถึงขนาดใหญ่รองรับได้เป็นพันๆ คู่สาย เพื่อรองรับคู่สายเคเบิลจากชุมสายโทรศัพท์ MDF

MDF มีการจัดวางแบบแนวตั้ง (Horizon) และแบบแนวนอน (Vertical) อาจจะติดตั้งแบบแยกกัน หรือติดตั้งรวมกั้นก็ได้ ดังแสดงในภาพที่ ๔-๑



ภาพที่ ๔-๑ Horizontal MDF

ในการติดตั้งใช้งาน MDF จะถูกแบ่งออกเป็น ๓ ส่วน คือ ส่วนที่รับเคเบิลจากชุมสายโทรศัพท์ เรียกว่า Exchange Side, ส่วนที่จะจ่ายไปยังคู่สายผู้ใช้งานเรียกว่า Line Side (เรียงตามหมายเลขโทรศัพท์ที่ออกจากชุมสาย) และด้าน Out Side (เรียงตามคู่หมุดเคเบิลโทรศัพท์) ในการเชื่อมต่อระหว่าง ๓ ส่วนถึงกันจะใช้สายทองแดง (Jumper Wire) เป็นตัวเชื่อม

วัตถุประสงค์ของการใช้งาน MDF มีดังนี้

๑. ทำให้การ Jump สายเคเบิล สะดวกรวดเร็ว และดูเป็นระเบียบ

๒. สามารถกระจายสาย Jump ไปยังจุดต่างๆ ได้ง่าย

๓. ประหยัดพื้นที่ ระยะทาง และสาย Jumper

๔. ง่ายต่อการตรวจหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น

การใช้งาน MDF จะเลือกใช้ตามความเหมาะสมของจำนวนคู่สายและการติดตั้งตามพื้นที่ โดยสามารถแบ่ง MDF ตามลักษณะการติดตั้งได้ ๒ ประเภท คือ

๑. MDF แบบติดตั้งบนพื้น (Floor Distributor)

๒. MDF แบบติดตั้งกับผนัง (Wall Distributor)

๑.๑ MDF แบบติดตั้งบนพื้น (Floor Distributor)

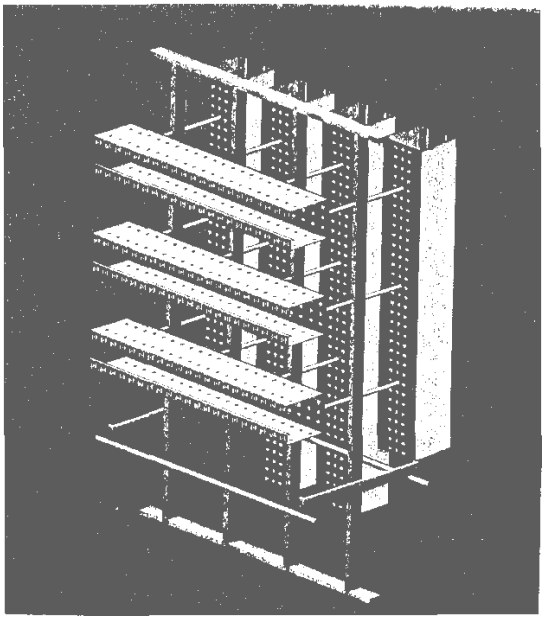
๑.๑.๑ MDF แบบติดตั้งบนพื้น ที่มีทั้งแนวตั้งและแนวนอน เป็น MDF ที่มีขนาดใหญ่ จึงเหมาะกับชุมสายโทรศัพท์ขนาดใหญ่ ที่มีขนาด ๔,๐๐๐ เลขหมายขึ้นไป มีคุณลักษณะ ดังนี้

๑.๑.๑.๑ มี Bays ด้าน Exchange Side เป็นแบบแนวนอน และด้าน Line Side เป็นแบบแนวตั้ง

๑.๑.๑.๒ มีเส้นทางการ Cross สาย Jumper ถึงกันโดยตรง

๑.๑.๑.๓ มีการเพิ่มหรือลดจำนวน Bays ได้

๑.๑.๑.๔ การนับ Bays ของ MDF แบบนี้ ทางด้านแนวตั้งจะเริ่มนับจากบนลงล่าง เป็นลำดับจาก ๐๑ ถึง ๑๐ ส่วนทางด้านแนวนอนเริ่มนับจากซ้ายไปขวาเป็นลำดับจาก ๑๑ ไปเรื่อยๆ



ภาพที่ ๔-๒ MDF แบบติดตั้งบนพื้น ที่มีทั้งแนวตั้งและแนวนอน

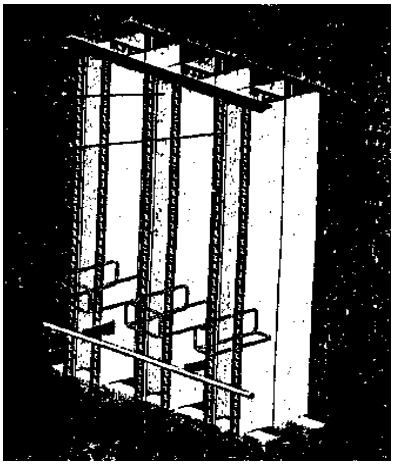
๑.๑.๒ MDF แบบติดตั้งบนพื้น แบบที่มีแนวนอนทั้ง ๒ ด้าน MDF ชนิดนี้ จะมีขนาดของ Bays มากถึง 15 Bays ใช้สำหรับการกระจายสายขนาดใหญ่ ซึ่งมีคุณลักษณะ ดังนี้

๑.๑.๒.๑ มี Bays ทั้ง ๒ ด้าน เป็นแบบแนวตั้ง

๑.๑.๒.๒ มีเส้นทางการ Cross สาย Jumper ทางด้านล่างเพียงทางเดียว

๑.๑.๒.๓ มีการเพิ่มหรือลดจำนวน Bays ได้

๑.๑.๒.๔ การนับ Bays จะแบ่งนับด้านหน้าและด้านหลัง โดยทางด้านหน้าจะกำหนดให้เป็นจำนวนคี่ คือ ๐๑, ๐๓, ๐๕, ... ส่วนทางด้านหลังจะกำหนดให้เป็นจำนวนคู่ คือ ๐๒, ๐๔, ๐๖,...



ภาพที่ ๔-๓ MDF ตั้งพื้นแบบมีแนวนอนทั้ง ๒ ด้าน

๑.๒ MDF แบบชนิดติดตั้งกับผนัง (Wall Distributor)

การใช้ MDF แบบติดผนังนี้ จะใช้กับชุมสายที่มีขนาดเล็ก มีการกระจายสายที่มีจำนวนจุดไม่มากจนเกินไป โดยทั่วไปมีขนาดที่ใช้ประมาณ 10 Bays ซึ่ง MDF แบบนี้มีคุณลักษณะ ดังนี้

๑.๒.๑ ใช้ติดตั้งกับผนังห้อง

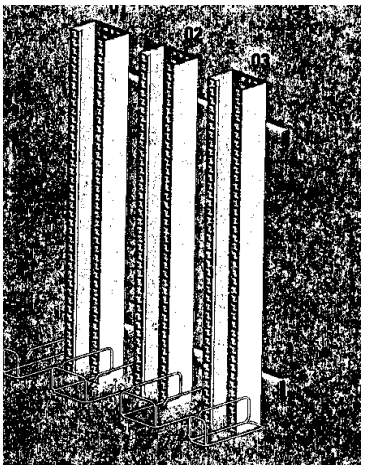
๑.๒.๒ มีการ Cross สาย Jumper ทางด้านล่าง

๑.๒.๓ สามารถเข้าสายเคเบิลได้ ทั้งด้านบนและด้านล่าง

๑.๒.๔ สามารถเพิ่มหรือลดขนาดของ Bays ได้

๑.๒.๕ มีขนาดถึง 110 Bays

๑.๒.๖ การนับ Bays กำหนดการนับตามลำดับ จาก ๐๑, ๐๒, ๐๓, ๐๔, ...

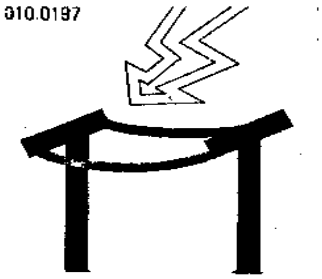


ภาพที่ ๔-๔ MDF แบบชนิดติดตั้งกับผนัง (Wall Distributor)

๒. อันตรายที่เกิดกับระบบทางสายโทรศัพท์

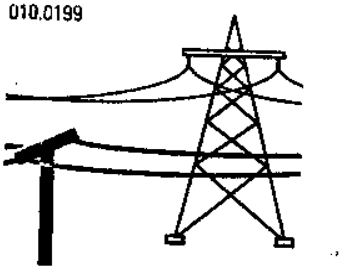
เนื่องจากในระบบทางสายโทรศัพท์นั้น แต่ละส่วนของเครือข่ายจะมีส่วนที่เป็นโลหะตัวนำไฟฟ้าและต้องอยู่กลางแจ้งตลอดเวลา บางจุดอาจอยู่ใกล้กับระบบไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งอาจทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้า จากภายนอกเข้าสู่ระบบข่ายสายโทรศัพท์ เป็นเหตุให้ระบบของเครื่องชุมสายโทรศัพท์เสียหายได้ โดยสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้าเข้ามาในสายโทรศัพท์ได้ มีดังเช่นตัวอย่างต่อไปนี้

๒.๑ เกิดจากภัยธรรมชาติ คือ ฟ้าผ่า ซึ่งการเกิดฟ้าผ่านั้นจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าแรงเคลื่อนสูงในสายโทรศัพท์ อาจเป็นช่วงระยะเวลาสั้นๆ ก็ทำให้ระบบชุมสายโทรศัพท์เสียหายได้ เนื่องจากแรงคลื่นที่เข้ามาจะสูงถึงกิโลโวลท์ และมีความถี่สูงมาก อาจก่อให้เกิดกระแสในสายโทรศัพท์อาจสูงถึงหลายร้อย กิโลแอมป์



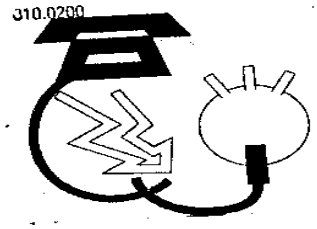
ภาพที่ ๔-๕ การเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าในสายโทรศัพท์ ที่เกิดจากภัยธรรมชาติ

๒.๒ เกิดจากการวางสายเคเบิลโทรศัพท์ผ่านสายไฟฟ้าแรงสูง โดยสายเคเบิลโทรศัพท์ที่ตั้งอยู่ใกล้สายไฟฟ้าแรงสูงมากเกินไป จะทำให้สนามแม่เหล็กที่เกิดจากสายไฟฟ้าแรงสูง เหนี่ยวนำมาที่สายโทรศัพท์ที่เป็นตัวนำไฟฟ้า จึงเกิดการเหนี่ยวนำขึ้น ทำให้เกิดมีกระแสไฟฟ้าในวงจรผ่านทางสายโทรศัพท์เข้ามาในระบบชุมสายโทรศัพท์ และทำให้อุปกรณ์เสียหาย



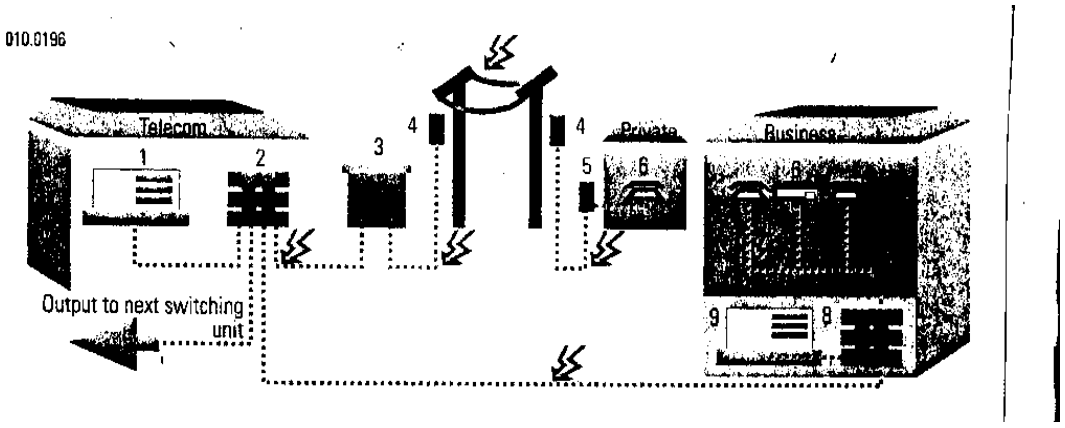
ภาพที่ ๔-๖ การเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าจากไฟฟ้าแรงสูง

๒.๓ เกิดจากสายโทรศัพท์ไปสัมผัสกับไฟฟ้าในระบบขึ้นโดยตรง เนื่องจากสายเคเบิลโทรศัพท์ที่ติดตั้งจากชุมสายโทรศัพท์ไปถึงปลายทางคือผู้ใช้งาน จะต้องใช้ระยะทางยาวมาก ทำให้อาจมีบางจุดที่ไปสัมผัสกับระบบไฟฟ้าของระบบอื่นที่อยู่ภายนอก หรือภายในตัวอาคารของผู้ใช้งาน หรือเกิดการลัดวงจรเองก็ได้



ภาพที่ ๔-๗ การสัมผัสกับระบบไฟฟ้าของระบบอื่น

จากตัวอย่างสาเหตุต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วนั้น แสดงให้เห็นจุดที่เกิดการการเหนี่ยวนำ หรือจุดที่นำมาซึ่งความเสียหายต่อระบบชุมสายโทรศัพท์ ที่สามารถเกิดขึ้นได้ทุกจุดตลอดแนวการสื่อสารจากชุมสายโทรศัพท์ไปจนถึงบ้านผู้ใช้งาน ดังแสดงตามรูป



๑. ชุมสายโทรศัพท์ (EXCHANGE)
๒.จุดกระจายสายโทรศัพท์ (MDF)
๓. ตู้พักคอดิน (CROSS CONNECTION CABINET)
๔. กล่องกระจายสาย (DISTRIBUTOR BOX / TERMINAL BRANCH)
๕. กันฟ้า (STATION PROTECTOR)
๖. อุปกรณ์ปลายทาง (TERMINAL EQUIPMENT)
๗. จุดกระจายสายในอาคาร (FLOOR DISTRIBUTOR)
๘. จุดกระจายปลายทาง (MAIN DISTRIBUTOR)
๙. ตู้โทรศัพท์สาขา (PABX)

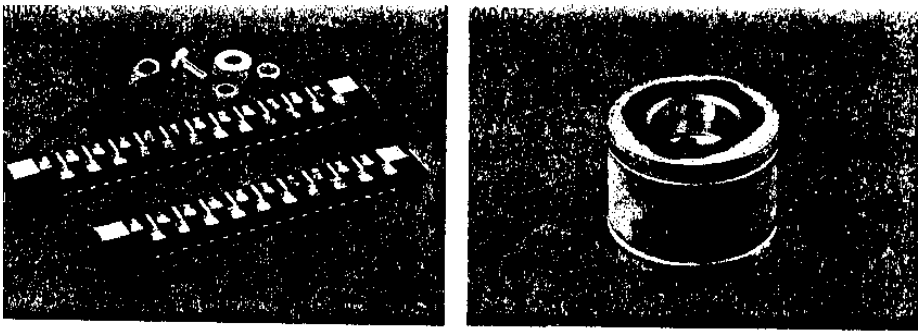
ภาพที่ ๔-๘ การวางระบบทางสายจากต้นทางไปปลายทาง

๓. อุปกรณ์ป้องกันทางสายโทรศัพท์

การป้องกันกระแสไฟสลับจากภายนอกไม่ให้เข้ามาในระบบชุมสายโทรศัพท์นั้น กระแสไฟที่เข้ามาทางสายโทรศัพท์จะถูกป้องกันโดยอุปกรณ์ป้องกัน (Protection Components) ที่ติดตั้งไว้ที่ MDF และที่ตัวชุมสายโทรศัพท์เอง

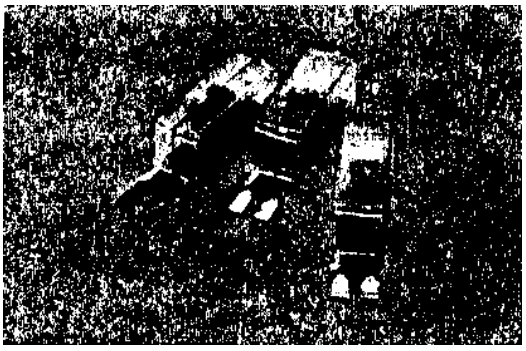
อุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันไฟฟ้าในระบบโทรศัพท์ แบ่งการป้องกันออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนป้องกันแบบหยาบ (Coarse Protection) ใช้สำหรับป้องกันไฟฟ้าแรงเคลื่อนสูง (Overvoltage Protection) คือเป็นการป้องกันขั้นแรก และเมื่อผ่านชั้นแรกแล้ว ก็จะป้องกันชั้นที่ 2 ในส่วนป้องกันแบบละเอียด (Fine Protection) เป็นส่วนที่ทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผ่านชั้นแรกมาแล้วนั้น มีแรงเคลื่อนต่ำลงอีก ตัวอย่างอุปกรณ์ดังกล่าวที่พบมากโดยทั่วไป ได้แก่

๓.๑ อาร์เรสเตอร์ (Arrester) ใช้สำหรับการป้องกันแรงดันไฟสูง จะบรรจุบนแผงเป็นชุดที่เรียกว่า Magazine จะต่อยู่ด้านหลังของแผงหมุดเข้าสายที่ MDF



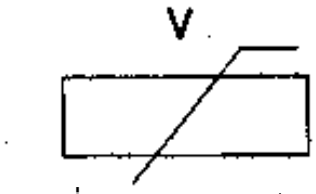
ภาพที่ ๔-๙ อาร์เรสเตอร์ (Arrester)

๓.๒ ฟิวส์ปลั๊ก (Protection Plug) ใช้สำหรับป้องกันกระแสไฟฟ้าสูง มีลักษณะเป็นปลั๊กเสียบภายในจะประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ทำให้หน้าที่เป็นฟิวส์ป้องกันไฟฟ้ากระแสสูง มีหลายขนาด เช่น 120 mA, 145 mA, 180 mA และ 375 mA ลักษณะการต่อใช้งานจะติดตั้งอยู่ด้านหน้าของแผงหมุดเข้าสายโทรศัพท์ที่ MDF



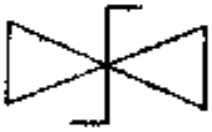
ภาพที่ ๔-๑๐ ฟิวส์ปลั๊ก (Protection Plug)

๓.๓ วาริสเตอร์ (Varistor) เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ใช้ป้องกันไฟฟ้าที่ผ่านมาจาก MDF จะทำหน้าที่เหมือนสวิทช์ถูกต่อลงกราวด์ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าเกินจะใช้แรงดันเป็นตัวควบคุมการทำงาน มีสัญญาลักษณ์ดังนี้



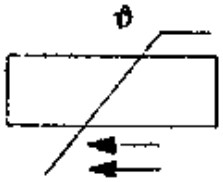
ภาพที่ ๔-๑๑ วาริสเตอร์ (Varistor)

๓.๔ ซีเนอร์ไดโอด ๒ ทาง (Bidirectional Z-Diode) มีลักษณะการทำงานเหมือนกับวาริสเตอร์ ต่างกันตรงที่สามารถควบคุมการทำงานจากแรงดันไฟฟ้าทางบวกและทางลบ มีสัญญาลักษณ์ดังนี้



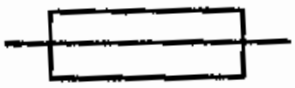
ภาพที่ ๔-๑๒ ซีเนอร์ไดโอด 2 ทาง (Bidirectional Z-Diode)

๓.๕ พีทีซี (Positive Temperature Coefficient Thermistor : PTC) เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานโดยการเปลี่ยนค่าความต้านทานภายในตัวเอง โดยควบคุมจากอุณหภูมิจะทำหน้าที่เหมือนฟิวส์ ต่างกันตรงที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ เมื่อระบบกลับสู่สภาวะปกติ มีสัญญาลักษณ์ดังนี้



ภาพที่ ๔-๑๓ พีทีซี (Positive Temperature Coefficient Thermistor : PTC)

๓.๖ ฟิวส์ (Fuse) จะทำหน้าที่ตัดวงจรเมื่อมีกระแสไฟฟ้าเกินพิกัด มัสัญญาลักษณดังนี้



ภาพที่ ๔-๑๔ ฟิวส์ (Fuse)

บทที่ ๕

ระบบจ่ายไฟ (Power Supply)

กล่าวนำทั่วไป

อุปกรณ์ของชุมสายโทรศัพท์ทั่วไป ออกแบบมาให้ทำงานร่วมกับกระแสไฟตรง 48 V ดังนั้น เพื่อให้ชุมสายโทรศัพท์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบจ่ายไฟต้องสามารถจ่าย Voltage ให้ได้ใกล้เคียงกับค่านี้มากที่สุด (Voltage ที่ใช้งานจะผันแปรอยู่ระหว่าง 44 ถึง 54 V)

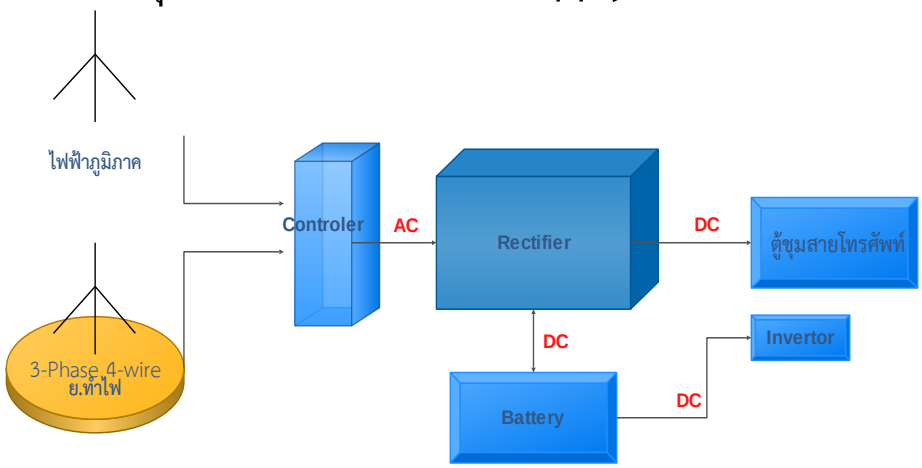
อุปกรณ์ในระบบจ่ายไฟประกอบด้วย แบตเตอรี่ และอุปกรณ์ควบคุมการประจุ และการจ่าย Power ไปใช้งานกับโหลดในภาวะปกติ (Float) ตามปกติต้องการให้เครื่องประจุไฟ (Charger) รักษาค่า Voltage ระหว่างขั้ว ให้มีค่าดังนี้

๑. ชุมสายขนาดใหญ่ที่ต้องใช้กระแสไฟสูง : ค่าแรงดันไฟเท่ากับ 2.15 V ต่อ Cell หรือ 51.60 V สำหรับ 24 Cell

๒. ชุมสายขนาดกลางถึงขนาดเล็กที่ต้องใช้กระแสไฟต่ำ : ค่าแรงดันไฟเท่ากับ 12.15 V ต่อ Cell หรือ 48.60 V สำหรับ 4 Cell

อุปกรณ์เครื่องประจุไฟต้องมีค่าเพียงพอสำหรับ Peak Power Equipment Load และในกรณีที่อุปกรณ์ขัดข้อง จะต้องมีระบบสำรองไว้ใช้กับ Load ได้โดยอัตโนมัติ และต้องมีสัญญาณควบคุม หรือสัญญาณแจ้งเตือน เพื่อแจ้งให้ จนท.ชุมสายรับทราบ และสามารถดำเนินการแก้ไขข้อขัดข้องอย่างทันท่วงที ก่อนที่จะเป็นเหตุให้ชุมสายโทรศัพท์ล่มทั้งระบบ

๑. ระบบจ่ายไฟชุมสายโทรศัพท์ (Power Supply)



ภาพที่ ๕-๑ แผนผังระบบจ่ายไฟ (Power Supply)

ระบบจ่ายไฟชุมสายโทรศัพท์ (Power Supply) โดยทั่วไปออกแบบมาให้ทำงานร่วมกับระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ 48 V มีส่วนประกอบด้วยกันหลายส่วน ดังแสดงในภาพที่ ๕-๑ โดยแต่ละส่วนมีหน้าที่ ดังนี้

ส่วนประกอบและหน้าที่ของระบบจ่ายไฟชุมสายโทรศัพท์ ระบบจ่ายไฟฟ้าชุมสายโทรศัพท์มีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้

๑. เครื่องยนต์ทำไฟ เป็นอุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้าเมื่อเกิดเหตุกระแสไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไฟฟ้าหลักขัดข้อง

๒. Rectifier ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าสลับเป็นกระแสตรง เพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์ชุมสายโทรศัพท์

๓. Charger ทำหน้าที่ประจุไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์สำรองไฟฟ้า (Battery)

๔. Inverter ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าตรงเป็นกระแสสลับ เนื่องจากระบบชุมสายโทรศัพท์จะมีอุปกรณ์บางตัว ที่ทำงานด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ เช่น อุปกรณ์ Sever และอุปกรณ์สลับสาย (Switch)

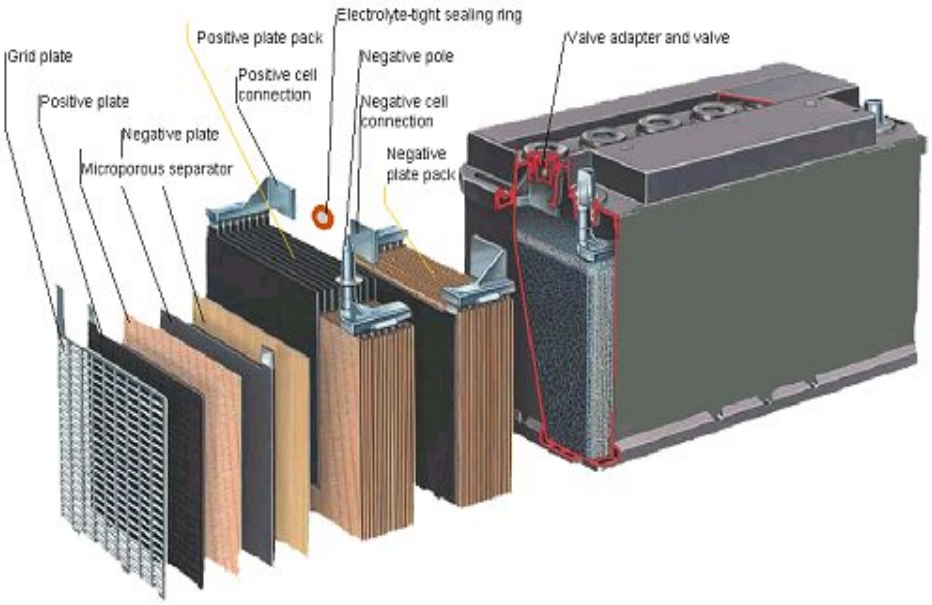
๕. Battery ตัวเก็บประจุไฟฟ้ากระแสตรง ทำหน้าที่จ่ายไฟเมื่อเครื่องยนต์ทำไฟ หรือ ไฟฟ้าส่วนภูมิภาคขัดข้อง (ทอ.ออกแบบมาให้จ่ายไฟได้ไม่ต่ำกว่า ๘ ชม.)

๒. แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ที่ใช้งานกับชุมสายโทรศัพท์ ปัจจุบันมีใช้อยู่หลายแบบตามความเหมาะสม แต่ที่มีการใช้งานโดยทั่วไปใน ทอ. มีรายละเอียดดังนี้

๒.๑ Leaded–Acid Batteries

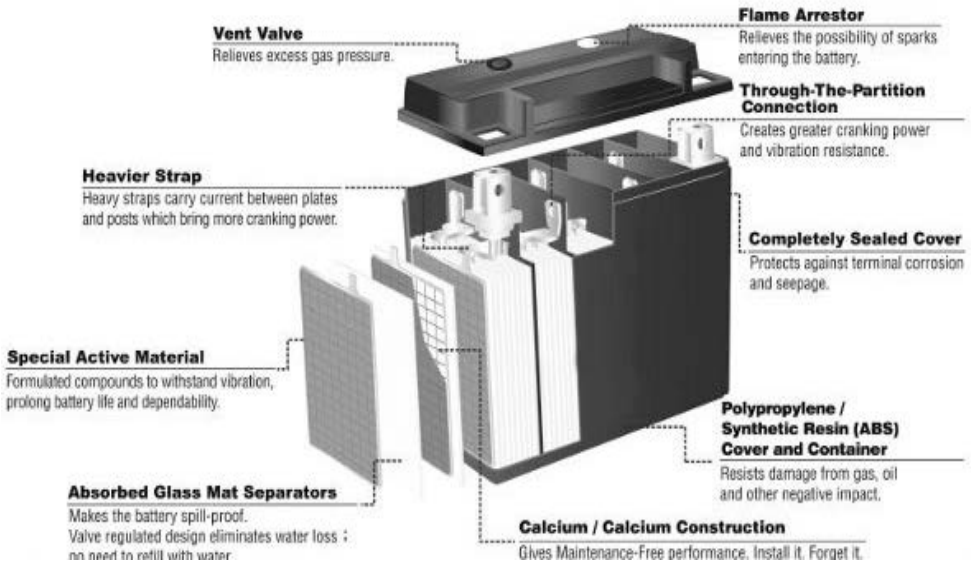
เป็นแบตเตอรี่แบบเปียก ๑ ชุดประกอบด้วย ๒๔ หม้อ (Cell) แต่ละหม้อเท่ากับ 2 V การใช้งานต้องการการดูแลบำรุงรักษาตลอดอายุการใช้งาน และต้องติดตั้งแยกพื้นที่ต่างหาก ในที่ที่มีอากาศถ่ายเท มีระบบระบายอากาศ เนื่องจากมีไอของน้ำกรด แบตเตอรี่แบบนี้นิยมใช้ติดตั้งกับชุมสายโทรศัพท์ขนาดใหญ่ มีอายุการใช้งานนานตั้งแต่ ๕-๒๐ ปี ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ประกอบเป็นเซลล์ภายใน มีความจุตั้งแต่ 200AH - 3500AH ดังรูป



ภาพที่ ๕-๒ โครงสร้างและส่วนประกอบของ Leaded–Acid Batteries

๒.๒ Maintenance-Free Batteries

เป็นแบตเตอรี่เปียกอีกชนิดหนึ่ง ที่ไม่ต้องการการดูแลบำรุงรักษามากนัก โดยมีฝาด้านบนปิดสนิทมี Safety Value ของแต่ละช่อง โดย ๑ ชุดประกอบด้วย ๔ หม้อๆ ละ 12 V นิยมใช้ติดตั้งกับ ชุมสายโทรศัพท์ขนาดเล็ก มีอายุการใช้งานประมาณ ๓-๕ ปี ติดตั้งใช้งานร่วมกับห้องชุมสายได้ แต่มีไอของน้ำกรดบ้างเล็กน้อย มีความจุตั้งแต่ 28AH - 180AH ดังรูป



ภาพที่ ๕-๓ โครงสร้างและส่วนประกอบของ Maintenance-Free Batteries

๒.๓ Maintenance-Free Sealed Calcium Batteries

ของเหลวที่บรรจุในแบตเตอรี่แบบนี้เป็นสารเคมีค่อนข้างข้นเหนียว ไม่ต้องการการบำรุงรักษา มีฝาด้านบนปิดสนิทอย่างถาวร สามารถติดตั้งใช้งานได้ทั้งแนวตั้งและแนวนอน เหมาะสำหรับใช้งานในห้องปรับอากาศ เพราะปราศจากการระเหยของไอน้ำกรด **ข**นาดของแรงเคลื่อน 6 V และ 12 V ต่อ ๑ หม้อ

ภาพที่ ๕-๔ โครงสร้างและส่วนประกอบของ Maintenance-Free Sealed Calcium Batteries

๓. การตรวจสอบแบตเตอรี่

เพื่อให้แบตเตอรี่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีอายุการใช้งานนาน ควรมีการปรนนิบัติดูแลรักษาแบตเตอรี่เป็นประจำ โดยมีการตรวจดูแล ดังนี้

๑. ตรวจระดับน้ำยาในแบตเตอรี่

๒. ตรวจระบบไฟประจุแบตเตอรี่

๓. ตรวจความถ่วงจำเพาะของน้ำยาทุกช่องให้อยู่ในระดับ 1.260 – 1.280

๔. ตรวจสอบสภาพขั้วแบตเตอรี่ และสายไฟฟ้าต้องอยู่ในสภาพเรียบร้อย

๕. ตรวจระดับตะกอนก้นหม้อแบตเตอรี่

๖. ตรวจแรงเคลื่อนไฟฟ้าแต่ละเซล

บทที่ ๖
เทคโนโลยีและการทำงานของชุมสายโทรศัพท์ระบบ VoIP

กล่าวนำทั่วไป

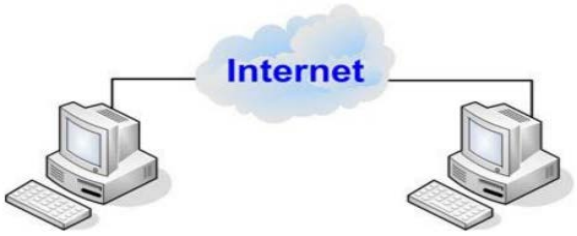
ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารนั้นมีการพัฒนามากขึ้น ทำให้การขยายตัวของระบบเครือข่ายสัญญาณข้อมูล มีอัตราการเติบโตที่รวดเร็วกว่าการขยายตัวของเครือข่ายสัญญาณเสียงค่อนข้างมาก อีกทั้งมีการพัฒนาให้สามารถรวมการสื่อสารทางเสียงมาอยู่บนระบบเครือข่ายของสัญญาณข้อมูล ทำให้มีความสะดวก และเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย ซึ่งเป็นลักษณะการรวมบริการหลายๆ อย่างไว้ในโครงข่ายเดียวกัน โดยให้บริการได้ทั้ง สัญญาณเสียง ข้อมูล และภาพ ภายใต้โครงข่ายแบบแพ็คเกจ

เทคโนโลยีบริการโทรศัพท์ผ่านระบบ Internet ซึ่งเป็นที่รู้จักในชื่อ Voice over IP (VoIP) เป็นอีกบริการเพื่อให้การส่งผ่านสัญญาณเสียงไปบนระบบเครือข่ายด้วย Protocol ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันอย่าง IP (Internet Protocol) ได้ หรือจะให้เข้าใจให้ง่ายขึ้นก็คือ การบริการที่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ (แทนการใช้เครื่องโทรศัพท์แบบเดิม) สนทนาระหว่างกันได้ รวมถึงการสนทนากับโทรศัพท์พื้นฐาน ผ่านทางระบบเครือข่าย Internet โดยการให้บริการไม่เสียค่าบริการเพิ่มเติม และคุณภาพของบริการก็ถูกพัฒนาขึ้นมาเรื่อยๆ จนเทียบเท่าระบบโทรศัพท์พื้นฐาน

๑. ลักษณะการใช้งานระบบสื่อสารผ่าน VoIP

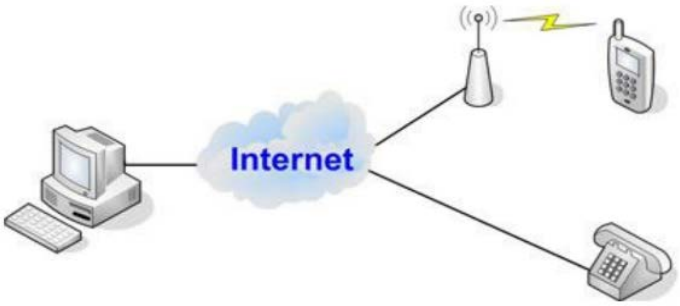
ระบบ VoIP สามารถแบ่งตามลักษณะการใช้งานออกได้เป็น ๓ ลักษณะ คือ

๑.๑ การสนทนาระหว่างคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลไปยังคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC to PC) โดยการติดตั้ง Sound Card และไมโครโฟน ใช้งานกับ PC ที่ลงโปรแกรม Softphone (เช่น Avaya Softphone) เชื่อมต่อกับเครือข่ายของชุมสายที่รองรับ VoIP จึงสามารถสื่อสารทางเสียงกันได้ทั้งแบบจุดต่อจุด (Point-to-Point) หรือแบบจุดต่อหลายจุด (Point-to-Multipoint หรือ Conference)



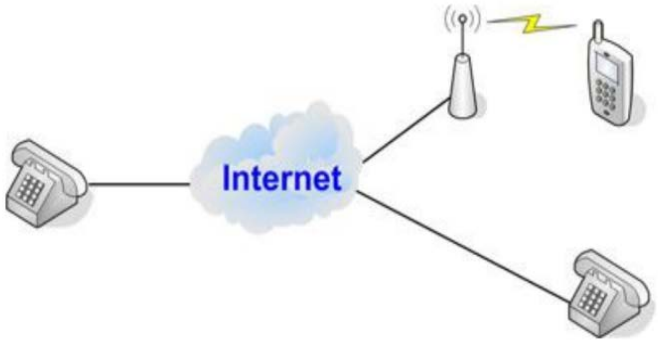
ภาพที่ ๖-๑ PC to PC Communications

๑.๒ การสนทนาระหว่างคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลไปยังโทรศัพท์พื้นฐาน (PC to Phone) เป็นการเชื่อมเครือข่ายโทรศัพท์เข้ากับเครือข่าย IP โดยอาศัย Voice Trunks ที่สนับสนุน Voice Packet ทำให้สามารถใช้ PC ติดต่อกับโทรศัพท์ระบบปกติได้



ภาพที่ ๖-๒ PC to Phone Communications

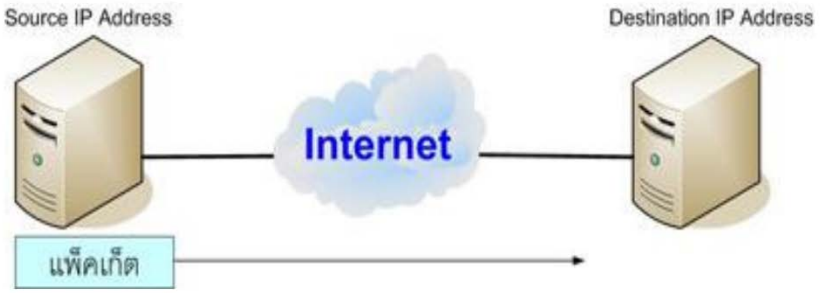
๑.๓ การสนทนาระหว่างโทรศัพท์กับโทรศัพท์ (Phone-to-Phone) เป็นการใช้โทรศัพท์ธรรมดาติดต่อกับโทรศัพท์ธรรมดา โดยการแปลงข้อมูลเสียงให้เป็น Packet ประเภทต่างๆ แล้วส่งออกไปบนเครือข่ายชุมสายโทรศัพท์ และหากมีการติดต่อกันระหว่างชุมสายโทรศัพท์ (PSTN) จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ Gateway ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างชุมสายนั้นด้วย



ภาพที่ ๖-๓ Phone to Phone Communications

๒. หลักการพื้นฐานของเครือข่าย IP

เครือข่ายไอพี (Internet Protocol) มีพัฒนามาจากรากฐานระบบการสื่อสารแบบ Packet โดยระบบมีการกำหนด Address ที่เรียกว่า IP Address ประจำอุปกรณ์ทุกตัวในระบบ ถ้าต้องการส่งข่าวสารจาก IP Address หนึ่งไปยังอีก IP Address หนึ่ง กระทำได้โดยใช้หลักการบรรจุข้อมูลใส่ใน Packet แล้วส่งไปในเครือข่าย โดยมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า Router เป็นตัวดำเนินการเกี่ยวกับการจัดส่ง Packet บนพื้นฐานการรับส่งข้อมูลแบบ Datagram หรือ Packet

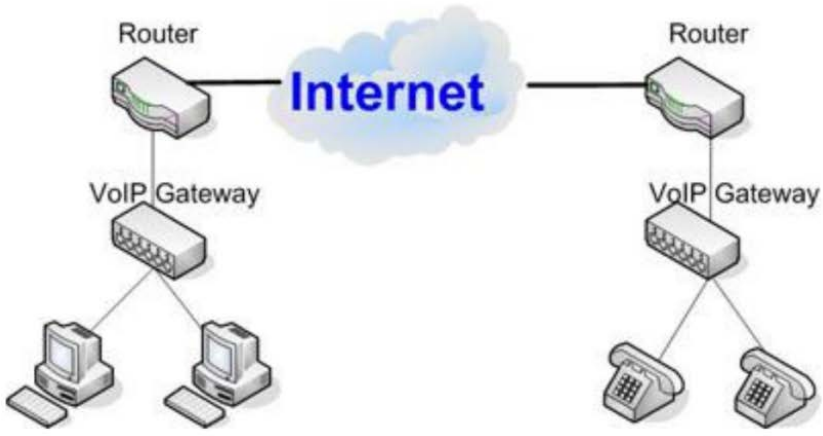


ภาพที่ ๖-๔ ระบบการสื่อสารแบบ Packet

จะเห็นว่าการส่งแบบ Packet ผ่านระบบเครือข่ายนั้น จะไม่สามารถรับประกันได้ว่า Packet นั้นจะถึงปลายทางเมื่อไร ดังนั้นรูปแบบของเครือข่ายไอพีจึงไม่เหมาะสมกับการสื่อสารแบบต่อเนื่อง เช่น การส่งสัญญาณเสียง หรือวิดีโอ แต่เมื่อเครือข่าย IP ได้รับการพัฒนาอย่างกว้างขวางและเชื่อมโยงถึงกันมากขึ้น ความต้องการส่งสัญญาณข้อมูลเสียงที่มีคุณภาพเป็นเหตุผลให้มีการพัฒนาไปสู่ระบบ VoIP

Voice over IP (VoIP) หรือที่เรียกกันว่า “VoIP Gateway” หมายถึง การส่งข้อมูลเสียงบนเครือข่ายไอพี เป็นระบบที่แปลงสัญญาณเสียงในรูปของสัญญาณไฟฟ้ามาเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยนำข้อมูลเสียงมาบีบอัดและบรรจุลงเป็นแพ็กเก็ตไอพี (IP) แล้วส่งไปโดยมีเราเตอร์ (Router) เป็นตัวกำหนดเส้นทางการเดินทางของ Packet จนถึงอุปกรณ์ภาครับปลายทาง รวมถึงทำหน้าที่แก้ปัญหาบางอย่างที่อาจเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการรับส่งข้อมูลให้ เช่น การแก้ปัญหาเมื่อมีบางแพ็กเก็ตสูญหายหรือได้มาล่าช้า (Delay) การบีบอัดสัญญาณเสียงให้มีขนาดเล็กลง เป็นต้น

การสื่อสารผ่านทางเครือข่ายไอพี ต้องมีเราเตอร์ (Router) ที่ทำหน้าที่พิเศษเพื่อประกันคุณภาพของสัญญาณไอพีนี้ เพื่อให้ข้อมูลไปถึงปลายทางหรือส่งกลับมาได้อย่างถูกต้อง และสามารถกำหนดสิทธิพิเศษให้แก่แพ็กเก็ตไอพี (Quality of Service : QoS) เพื่อการให้บริการเสียงที่มีคุณภาพ



ภาพที่ ๖-๕ หลักการพื้นฐานของเครือข่าย IP

Voice over IP (VoIP) ยังเป็นการส่งข้อมูลเสียงแบบสองทาง (Full Duplex) บนระบบเครือข่ายแบบ Packet-Switched IP Network ซึ่งข้อมูลนี้จะถูกส่งผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตสาธารณะเพื่อสื่อสารระหว่าง VoIP ด้วยกัน โดยที่ยังคงความเป็นส่วนตัวไว้ได้

การนำเทคโนโลยี **VoIP** มาใช้งานนั้น จะทำให้องค์กรลดค่าใช้จ่ายในการใช้งานการสื่อสารสัญญาณเสียงไปได้อย่างมาก และเนื่องด้วยในปัจจุบันการขยายตัวของระบบเครือข่ายสัญญาณข้อมูลหรือ Data Network มีอัตราการเติบโตที่รวดเร็วกว่าการขยายตัวของเครือข่ายสัญญาณเสียงค่อนข้างมาก จึงทำให้มีการนำเทคโนโลยีที่สามารถนำสัญญาณเสียงเหล่านั้นมารวมอยู่บนระบบเครือข่ายของสัญญาณข้อมูล และมีการรับ-ส่งสัญญาณทั้งคู่ได้ในเวลาเดียวกัน เพื่อเป็นการสะดวกและประหยัดค่าใช้จ่าย ไม่ว่าจะเป็นค่าโทรศัพท์ทางไกลต่างจังหวัด หรือรวมถึงค่าโทรศัพท์ทางไกลต่างประเทศด้วย

๓. Standard of VoIP Technology

มาตรฐานที่มีการใช้งานอยู่บนเทคโนโลยี VoIP นั้น โดยทั่วไปจะมีอยู่ ๒ มาตรฐานด้วยกัน ได้แก่ มาตรฐาน H.323 และ SIP เราสามารถเรียกมาตรฐานเหล่านี้ได้อีกอย่างหนึ่งว่า “Call Control Technologies” ซึ่งถือว่าเป็นส่วนประกอบสำคัญสำหรับการนำเทคโนโลยี VoIP มาใช้งาน

๓.๑ H.323 Standard

มาตรฐาน H.323 นั้น จริงๆ แล้วไม่ได้ถูกออกแบบมาให้ใช้งานกับระบบเครือข่ายที่ใช้ Internet Protocol (IP) เนื่องจาก H.323 ยังมีการทำงานที่ค่อนข้างช้า โดยปกติแล้วเราจะเสนอการใช้งานมาตรฐาน H.323 ให้กับลูกค้าก็ต่อเมื่อในระบบเดิมของลูกค้ามีการใช้งานมาตรฐาน H.323 อยู่แล้วเท่านั้น

มาตรฐาน H.323 เป็นมาตรฐานภายใต้ ITU-T (International Telecommunications Union) Standard ในตอนแรกนั้นมาตรฐาน H.323 ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อเป็นมาตรฐานสำหรับการทำ Multimedia Conferencing บนระบบเครือข่าย LAN เป็นหลัก แต่ต่อมาในภายหลังจึงถูกพัฒนาให้ครอบคลุมถึงการทำงานกับเทคโนโลยี VoIP ด้วย

มาตรฐาน H.323 สามารถรองรับการทำงานได้ทั้งแบบ Point-to-Point Communications และแบบ Multi-Point Conferences อุปกรณ์ต่างๆ จากหลากหลายยี่ห้อ หรือหลายๆ Vendors นั้นสามารถรองรับการทำงานร่วมกัน (Inter-Operate) ผ่านมาตรฐาน H.323 ได้

๓.๒ SIP (Session Initiation Protocol) Standard

มาตรฐาน SIP นั้นถือเป็นมาตรฐานใหม่ในการใช้งานเทคโนโลยี VoIP โดยที่มาตรฐาน SIP นั้น ได้ถูกออกแบบมาให้ใช้งานกับระบบ IP โดยเฉพาะ ซึ่งโดยปกติแล้วจะแนะนำให้ลูกค้าใหม่ที่จะมีการใช้งาน VoIP ให้ใช้งานอยู่บนมาตรฐาน SIP เลย มาตรฐาน SIP นั้นเป็นมาตรฐานภายใต้ IETF Standard ซึ่งถูกออกแบบมาสำหรับการเชื่อมต่อ VoIP

มาตรฐาน SIP นั้นจะเป็นมาตรฐาน Application Layer Control Protocol สำหรับการเริ่มต้น (Creating), การปรับเปลี่ยน (Modifying) และการสิ้นสุด (Terminating) ของการ

ติดต่อสื่อสารหนึ่งครั้ง (Session) มาตรฐาน SIP จะมีสถาปัตยกรรมการทำงานคล้ายคลึงกับการทำงานแบบ Client-Server Protocol ซึ่งเป็นมาตรฐานที่มี Reliability ค่อนข้างสูง

H.323	SIP
Complex Protocol	Comparatively Simpler
Binary representation for its messages	Textual representation
Not very modular	Very modular
Not very scalable	Highly scalable
Complex Signaling	Simple Signaling
Hundred of Header	37 Headers
Loop Detection is difficult	Loop detection is comparatively easy

ภาพที่ ๖-๖ ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานของ VoIP : H.323 vs SIP

๔. Internet Protocol (IP)

Internet Protocol หรือ IP เป็นโปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลในระบบ Internet ซึ่งมีหลักการทำงานสรุปอย่างย่อได้ดังต่อไปนี้

๔.๑ แบ่งข้อมูลออกเป็นส่วนย่อยๆ

๔.๒ แต่ละส่วนของข้อมูลจะถูกส่งออกไปในเส้นทางที่อาจจะแตกต่างกันบนระบบ Internet

๔.๓ ข้อมูลย่อยแต่ละส่วนนั้นจะไปถึงยังปลายทางในเวลา และลำดับที่ไม่พร้อมกัน

๔.๔ จากนั้นจะมีโปรโตคอลอีกหนึ่งตัวเข้ามาเกี่ยวข้อง คือ Transmission Control Protocol (TCP) ซึ่ง TCP นี้จะเข้ามาช่วยเกี่ยวกับการเรียงลำดับข้อมูลที่มาถึงยังปลายทางนี้ ให้อยู่ในลำดับ และรูปแบบที่ถูกต้องเหมือนข้อมูลต้นแบบก่อนที่จะถูกส่งออกมา

๔.๕ โปรโตคอล IP นี้จะเป็นโปรโตคอลในการสื่อสารแบบที่เรียกว่า Connectionless Protocol ซึ่งเป็นการสื่อสารที่จุดต้นทางและปลายทางไม่จำเป็นที่จะต้องสร้างการเชื่อมต่อ (Connection) ขึ้นมา ณ เวลาที่ต้องการทำการสื่อสาร

๕. โครงสร้างของชุมสายโทรศัพท์ VoIP

สามารถแบ่งโครงสร้างการทำงานหลัก ออกได้เป็น ๔ ส่วน คือ

๕.๑ Voice Processing Module

๕.๒ Call Processing Module

๕.๓ Packet Processing Module

๕.๔ Network Management

๕.๑ Voice Processing Module ทำหน้าที่สุ่มตัวอย่างสัญญาณเสียงเพื่อส่งผ่านเครือข่าย IP ผ่านกระบวนการ DSP (Digital Signal Processing) โดยมีขั้นตอนการทำงาน (แสดงในภาพที่ ๖-๗) ดังต่อไปนี้

๕.๑.๑ PCM Interface ทำการสุ่มตัวอย่างเฟส (TDM) ของสัญญาณตัวอย่างที่อยู่ในรูปสัญญาณ Analog เพื่อแปลงเป็นสัญญาณ Digital พร้อมมีการบีบอัดข้อมูล เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน

๕.๑.๒ Echo Cancellation เป็นการกำจัดสัญญาณสะท้อนของข้อมูลเสียงที่ถูกสุ่มตัวอย่าง ตามมาตรฐานของ ITU G.๑65 หรือ G.168 Echo Cancellation (จำเป็นต้องใช้ในกรณีที่มีความล่าช้า (Delay) มากกว่า 50 ms. เกิดขึ้นใน ๑ รอบของ VoIP)

๕.๑.๓ Voice Active/Idle Noise Detector มีหน้าที่เฝ้าฟังสัญญาณเสียงที่ผ่านเข้ามาในระบบ ถ้าตรวจจับได้ว่าไม่มีข้อมูลเสียงเกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง Voice Encoder จะถูกระงับไม่ให้ส่งข้อมูลเสียง (Idle Noise) ผ่านเครือข่าย ทำให้ประหยัดแถบความถี่ แล้วแจ้งให้ปลายทางทราบเพื่อที่จะแทรก "Comfortable Noise" เข้าไปในสาย เพื่อไม่ให้คนฟังได้รับสายเงียบในโทรศัพท์

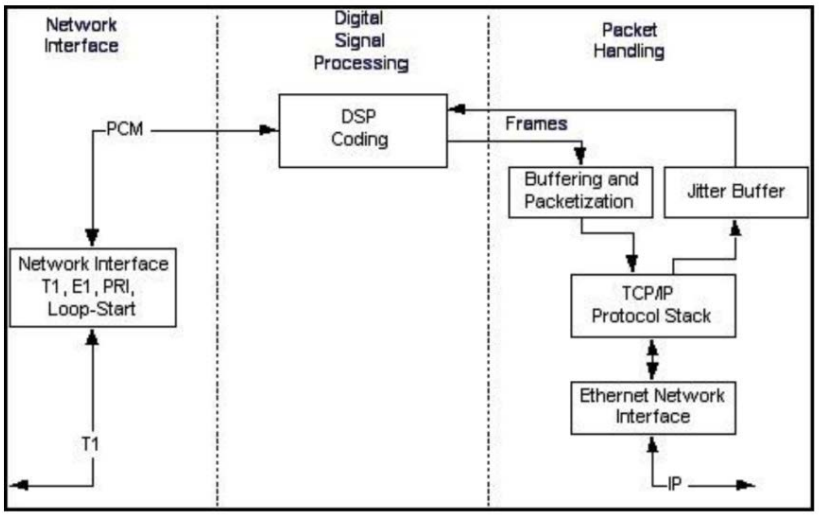
๕.๑.๔ Tone Detector ทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณ DTMF (Dial Tone Multi-Frequency) ซึ่งเป็นกลุ่มของเสียงที่ตรงตามมาตรฐาน และถูกกำหนดให้ใช้ในสัญญาณโทรศัพท์ และแยกสัญญาณว่าเป็นเสียง หรือแฟกซ์

๕.๑.๕ Tone Generator มีหน้าที่กำเนิด DTMF Tones และ Call Progress Tones ภายใต้คำสั่งของระบบปฏิบัติการ (OS)

๕.๑.๖ Facsimile Processing Module มีหน้าที่ถ่ายถอดแฟกซ์ โดยปล่อยสัญญาณ PCM และแยกข่าวสารออกมา และบรรจุข้อมูลที่สแกนแล้วลงใน Packet

๕.๑.๗ Packet Voice Protocol Module มีหน้าที่รวบรวมสัญญาณเสียงที่ถูกบีบอัดและข้อมูลแฟกซ์ เพื่อส่งผ่านไปบนเครือข่าย ข้อมูลแต่ละ Packet มีลำดับเลขที่กำกับไว้ ทำให้ Packet ที่ได้รับ ถูกส่งเรียงตามลำดับความถูกต้อง และสามารถตรวจจับ Packet ที่หายไปได้

๕.๑.๘ Voice Playout Module ที่ปลายทาง ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์สำหรับ Packet ที่ได้รับ และส่งต่อให้กับเครื่องเข้ารหัสเสียง เพื่อเล่นเสียงออกมา



ภาพที่ ๖-๗ Block Diagram แสดงการทำงานของ Voice Processing Module

๕.๒ The Call Processing Module ทำหน้าที่เป็น Signaling Gateway ยอมให้มีการสร้าง Call ผ่านเครือข่าย Packet โดยโมดูลนี้จะ Support สายส่งสัญญาณระหว่าง PBX และ CO ใช้ในการจองสาย, ส่งต่อ และยกเลิกสาย อีกทั้งทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณเรียกใหม่ที่เกิดขึ้น และเก็บข้อมูลเกี่ยวกับที่อยู่

๕.๓ Packet Processing Module ทำหน้าที่บรรจุข้อมูลเสียงลงใน Packet, เพิ่ม Transport Headers เข้าไปใน Packet และแปลงสัญญาณจาก Telephony Protocol เป็น Packet Signaling Protocol

๕.๔ Network Management ทำหน้าที่ควบคุมการจัดส่งข้อมูลไปให้ถึงปลายทางโดยเร็วที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างจากการสนทนาด้วยเสียง ที่ต้องส่งข้อมูลแบบ Real Time ในขณะที่เทคโนยี TCP/IP นั้น ถูกออกแบบมาให้ส่ง Packet ผ่าน Router แต่ละตัวไปให้เร็วที่สุด

๖. อุปกรณ์มาตรฐานในระบบ VoIP

๖.๑ Terminal ได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์, เครื่องโทรศัพท์ที่สนับสนุนเครือข่าย IP หรืออุปกรณ์ที่ข้อมูล H.323 ถูกสร้างหรือสิ้นสุดของข้อมูล รวมถึงข้อมูลที่เป็นสัญญาณวิดีโอด้วยก็ได้

๖.๒ Gateway ใช้สำหรับเชื่อมต่อเครือข่ายที่ต่างชนิดกัน เพื่อทำหน้าที่แปลงชนิดของข้อมูลให้เข้ากันได้กับเครือข่ายที่จะเชื่อมต่อ

๖.๓ Gatekeeper เป็นตัวช่วยการบริการต่างๆ ในแต่ละฝั่งของเครือข่าย ซึ่งมีหน้าที่ในการแปลง Address ระหว่างหมายเลขโทรศัพท์กับหมายเลข IP, จำกัดการใช้งานของแต่ละ Terminal, บริหารจัดการ Bandwidth และจัดการเกี่ยวกับการหาเส้นทางให้กับ Packet

๖.๔ Multipoint Control Unit (MCU) ทำหน้าที่สร้างวงจรเสมือนเชื่อมต่อการสนทนาแบบหนึ่งจุดกับหลายจุดให้กับ Terminal แต่ละตัวที่ทำการสนทนากันอยู่

๗. กระบวนการส่งข้อมูลเสียงผ่านระบบ VoIP

๗.๑ Conversion to PCM (Pulse Code Modulation) เป็นการแปลงสัญญาณ Analog ให้ไปอยู่ในรูปแบบสัญญาณ Digital หรือที่เรียกว่า PCM

ภาพที่ ๖-๘ Conversion to PCM (Pulse Code Modulation)

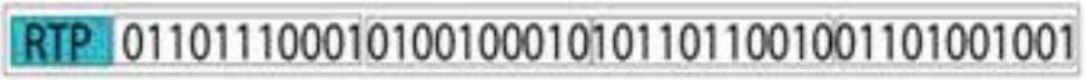
๗.๒ Removal of Echo เป็นการแยกสัญญาณออกเป็นส่วนๆ เพื่อทำการตัดสัญญาณ Echo ออก กระบวนการนี้จะถูกจัดการโดย DSP (Digital Signal Processors)

ภาพที่ ๖-๙ Removal of Echo

๗.๓ Framing ในส่วนของสัญญาณที่เหลือจากข้อ ๗.๒ นั้น จะถูกแบ่งและจัดรูปแบบขึ้นมาใหม่ในรูปของ Frame ซึ่งกระบวนการนี้จะถูกจัดการโดยรูปแบบการบีบอัดที่เรียกว่า CODEC หลังจากกระบวนการนี้แล้ว Frame ของสัญญาณเสียงจะถูกส่งต่อไปในขั้นตอน Packetisation Process

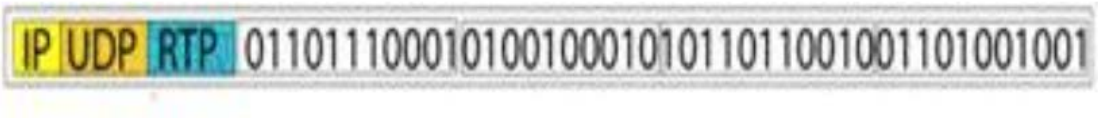
ภาพที่ ๖-๑๐ Framing

๗.๔ Packetisation ในกระบวนการนี้จะเป็นการแปลง Frame ของสัญญาณให้มาอยู่ในรูปของ Packet ซึ่งจะมีการเพิ่ม Header เข้าไปใน Packet โดยในส่วนของ Header จะประกอบไปด้วยข้อมูลที่เรียกว่า Sequence Number และ Time Stamp หลังจากนั้น Packet นี้จะถูกส่งต่อไปที่ Host Processor เพื่อดำเนินการจัดเตรียมข้อมูลให้พร้อมส่งต่อไป



ภาพที ๖-๑๑ Packetisation

๗.๕ Address and Delivery หลังจากที่ได้แปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปของ Packet แล้ว ข้อมูลนั้นจะถูกนำมาวิเคราะห์และใส่ค่า IP Address ปลายทาง โดยในขั้นตอนนี้ข้อมูลจะพร้อมที่จะถูกส่งออกไปยังผู้รับปลายทาง



ภาพที่ ๖-๑๒ Address and Delivery

๗.๖ Conversion to Analog หลังจากที่ได้ทำการใส่ค่าของ IP Address ปลายทางไปใน Header ของ Packet แล้วนั้น เมื่อ Packet เหล่านั้นไปถึงด้านปลายทาง ข้อมูล Header เหล่านี้จะถูกแยก ออกเพื่อให้เหลือแค่ Voice Frame หลังจากนั้นก็จะทำการแปลงสัญญาณ Digital PCM ให้กลับมาเป็นสัญญาณรูปแบบ Analog ที่เป็นสัญญาณเสียงที่เราได้ยินในที่สุด

ภาพที่ ๖-๑๓ Conversion to Analog

๗.๗ Error Correction เป็นกระบวนการที่ใช้ในการตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาด ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นระหว่างการส่งสัญญาณ และมีความผิดเพี้ยนหรือความเสียหายของสัญญาณ จนทำให้เราไม่สามารถทำการสื่อสารอย่างถูกต้อง

๘. ขั้นตอนการทำงานของ VoIP

๘.๑ เมื่อผู้พูดโทรศัพท์จากเครื่องโทรศัพท์ธรรมดา หรือพูดผ่านไมโครโฟนที่ต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ คลื่นสัญญาณเสียงแบบอนาล็อกจะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล และทำการบีบอัดด้วยตัวถอดรหัสผ่านอุปกรณ์ PBX (Private Box Exchange) หรือ VoIP Gateway

๘.๒ เมื่อผ่าน VoIP Gateway แล้วก็จะถูกส่งต่อไปยัง Gatekeeper เพื่อค้นหาเครื่องปลายทางที่จะรับการติดต่อ เช่น หมายเลขไอพี หมายเลขโทรศัพท์ เป็นต้น แล้วแปลงเป็นแพ็กเกจข้อมูลส่งออกไปบนระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เพื่อส่งให้กับผู้รับปลายทางต่อไป

๘.๓ เมื่อ Packet เหล่านั้นไปถึงด้านปลายทาง ข้อมูล Header จะถูกแยกออกเพื่อให้เหลือแค่ Voice Frame หลังจากนั้นก็จะทำการแปลงสัญญาณ Digital PCM ให้กลับมาเป็นสัญญาณรูปแบบ Analog ที่เป็นสัญญาณเสียงที่ได้ยินกันอีกครั้งหนึ่ง

๙. ปัจจัยที่ทำให้เกิดการใช้ VoIP

๙.๑ โอกาสที่จะติดต่อสื่อสารระหว่างประเทศ โดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต หรืออินทราเน็ต โดยมีราคาที่ถูกกว่าโครงข่ายโทรศัพท์ทั่วไป

๙.๒ การพัฒนารูปแบบการสื่อสารใหม่ๆ เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน โดยส่วนหนึ่งถูกพัฒนาขึ้นให้สามารถใช้งานใน VoIP ทำให้สามารถติดต่อสื่อสารได้กว้างไกลมากขึ้น

๙.๓ ในช่วง ๑๐ ปีที่ผ่านมามีการยอมรับ และนำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ในชีวิตประจำวันอย่างมาก รวมทั้งการเพิ่มจำนวนของผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตในปัจจุบัน เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ VoIP ได้รับความนิยมในการติดต่อสื่อสาร

๙.๔ มีการใช้ประโยชน์จากระบบ Network ที่มีการพัฒนาให้ดียิ่งๆ ขึ้นไปในปัจจุบัน ให้สามารถใช้งาน ได้ทั้งในการส่งข้อมูล และเสียงเข้าด้วยกัน

๙.๕ ความก้าวหน้าทางด้านการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ ช่วยลดต้นทุนในการสร้างเครือข่ายของ VoIP ในขณะที่ความสามารถการให้บริการมีมากขึ้น ส่งผลให้ธุรกิจต่างๆ เข้ามาร่วม ใน VoIP มากขึ้น

๙.๖ ความต้องการที่จะมีหมายเลขเดียวในการติดต่อสื่อสารทั่วโลก ทั้งด้านเสียง, แฟกซ์ และข้อมูล ถึงแม้ว่าบุคคลนั้นจะย้ายไปที่ใด ก็ตามก็ยังคงสามารถใช้หมายเลขเดิมได้ เป็นความต้องการของผู้ใช้งานและธุรกิจ

๙.๗ การเพิ่มขึ้นอย่างมากมายของการทำรายการต่างๆ บน E-Commerce ในปัจจุบัน ผู้บริโภคต่างก็ต้องการการบริการที่มีคุณภาพ และมีการโต้ตอบกันได้ระหว่างที่กำลังใช้อินเทอร์เน็ตอยู่ ซึ่ง VoIP สามารถเข้ามาช่วยในส่วนนี้ได้

๙.๘ การเติบโตอย่างรวดเร็วของ Wireless Communication ในปัจจุบัน ซึ่งผู้ใช้กลุ่มนี้ต้องการการติดต่อสื่อสารที่ราคาถูกลง แต่มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน ดังนั้นตลาดกลุ่มนี้ถือว่าเป็นโอกาสของ VoIP

๑๐. คุณสมบัติสำคัญของ VoIP เมื่อเทียบกับระบบโทรศัพท์แบบเดิม

๑๐.๑ ระบบโทรศัพท์แบบเดิม

ระบบโทรศัพท์แบบเดิมที่ใช้งานผ่านตู้สาขา (PBX) ช่วยให้องค์กรสามารถใช้คู่สายโทรศัพท์ ที่มีอยู่จำกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถแจกจ่ายเบอร์ติดต่อให้กับผู้ใช้งานได้มากกว่าคู่สายจริง เปรียบเสมือนการแบ่งใช้คู่สายโทรศัพท์โดยมี PBX เป็นตัวจัดการ และมีคุณสมบัติพิเศษต่างๆ ของระบบโทรศัพท์ คือ โอนสาย หรือ วอยซ์เมล์ เป็นต้น

๑๐.๒ ระบบโทรศัพท์แบบ VoIP

ระบบ VoIP เป็นเสมือนชุดแอพพลิเคชั่นสำหรับการติดต่อสื่อสารด้วยสียงผ่านเครือข่ายข้อมูลแบบ IP โดยระบบมีคุณสมบัติของระบบฝากข้อความระบบอิเล็กทรอนิกเมล์ และระบบแฟกซ์ไว้ด้วยกัน มีคุณสมบัติการทำงาน ดังนี้

๑๐.๒.๑ สามารถโอนสายไปยังโทรศัพท์เครื่องอื่น หรือระบบวอยซ์เมล์อัตโนมัติ ในกรณี ไม่มีผู้รับสาย

๑๐.๒.๒ สามารถติดต่อผู้รับสายได้โดยตั้งลำดับการรับสายได้บนอุปกรณ์ปลายทางที่มีมากกว่า ๑ อุปกรณ์ได้ เช่น เริ่มจากเครื่อง IP Phone ที่โต๊ะทำงาน, โทรศัพท์มือถือ และเบอร์ที่บ้าน หากยังไม่มีการรับสายอีก ก็สามารถส่ง Message ไปยัง E-Mail หรือโทรศัพท์มือถือ

๑๐.๒.๓ สามารถแสดงเบอร์โทรศัพท์ หรือ IP Address เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้เป็นเครื่องมือสื่อสาร ให้ผู้รับสายมองเห็นเบอร์ของคู่สนทนาได้

๑๐.๒.๔ สามารถใช้งานโทรศัพท์ผ่านทางเครื่อง IP Phone หรือคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต

๑๐.๒.๕ สามารถตรวจข้อความ E-Mail, Voice Mail, Fax ผ่านแอพพลิเคชั่นบนเครื่องคอมพิวเตอร์

๑๐.๒.๖ สามารถรับ-ส่งแฟกซ์ ผ่านเครื่องแฟกซ์ หรือแอพพลิเคชั่นบนเครื่องคอมพิวเตอร์

๑๑. ประโยชน์ของ VoIP

๑๑.๑ ลดค่าใช้จ่าย (Cost Savings) ในการติดต่อสื่อสารทางโทรศัพท์ลง เนื่องจากเสียงได้ถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบเดียวกับข้อมูล จึงทำให้สามารถส่งสัญญาณเสียงไปในเครือข่าย LAN หรือ WAN ได้เลย ไม่ต้องผ่านเครือข่าย PSTN ที่มีค่าใช้จ่ายสูงกว่า

๑๑.๒ เพิ่มความยืดหยุ่นในการติดต่อสื่อสารให้กับองค์กร เช่น ในสาขาหรือ Site งานชั่วคราว สามารถนำ VPN ร่วมกับ VoIP ประกอบกัน เพื่อสร้างระบบการติดต่อสื่อสารเต็มรูปแบบภายในองค์กรได้อย่างง่ายดาย และรวดเร็ว

๑๑.๓ บริหารจัดการระบบเครือข่ายได้ง่ายขึ้น เนื่องจากเครือข่ายการติดต่อสื่อสารทั้งหมดสามารถยุบรวมกันให้เหลือเพียงเครือข่ายเดียวได้ อีกทั้งในกรณีที่มีการโยกย้ายของหน่วยงานหรือพนักงาน การจัดการด้านหมายเลขโทรศัพท์ และอื่นๆ สามารถทำได้โดยไม่จำเป็นต้องเดินสายสัญญาณใดๆ ขึ้นมาใหม่

๑๑.๔ ลดค่าใช้จ่ายในการดูแล และจัดการระบบ (Reduce Operating Expenses) เนื่องจากใช้ซอฟต์แวร์ในการจัดการ ทำให้ VoIP นั้นง่ายในการจัดการ และบำรุงรักษา

๑๑.๕ เพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน (Increase Productivity) สามารถส่งเอกสารผ่านเครือข่ายควบคู่ไปกับการสนทนา หรืออาจจัดการประชุมออนไลน์ (Conference Call) ทั้งภาพและเสียง รวมถึงสามารถส่งเอกสารการประชุมให้กับผู้เข้าร่วมประชุมผ่านทางเครือข่ายได้อีกด้วย

๑๑.๖ สามารถใช้งานร่วมกับการสื่อสารไร้สายได้ ทำให้อุปกรณ์สื่อสารไร้สายต่างๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ หรือ PDA สามารถติดต่อผ่าน VoIP เข้ามาในเครือข่ายขององค์กรได้

๑๑.๗ เพิ่มประสิทธิภาพในการติดต่อกับลูกค้า (Improved Level of Services) โดยใช้ความสามารถของแอพพลิเคชั่นต่างๆ ของ VoIP เช่น “Click-to-Talk” เพื่อเพิ่มความสะดวกและรวดเร็วในการติดต่อกับลูกค้า

บทที่ ๗
เคเบิลโทรศัพท์

บทนำ

การสื่อสารทางโทรศัพท์นับเป็นสิ่งที่จำเป็น และเป็นสาธารณูปโภคที่สำคัญอย่างหนึ่ง เพราะสามารถติดต่อกันได้อย่างกว้างขวาง ไม่เพียงแต่ในจังหวัดใดจังหวัดหนึ่งเท่านั้น แต่สามารถติดต่อกันได้อย่างรวดเร็วไปยังต่างจังหวัด และต่างประเทศโดยวิธีอัตโนมัติ ไม่ต้องผ่านพนักงานโทรศัพท์กลางได้อีกด้วย โทรศัพท์จึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

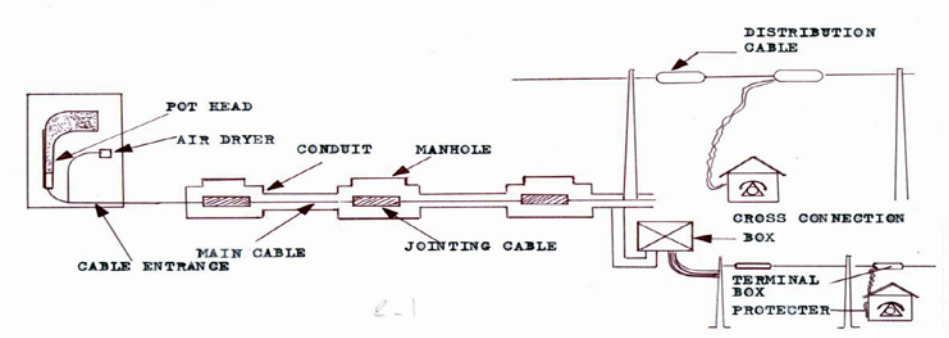
กิจการด้านโทรศัพท์ได้แบ่งส่วนงานทางเทคนิค ออกเป็น ๒ ส่วน คือ งานตอนใน (Inside Plant) ได้แก่ งานที่เกี่ยวกับอุปกรณ์เครื่องชุมสายโทรศัพท์ และส่วนที่สอง คือ งานสายตอนนอก (Outside Plant) ได้แก่ งานสร้างข่ายทางสายทั้งหมด ซึ่งเริ่มต้นตั้งแต่ Main Distribution Frame (MDF) เป็นต้น ไปจนถึงเครื่องโทรศัพท์ปลายทาง รวมทั้งการบำรุงรักษาทางสายให้ใช้งานได้ตลอดเวลา

การจัดสรรงบประมาณการลงทุนทางด้านเทคนิค ประมาณ ๖๐ เปอร์เซ็นต์จะใช้ไปกับงานด้านสายตอนนอก ส่วนที่เหลืออีก ๔๐ เปอร์เซ็นต์ จะใช้ไปกับงานตอนใน จะเห็นว่างบประมาณการลงทุนส่วนใหญ่อยู่ที่งานสายตอนนอก จึงถือได้ว่างานสายตอนนอกเป็นงานที่สำคัญอันดับหนึ่งของระบบโทรศัพท์ ดังนั้นการวางแผนด้านข่ายทางสายการติดตั้ง รวมทั้งการบำรุงรักษาจึงต้องกระทำกันอย่างรอบคอบ และถูกหลักเกณฑ์เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และคุ้มกับการลงทุน

งานสายตอนนอกที่นอกเหนือไปจากงานวางแผนข่ายทางสายที่กล่าวมาแล้ว ยังรวมถึงงานก่อสร้างทางสาย (Line Construction) งานตัดต่อเคเบิล (Cable Splicing) งานติดตั้งเครื่องโทรศัพท์ (Station Installation) และงานบำรุงรักษาทางสาย (Line Maintenance) อีกด้วย

๑. งานสายตอนนอก

งานสายตอนนอก เริ่มตันตั้งแต่ Main Distribution Frame (MDF) ไปจนถึงเครื่องโทรศัพท์ ดังแสดงตามภาพที่ ๗-๑ ซึ่งอธิบายส่วนสำคัญต่างๆ ได้ดังนี้



ภาพที่ ๗-๑ งานสายตอนนอก

๑.๑ Main Distribution Frame (MDF) เป็น Frame ที่ติดตั้งภายในอาคารชุมสายโทรศัพท์ เพื่อประโยชน์ดังนี้

๑.๑.๑ เป็นจุดแบ่งระหว่าง Inside Plant กับ Outside Plant

๑.๑.๒ เป็นที่เชื่อมต่อสายเคเบิลภายนอกไปภายในชุมสาย โดยจัดเรียงให้เป็นระเบียบ

๑.๑.๓ เป็นที่ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันชุมสายโทรศัพท์ เช่น Carbon Arrester, Fuse Heat Coil

๑.๑.๔ เป็นที่ใช้สำหรับตรวจสอบหาสาเหตุข้อขัดข้องของโทรศัพท์ ว่าเป็นข้อขัดข้องที่เกิดภายในชุมสาย หรือเกิดจากทางสายโทรศัพท์

๑.๒ Cable Entrance เป็นทางเข้าของสายเคเบิลใต้ดิน (Underground Cable) เชื่อมต่อระหว่างสายตอนนอกกับห้อง MDF โดยมีหัวต่อตั้งอยู่ในแนวดิ่ง เพื่อเชื่อมต่อสายตอนนอกที่มีขนาดใหญ่กับ PVC Cable ที่มีขนาดเล็กลง เพื่อความสะดวกในการเข้าสายที่ MDF

๑.๓ Main Cable เป็นเคเบิลขนาดใหญ่มีคู่สายจำนวนมาก ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดตัวนำที่ใช้มีขนาดต่างๆกัน เช่น ๐.๓๒, ๐.๔, ๐.๕ , ๐.๖๕ และ ๐.๙ มิลลิเมตร Main Cable ที่ใช้ในการสร้างข่ายสายมี ๕ แบบ ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของแต่ละท้องถิ่น คือ

๑.๓.๑ เคเบิลอากาศ (Aerial Cable หรือ Overhead Cable) เป็นการสร้างข่ายสายโดยการแขวนเคเบิลไปตามแนวเสาไฟฟ้า ข้อดีของการใช้เคเบิลแบบนี้คือติดตั้งง่าย สะดวกในการรื้อถอน เปลี่ยนแปลง ซ่อมบำรุง และบำรุงรักษา สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการสร้างข่ายสายน้อยกว่าการใช้เคเบิลแบบอื่นๆ เหมาะกับสถานที่ ที่ปักเสาได้สะดวก หรือมีเสาไฟฟ้าอยู่ก่อนแล้ว แต่มีข้อเสีย คือ เกะกะ รกรุงรัง ทำให้ดูไม่สวยงาม

๑.๓.๒ เคเบิลฝังดินโดยตรง (Direct Buried Cable) เป็นการสร้างข่ายสายโดยการฝังเคเบิลไว้ในดินโดยตรงลึกประมาณ ๑๒ ถึง ๓๐ นิ้ว ขึ้นกับลักษณะของงาน และสถานที่ จึงเหมาะที่จะใช้เคเบิลแบบนี้กับบริเวณที่มียวดยานสัญจรน้อย เคเบิลฝังดินโดยตรงเป็นเคเบิลที่มีเปลือกหุ้มแบบพิเศษ ข้อดีของการใช้เคเบิลแบบนี้ คือ สามารถขจัดความเกะกะ รกรุงรัง ลงให้หมดไปได้ แต่ค่าติดตั้งจะมีราคาสูงกว่าการใช้เคเบิลอากาศการเปลี่ยนแปลง รื้อถอนซ่อมบำรุงและบำรุงรักษากระทำได้ลำบาก

๑.๓.๓ เคเบิลใต้ดินชนิดร้อยท่อ (Underground in Conduit Cable) เป็นการสร้างข่ายสายโดยใช้เคเบิลร้อยเข้าไปในท่อที่ฝังดิน การใช้เคเบิลชนิดนี้เป็นงานใหญ่เพราะต้องสร้างบ่อพัก (Manhole) และแนวท่อร้อยสาย ซึ่งจะต้องทำไปพร้อมกับการสร้างถนน เคเบิลจะถูกร้อยเข้าไปในท่อที่ฝังไว้ใต้ดินอย่างถาวร การแยกสาย การตัดต่อ จะกระทำในบ่อพัก วิธีการสร้างข่ายสายแบบนี้คล้ายกับเคเบิลฝังดินโดยตรง แต่ทำให้คงทนถาวรมากขึ้น และสะดวกในการเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติมหรือรื้อถอน การบำรุงรักษายุ่งยากกว่าเดิม แต่มีประสิทธิภาพสูงกว่ามาก

๑.๓.๔ เคเบิลในราง (Throughing Cable) เป็นการสร้างข่ายสายโดยใช้เคเบิลวางไปในรางที่มีฝาครอบ การใช้เคเบิลแบบนี้มักจะวางเคเบิลไปตามแนวทางเท้า ทำให้ติดตั้งง่ายสะดวกในการเปลี่ยนแปลง เพิ่มเติม หรือรื้อถอน รวมทั้งการซ่อมบำรุงและบำรุงรักษา แต่มีข้อเสียด้านความปลอดภัยที่อาจเกิดความเสียหาย หรือถูกดักตัดได้ง่าย

๑.๓.๕ เคเบิลใต้น้ำ (Submarine Cable) เป็นการสร้างข่ายสายโดยใช้เคเบิลวางใต้น้ำ อาจจะเป็นในแม่น้ำ ลำคลอง หรือจากชายฝั่งทะเลฝั่งหนึ่ง หรือไปยังเกาะต่างๆ ซึ่งมีเทคนิคการติดตั้งที่ยุ่งยากมาก เคเบิลที่ใช้ก็ต้องเป็นเคเบิลชนิดที่มีเปลือกหุ้มที่คงทนเป็นพิเศษ เช่น Wire Armour ทำให้มีราคาแพง การซ่อมบำรุง และการบำรุงรักษากระทำได้ลำบาก ต้องใช้เทคนิคสูง

(ในการตัดสินใจเลือกใช้เคเบิลแบบใดนั้น ต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมหลายประการประกอบกัน การสร้างข่ายที่ดีมักจะสร้างเป็นแบบผสม เพราะรวมเอาคุณลักษณะของโครงสร้างที่เหมาะสมกับสภาพของแต่ละท้องถิ่นไว้)

๑.๔ Conduit และ Manhole สำหรับชุมสายโทรศัพท์ขนาดใหญ่มีเคเบิลหลายเส้นออกจากชุมสายโทรศัพท์ จึงจำเป็นต้องมีการวางท่อ (Conduit) ใช้สำหรับร้อยสายเคเบิล เพื่อป้องกันการกระทบกระเทือนจากแรงกระทำภายนอก ซึ่งจะทำความเสียหายให้กับสายเคเบิลได้ ส่วนการติดตั้งก็เพื่อความสะดวกในการร้อยสายเคเบิลเข้าในท่อ รวมทั้งการตัดต่อตรวจแก้ และเป็นที่ไว้หัวต่อเคเบิล Contactor, Loading Coil ฯลฯ

๑.๕ Cross Connection Box หรือตู้พักคอดิน เป็นตู้พักสำหรับต่อเคเบิลต้นทางกับปลายทางเข้าด้วยกัน โดยใช้สายโยงเข้าหากัน เพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นในการใช้สายเคเบิลต้นทางให้เกิดประโยชน์มากที่สุด ภายในตู้ประกอบด้วยแผงต่อสายจำนวนมาก แต่ละแผงจะมีขนาดตั้งแต่ ๕๐ คู่ จนถึง ๑๐๐ คู่ ตู้พักคอดินถูกออกแบบสร้างให้มิดชิด สามารถป้องกันความชื้นได้ เนื่องจากปกติตู้พักคอดิน จะตั้งอยู่บริเวณริมทางเท้าที่เป็นที่โล่งแจ้ง

๑.๖ Terminal Box หรือตู้พักปลายทางเป็นที่เชื่อมสายเคเบิลปลายทางกับสายกระจายที่ต่อไปยังผู้ใช้โทรศัพท์ มีหลายแบบด้วยกัน ทั้งติดตั้งภายใน และภายนอกอาคาร เช่น Stub Terminal, Wall Terminal, Pole Mount Terminal, Inside Terminal, Ready Access Terminal เป็นต้น

๑.๗ Subscriber Station หรือเครื่องโทรศัพท์ ซึ่งการติดตั้งสายโทรศัพท์จากตู้พักปลายทางจนถึงเครื่องโทรศัพท์ของผู้ใช้โทรศัพท์ ปกติจะใช้สาย Drop Wire ซึ่งเป็นเส้นลวดเหล็กอาบด้วยทองแดง หรือบรอนซ์ มีฉนวนหุ้ม การวางสายจะวางเกาะไปตามเสาไฟฟ้า โดยมีตัวยึดติดกับเสาไว้จนถึงตัวอาคาร จากนั้นสายภายในอาคารที่ใช้จะเป็นสายที่มีลวดตัวนำเป็นทองแดง และมีฉนวนหุ้มซึ่งฉนวนที่ใช้จะเป็นพวก PVC หรือ Plastic

๑.๘ อุปกรณ์กันฟ้าประจำบ้าน และสายดินจะถูกใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันอันตรายที่เกิดจากฟ้าผ่าหรือไฟแรงสูง ซึ่งอาจจะทำให้เกิดอันตรายกับเครื่องโทรศัพท์ หรือผู้ใช้โทรศัพท์ อุปกรณ์กันฟ้าประจำบ้านมีทั้งแบบ Fuse และ Carbon หรือแบบที่เป็น Carbon อย่างเดียว

๒. โครงสร้างของสายเคเบิล

๒.๑ ลวดตัวนำสายเคเบิล

จะใช้ลวดทองแดงที่มีขนาดต่างๆ กัน โดยทั่วไปลวดตัวนำจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๐.๓๒, ๐.๔, ๐.๕ , ๐.๖๕ และ ๐.๙ มิลลิเมตร ปกติสายเคเบิลที่ใช้เชื่อมโยงระหว่าง Local Exchange กับ Local Exchange ด้วยกัน เรียกว่า Junction Cable นั้น มักจะใช้สายเคเบิลที่มีขนาด

เส้นผ่าศูนย์กลางของลวดตัวนำใหญ่ คือ ๐.๖๕ มิลลิเมตร แต่ถ้าระยะทางไกลมาก ก็อาจจะใช้สายที่มีลวดตัวนำขนาด ๐.๙ มิลลิเมตร หรือใช้ Loading Coil ช่วยในการลดค่า Capacitance ของคู่สายลง เพื่อทำให้สายเคเบิลมี Loss น้อยที่สุด

สายเคเบิลจะประกอบด้วยลวดตัวนำจำนวนมาก ลวดตัวนำแต่ละเส้นจะถูกหุ้มด้วยฉนวนที่เป็นกระดาษ (Sheath) หรือ Plastic PVC แล้วจัดรูปแบบในลักษณะต่างๆ กัน คือใช้สาย ๒ เส้นตีเกลียวเป็นคู่ๆ เรียกว่า Twin Type แบบใช้สาย ๔ เส้นตีเกลียวทำเป็น Quad เรียกว่า Star Quad Type และแบบใช้ Twin Type ๒ คู่ ตีเกลียวอีกครั้งหนึ่ง เรียกว่า Multiple Twin Type การตีเกลียวคู่สายก็เพื่อลดค่า Capacitance ในคู่สายลง จากนั้นก็จะจัดคู่สายโดยรวมคู่สายที่ตีเกลียวแล้วเข้ากันเป็นเคเบิล ซึ่งมีหลายแบบคือ

๒.๑.๑ Unit คือ การจัดคู่สายให้เป็นกลุ่ม ๆ และมี Binder พันรอบกลุ่ม

๒.๑.๒ Layer คือ การจัดคู่สายให้เป็นชั้นๆ แต่ละชั้นจะมีคู่สายแสดงการเริ่มต้น และสุดท้าย

๒.๑.๓ Combination คือ การจัดคู่สายรวมกันแบบ Unit แล้วจึงเป็น Layer อีกครั้งหนึ่ง แต่ละ Unit มี Binder ที่เป็นรหัสสีพันไว้ เพื่อเป็นการบอก Unit เริ่มตัน และสุดท้าย

๒.๒ เปลือกหุ้มภายนอก

เพื่อป้องกันความชื้นและแรงสั่นสะเทือน รวมทั้งป้องกันการ Induce จากสายไฟแรงสูงหรืออื่นๆ สายเคเบิลแต่ละชนิดก็มีโครงสร้างที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของการใช้งานในพื้นที่แต่ละท้องถิ่น สายเคเบิลโทรศัพท์ที่ใช้กันทั่วไป มีดังนี้

๒.๒.๑ Lead Sheath Cable เป็นสายเคเบิลที่ใช้กระดาษเป็นฉนวนหุ้มลวดตัวนำและเปลือกหุ้มภายนอกเป็นตะกั่ว สายเคเบิลชนิดนี้มีน้ำหนักมาก จึงสร้างให้สายเคเบิลขนาดใหญ่หรือมีจำนวนคู่สายมากๆ การติดตั้งทำได้ลำบาก ไม่เหมาะที่จะใช้เป็น Aerial Cable ส่วนมากจะใช้ฝังดินหรือใช้ภายในอาคาร

๒.๒.๒ Tape Armor Cable เป็นสายเคเบิลที่มีลักษณะเช่นเดียวกับ Lead Sheath Cable เปลือกหุ้มสายเคเบิลชั้นนอกนอกจากจะเป็นตะกั่วแล้ว ยังมีเทปเหล็ก (Steel Tape) พันรอบตะกั่วอีกชั้นหนึ่งเพื่อให้แข็งแรง นอกจากนี้ยังมีปอ (Jute) ชุบน้ำยากันน้ำพันรอบเทปเหล็ก เพื่อป้องกันการกัดกร่อนที่เทปเหล็ก สายเคเบิลชนิดนี้ใช้เป็นเคเบิลแบบฝังดินโดยตรง (Direct Buried Cable) และเนื่องจากมีน้ำหนักมาก จำนวนคู่สายจึงมีไม่มากนัก

๒.๒.๓ Alpeth Cable เป็นสายเคเบิลที่ใช้พลาสติก (Plastic) เป็นฉนวนหุ้มลวดตัวนำ มี Aluminum Tape พันรอบคู่สายเพื่อกันความชื้น และเปลือกหุ้มชั้นนอกสุดจะเป็น Polyethylene สีดำ เพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนและการ Induce ของสาย Power Line สายเคเบิลแบบนี้มีน้ำหนักเบา และสามารถสร้างให้มีจำนวนคู่สายได้ถึง ๓๐๐๐ คู่ จึงเหมาะที่จะใช้เป็น Aerial Cable

๒.๒.๔ Stalpeth Sheath Cable เป็นสายเคเบิลที่ใช้กระดาษเป็นฉนวนหุ้มลวดตัวนำ มี Aluminum Tape พันรอบคู่สายเพื่อป้องกันความชื้น และยังมี Steel Tape พันรอบ Aluminum Tape เพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนส่วนชั้นนอกสุดเปลือกหุ้มจะเป็น Polyethylene สีดำ สายเคเบิลแบบนี้เหมาะสำหรับใช้เป็น Underground in Conduit Cable หรือ Direct Buried Cable

๒.๒.๕ Submarine Cable หรือ Wire Armor Cable เป็นสายเคเบิลที่มีลักษณะโครงสร้างเช่นเดียวกับ Tape Armor Cable แต่เปลือกนอกสุดจะใช้ Steel Rod พันแทน เพื่อให้มีความคงทนและแข็งแรงกว่า สายเคเบิลแบบนี้จะใช้วางใต้น้ำ เช่น ในแม่น้ำ ลำคลอง หรือในทะเล เป็นต้น

๒.๒.๖ PVC Cable เป็นสายเคเบิลที่ใช้พลาสติกเป็นฉนวนหุ้มลวดตัวนำ ส่วนเปลือกนอกที่หุ้มจะเป็น PVC ซึ่งจะทำให้บิดงอได้ดี แต่ไม่คงทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศภายนอก จึงเหมาะที่ใช้เป็นสายเคเบิลที่วางภายในอาคาร หรือภายในห้องชุมสายโทรศัพท์

๓. การนับคู่สายเคเบิล

๓.๑ สายเคเบิลที่มีฉนวนหุ้มคู่สายขนาด ๒๕ คู่

สายเคเบิลที่มีฉนวนหุ้มคู่สายเป็น Plastic หรือ Polyethylene ที่เป็นรหัสสี คู่สายภายในจะถูกจัดเป็น Unit โดยแต่ละ Unit จะมี Binder พันไว้ สายเคเบิล 1 Unit จะมีคู่สายทั้งหมด ๒๕ คู่ การนับคู่สายทั้งหมด ๒๕ คู่ การนับคู่สายแบบนี้นับได้โดยการอ่านรหัสสีจากคู่สายในแต่ละคู่สายซึ่งมีแม่สี ๕ สี คือสีขาว (White) แดง (Red) ดำ (Black) เหลือง (Yellow) ม่วง (Violet) และลูกสี ๕ สี คือน้ำเงิน (Blue) ส้ม (Orange) เขียว (Green) น้ำตาล (Brown) และเทา (Slate) จากแม่สี และลูกสีดังกล่าวจะเกิดเป็นสีผสมที่แตกต่างกันทั้งหมด ๒๕ สี นั่นคือ เราสามารถนำสีที่ผสมกันทั้ง ๒๕ สี มาเป็นตัวกำหนดลำดับของคู่สายเคเบิล ได้ทั้งหมด ๒๕ คู่ การนับคู่สายเคเบิลขนาด ๒๕ คู่ เขียนได้ดังแสดงในตารางที่ ๗-๑ ดังนี้

ตารางที่ ๗-๑ รหัสสีของคู่สายเคเบิล

คู่สายที่	สีของคู่สาย		คู่สายที่	สีของคู่สาย	
	A-Tip	B-Ring		A-Tip	B-Ring
1	ขาว	น้ำเงิน	14	ดำ	น้ำตาล
2	ขาว	ส้ม	15	ดำ	เทา
3	ขาว	เขียว	16	เหลือง	น้ำเงิน
4	ขาว	น้ำตาล	17	เหลือง	ส้ม
5	ขาว	เทา	18	เหลือง	เขียว
6	แดง	น้ำเงิน	19	เหลือง	น้ำตาล
7	แดง	ส้ม	20	เหลือง	เทา
8	แดง	เขียว	21	ม่วง	น้ำเงิน
9	แดง	น้ำตาล	22	ม่วง	ส้ม
10	แดง	เทา	23	ม่วง	เขียว
11	ดำ	น้ำเงิน	24	ม่วง	น้ำตาล
12	ดำ	ส้ม	25	ม่วง	เทา
13	ดำ	เขียว			

การอ่านสีของคู่สายจากตารางที่ ๗-๑ มีวิธีการอ่าน เช่น

- สายเคเบิลคู่ที่ ๑ มีรหัสสีเป็น ขาว-น้ำเงิน
- สายเคเบิลคู่ที่ ๗ มีรหัสสีเป็น แดง-ส้ม
- สายเคเบิลคู่ที่ ๑๕ มีรหัสสีเป็น ดำ-เทา

๓.๒ สายเคเบิลที่มีฉนวนหุ้มคู่สายขนาดมากกว่า ๒๕ คู่ แต่ไม่เกิน ๖๐๐ คู่

ในกรณีที่สายเคเบิลมีคู่สายมากกว่า ๒๕ คู่ เช่น ๑๐๐ คู่ หรือ ๒๐๐ คู่ แต่ไม่เกิน ๖๐๐ คู่ จะมี Binder ซึ่งมีรหัสสีบอกไว้เช่นเดียวกัน พันรอบคู่สายของแต่ละ Unit (๒๕ คู่) รหัสสีของ Binder จะเป็นสีที่ประกอบด้วยแม่สี และลูกสีตามที่กล่าวมาแล้ว การอ่านรหัสสีของ Binder มีรายละเอียดตามตารางที่ ๗-๒ ได้ดังนี้

ตารางที่ ๗-๒ รหัสสีของ Binder ที่คู่สายเคเบิลไม่เกิน ๖๐๐ คู่

Unit ที่	คู่สายที่	สีของ Binder	Unit ที่	คู่สายที่	สีของBinder
1	1-25	ขาว-น้ำเงิน	13	301-325	ดำ-เขียว
2	26-50	ขาว-ส้ม	14	326-350	ดำ-น้ำตาล
3	51-75	ขาว-เขียว	15	351-375	ดำ-เทา
4	76-100	ขาว-น้ำตาล	16	376-400	เหลือง-น้ำเงิน
5	101-125	ขาว-เทา	17	401-425	เหลือง-ส้ม
6	126-150	แดง-น้ำเงิน	18	426-450	เหลือง-เขียว
7	151-175	แดง-ส้ม	19	451-475	เหลือง-น้ำตาล
8	176-200	แดง-เขียว	20	476-500	เหลือง-เทา
9	201-225	แดง-น้ำเงิน	21	501-525	ม่วง-น้ำเงิน
10	226-250	แดง-เทา	22	526-550	ม่วง-ส้ม
11	251-275	ดำ-น้ำเงิน	23	551-575	ม่วง-เขียว
12	276-300	ดำ-ส้ม	24	576-600	ม่วง-น้ำตาล

การอ่านคู่สายของเคเบิลขนาดมากกว่า ๒๕ คู่ แต่ไม่เกิน ๖๐๐ คู่ มีวิธีการอ่าน เช่น

- สายเคเบิลคู่ที่ ๕ อยู่ใน Unit ที่ ๑ สีของ Binder ขาว-น้ำเงิน, สีของคู่สาย ขาว-เทา
- สายเคเบิลคู่ที่ ๑๖๒ อยู่ใน Unit ที่ ๗ สีของ Binder แดง-ส้ม, สีของคู่สาย ดำ-ส้ม
- สายเคเบิลคู่ที่ ๕๑๗ อยู่ใน Unit ที่ ๒๑ สีของ Binder ม่วง-น้ำเงิน, สีของคู่สาย เหลือง-ส้ม

๓.๓ สายเคเบิลที่มีฉนวนหุ้มคู่สายขนาดมากกว่า ๖๐๐ คู่ แต่ไม่เกิน ๓๐๐๐ คู่

จะแบ่งคู่สายออกเป็นกลุ่มละ ๖๐๐ คู่สาย และมี Binder พันรอบกลุ่มของสายเคเบิลแต่ละกลุ่มอีกชั้น และมีรหัสสีบอกชื่อกลุ่มไว้เช่นเดียวกันการอ่านรหัสสีของ Binder ตามตารางที่ ๗-๓

ตารางที่ ๗-๓ รหัสสีของ ที่คู่สายเคเบิลไม่เกิน ๓๐๐๐ คู่

คู่สายที่	รหัสสีของ
1-600	ขาว
601-1200	แดง
1201-1800	ดำ
1801-2400	เหลือง
2401-3000	ม่วง

การอ่านคู่สายของเคเบิลขนาดมากกว่า ๖๐๐ คู่ แต่ไม่เกิน ๓๐๐๐ คู่ มีวิธีการอ่าน เช่น

- สายเคเบิลคู่ที่ ๑๕ สีของ Binder รอบนอก ขาว, สีของ Binder รอบใน ขาว-น้ำเงิน, สีของ คู่สาย ขาว-เทา
- สายเคเบิลคู่ที่ ๑๐๓๒ สีของ Binder รอบนอก แดง, สีของ Binder รอบใน เหลือง-เขียว, สีของ คู่สาย แดง-ส้ม
- สายเคเบิลคู่ที่ ๒๗๓๖ สีของ Binder รอบนอก ม่วง, สีของ Binder รอบใน ดำ-น้ำตาล, สีของ คู่สาย ดำ-น้ำเงิน

๔. โครงสร้างระบบข่ายสายเคเบิล

การสร้างข่ายสายเคเบิลจำเป็นเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องออกแบบสร้างข่ายสายให้ดีที่สุด เพื่อให้พอเพียงกับความต้องการของผู้ใช้บริการ สามารถเปลี่ยนแปลง แก้ไข เพิ่มเติมได้ง่าย รวมทั้งมีความสะดวกในการซ่อมบำรุง และที่สำคัญที่สุด คือเพื่อให้คุ้มค่ากับการลงทุน โครงสร้างของระบบข่ายสายเคเบิลมีอยู่ ๓ ระบบ คือ

๔.๑ ระบบอเมริกัน เป็นการสร้างข่ายสายแบบ Direct Feed หมายถึง การวางสายเคเบิลโทรศัพท์จาก Main Distribution Frame (MDF) ไปตู้พักปลายทางโดยตรง โดยไม่ใช้ตู้พักผ่านกลางทาง เนื่องจากระบบนี้มีความยืดหยุ่นต่ำ (Low Flexibility) จึงได้มีการปรับปรุงโครงสร้างใหม่ เพื่อให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น โดยใช้ตู้พักแบบ Ready Access ซึ่งสามารถแจกจ่ายคู่สายไปยังเครื่องโทรศัพท์ที่บ้านผู้ใช้ได้ ๒๔ คู่ต่อหนึ่งตู้ จึงนับได้ว่ามีความยืดหยุ่นตัวมาก ระบบอเมริกันมีข้อเสียตรงที่ค่าติดตั้งสูง และเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง และการบำรุงรักษาแพง

๔.๒ ระบบยุโรป หมายถึง การวางสายเคเบิลโทรศัพท์ที่ใช้ตู้ผ่านเป็นที่แยกสายระหว่าง Main Cable กับ Secondary Cable นับได้ว่าเป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นตัวสูง เพียงแต่เปลี่ยนสาย Jumper ภายในตู้ผ่านเท่านั้น ก็สามารถแจกจ่ายคู่สายไปให้กับผู้ใช้โทรศัพท์ที่อยู่ต่างบริเวณได้อย่างทั่วถึง ระบบยุโรปนี้มีข้อเสีย คือ มีค่าใช้จ่ายในการสร้างตู้ผ่านสูง และมีความยุ่งยากในการซ่อมบำรุง

๔.๓ ระบบผสม ระบบนี้ได้นำเอาข้อดีของระบบอเมริกันกับระบบยุโรปมาผสมกัน กล่าวคือจะใช้ตู้ผ่านตรงจุดแยกที่สำคัญ สายเคเบิลต้นทาง และสายปลายทางใช้ระบบอเมริกัน และเพิ่มความยืดหยุ่นได้โดยใช้ตู้พักแบบ Ready Access ระบบนี้จัดได้ว่าเป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นตัวได้สูงกว่าระบบอเมริกัน แต่ใช้ตู้ผ่านน้อยกว่าระบบยุโรป ปัญหาความยุ่งยากในการซ่อมบำรุงมีน้อยลง

จึงนับได้ว่าเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูง และประหยัด ดังจะเห็นได้จากการที่องค์กรขนาดใหญ่ เช่น องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย ได้ใช้โครงสร้างระบบข่ายสายเคเบิลเป็นแบบระบบผสมให้บริการกับคนไทยทั่วประเทศ เพราะประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่า และมีความยืดหยุ่นสูงกว่า

๕. การพิจารณาเส้นทางการวางสายเคเบิล

๕.๑ การพิจารณาเส้นทางการวางสายเคเบิล

ในขั้นต้นเราจะต้องทำการออกสำรวจพื้นที่ทั้งหมด ที่จะใช้สำหรับการวางข่ายสายเคเบิล โดยตรวจสอบลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่นั้นๆ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการพิจารณาแนวเส้นทางการวางข่ายสายเคเบิล การบำรุงรักษา และการวางแผนขยายงานข่ายสายในอนาคต เพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้โทรศัพท์ที่อาจเพิ่มขึ้น ข้อมูลอื่นๆ ที่ต้องการประกอบการพิจารณา ได้แก่ ข้อมูลตำแหน่งของถนน รางรถไฟ แม่น้ำลำคลอง สะพาน บ้านเรือน ต้นไม้ เสาไฟฟ้า การจราจร ฯลฯ

๕.๒ การกำหนดแนวเส้นทางการวางข่ายสายเคเบิลโดยมีแนวทางการพิจารณา คือ

๕.๒.๑ ควรเป็นเส้นที่สั้นที่สุด ซึ่งเป็นผลดีต่อการจ่ายสาย

๕.๒.๒ ควรเป็นเส้นที่คาดว่าจะไม่มีการปรับปรุงถนน เนื่องจากการเปลี่ยนผังเมืองใหม่

๕.๒.๓ ควรเป็นเส้นทางที่เป็นเส้นตรง หรือเส้นทางที่สามารถโค้งงอสายได้ง่าย

๕.๒.๔ ควรเป็นเส้นทางที่มีอุปสรรคน้อย เช่น แม่น้ำ ทางรถไฟ สะพาน ฯลฯ

๕.๒.๕ หากมีเสาไฟฟ้าอยู่ก่อนแล้ว ควรพิจารณาวางสายร่วมกันกับเสาไฟฟ้า สำหรับการพิจารณาติดตั้งเสา เพื่อวางสายเคเบิลอากาศ โดยปกติสายเคเบิลอากาศจะวางในแนวด้านใดด้านหนึ่งของถนน แต่อย่างไรก็ตามเราสามารถที่จะวางสายเคเบิลอากาศทั้งสองข้างของถนนได้ แต่การติดตั้งเสาควรจะกระทำให้อยู่ในข้อกำหนด คือ

๕.๒.๕.๑ เมื่อถนนมีทางเท้า การปักเสาควรปักให้ใกล้ถนนมากที่สุด

๕.๒.๕.๒ เมื่อถนนไม่มีทางเท้า การปักเสาจะต้องปักให้อยู่ด้านนอกสุดของถนน

๕.๒.๕.๓ ในกรณีเป็นย่านการค้า ควรจะวางสายเคเบิลอากาศติดกับตัวอาคารหรือระเบียงของอาคาร

๕.๓ การพิจารณาการวางสายเคเบิลใต้ดิน

การวางสายเคเบิลใต้ดินชนิดร้อยท่อนั้น ปกติแล้วการลงทุนจะสูงกว่าการวางสายเคเบิลอากาศ ๗-๑๐ เท่า แต่บางครั้งเราก็มีความจำเป็นที่ต้องวางสายเคเบิลแบบฝังดินด้วยเหตุผลบางประการ เช่น

๕.๓.๑ การวางสายเคเบิลอากาศมีความยุ่งยากมากกว่า เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้างของถนน

๕.๓.๒ สายเคเบิลอากาศทำให้เกะกะ ทำให้บ้านเมืองไม่สวยงาม

๕.๓.๓ การวางสายเคเบิลอากาศ อาจได้รับการรบกวนจากการ Induce ของสายไฟแรงสูง

๕.๓.๔ การติดตั้ง การซ่อมบำรุง และการบำรุงรักษาสายเคเบิลอากาศ อาจกระทำได้ลำบากเนื่องจากสภาพการจราจรบนท้องถนน และลักษณะของภูมิประเทศ

๕.๓.๕ ปัจจัยด้านการบริการ การวางสายเคเบิลใต้ดินจะให้คุณภาพภาพของการบริการได้ดีกว่าและมีความเชื่อถือสูงกว่าการใช้เคเบิลอากาศสายเคเบิลใต้ดินอาจจะวางในท่อ หรือวางแบบฝังดินโดยตรงก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับความเหมาะสมต่างๆ แต่สายเคเบิลใต้ดินที่ใช้กับ Subscriber Line ควรจะวางในท่อ แต่ทั้งนี้ก็ต้องคำนึงถึงความประหยัดในการลงทุน การซ่อมบำรุง การบำรุงรักษา ความสะดวกต่างๆ และจำนวนของผู้ใช้โทรศัพท์ที่อาจเพิ่มขึ้นในอนาคต สำหรับสายเคเบิลใต้ดินที่จะใช้วางแผนฝังดินโดยตรง ควรพิจารณาดังนี้

๕.๓.๕.๑ ต้องวางคู่ไปกับถนนที่ไม่ได้เทคอนกรีตหรือลาดยาง และเป็นถนนที่มีการจราจรไม่มากนัก

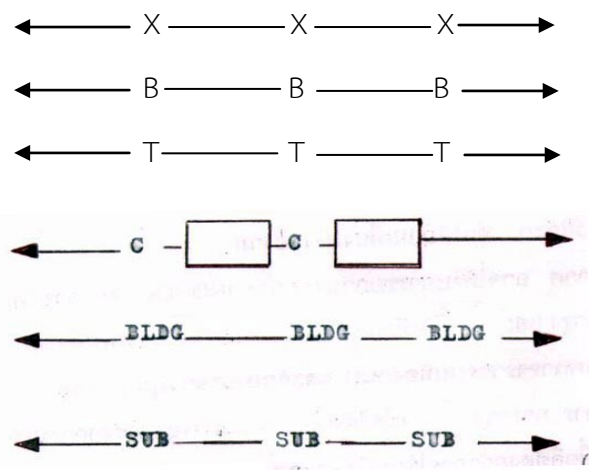
๕.๓.๕.๒ ต้องไม่มีโครงการขยายถนนสายนั้น

๕.๓.๕.๓ ถนนสายนั้นต้องไม่มีท่อฝังอยู่ก่อน เป็นต้น

ในการออกแบบการวางสายเคเบิลใต้ดินที่ใช้กับ Subscriber Line เคเบิลที่วางนั้นจะต้องวางแผนให้เพียงพอกับจำนวนของผู้ใช้โทรศัพท์ ที่จะมีขึ้นใน ๕ ปี ข้างหน้า (Inter-Stage-Period) แต่สำหรับท่อที่ใช้ร้อยสายเคเบิลจะต้องวางให้เพียงพอกับสายเคเบิลที่จะวางในเส้นทางนั้นๆ และอย่างไรก็ตาม ควรมีท่อเหลือไว้ เพื่อใช้สำหรับการเปลี่ยนแปลงสายเคเบิลใหม่ ในกรณีที่สายเคเบิลเกิดการชำรุดเสียหาย หรือใช้สำหรับการเพิ่มจำนวนคู่สายของเคเบิลให้มากขึ้นในอนาคต

๖. สัญลักษณ์ข่ายทางสาย

๖.๑ เคเบิล



เคเบิลอากาศ (Aerial Cable)

เคเบิลฝังดินโดยตรง (Direct Buried Cable)

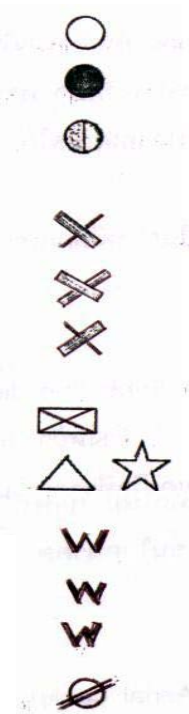
เคเบิลในราง (Throughing Cable)

เคเบิลใต้ดินชนิดร้อยท่อ (Underground Cable Induct)

เคเบิลบนผนังอาคาร (Building Cable)

เคเบิลใต้น้ำ (Submarine Cable)

๖.๒ เสา



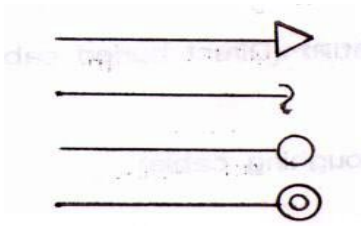
เสาขององค์การที่มีอยู่แล้ว
เสาขององค์การที่จะปักใหม่
เสาเก่าที่จะถูกถอน และแทนด้วยเสาใหม่ขององค์การ

เสาไม้ของการไฟฟ้า
เสาของการไฟฟ้าที่จะปักใหม่
เสาเก่าที่จะถูกถอน และแทนด้วยเสาใหม่ของการไฟฟ้า

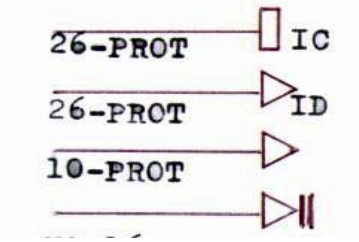
เสาคอนกรีตของการไฟฟ้า
เสาของการไฟฟ้าที่ใช้กำลังดันสูง

เสาของผู้อื่นนอกไปจากองค์การ และการไฟฟ้า
เสาใหม่ที่ผู้อื่นจะปัก
เสาเก่าที่จะถูกถอน และแทนด้วยเสาใหม่ของผู้อื่น
เสาที่จะถูกรื้อถอน

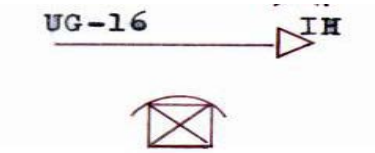
๖.๓ ตู้พัก



ตู้พักสตับ (Stub Terminal)
ตู้พักยาง (Ready Access Terminal)
ตู้พักติดผนังอาคาร (Wall Mounted Terminal)
ตู้พักติดภายในอาคาร (Inside Building Terminal)

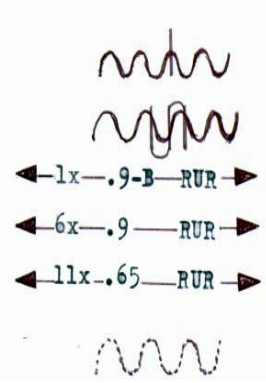


ตู้พักปลายทางขนาด ๒๖ คู่ มีถ่านกันฟ้าเท่านั้น
ตู้พักปลายทางขนาด ๒๖ คู่ มีฟิวส์เท่านั้น
ตู้พักปลายทางขนาด ๑๐ คู่ มีฟิวส์ และถ่านกันฟ้า
ตู้พักปลายทางข่ายสายเข้าบ้านผู้ใช้ โดยทางใต้ดิน ทั่วๆไป
จะตั้งอยู่บนทางเท้า ไม่มีฟิวส์ และถ่านกันฟ้า



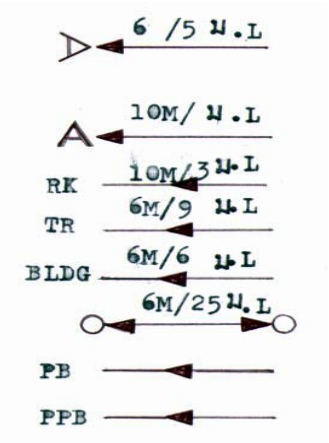
ตู้พักรูร้อย (Rural Wire Terminal)
ตู้คอดิน หรือ ตู้ผ่าน (Cross Connect Cabinet)

๖.๔ สายจ่ายเข้าบ้านผู้ใช้



สายกระจาย ๑ คู่
สายกระจายใต้ดิน ๑ คู่
สายรูรอลวายร์ ๑ คู่ขนาด ๐.๙ โดยวิธีฝังดิน
สาย รูรอลวายร์ ๖ คู่ ขนาด ๐.๙
สายรูรอลวายร์ ๑๑ คู่ ขนาด ๐.๖๕
สายภายในอาคาร

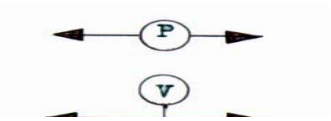
๖.๕ สมอบก และสายสเตย



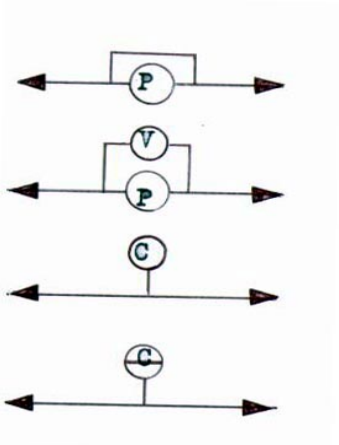
สายสเตย์ ขนาด 6M (๖๐๐๐ ปอนด์) ๕ ม.
L คือระยะสมอ

สายเตย์แบบสายสะพานระยะห่างของเสา ๒๕ ม.

๖.๖ เคเบิลอัดลม



ลิ้นสำหรับทดลองกำลังอัดของลม
ปลั๊กอุดแต่มีท่อผ่านข้างให้ลมเดิม



ลิ้นสำหรับทดลองกำลังของลมผ่านปลั๊ก

คอนแทรคเตอร์ที่เคเบิลใช้บอกสัญญาณเมื่อลมรั่ว

คอนแทคเตอร์ติดที่ตู้พักปลายทาง

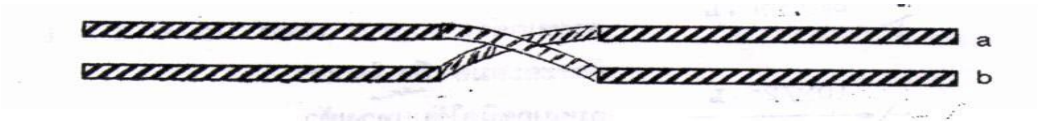
บทที่ ๘

ชนิดของเหตุเสีย

๑. ชนิดของเหตุเสีย เหตุเสียแบ่งออกได้เป็น ๒ ชนิดใหญ่ ๆ คือ

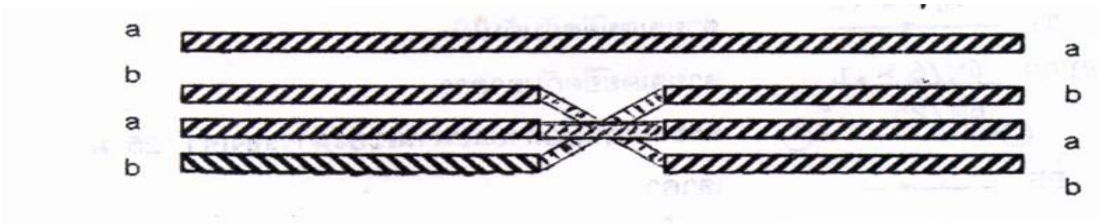
๑.๑ เหตุเสียที่เกิดจากการตัดต่อ เหตุเสียในแบบนี้ มักจะเกิดเนื่องจาการตัดต่อ หรือตรวจแก้ ผลเสียก็คือ ทำให้วงจรยุ่งยาก คุณสมบัติของสายเกิดความไม่สมดุลย์ คู่สายยังคงอยู่ในสภาพที่พอใช้ได้ แต่ไม่นิยมใช้ จึงควรแก้ไขให้อยู่ในสภาพปกติเสียก่อนที่จะนำมาใช้งาน เหตุเสียในแบบนี้ ได้แก่

๑.๑.๑ สายทิป และริงสับกัน (Reverse Pair) คือ คู่สายสับขา a และ b ระหว่างคู่สายเดียวกัน



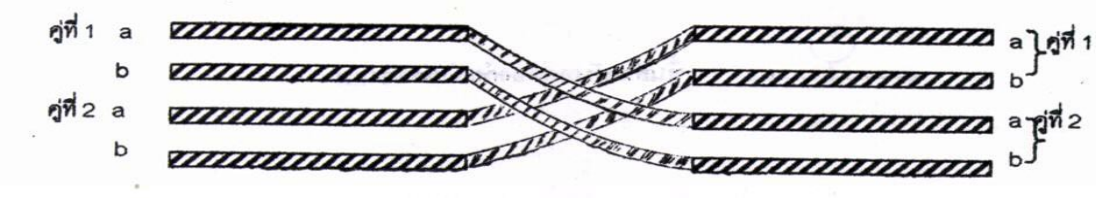
ภาพท ๘-๑ สายทบ และรงสบกน (Reverse Pair)

๑.๑.๒ คู่สายสับกัน (Split Pair) คือ ขา a หรือขา b ของเคเบิลคู่ที่ ๑ ไปสับกับขา a หรือ b ของเคเบิลคู่ที่ ๒ (ขาใดขาหนึ่งต่อตรงกัน แต่ผิดคู่)



ภาพที่ ๘-๒ คู่สายสับกัน (Split Pair)

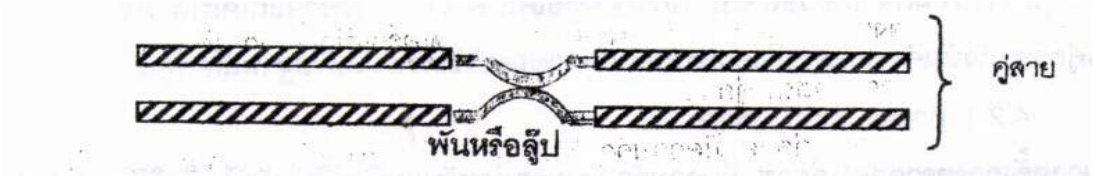
๑.๑.๓ คู่สายไขว้กัน (Transposed Pair) หรือคู่สายสับคู่กัน คือ ขา a และขา b ของเคเบิลคู่ที่ ๑ ไปสับกับขา a และขา b ของเคเบิลคู่ที่ ๒ (ทั้งสองขาต่อตรงกัน แต่ผิดคู่)



ที่ ๘-๓ คู่สายไขว้กัน (Transposed Pair)

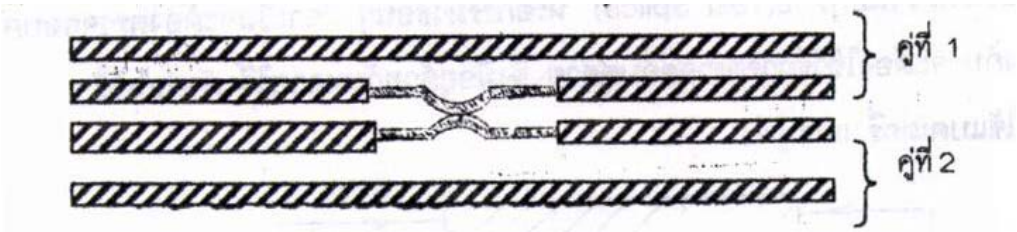
๑.๒ เหตุเสียที่เกิดภายหลังการตัดต่อ เหตุเสียแบบนี้มักเกิดขึ้นหลังจากที่ทำการตัดต่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว และใช้งานกับคู่สายนี้ ได้แก่

๑.๒.๑ พันหรือลูป (Short) คือ ตัวนำของคู่สาย แตะกันในคู่ของตนเอง



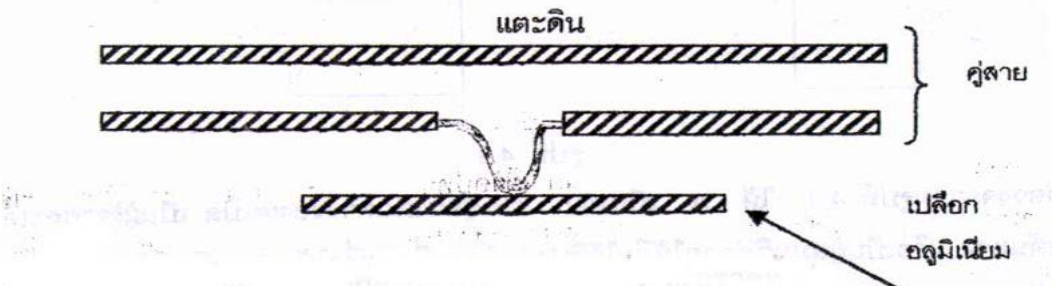
ภาพที่ ๘-๔ พันหรือลูป (Short)

๑.๒.๒ รับไฟ (Cross) คือ ตัวนำของคู่สายสองคู่ มีขาใดขาหนึ่งต่างมาแตะกัน



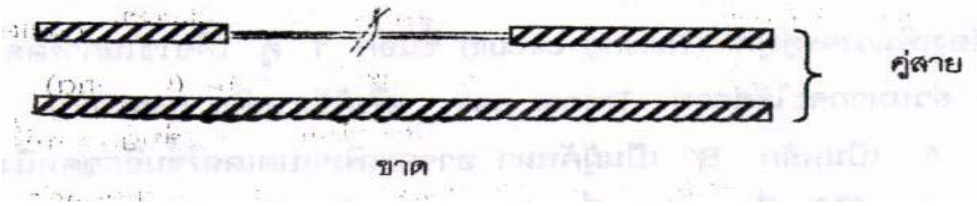
ภาพที่ ๘-๕ รับไฟ (Cross)

๑.๒.๓ แตะดิน (Ground) คือ ตัวนำของคู่สายแตะดิน หรือแตะสิ่งอื่นๆ ที่มีการต่อลงดิน



ภาพที่ ๘-๖ แตะดิน (Ground)

๑.๒.๔ ขาด (Open) คือ ตัวนำของคู่สายขาดที่ขาใดขาหนึ่ง หรือขาดทั้งสองขา



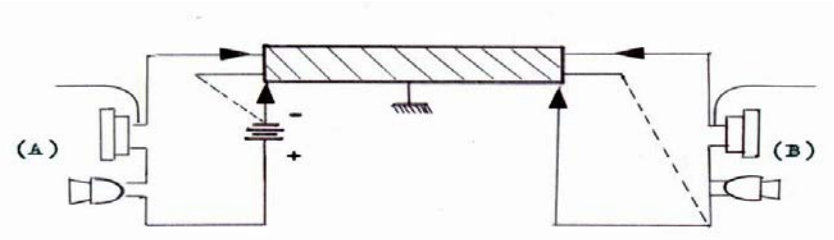
ภาพที่ ๘-๗ ขาด (Open)

๑.๒.๕ ความต้านทานฉนวนต่ำ (Low Insulation) คือ การที่มีความชื้นเข้าไปในเคเบิลตรงเปลือกเคเบิลที่เป็นรอยแตก หรือเป็นรู ทำให้ฉนวนของคู่สายเคเบิลเกิดความชื้น และเกิดความต้านทานฉนวนต่ำขึ้น

๒. การตรวจสอบคู่สาย

ในการปฏิบัติงานที่ต้องเกี่ยวข้องกับการตัดต่อเคเบิล และการตรวจแก้เคเบิล จนท.ซ่อมบำรุงต้องมีความรู้ในการตรวจหาคู่สาย เพื่อไล่หาจุดขัดข้องต่อไปได้ โดยทั่วไป จนท.ช่างจะใช้การอ่านคู่สีประจำเคเบิลดังที่กล่าวมาแล้วในบทก่อนหน้า แต่ในบางสถานการณ์ที่ไม่สามารถอ่านคู่สรจากเคเบิลได้ เนื่องจากเคเบิลไม่รหัสสี หรือโค๊ดอื่นใดที่จำแนกคู่สายได้ เช่น เคเบิลจำพวกเปลือกตะกั่ว, เทปอาเมอร์ หรือ พวกสตอลเปท ซึ่งฉนวนหุ้มตัวนำเป็นกระดาษ ในการตรวจนับคู่สาย (Test Splice) หรือกรรมวิธีอื่นๆ ที่จำเป็นจะต้องตรวจสอบคู่สายให้ถูกต้อง และตรงกัน จะต้องใช้วิธีการตรวจสอบคู่สาย ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ดังต่อไปนี้

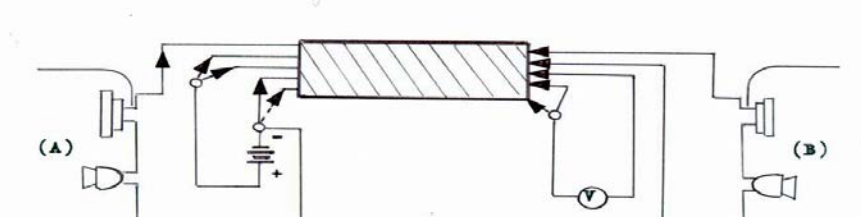
๒.๑ ใช้แบตเตอรี่ และหูฟัง



ภาพที่ ๘-๘ การตรวจสอบคู่สายโดยใช้แบตเตอรี่ และหูฟัง

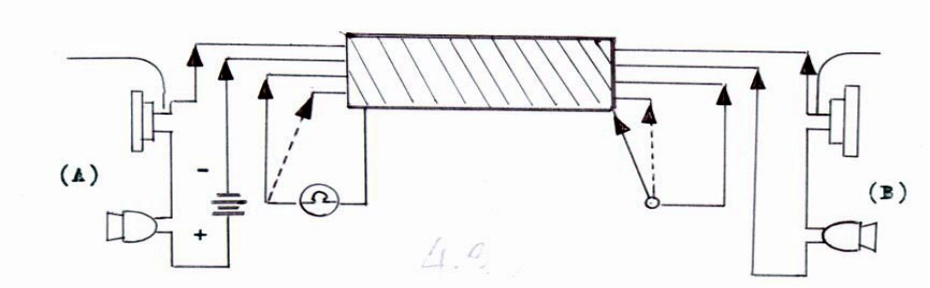
ตามภาพที่ ๘-๘ กำหนดให้ A เป็นจุดหลักอยู่ทางต้นทางของเคเบิล และรู้รายละเอียดของคู่สายที่จะทดสอบ โดยให้ B เป็นผู้ค้นหา เมื่อ B ตรวจพบคู่สายที่ตรงกันแล้ว A และ B จึงจะพูดติดต่อกันได้ (ในการติดต่อสื่อสารระหว่าง A กับ B ที่อยู่คนละจุด สามารถใช้วงจรดินร่วม (Ground) เป็นที่ติดต่อกัน หรือแจ้งรายละเอียดในการค้นหาคู่สายอื่นๆ ต่อไป)

๒.๒ ใช้แบตเตอรี่ และโวลท์มิเตอร์ ต้องเพิ่มวงจรคู่พูด (Talking Circuit) ขึ้นอีก ๑ คู่ เพื่อใช้ในการติดต่อระหว่าง A และ B ส่วนมากจะใช้คู่สาย Tracer Pair หรือใช้สายดิน (Ground) ร่วมเป็นวงจรติดต่อดังภาพที่ ๘-๙ ให้ A เป็นหลัก B เป็นผู้ค้นหา อาจจะเพิ่มแบตเตอรี่ขึ้นอีกชุดหนึ่ง หรือจะเอาโวลท์มิเตอร์มาไว้ทาง A ก็ได้ เมื่อพบคู่สายที่ถูกต้องตรงกัน โวลท์มิเตอร์จะแสดงค่าบนสเกล



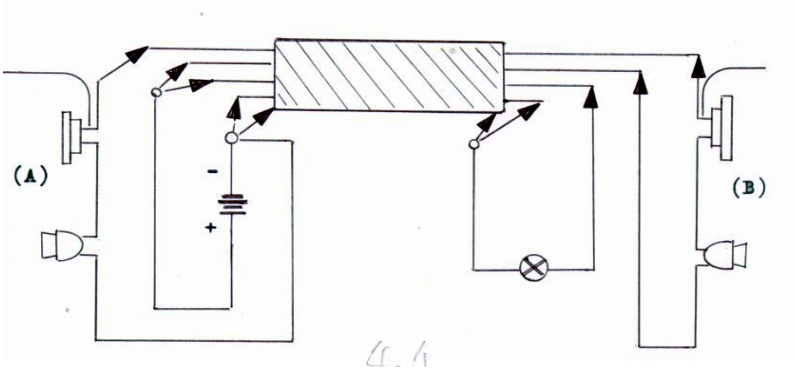
ภาพที่ ๘-๙ การตรวจสอบคู่สายโดยใช้แบตเตอรี่ และโวลต์มิเตอร์

๒.๓ ใช้โอห์มมิเตอร์ ใช้วงจรคู่พูด (Talking circuit) ๑ คู่ ดังภาพที่ ๘-๑๐ ให้ A เป็นหลัก และ B เป็นผู้ค้นหา โดยให้ A ลูปปลายสายหรือใช้สายแตะดิน เมื่อคู่สายตรงกัน โอห์มมิเตอร์จะแสดงค่าบนสเกล



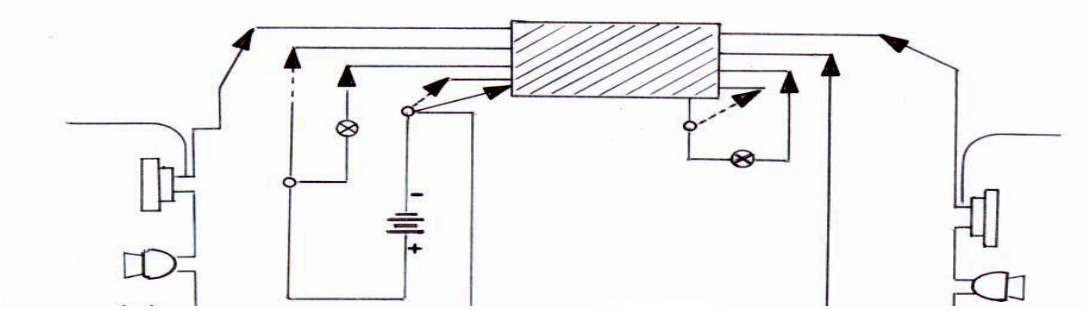
ภาพที่ ๘-๑๐ การตรวจสอบคู่สายโดยใช้โอห์มมิเตอร์

๒.๔ ใช้หลอดไฟทดสอบ (Test Lamp) เมื่อคู่สายตรงกันไฟจะสว่าง การต่อวงจรดังแสดงในภาพที่ ๘-๑๑



ภาพที่ ๘-๑๑ การตรวจสอบคู่สายโดยใช้หลอดไฟทดสอบ

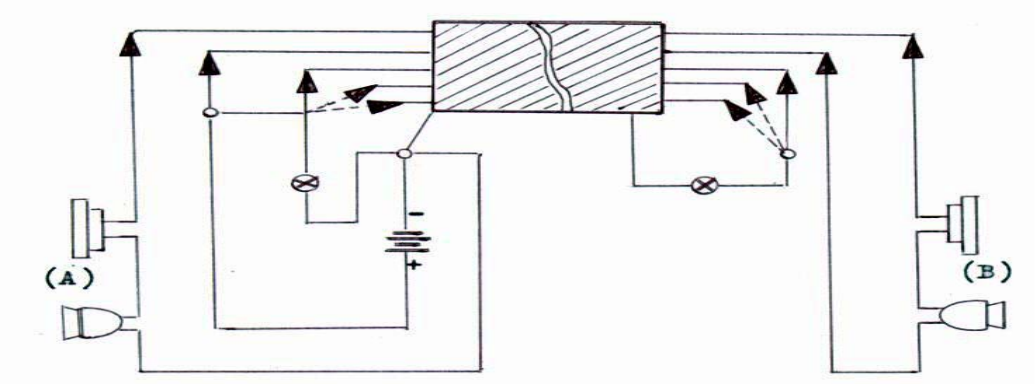
จากวงจรในภาพที่ ๘-๑๑ จะพบว่าผู้ค้นหาทางด้าน B จะเห็นความสว่างของหลอดไฟเมื่อตรงคู่เพียงด้านเดียว ด้าน A จะไม่เห็นด้วย ดังนั้นถ้าต้องการให้ A เห็นด้วย เมื่อคู่สายตรงคู่กัน สามารถแก้ไขวงจรได้ ๒ แบบดังนี้



ภาพที่ ๘-๑๒ แบบหลอดไฟทดสอบ ๒ ดวง แบบอนุกรม

ในภาพที่ ๘-๑๒ จะมีหลอดทดสอบ ๒ ดวง ต่ออยู่ทั้งทางด้าน A และ B ถ้าคู่สายตรงหลอดไฟทั้ง ๒ จะติด ในการต่อหลอดแบบนี้จะอยู่ในรูปอนุกรม ดังนั้นขนาดแรงดันใช้งานแต่ละหลอดจะต้องเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันแบตเตอรี่ที่จ่ายให้ และถ้าหลอดใดหลอดหนึ่งขาดจะทำให้ไม่ติดทั้งสองหลอด ดังนั้นในการใช้วงจรนี้ต้องตรวจสอบขนาดแรงดันใช้งานของหลอด และสภาพของหลอดให้แน่ใจเสียก่อน

ในภาพที่ ๘-๑๓ จะมีหลอดทดสอบ ๒ ดวง เช่นกัน แต่หลอดทั้งสองต่อขนาดกัน ถ้าคู่สายตรงกันหลอดทั้งสองจะติด ในการต่อแบบขนานนี้ ขนาดแรงดันใช้งาน แต่ละหลอดจะเท่ากับแบตเตอรี่ที่จ่ายให้ถ้าหลอดใดหลอดหนึ่งขาด อีกหลอดหนึ่งก็ยังคงติดอยู่ สามารถตรวจสอบได้ต่อไป



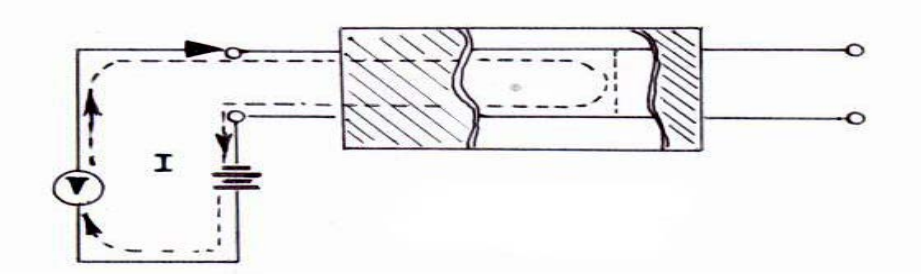
ภาพที่ ๘-๑๓ แบบหลอดไฟทดสอบ ๒ ดวง แบบขนาน

บทที่ ๙
การใช้เครื่องมือพื้นฐานตรวจหาเหตุเสีย

ก่อนที่จะทำการหาตำแหน่งเสียของเคเบิล เราจำเป็นที่จะต้องทราบถึงเหตุเสียของเคเบิลเสียก่อน ว่าเคเบิลนั้นเสียเป็นอะไร ซึ่งเราสามารถตรวจสอบหาเหตุเสียได้ โดยใช้โวลต์มิเตอร์และโอห์มมิเตอร์

๑. การตรวจหาเหตุเสียโดยใช้โวลต์มิเตอร์

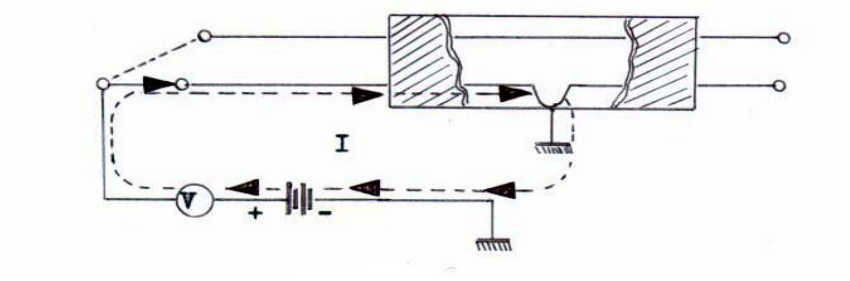
๑.๑ เหตุเสียเป็นลูป-พัน (Short) หรือรับไฟ (Cross)



ภาพที่ ๙-๑ เคเบิลลูป-พัน (Short) หรือรับไฟ (Cross)

การตรวจหาเคเบิลลูป-พัน (Short) หรือรับไฟ (Cross) ทำได้โดยนำแบตเตอรี่และโวลต์มิเตอร์ต่อเข้ากับคู่สายที่ต้องการทราบเหตุเสีย ดังภาพที่ ๙-๑ ให้ปลายข้างหนึ่งเปิดไว้ ถ้าเข็มของโวลต์มิเตอร์ชี้ค่า โดยสามารถอ่านค่าบนสเกลได้ แสดงว่าคู่สายนั้นเกิดพัน หรือลูป (Short) หรือรับไฟ (Cross) เพราะกระแสไฟฟ้าไหลจากแบตเตอรี่ครบวงจรผ่านโวลต์มิเตอร์ จึงทำให้โวล์มิเตอร์แสดงค่าบนสเกล

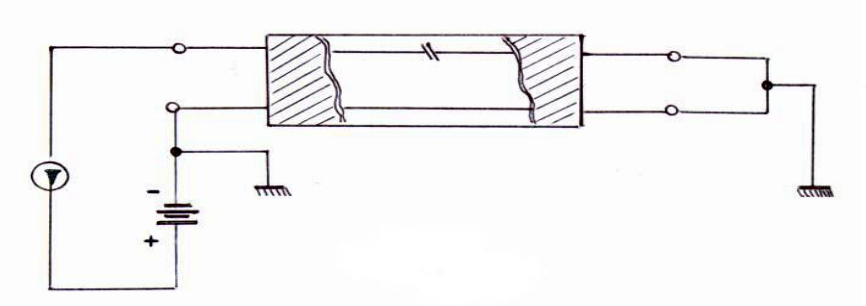
๑.๒ เหตุเสียเป็นแตะดิน (Ground)



ภาพที่ ๙-๒ เคเบิลแตะดิน (Ground)

การตรวจหาเคเบิลแตะดิน (Ground) ทำได้โดยต่อแบตเตอรี่ และโวลต์มิเตอร์ดังภาพที่ ๙-๒ โดยให้ปลายสายแบตเตอรี่ข้างหนึ่งแตะดิน ปลายอีกข้างหนึ่งของโวลต์มิเตอร์ เลื่อนไปแตะปลายสายทีละเส้น ถ้าปรากฏว่าสายเส้นใดเส้นหนึ่งแตะดิน โวลต์มิเตอร์จะแสดงค่าบนสเกล

๑.๓ หาเหตุเสียเป็นขาด (Open)



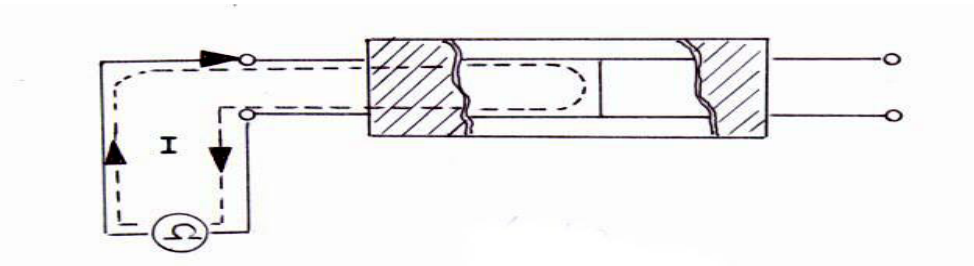
ภาพที่ ๙-๓ เคเบิลขาด (Open)

การตรวจหาเคเบิลขาด (Open) ทำได้โดยต่อแบตเตอรี่ และโวลต์มิเตอร์ดังภาพที่ ๙-๓ โดยลูปปลายสายไว้ ถ้าหากว่าสายขาดโวลต์มิเตอร์ จะไม่แสดงค่าบนสเกล แต่ถ้าสายเป็นปกติโวลต์มิเตอร์จะอ่านค่าบนสเกลได้ ในกรณีที่ต้องการตรวจหาคู่สายทีละเส้นก็ให้ต่อปลายที่ลูปไว้ลงดิน และต่อขาข้างหนึ่งของแบตเตอรี่ลงดิน ใช้ปลายข้างหนึ่งของโวลต์มิเตอร์แตะไปตามคู่สายแต่ละเส้น ถ้าเส้นใดขาด โวลต์มิเตอร์จะไม่แสดงค่าบนสเกล

๒. การตรวจหาเหตุเสียโดยใช้โอห์มมิเตอร์

โอห์มมิเตอร์เป็นเครื่องชนิดหนึ่งสำหรับใช้วัดค่าความต้านทานต่างๆ ภายในโอห์มมิเตอร์จะมีแบตเตอรี่อยู่เรียบร้อยแล้ว ดังนั้นจึงไม่ต้องนำแบตเตอรี่จากภายนอกมาต่อเข้าอีก ทำให้สะดวกมากยิ่งขึ้น วงจรที่ใช้ในการหาเหตุเสียต่างๆ ก็เช่นเดียวกับการใช้โวลต์มิเตอร์

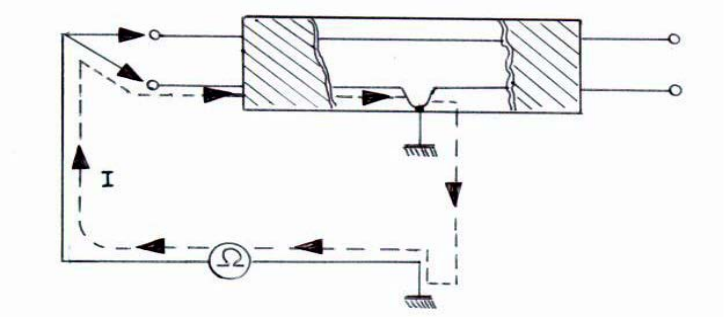
๒.๑ เหตุเสียเป็น ลูป-พัน (Short) หรือ รับไฟ (Cross)



ภาพที่ ๙-๔ เคเบิลลูป-พัน (Short) หรือรับไฟ (Cross)

การตรวจหาเคเบิลลูป-พัน (Short) หรือรับไฟ (Cross) ทำได้โดยต่อโอห์มมิเตอร์เข้ากับคู่สายที่ต้องการวัด ดังภาพที่ ๙-๔ ถ้าเสียเป็นลูป-พัน (Short) หรือรับไฟ (Cross) จะอ่านค่าความต้านทานบนสเกลได้ แต่ถ้าสายดี โอห์มมิเตอร์จะอ่านค่าไม่ได้ เพราะกระแสไฟฟ้าไหลไม่ครบวงจร

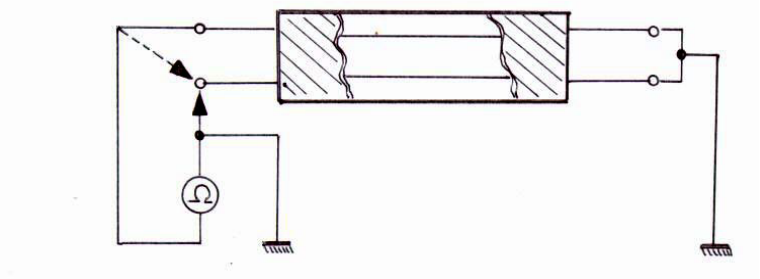
๒.๒ เหตุเสียเป็นแตะดิน (Ground)



ภาพที่ ๙-๕ เคเบิลแตะดิน (Ground)

ต่อวงจรดังภาพที่ ๙-๕ ถ้าสายเส้นใดเสียเป็นแตะดิน โอห์มมิเตอร์ จะอ่านความต้านทานได้

๒.๓ เหตุเสียเป็นขาด (Open)

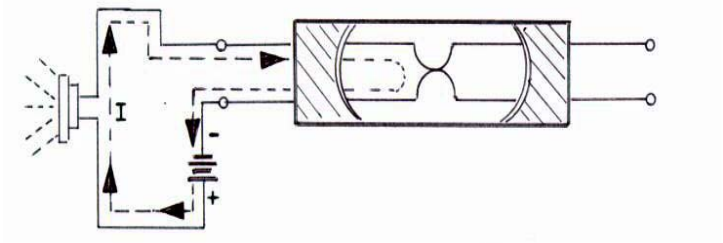


ภาพที่ ๙-๖ เคเบิลขาด (Open)

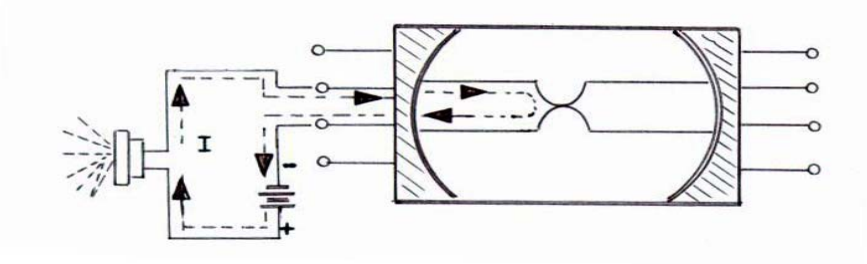
วิธีการต่อวงจรก็เช่นเดียวกับแบตเตอรี่ และโวลต์มิเตอร์ ถ้าสายขาดอ่านค่าความต้านทานไม่ได้ แต่ถ้าสายดีโอห์มมิเตอร์จะแสดงค่าความต้านทานบนสเกล

๓. การตรวจหาเหตุเสียโดยใช้แบตเตอรี่ และหูฟัง

๓.๑ เหตุเสียเป็นลูป-พัน (Short) หรือรับไฟ (Cross)



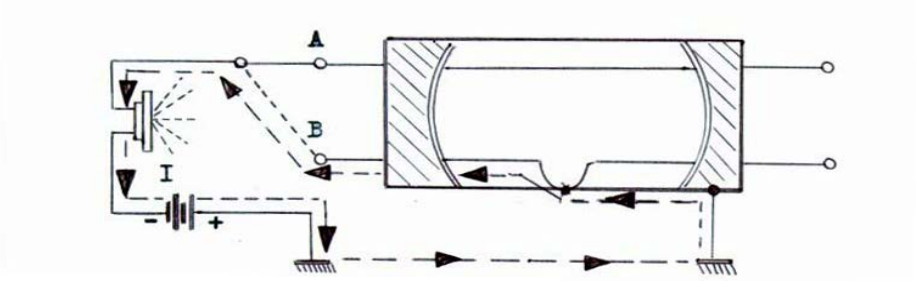
ภาพที่ ๙-๗ เคเบิลลูป-พัน (Short)



ภาพที่ ๙-๘ เคเบิลรับไฟ (Cross)

ต่อแบตเตอรี่ และหูฟังดังภาพที่ ๙-๗ และ ๙-๘ ถ้าคู่สายนั้นเสียเป็นลูป หรือรับไฟจะได้ยินเสียงดัง “คลิก” ชัดเจน เพราะมีกระแสไฟฟ้าไหลครบวงจร

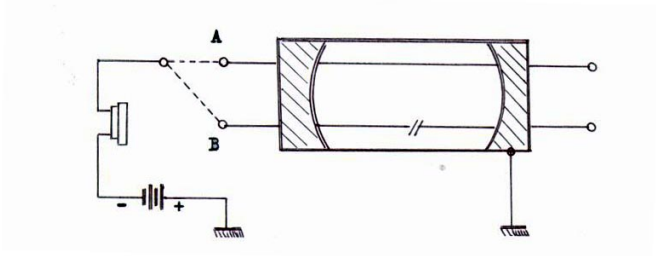
๓.๒ เหตุเสียเป็นแตะดิน (Ground)



ภาพที่ ๙-๙ เคเบิลแตะดิน (Ground)

ต่อสายแบตเตอรี่เส้นหนึ่งลงดิน ส่วนสายจากหูฟังอีกเส้นหนึ่งไปแตะกับสายแต่ละเส้น ถ้าไม่ได้ยินเสียงดัง “คลิก” แสดงว่าสายเส้นนั้นดี ถ้าได้ยินเสียงดัง “คลิก” แสดงว่าสายเส้นนั้นเป็นสายแตะดิน แล้วให้จับไปเรื่อยๆ จนหมดคู่สาย จะทำให้ทราบว่าเคเบิลเส้นนั้นมีสายแตะดินกี่เส้น

๓.๓ เหตุเสียเป็นขาด (Open)



ภาพที่ ๙-๑๐ เคเบิลขาด (Open)

ให้ต่อวงจรตามภาพที่ ๙-๑๐ ถ้าจับสายใดแล้วได้ยินเสียงดัง “คลิก” แสดงว่าสายเส้นนั้นดี ถ้าไม่ได้ยินเสียงดัง “คลิก” ที่เส้นใด แสดงว่าเส้นนั้นเสียเป็น “ขาด”

๔. ค่าความต้านทานฉนวน (Insulation Resistance)

ค่าความต้านทานของฉนวน (Insulation Resistance) เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัตถุที่เป็นฉนวนไฟฟ้า ซึ่งจะต้านทานไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ ค่าความต้านทานของฉนวนจะมากขึ้นตามความหนาของวัตถุนั้นๆ สำหรับคู่สายเคเบิลที่มีฉนวนหุ้มแตกต่างกันออกไป เช่น ผ้า, กระดาษ พลาสติก PVC ค่าความต้านทานของฉนวน ก็แตกต่างกันออกไปตามลำดับ ค่าความต้านทานฉนวนจะเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวของเคเบิลลดลง และจะน้อยลงเมื่อความยาวของเคเบิลเพิ่มขึ้น

ค่าความต้านทานของฉนวนสำหรับเคเบิลใหม่ๆ จะมีค่าประมาณ ๕๐๐ เมกะโอห์ม ต่อความยาว ๑ ไมล์ ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดระหว่างตัวนำแต่ละเส้น และระหว่างตัวนำกับเปลือกอลูมิเนียม (ที่อุณหภูมิ 16°C หรือ 60°F) เมื่อต้องการหาค่าความต้านทานฉนวนของตัวนำหลายๆ เส้น ให้เอาจำนวนตัวนำหารออกจากค่าในตารางที่ ๙-๑

ตารางที่ ๙-๑ ค่าต่ำสุดของความต้านทานฉนวน

Length of Cable (Ft.)	Required Insulation Resistance (Mega Ohms)	Length of cable (Miles)	Required Insulation Resistance (Mega Ohms)
500	5,200	1	500
1,000	2,640	2	250
1,500	1,760	3	167
2,000	1,320	4	125
3,000	800	5	100
4,000	660	6	88.3
5,000	528	7	71.3
6,000	440	8	62.5
7,000	377	9	55.5
8,000	330	10	50
9,000	293	11	45.4
10,000	264	12	41.7

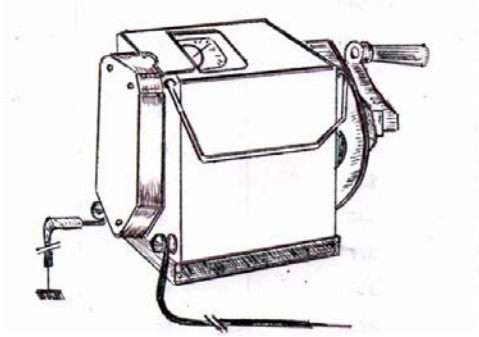
สำหรับค่าความต้านทานฉนวนของเคเบิลระหว่างตัวนำ และระหว่างเปลือกอลูมิเนียม จะเท่ากับ ๒,๖๔๐,๐๐๐ เมกกะโอห์ม ต่อความยาว ๑ ฟุต ดังนั้นถ้าต้องการหาค่าความต้านทานฉนวนของตัวนำที่มีความยาวต่างๆ กัน ก็ให้นำความยาวของตัวนำนั้นหารออกจากค่าความต้านทานฉนวน ๑ ฟุต หรือถ้าหากว่าจะหาค่าความต้านทานฉนวนของเคเบิลถึงไหน ก็ให้นำจำนวนเส้นตัวนำของเคเบิลนั้นหารออกจากค่าความต้านทานฉนวนของตัวนำเส้นนั้น

ค่าความต้านทานของฉนวนจะเปลี่ยนแปลงไป ถ้าหากมีความชื้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความชื้นจะทำให้ความต้านทานฉนวนมีค่าลดต่ำลง ค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด เราเรียกสภาวะนี้ว่า “สายชื้น” (Low Insulation Resistance) เมื่อเกิดสายชื้น (Low Insulation Resistance) ขึ้น

ก็จะเป็นเหตุที่ทำให้กระแสไฟฟ้าเกิดการรั่วจากตัวนำหนึ่งไปอีกตัวนำหนึ่ง หรือจากตัวนำไปที่เปลือกอลูมิเนียม ซึ่งเป็นสื่อของดิน และเมื่อสายชื้นมากก็จะเกิดเหตุเสียเป็นลูป หรือพันต่อไป

๕. การตรวจวัดค่าความต้านทานฉนวนโดยใช้ Megger

Megger เป็นเครื่องมือสำหรับใช้หาค่าความต้านทานฉนวนโดยตรง โดยอ่านได้จากสเกลหน้าปัด ซึ่งจะได้เป็นเมกะโอห์ม รูปร่างของ Megger กะทัดรัด สามารถนำติดตัวไปไหนได้สะดวก จึงเป็นที่นิยมใช้กัน



ภาพที่ ๙-๑๑ ลักษณะของ Megger

วิธีการใช้ Megger วัดหาค่าความต้านทานฉนวน (Insulation Resistance)

๕.๑ ปลอกเคเบิลเตรียมคู่สายไว้ให้เรียบร้อย ปรับ Megger ให้อยู่ในตำแหน่งปกติ

๕.๒ ถ้าจะวัดค่าความต้านทานฉนวนให้ปรับ Selector Switch มาที่ตำแหน่ง Megohms

๕.๒.๑ ถ้าต้องการทดสอบความต้านทานฉนวนระหว่างตัวนำ (คู่สาย) ให้ต่อคู่สายเส้นหนึ่งเข้าที่ปุ่ม Line และอีกเส้นหนึ่งเข้าที่ปุ่ม Earth โดยไม่ต้องลูปปลาย

๕.๒.๒ ถ้าต้องการทดสอบความต้านทานฉนวนระหว่างตัวนำ และเปลือกอลูมิเนียม (Ground) ให้ต่อตัวนำเข้าที่ปุ่ม และต่อเปลือกอลูมิเนียมเข้าที่ปุ่ม โดยไม่ต้องลูปปลาย

๕.๓ หมุนมือหมุน (Crank) ของ Megger ตามเข็มนาฬิกาช้าๆ จนกระทั่งเข็มขึ้น และหมุนเพิ่มความเร็วขึ้นเรื่อยๆ จนสม่ำเสมอประมาณ ๑๖๐ รอบต่อนาที ให้อ่านค่าสเกลเมื่อเข็มหยุดอยู่คงที่ เราก็จะได้ค่าตามต้องการ

๕.๔ ถ้าต้องการวัดค่าความต้านทานเป็นโอห์มให้ปรับ Selector Switch มาที่ตำแหน่งโอห์ม

๕.๕ ต่ออุปกรณ์ หรือคู่สายที่ต้องการวัดค่าเข้าที่ปุ่ม Ohms และ Ground ถ้าเป็นคู่สายต้องลูปปลายสายเพื่อให้ครบวงจร

๕.๖ หมุนมือหมุนตามเข็มนาฬิกา เช่นเดียวกับการวัดความต้านทานฉนวน และอ่านค่าบนสเกล สภาวะของเข็มที่ขึ้นบนสเกลของ Megger ในกรณีที่เกิดความต้านทานฉนวนต่ำ คือในขณะหมุนมือหมุนที่ความเร็ว ๑๖๐ รอบต่อนาที เข็มจะขึ้นไปถึงค่าคงที่บนสเกลอย่างรวดเร็ว ถึงแม้จะหมุนมือหมุนต่อไปก็จะไม่เกิดผลอันใด ในกรณีที่ความต้านทานฉนวนมีค่าสูง (High Insulation Resistance) ก่อนที่เข็มจะถึงค่าคงที่ เข็มจะค่อยๆ ขึ้น และยืดเวลาเคลื่อนที่ไปอีกเล็กน้อย ในขณะหมุนมือหมุนต่อไป และหลังจากนั้นเข็มจึงจะคงที่

ข้อควรระวังของการใช้ Megger

๑. ก่อนปลดคู่สายหลังจากทำการทดสอบแล้ว หรือเปลี่ยนคู่สายทดสอบ ต้องแน่ใจว่าคู่สายนั้นได้ถ่ายเทประจุไฟฟ้า (Discharge) ออกแล้ว ทั้งนี้เพราะเมื่อทำการทดสอบไฟฟ้ากระแสตรงจาก Megger จะเข้าไปประจุ (Charge) ในค่า Capacitance ของคู่สาย เมื่อปลดคู่สายออกจาก Megger ประจุเหล่านั้นจะตกค้าง จึงต้องทำการถ่ายเทประจุ โดยให้ Megger หยุดหมุนและเข็มตกลงมายังตำแหน่งปกติก่อน แต่ถ้ายังไม่แน่ใจให้บิด Selector Switch มาที่ตำแหน่ง Discharge จนแน่ใจว่าได้คายประจุหมดแล้ว จึงจะจับต้องสายของ Megger หรือคู่สายที่ทดสอบได้ และต้องระวังจะถูกไฟฟ้าดูดในขณะหมุนมือจับ อย่าจับสายโดยไม่ระมัดระวัง

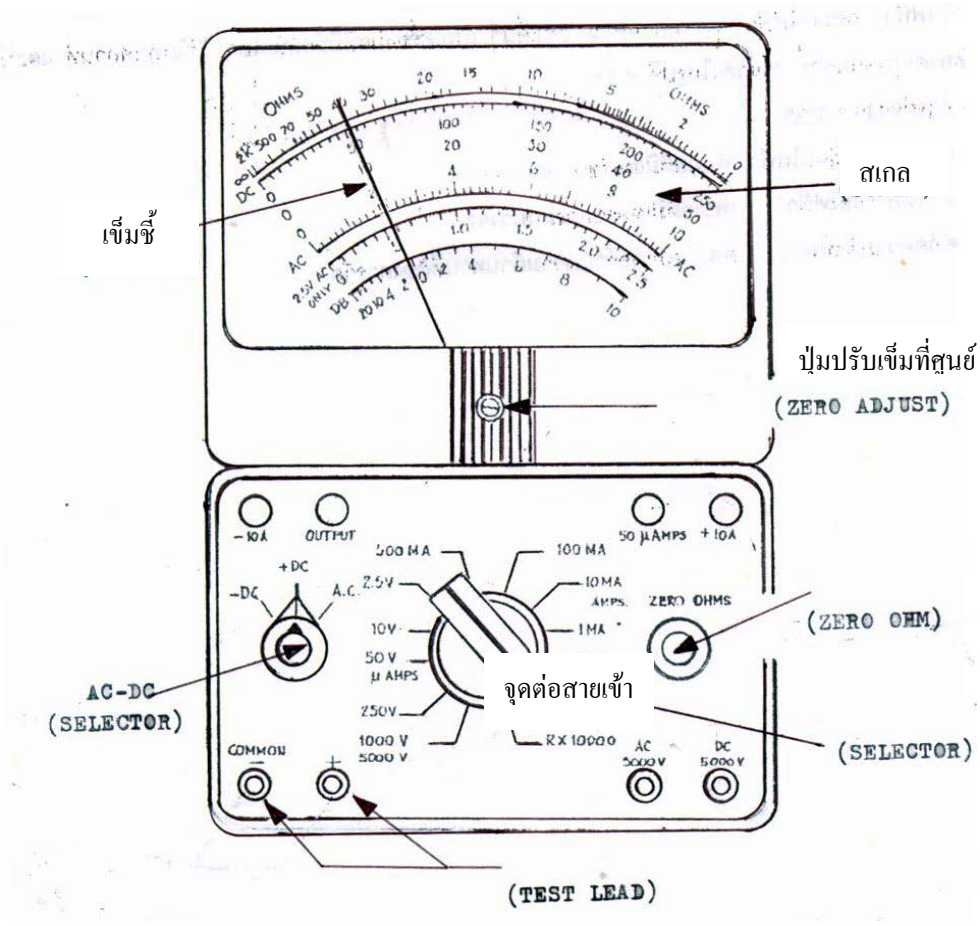
๒. ในสภาพปกติ การทดสอบเคเบิลสั้นๆ ควรได้ค่าความต้านทานฉนวนสูงกว่า ๑,๐๐๐ เมกะโอห์ม ถ้าเคเบิลมีความยาวมากๆ ค่าที่ได้ควรจะสูงกว่าในตารางที่กำหนดไว้ แต่ถ้าหากว่าอ่านค่าได้น้อยกว่าตารางที่กำหนดไว้ ก็แสดงว่าเกิดความต้านทานฉนวนต่ำ “สายชื้น” (low Insulation Resistance) ขึ้นในเคเบิลเส้นนั้น ต้องทดสอบกันต่อไปว่าคู่สายเคเบิลใดเกิด “สายชื้น” หรือเกิดสายชื้นระหว่างสายใดกับเปลือกอลูมิเนียม (Aluminium Sheath) โดยแยกคู่สายเคเบิลที่ความต้านทานฉนวนต่ำออกเป็นพวกๆ แล้วทดสอบแต่ละคู่ของพวกที่ความต้านทานฉนวนต่ำ กับพวกอื่นที่มัดต่อลงดินไว้ เพื่อจะหาว่าคู่สายเส้นใดความต้านทานฉนวนต่ำ เมื่อคู่สายเส้นใดอ่านค่าได้น้อยกว่าตารางที่กำหนดไว้ ก็ให้แยกไปพวกหนึ่ง หลังจากนั้นให้กลับมาตรวจสอบคู่สายที่ความต้านทานต่ำใหม่ว่าความต้านทานฉนวนต่ำระหว่างคู่สายกับเปลือกอลูมิเนียม หรือทั้งสองอย่าง

๖. การวัดค่าทางไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดมัลติมิเตอร์ (Multimeter)

มัลติมิเตอร์ (Multimeter) เป็นเครื่องมือวัดที่สามารถทำการวัดได้หลายอย่าง เช่น วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้า ความต้านทาน และอื่นๆ เป็นเครื่องมือที่มีน้ำหนักเบา ใช้ได้ทุกสถานที่และมีความเที่ยงตรงพอสมควร

ภาพที่ ๙-๑๒ Multimeter

การต่อวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ให้ต่อมัลติมิเตอร์ขนานกับวงจรที่ต้องการวัด หากต้องการวัดกระแสไฟฟ้า ให้ต่อมัลติมิเตอร์อนุกรมกับวงจรนั้นๆ และหากต้องการวัดความต้านทาน ให้ต่อมัลติมิเตอร์กับความต้านทานที่ต้องการวัด



ภาพที่ ๙-๑๓ ส่วนประกอบที่สำคัญของมัลติมิเตอร์ (Multimeter)

มัลติมิเตอร์ (Multimeter) มีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้

๖.๑ Selector เป็นสวิทช์สำหรับเลือกการวัดแบบต่างๆ ดังนี้

๖.๑.๑ วัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ปรับมาที่ย่าน 2.5 V, 10 V, 50 V, 250 V, 1000 V ค่าตัวเลขที่แสดง หมายถึง ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดที่จะทำการวัดได้ เช่น ตั้งที่ย่าน 250 V หมายถึง แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถวัดได้คือ 250 V

๖.๑.๒ วัดกระแสไฟปรับมาที่ย่าน 500 mA , 1000 mA, 10 mA และ 1 mA ค่าตัวเลขที่แสดงก็เช่นเดียวกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า

๖.๑.๓ วัดความต้านทานปรับมาที่ย่าน Rx1, Rx100, Rx10000 ค่าตัวเลขที่แสดงหมายถึงค่าที่อ่านได้จากสเกลคูณด้วยค่าตัวเลขนั้น เช่น ตั้งแต่ย่าน Rx100 อ่านค่าได้ 4 แสดงว่าค่าความต้านทานเท่ากับ 4 X 100 = 400 Ω เป็นต้น

๖.๒ AC-DC Selector เป็นสวิทช์สำหรับเลือกว่าจะวัดแรงดันหรือกระแสในแบบไฟฟ้าสลับหรือไฟฟ้าตรง ถ้าเป็นไฟฟ้าสลับให้ปรับมาที่ AC ถ้าเป็นไฟฟ้าตรงให้ปรับมาที่ DC แต่ถ้าวัดความต้านทานจะต้องปรับมาที่ DC เสมอ

๖.๓ สเกล (Scale) เป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงผลที่วัดในสเกลจะมีสเกลโอห์ม ซึ่งอยู่บนสุด เริ่มตั้งแต่ 0 Ω ถึง ∞ (Infinity) มีสเกล DC ซึ่งใช้อ่านได้ทั้งวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าตรง และกระแสไฟฟ้าตรงมีค่าอยู่ ๓ สเกล คือ ๐-๒๕๐, ๐-๕๐ และ ๐-๑๐ จะสังเกตได้ว่าสเกล DC เป็นสีดำ และมีสเกล AC ซึ่งอ่านได้ทั้งวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าสลับ และกระแสไฟฟ้าสลับมีค่าอยู่4 สเกล คือ ๐-๒๕๐, ๐-๕๐, ๑-๑๐ และ ๐-๒.๕ จะสังเกตได้ว่าสเกล AC เป็นสีแดง

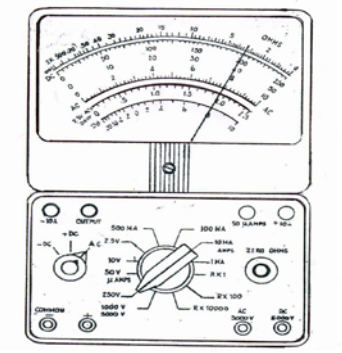
๖.๔ ปุ่มปรับเข็ม (Zero Adjust) เป็นปุ่มที่ทำหน้าที่ปรับเข็มให้ชี้ที่ศูนย์ จะใช้ในกรณีที่วางเครื่องเอียง ไม่อยู่ในแนวราบ หรือในกรณีอื่นที่เข็มไม่ชี้ที่ศูนย์ จะใช้ปรับในกรณีทำการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้า โดยปรับให้เข็มชี้ที่ศูนย์ก่อนทำการวัด

๖.๕ ปุ่มปรับเข็มชี้ที่ศูนย์ (Zero Ohm) เป็นปุ่มให้เข็มที่ศูนย์ในกรณีทำการวัดค่าความต้านทาน โดยนำปลายสายที่ต่อจากปุ่ม Common - และ + มาแตะกันแล้ว ปรับให้เข็มชี้ที่ศูนย์ก่อนทำการวัดค่าความต้านทาน

๖.๖ ต่อสายเข้า (Test Lead) เป็นที่สำหรับให้สายต่อ (Test Lead) มาต่อเข้าสายที่ใช้จะเป็นสีดำ และสีแดงตามปกติ จะให้สีดำต่อเข้าที่ Common - และสายสีแดงต่อเข้าที่ +

๗. การใช้งานมัลติมิเตอร์ (Multimeter)

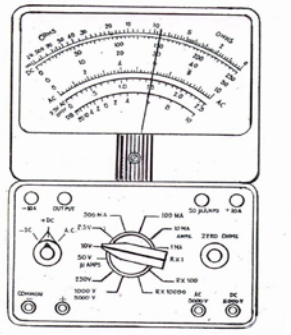
๗.๑ การวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าสลับ (AC Volt)



ภาพที่ ๙-๑๔ การวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าสลับ (AC Volt)

การวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าสลับจะต้องตั้ง AC-DC Selector มาที่ตำแหน่ง AC และ Selector จะตั้งไว้ที่ 2.5, 10, 50, 250, หรือ 1000 V นั้น ขึ้นอยู่กับขนาดของ แรงเคลื่อนที่จะวัดส่วนค่าของแรงเคลื่อนที่วัดได้ จะอ่านจากสเกลสีแดง ตามรูปที่ 9-14 เป็นการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าสลับโดยตั้ง Selector ไว้ที่ 250 V อ่านสเกลที่ย่าน 0-250 อ่านได้ 200 เพราะฉะนั้นค่าของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดเท่ากับ 200 V

๗.๒ การวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าตรง (DC Volt)



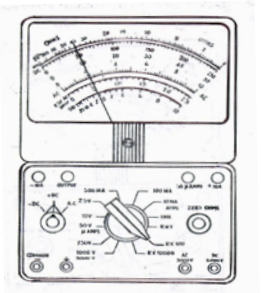
ภาพที่ ๙-๑๕ การวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าตรง (DC Volt)

การวัดแบบแรงเคลื่อนไฟฟ้าตรง จะต้องตั้ง AC-DC Selector ไว้ที่ + DC หรือ DC ก็ได้ ถ้าเข็มมิเตอร์ขึ้นกลับทาง ก็ให้ปรับตำแหน่ง AC- DC Selector มาที่ตรงข้าม เช่น ตั้งไว้ที่ + DC แล้วเข็มมิเตอร์ขึ้นกลับทางก็ให้ปรับมาที่ - DC ส่วน Selector จะต้องตั้งไว้ที่ 2.5, 10, 50, 250 และ1000 V ตำแหน่งใด ตำแหน่งขึ้นอยู่กับขนาดของแรงเคลื่อนที่ต้องการวัด ส่วนค่าของแรงเคลื่อนที่วัด จะอ่านได้จากสเกลหน้าปัดของเครื่องวัด

ตามรูปที่ ๙-๑๕ เป็นการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าตรง โดยตั้ง Selector ไว้ที่ 10V AC-DC Selector ตั้งไว้ที่ + DC อ่านสเกล DC 0-10 อ่านค่าได้ 6 V เพราะแรงเคลื่อนไฟฟ้าตรง ที่วัดมีค่าเท่ากับ 6 V

๗.๓ การวัดความต้านทาน (Ohm)

การวัดค่าของความต้านทาน (โอห์ม) จะต้องตั้ง AC-DC Selector ไว้ที่ - DC หรือ + DC ก็ได้ ส่วน Selector จะต้องตั้งไว้ที่ Rx1, Rx100, หรือ Rx1000 ขึ้นอยู่กับค่าของความต้านทานที่จะวัด การอ่านค่าความต้านทานจะดูได้จากสเกล Ohm ที่หน้าปัดของเครื่องวัด การอ่านค่าความต้านทานนั้นจะต้องอ่านจากขวามือไปซ้ายมือเสมอ

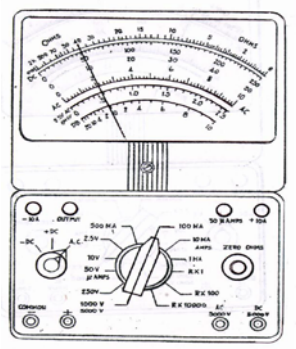


ภาพที่ ๙-๑๖ การวัดความต้านทาน (Ohm)

ตามภาพที่ ๙-๑๖ เป็นการวัดค่าความต้านทานโดยตั้ง Selector ไว้ที่ R x 100ความต้านทาน ที่อ่านได้เท่ากับ 40 เพราะฉะนั้น ค่าความต้านทานที่ต้องการเท่ากับ 40 X 100 = 4,000 Ω = 4 KΩ

หมายเหตุ ก่อนวัดค่าความต้านทานจะต้องปรับเข็มให้ได้ศูนย์ก่อน โดยปรับที่ปุ่มเข็มชี้ที่ศูนย์ (Zero Ohm)

๗.๔ การวัดกระแสไฟฟ้าสลับ (Alternating Current)



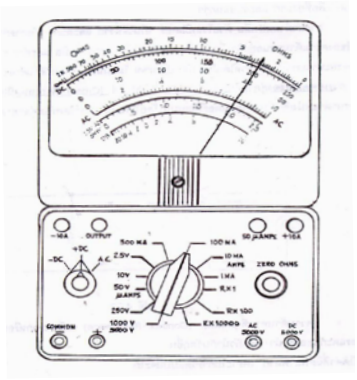
ภาพที่ ๙-๑๗ การวัดกระแสไฟฟ้าสลับ (Alternating Current)

การวัดกระแสไฟฟ้าสลับ มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (Ampere) หรือ มิลลิแอมแปร์ (milli Ampere) จะต้องตั้ง AC-DC Selector ไว้ที่ AC ส่วน Selector ตั้งไว้ที่ 1 mA, 10 mA หรือ 100 mA นั้น ขึ้นอยู่กับค่าของกระแสที่ต้องการวัด ส่วนค่าของกระแสจะอ่านได้จากสเกลหน้าปัดสีแดง (AC) ของเครื่องวัด

ตามภาพที่ ๙-๑๗ เป็นการวัดค่าของกระแสไฟฟ้าสลับ โดยตั้ง Selector ไว้ที่ 100 MA อ่านสเกล AC (สีแดง) 0-10 ค่าที่อ่านได้เท่ากับ 2 เพราะฉะนั้นค่าของกระแสไฟฟ้าสลับที่ต้องการวัดเท่ากับ 2 X 10 = 20 mA

๗.๕ การวัดกระแสไฟฟ้าตรง (Direct Current)

การวัดค่าของกระแสไฟฟ้าตรง จะต้องตั้ง AC-DC Selector ไว้ที่ +DC หรือ -DC ก็ได้ถ้าเข็มกลับทิศทาง ก็ให้ปรับใหม่ แบบเดียวกันการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าตรง ส่วน Selector จะต้องตั้งที่ 1 mA, 10 mA หรือ 100 mA ขึ้นอยู่กับค่าของกระแสที่ต้องการวัด ส่วนค่าของกระแส จะอ่านได้จากสเกลหน้าปัดของเครื่องวัด



ภาพที่ ๙-๑๘ การวัดกระแสไฟฟ้าตรง (Direct Current)

ตามภาพที่ ๙-๑๘ เป็นการวัดค่าของกระแสไฟฟ้าตรง โดยตั้ง Selector ไว้ที่ 100 mA อ่านสเกล DC (สีดำ) 0-10 ค่าที่อ่านได้ 8 เพราะฉะนั้นค่าของกระแสไฟฟ้าที่ต้องการวัดมีค่าเท่ากับ 8 X 10 =80 mA.

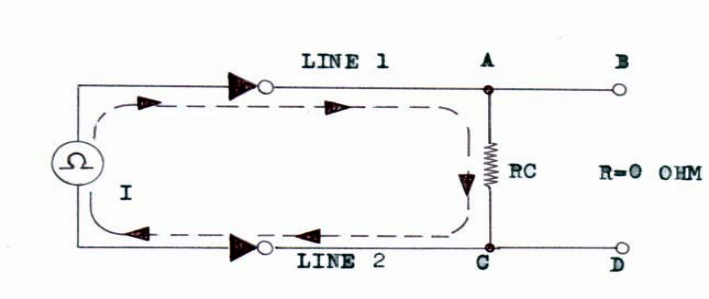
๘. การตรวจหาจุดเสียของคู่สายเคเบิลด้วยโอห์มมิเตอร์

การหาตำแหน่งเสียของเคเบิลเป็นระยะทางจากจุดวัดถึงจุดเสีย ส่วนมากจะหาจากค่าความต้านทานของตัวนำจากจุดวัดจนถึงจุดเสีย ดังนั้นโอห์มมิเตอร์จึงเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่ใช้วัดหาค่าความต้านทานเป็นอันดับแรก และเป็นหลักการเบื้องต้นในการดัดแปลง หรือออกแบบอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในการหาตำแหน่งเสียที่ยุ่งยาก และซับซ้อนกว่า

การหาตำแหน่งเสียด้วยโอห์มมิเตอร์เป็นวิธีที่ง่าย และสะดวกต่อการคำนวณเพราะค่าที่วัดได้นั้นอยู่ในรูปของความต้านทานอยู่แล้ว ซึ่งเมื่อเปิดตารางเทียบขนาดของเคเบิล และค่าความต้านทานแล้วจะออกมาเป็นระยะทางเลยทีเดียว ค่าที่ได้เป็นค่าโดยประมาณ ไม่แน่นอนเหมือนวิธีอื่นซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

๘.๑ การหาจุดเสียของคู่สายที่เป็นพัน (Short) หรือรับไฟ (Cross)

การหาตำแหน่งเสียด้วยโอห์มมิเตอร์ในแบบนี้ โดยใช้โอห์มมิเตอร์วัดคร่อมคู่สาย ดังรูปที่แสดงข้างล่างนี้



RC = ความต้านทานที่จุดสัมผัส (Contact Resistance) จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอาการแตะกันของตัวนำหรือตัวนำกับวัตถุอื่น

ความต้านทานที่วัดได้ = AB + RC + CD (Ω)

เมื่อความต้านทาน AB = CD (Ω) จะได้ว่า

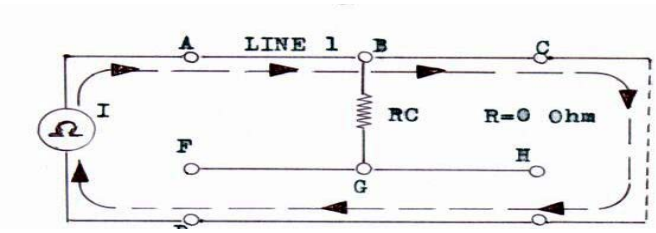
ความต้านทานที่วัดได้ = 2AB + RC (Ω)

เอา 2 หารตลอด เพื่อให้เหลือค่าความต้านทานจากจุดวัด ถึงจุดเสีย ของสายเพียงเส้นเดียว

$\therefore$ ความต้านทานจากจุดวัดถึงจุดเสีย = $AB+\frac{RC}{2}$ (หน่วยเป็น Ω)

จะพบว่าในการวัดแบบนี้จะคิดค่าของความต้านทานที่จุดสัมผัส $\frac{RC}{2}$ อยู่เมื่อนำไปเทียบหาระยะทาง จะทำให้เกิดความผิดพลาด ดังนั้นการวัดที่ได้ผลแน่นอนกว่าจึงต้องกระทำถึง ๓ ครั้งโดยเพิ่มสายที่ดีขึ้นมาอีกหนึ่งเส้น ดังนี้

๘.๑.๑ หาค่า Loop Resistance ACDE



ต่อวงจรตามรูปโดยลูป CD เข้าด้วยกัน ให้ความต้านทานของจุดที่ลูปเท่ากับ 0 (Ω)

ความต้านทานที่วัดได้ = AC + DE (Ω)

แต่ AC = AB + BC (Ω)

$\therefore$ ความต้านทานที่วัดได้ = AB + BC + DE (หน่วยเป็น Ω) ------ (1)

๘.๑.๒ หาค่า Loop Resistance FGBCE

ความต้านทานที่วัดได้ = FG + GB + BC +DE (Ω)

แต่ GB = RC (Ω)

และ FG = AB (Ω)

$\therefore$ ความต้านทานที่วัดได้ = AB + RC + BC + DE (หน่วยเป็น Ω) ------ (2)

นำการวัดครั้งที่ (2) ลบออก ด้วยการวัดครั้งที่ (1) : (2) - (1)

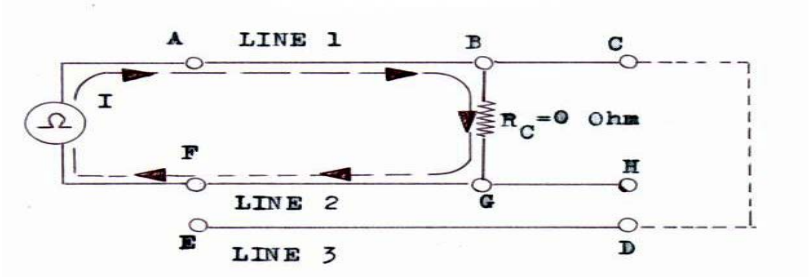
ความต้านทานที่วัดได้ = (AB + RC + BC + DE) - (AB + BC + DE) (Ω)

= AB + RC + BC + DE - AB - BC - DE (Ω)

$\therefore$ ความต้านทานที่วัดได้ = RC

เมื่อนำการวัดครั้งที่ (2) ลบออกด้วยการวัดครั้งที่ (1) จะเหลือเพียงค่าความต้านทานที่จุดสัมผัส หรือ RC

๘.๑.๓ หาค่า Loop Resistance ABGF



ความต้านทานที่วัดได้ = AB + BG + GF (Ω)

แต่ BG = RC และ AB = GF (Ω)

$\therefore$ ความต้านทานที่วัดได้ = AB + RC + AB (Ω)

= 2AB + RC (Ω) -------- (3)

นำการวัดครั้งที่ (3) ลบออกด้วยผลลัพธ์ของผลลบระหว่างการวัดครั้งที่ (2) และการวัดครั้งที่ (1) แล้วหารด้วย 2

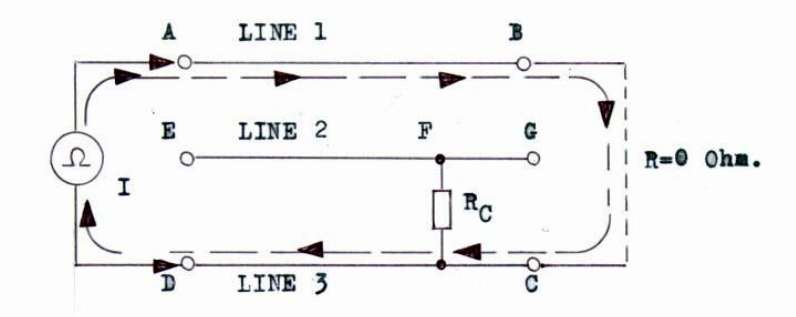
$\therefore$ ความต้านทานที่วัดได้ = $\frac{2AB + RC - RC}{2}$ (Ω)

$\therefore$ ความต้านทานที่วัดได้ = AB (Ω)

นั่นก็คือ จะเหลือเพียงค่าความต้านทานจากจุดวัดจนถึงจุดเสีย หน่วยเป็นโอห์ม และเทียบหาระยะทางจากตารางที่ ๙-๒

๘.๒ การหาตำแหน่งเสียที่เป็นแตะดิน (Ground)

๘.๒.๑ หาค่า Loop Resistance ABCD

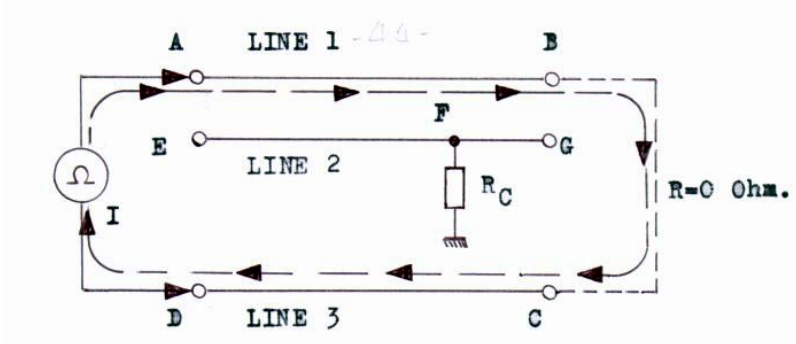


ความต้านทานที่วัดได้ = AB + CD (Ω)

สมมุติให้ความต้านทานที่วัดได้ครั้งที่ 1 นี้มีค่า = K1

$\therefore$ K1 = AB + CD (Ω) ---------- (1)

๘.๒.๒ หาค่า Loop Resistance ABGFD



ความต้านทานที่วัดได้ = AB + GF + RC + ความต้านทานของดิน (Ω)

สมมุติให้ความต้านทานที่วัดได้ครั้งที่ 2 นี้มีค่า = K2

$\therefore$ K2 = AB + GF + RC + ความต้านทานของดิน (Ω) ----- (2)

นำการวัดครั้งที่ 2 (K2) ลบออกจากวัดครั้งที่ 1 (K1) จะได้ (K3)

∴ K3 = K1 - K2

= (AB + CD) - (AB + GF + RC + ความต้านทานของดิน)

= AB + CD - AB - GF - RC - ความต้านทานของดิน

K3 = CD - GF - RC - ความต้านทานของดิน

CD = EG = EF + GF

∴ K3 = EF + GF - GF - RC - ความต้านทานของดิน

K3 = EF - RC - ความต้านทานของดิน (Ω)

๘.๒.๓ หาค่า Loop Resistance EFD

ความต้านทานที่วัดได้ = EF + RC + ความต้านทานของดิน

สมมุติให้ความต้านทานที่วัดได้ครั้งที่ 3 = K4

∴ K4 = EF + RC + ความต้านทานของดิน

นำค่าความต้านทานที่วัดได้ครั้งที่ 3 (K4) บวกกับ K3 แล้วหารด้วย 2

$$\therefore \text{K3 + K4} = \frac{(\text{EF - RC - คตท.ของดิน}) + (\text{EF + RC + คตท.ของดิน})}{2}$$

$$= \frac{\text{EF - RC - คตท.ของดิน + EF + RC + คตท.ของดิน}}{2}$$

$$\therefore \text{ความต้านทานที่วัดได้} = \frac{2EF}{2} = EF \quad (\Omega)$$

นั่นคือ จะเหลือเพียงค่าความต้านทานจากจุดวัดจนถึงจุดเสีย (หน่วยเป็นโอห์ม) และให้เทียบหาระยะทางจากตารางที่ ๙-๒ (ข้อสังเกตจาการพิสูจน์ข้างต้นพบว่า เราไม่คำนึงถึงความต้านทานของดิน หรือความต้านทานที่จุดสัมผัสระหว่างตัวนำกับดินเลย เพราะค่าเหล่านี้จะหักล้างกันเองหมด)

๘.๓ ตารางเปรียบเทียบเพื่อหาระยะทางคู่สายเคเบิล

ตารางที่ ๙-๒ แสดงค่าความต้านทานของคู่สายเคเบิล

Gauge (AWG)	Diameter (INCH)	Diameter (mm)	Resistance		
			Ohm/1000 Feet AT 20°C (68°F)	Feet/Ohm AT. 20°C (68°F)	Ohm/Kim.
13	0.072	1.7	2.026	493	-
16	0.0508	1.27	3.977	251	-
19	0.0359	0.9	8.049	124	26.7
22	0.0253	0.65	16.190	63	53.8
24	0.0201	0.5	25.94	39	85.1
26	0.0159	0.4	41.67	24	136.7
28	-	0.32	-	-	217

ตารางที่ ๙-๓ แสดงตัวคูณเพื่อเปลี่ยนแปลงความต้านทานในแต่ละขนาดของคู่สาย

Actual (AWG)	Factor to Determine Equivalent Length					
	13 GA.	16 GA.	19 GA.	22 GA.	24 GA.	26 GA.
13	1.0	0.510	0.252	0.125	0.078	0.049
16	1.96	1.0	0.496	0.246	0.153	0.095
19	3.97	2.02	1.0	0.496	0.31	0.19
22	7.99	4.07	2.01	1.0	0.624	0.389
24	12.8	6.25	3.22	1.6	1.0	0.623
26	20.6	10.5	5.18	2.57	1.61	1.0

<u>ตัวอย่างที่ 1</u> ต้องการทราบความต้านทาน/กิโลเมตร ของเกจ 22 โดยทราบความต้านทานกิโลเมตรของเกจ 19 มีค่า 26.7 Ω/km

$\therefore$ เกจ 22 มีความต้านทาน 26.7 2.01 53.667 Ω/km ได้ค่าใกล้เคียงกับในตารางที่ 9-2

<u>ตัวอย่างที่ 2</u> ต้องการทราบความต้านทาน/1,000 ฟุต ของเกจ 24 โดยทราบความต้านทาน /1,000 ฟุตของเกจ 22 มีค่า 16.190 Ω/1000

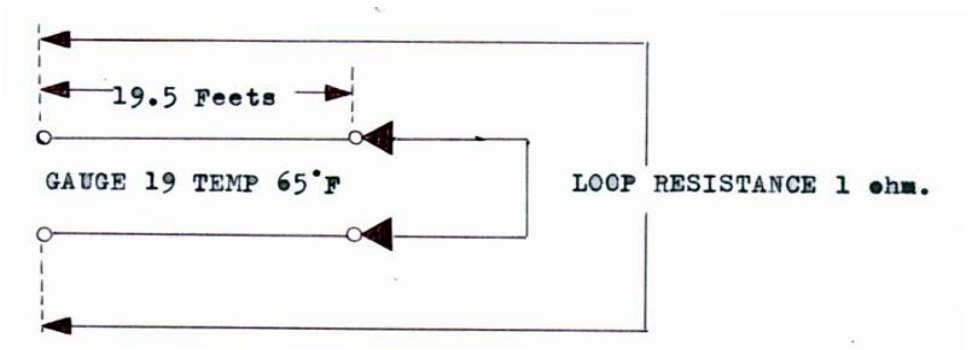
$\therefore$ เกจ 24 มีความต้านทาน 16.190 1.6 25.904 Ω/1000

(หมายเหตุ Actual Gauge คือ เกจปกติทั่วๆ ไปที่ใช้กับขนาดของเคเบิล)

จากตารางที่ 9-4 คือ การแสดงค่าความยาวของเคเบิลเพียงเส้นเดียวต่อค่า Loop Resistance 1 โอห์ม ตัวอย่างเช่น ที่เกจ 24 (0.5 มม.) ที่อุณหภูมิ 65°ฟาเรนไฮต์ ความยาวเคเบิลเพียงเส้นเดียวเท่ากับ 19.5 ฟุตต่อค่า Loop Resistance 1 โอห์ม

ตารางที่ ๙-๔ แสดงความยาวของเคเบิลต่อค่า Loop Resistance 1 โอห์ม

Cable Temperature Degrees F.	19 GA.	22 GA.	24 GA.	26 GA.
	Feet			
-10	72.6	36.7	22.7	14.3
-5	72.0	35.8	22.5	14.2
0	71.3	35.5	22.3	14.0
5	70.6	35.2	22.	13.9
10	69.9	34.8	21.9	13.8
15	69.3	34.5	21.7	13.6
20	68.6	34.1	21.4	13.5
25	67.9	33.8	21.2	13.4
30	67.2	33.5	21.0	13.2
35	66.6	33.1	20.0	13.1
40	65.9	32.8	20.6	13.0
45	65.2	32.5	20.4	12.8
50	64.5	32.1	20.2	12.7
55	63.8	31.8	20.0	12.6
60	63.2	31.4	19.8	12.4
65	62.5	31.1	19.5	12.3
70	61.8	30.8	19.3	12.2
75	61.1	30.4	19.1	12.0
80	60.4	30.1	18.9	11.0
85	59.8	29.8	18.7	11.8
90	59.1	29.4	18.5	11.6
95	58.5	29.1	18.3	11.5
100	57.7	28.7	18.1	11.4
105	57.0	28.4	17.8	11.2
110	56.4	28.1	17.6	11.1
115	55.7	27.7	17.4	10.9
120	55.0	27.4	17.2	10.8



ตัวอย่างการคำนวณในการวัดด้วยโอห์มมิเตอร์

๑. <u>เหตุเสียเป็นพัน (Short)</u>

<u>ตัวอย่าง</u> เคเบิลที่วัดมีขนาด 0.5 มม. ทำการวัดด้วยโอห์มมิเตอร์โดยวัด 3 ครั้ง ได้ค่าดังนี้

วัด Loop Resistance ครั้งที่ 1 ได้ค่า 10 Ω

วัด Loop Resistance ครั้งที่ 2 ได้ค่า 10.5 Ω

วัด Loop Resistance ครั้งที่ 3 ได้ค่า 4.7 Ω

จงหาระยะทางจากจุดวัดถึงจุดนั้น

<u>วิธีทำ</u> หาค่า RC โดยนำ Loop Resistance ครั้งที่ 2 - Loop Resistance ครั้งที่ 1

$\therefore$ RC = 10.5 - 10 = 0.5 Ω

หาค่าความต้านทานจากจุดวัดถึงจุดพัน โดยนำ Loop Resistance ครั้งที่ 3 – RC หารด้วย 2

$\therefore$ ความต้านทานจากจุดวัดถึงจุดพัน = $\frac{4.7 - 0.5}{2} = \frac{4.2}{2} = 2.1\Omega$

เคเบิลขนาดขนาด 0.5 มม. ความต้านทาน 85.1 Ω/กม.

ความต้านทาน 85.1 Ω ระยะทาง = 1000 ม.

ความต้านทาน 1 Ω ระยะทาง = $\frac{1000}{85.1}$ ม.

ความต้านทาน 2.1 Ω ระยะทาง = $\frac{1000\ x 2.1}{85.1}$ ม.

$\therefore$ ระยะทางจากจุดวัดถึงจุดพัน = 24.676 ม.

๒. <u>เหตุเสียเป็นแตะดิน</u>

<u>ตัวอย่าง</u> เคเบิลที่วัดขนาด 0.65 มม. ทำการวัดด้วยโอห์มมิเตอร์ โดยวัด 3 ครั้ง ได้ค่าดังนี้

วัด Loop Resistance ครั้งที่ 1 (K 1) ได้ค่า 18 Ω

วัด Loop Resistance ครั้งที่ 2 (K 2) ได้ค่า 15.6 Ω

วัด Loop Resistance ครั้งที่ 3 (K 4) ได้ค่า 8.2 Ω

จงหาระยะทางจากจุดถึงจุดแตะดิน

<u>วิธีทำ</u> K3 = K1 - K2

K3 = 18 - 15.6 = 2.4 Ω

$\therefore$ ความต้านทานจากจุดถึงจุดแตะดิน = $\frac{K4 + K3}{2} = \frac{8.2 + 2.4}{2}$

= $\frac{10.6}{2}$ = 5.3 Ω

เคเบิลขนาด 0.65 มม. ความต้านทาน 53.8 Ω/กม.

ความต้านทาน 53.8 Ω ระยะทาง = 1000 ม.

ความต้านทาน 1 Ω ระยะทาง = $\frac{1000}{53.8}$ ม.

ความต้านทาน 5.3 Ω ระยะทาง = $\frac{1000\ X5.3}{53.8}$ ม.

$\therefore$ ระยะทางจากจุดวัดถึงจุดแตะดิน = 98.513 ม.

บทที่ ๑๐

ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน

๑. ขั้นตอนความปลอดภัยในการปฏิบัติงานช่างโทรศัพท์

เจ้าหน้าที่โทรศัพท์ หรือช่างทุกนาย จะต้องเน้นหนักเรื่องความปลอดภัยเป็นเรื่องสำคัญทุกครั้ง ไม่ว่าจะเป็นเรื่องการติดตั้ง และการตรวจแก้ แม้กระทั่งซ่อมตัวเครื่องโทรศัพท์ ณ ที่ตั้งก็ตาม สำหรับผู้ตรวจแก้ภายนอกหรือช่างติดตั้งโทรศัพท์ ควรยึดถือแนวทางการปฏิบัติ ดังนี้

๑.๑ ในการเดินสายหรือติดตั้งสายใหม่ ควรให้ห่างจากสายไฟแรงสูงตามกฎที่กำหนดไว้ เพราะอาจเป็นสาเหตุให้เกิดอันตรายได้

๑.๒ การตรวจสอบคู่สายโทรศัพท์ทุกเส้น ให้ตระหนักไว้เสมอว่า อาจมีกระแสไฟแรงสูงรั่วไหลมาในสายเคเบิลได้ จึงต้องตรวจสอบให้แน่ใจทุกครั้งก่อนว่าไม่มีกระแสไฟรั่วในสายเคเบิลโทรศัพท์

๑.๓ การตรวจซ่อมทางสายโทรศัพท์ โดยการปีนป่ายขึ้นไปทำงานบนเสา หรือที่สูงทุกครั้ง ควรใช้เข็มขัดนิรภัย เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในชีวิตของผู้ปฏิบัติงาน

๑.๔ ในการปฏิบัติงานทุกครั้ง ต้องแน่ใจว่าสุขภาพร่างกายพร้อมต่อการปฏิบัติงาน แม้กระทั่งการขับขี่รถต้องมีความพร้อมด้วย

๑.๕ อุปกรณ์ในการปฏิบัติงานของช่าง จะต้องมีพร้อม และใช้งานให้ถูกประเภทกับงานที่ปฏิบัติ

๑.๖ ในการติดตั้งปลั๊กโทรศัพท์นั้น ควรใช้ปลั๊กให้ถูกกับประเภทของงาน คือ ใช้ปลั๊กที่มี 3 ขา และไม่ควรรวมอยู่ที่เดียวกันเป็นจำนวนมาก

๑.๗ ขณะปฏิบัติงานไม่ควรใส่เครื่องประดับ สร้อยคอ นาฬิกา แหวนที่เป็นสื่อไฟฟ้า ควรเก็บให้มิดชิด เพราะอาจทำให้เกิดอันตรายถึงชีวิตได้

๑.๘ การใช้คลิป หรืออุปกรณ์จับคีบสาย สำหรับเครื่องตรวจสอบฟังสัญญาณโทรศัพท์ (Buttinski) หรือ Lineman Test Set นั้น จะต้องมีอุปกรณ์ หรือยางป้องกันกระแสไฟที่จะเข้าสู่ตัวผู้ตรวจสอบได้เป็นอย่างดี

๑.๙ การใช้บันไดโลหะในการซ่อม หรือการติดตั้งทางสายโทรศัพท์ ควรระมัดระวังอย่างยิ่ง เพราะบันไดอาจเป็นสื่อ การพาดบันไดควรระมัดระวังเป็นพิเศษ และควรมีผู้ช่วยจับยึดไว้ที่ปลายด้านล่างอีกทีหนึ่ง

๑.๑๐ การปฏิบัติงานทุกครั้ง ขณะปีนบันได ไม่ควรถอดรองเท้า เพราะอาจจะทำให้เป็นสื่อครบวงจรได้

๑.๑๑ ขณะฝนฟ้าคะนอง ไม่ควรซ่อม ตรวจแก้ หรือใช้โทรศัพท์

๑.๑๒ เครื่องแบบ เครื่องแต่งกายจะต้องกระชับ ไม่หลวมจนเกินไป และสะดวกต่อการปฏิบัติหน้าที่

๒. ขั้นตอนความปลอดภัยในการซ่อมตัวเครื่องโทรศัพท์

๒.๑ ควรถอดเครื่องประดับที่เป็นสื่อทางไฟฟ้าออก ในขณะปฏิบัติหน้าที่ เพราะจะทำให้เกิดอันตรายได้

๒.๒ ใช้เครื่องมือ เครื่องวัด ฯลฯ ให้ถูกกับประเภทงานนั้นๆ

๒.๓ การใช้อุปกรณ์ ในการตรวจซ่อม เช่น เครื่องบัดกรี เครื่องดูดตะกั่ว และอุปกรณ์เครื่องวัดต่างๆ ต้องใช้งานให้ถูกต้อง และเป็นไปตามคู่มือการใช้งาน

๒.๔ การดูดตะกั่ว ไม่ควรสะบัด เพราะจะทำให้เกิดอันตรายต่อเพื่อนร่วมงานที่อยู่ใกล้เคียงได้

๒.๕ จัดเตรียมอุปกรณ์ในการปฏิบัติงานให้เป็นระเบียบ และสะดวกต่อการใช้งาน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอุบัติเหตุในระหว่างปฏิบัติงาน

บทที่ ๑๑
การบำรุงรักษาทางสาย

บทนำ

การติดต่อสื่อสารทางโทรศัพท์จะสัมฤทธิ์ผลได้ก็ต้องอาศัยส่วนประกอบหลาย ๆ อย่างประกอบกันเป็นระบบ คือ ชุมสายโทรศัพท์ ทางสาย และเครื่องโทรศัพท์ ส่วนประกอบดังกล่าวจะต้องทำการติดตั้งให้เป็นไปตามมาตรฐานทางวิศวกรรม ตามชนิดของงานนั้น ๆ ถึงแม้ว่ากองทัพอากาศจะมีชุมสายโทรศัพท์ระบบ Stored Program Control (SPC) ที่ทันสมัย มีการวางสายเคเบิลซึ่งใช้เป็น Main Route ไปยังสถานที่ราชการต่าง ๆ แต่ถ้าหากการวางสายกระจายและการติดตั้งเครื่องโทรศัพท์ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการแล้ว การติดต่อสื่อสารการโทรศัพท์ก็จะไม่สัมฤทธิ์ผลเท่าที่ควร ดังนั้นจึงต้องมีการเรียนรู้หลักวิชาการ และมาตรฐานทางวิศวกรรม เพื่อให้มีแบบแผนในการปฏิบัติงานจึงจะทำให้การติดต่อสื่อสารทางโทรศัพท์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่าต่อการลงทุน

๑. สายกระจาย

สายกระจายแบ่งออกเป็น ๓ ชนิด ตามลักษณะของการใช้งาน คือ สายภายนอกอาคาร สายภายในอาคาร และสายโทรศัพท์สนาม ซึ่งสายแต่ละชนิดยังแบ่งออกได้อีกหลายแบบตามคุณลักษณะของสายนั้น คือ

๑.๑ สายภายนอกอาคาร (Drop Wire or Aerial Line) คือสายที่ใช้ติดตั้งภายนอกอาคาร โดยเริ่มตั้งแต่ตู้พักปลายทางมายังตัวอาคาร แบ่งออกเป็น ๔ ชนิดคือ

๑.๑.๑ สายขนาน (Parallel Drop Wire) มีเปลือกนอกเป็น Neoprene และลวดตัวนำเป็น Copper Welding ทนแรงดึงได้สูง

๑.๑.๒ สายเกลียว (Twisted Pair) เปลือกนอกเป็น Neoprene ฉนวนหุ้มลวดตัวนำเป็น Rubber และลวดตัวนำเป็น Copper Welding

๑.๑.๓ สายขนานรูปเลขแปด (Parallel Figure 8) มีเปลือกนอกและลักษณะเหมือนสายข้างต้น แต่เล็กกว่า และมีรูปร่างด้านตัดคล้ายเลขแปด สายทั้งสามชนิดดังกล่าวแล้วมีคุณภาพที่คงทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศได้เป็นอย่างดี เป็นที่นิยมใช้งานในการติดตั้ง โดยเฉพาะองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทยใช้เส้นลวดที่มีขนาด 18 AWG

๑.๑.๔ สาย PVC เส้นลวดตัวนำเป็น Bronze-Cadmium หรือ Copper Welding เหมาะกับระยะทางสั้นๆ เนื่องจากมีความทนทานต่ำ

๑.๒ สายภายในอาคาร (Station Wire) คือ สายที่ใช้ติดตั้งเฉพาะภายในอาคารโดยเชื่อมโยงระหว่างสายภายนอกอาคารกับเครื่องโทรศัพท์ ปัจจุบันมีใช้อยู่ ๒ ชนิดคือ

๑.๒.๑ ชนิดเปลือกนอกเป็นพลาสติก (Plastic Jacket) ฉนวนหุ้มลวดตัวนำทำด้วย Polyethylene เส้นลวดตัวนำเป็น Copper Welding

๑.๒.๑ ชนิดเปลือกนอกเป็น PVC มีจำหน่ายทั่วไป ตามท้องตลาด ปัจจุบันกองทัพอากาศนิยมใช้สายประเภทนี้ ติดตั้งภายในอาคาร

๑.๓ สายโทรศัพท์สนาม (Field Wire) เป็นสายที่ใช้ในกิจการทหารในสนามโดยเฉพาะ มีความทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ และแรงดึง แม้กระทั่งการขูดถลอกสูงกว่าสายกระจายชนิดอื่น ๆ สามารถใช้ได้ทั้งภายนอก และภายในอาคาร แบ่งออกเป็น ๒ ชนิดคือ

๑.๓.๑ สายคู่ไขว้ (Twisted Wire) มีลักษณะเป็นสาย ๒ เส้นไขว้กัน สายประเภทนี้ได้แก่ สาย WD-1/TT , W-110-B, W-130-C

๑.๓.๑.๑ สายโทรศัพท์สนามแบบ WD-1/TT มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า สายเข้าตี (Assualt Wire) มีน้ำหนัก 48 Lbs ต่อความยาว ๑ ไมล์ ภายในประกอบด้วยเส้นลวดตัวนำ ๗ เส้นเป็นลวดเหล็ก ๓ เส้น และลวดทองแดง ๔ เส้น ลวดทองแดงจะเคลือบด้วยดีบุก ฉนวนชั้นในสุด ทำด้วยพลาสติกชนิดพิเศษ เรียกว่า Polystyrene ส่วนฉนวนชั้นนอกเป็นไนล่อนหุ้มทับอีกชั้นหนึ่ง สายชนิดนี้นิยมใช้ในกองทัพอากาศ

๑.๓.๑.๒ สายโทรศัพท์สนามแบบ W-110-B มีน้ำหนัก 130 Lbs ต่อความยาว ๑ ไมล์ ภายในประกอบด้วยเส้นลวดตัวนำ ๗ เส้น เป็นลวดเหล็ก ๔ เส้น ลวดทองแดง ๓ เส้น ทองแดงจะเคลือบด้วยดีบุก ฉนวนชั้นในสุดเป็นด้ายถักชุบน้ำยา

๑.๓.๑.๓ สายโทรศัพท์สนามแบบ W-130-C มีน้ำหนัก 34 Lbs ต่อความยาว ๑ ไมล์ ภายในประกอบ ด้วยเส้นลวดตัวนำ ๗ เส้น เป็นลวดเหล็ก ๖ เส้น ลวดทองแดง ๑ เส้น มีค่าความต้านทานสูงกว่าสายโทรศัพท์สนามแบบอื่น ๆ ฉนวนหุ้มลวดตัวนำทำด้วยพลาสติกมีทั้งสีดำและสีน้ำตาล

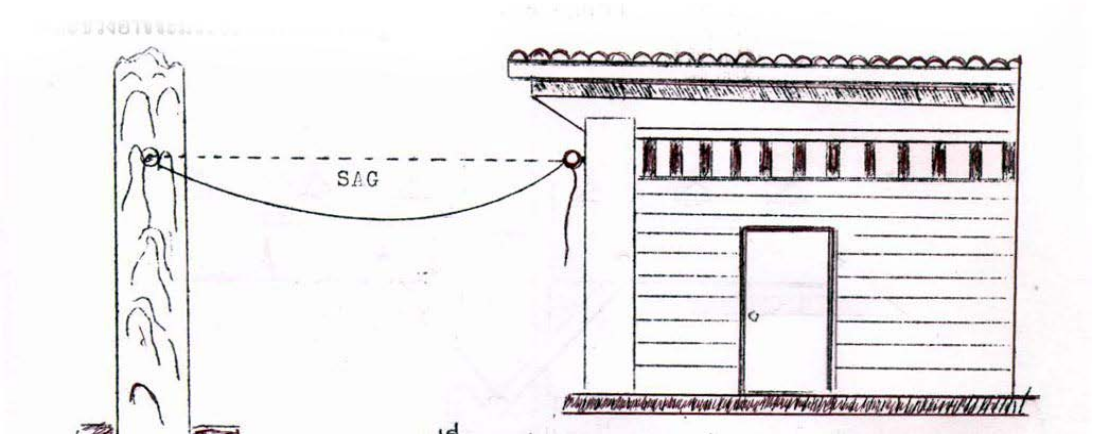
๑.๓.๒ สายคู่เดี่ยว (One Pair) อาจเป็นสายคู่ไขว้ หรือไม่ไขว้ก็ได้ สายประเภทนี้ ได้แก่ สาย W-143

๒. การวางสายกระจายภายนอกอาคาร

การวางสายกระจาย จะเริ่มตั้งแต่ตู้พักปลายทางไปยังตัวเครื่องโทรศัพท์ ดังนั้นสายกระจายจึงประกอบด้วยสายภายนอกอาคาร และสายภายในอาคาร สำหรับการวางสายภายนอกอาคารนั้นมีสิ่งสำคัญที่ควรพิจารณาก่อน คือ การสำรวจเส้นทางการวางสาย เพื่อประมาณการว่า จะใช้สายเท่าใดอุปกรณ์ที่จะใช้มีอะไรบ้าง ข้อปฏิบัติในการวางสายกระจาย มีดังนี้

๒.๑ การวางสายกระจาย ต้องระวังอย่าให้สายถูกเหยียบย่ำ หรือถูกกดทับ และในขณะดึงสายต้องระวังอย่าให้สายพันกัน หรือเสียดสีกับวัตถุหยาบๆ ซึ่งอาจทำให้ฉนวนฉีกขาด และในการเดินสายเส้นใหม่ๆ ไม่ควรตัดต่อสายโดยไม่จำเป็น และพยายามเดินสายโดยใช้ระยะทางที่สั้นที่สุด

๒.๒ การขึงสายกระจาย ควรมีอัตราส่วนการหย่อนไว้ ให้เป็นไปตามค่า Maximum SAG และสูงจากพื้นดินตามกำหนด โดยความหย่อนของสายแต่ละช่วงอาจจะมีระยะไม่เท่ากัน ตามภาพที่ ๑๑-๑



ภาพที่ ๑๑-๑ รูปสายกระจายจากตัวอาคารมายังเสา

๒.๓ สายกระจายที่ขึงระหว่างเสาต่อเสานั้น ควรขึงให้ต่ำกว่าหรือสูงกว่าสาย Open Wire หรือเคเบิลเดิม แต่ที่นิยมคือการขึงสายกระจายให้ต่ำกว่าสายดังกล่าวเสมอ ถ้าระยะสูงจากพื้นดินมากพอสมควร

๒.๔ สายกระจาย (Drop Wire) ที่เดินอยู่ระหว่างเสานั้นมีมากกว่าหนึ่งคู่สาย คู่สายแรกควรหย่อนให้ถูกต้องตามกฎ ที่กำหนดไว้ส่วนสายอื่น ๆ ที่ขึงนั้นให้หย่อนห่างเท่าๆ กันสายละ ๒ นิ้ว และไม่ควรรวมสายเป็นกลุ่ม เพราะไม่สะดวกต่อการตรวจแก้

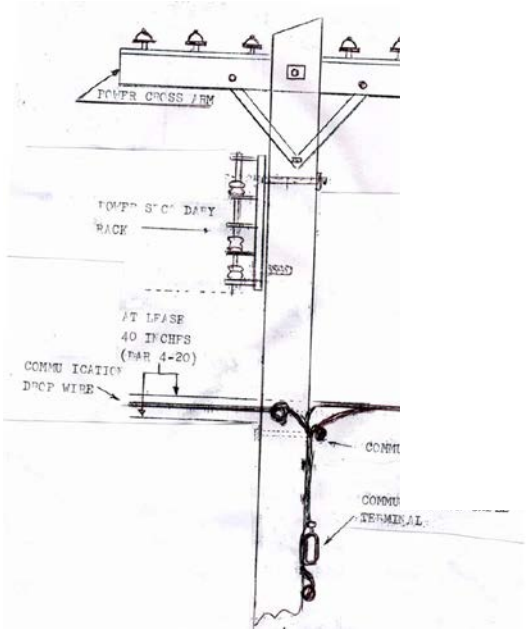
๒.๕ ควรหลีกเลี่ยงสายกระจายผ่านสายไฟแรงสูง (High Voltage) ในกรณีที่มีการเดินสายร่วมระหว่างสายไฟฟ้าและสายกระจาย (Drop Wire) จะต้องเว้นให้ห่างกันไม่น้อยกว่า ๔๐ นิ้ว ตามภาพที่ ๑๑-๒ และรูปที่ ๑๑-๓

๒.๖ เครื่องมือที่ใช้เกาะสายกระจายกับอาคารเพื่อยึดสายนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสายและตัวอาคาร พยายามหลีกเลี่ยงสายกระจายผ่านหน้าต่าง หรือประตู

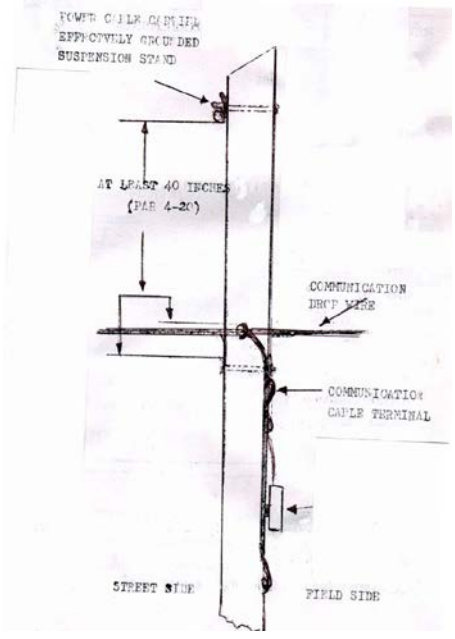
๒.๗ เมื่อมีความจำเป็นที่จะต้องพาดสายกระจายไปด้านหลัง หรืออ้อมเครื่องกีดขวาง เช่น ราง น้ำ ท่อต่างๆ ที่จะผ่านสิ่งกีดขวางนั้นจะต้องมีฉนวนหุ้ม หรือค้ำจุนอีกทีหนึ่ง หรืออาจพันด้วยเทปที่สามารถทนความชื้นของอากาศได้ดี เครื่องมือที่จะใช้ยึดสายนั้นควรติดให้แน่นกับอาคาร และให้มีความแข็งแรงพอ ให้ติดเครื่องยึดสายห่างจากเครื่องกีดขวางไม่เกิน ๑๒ นิ้ว แต่ถ้าเป็นไปได้ควรโยงสายไปทางด้านหลังของสิ่งกีดขวาง ทั้งนี้เพื่อป้องกันความเสียหายจากการเสียดสี ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้เสมอ

๒.๘ ในกรณีที่ต้องผ่านสายอ้อมส่วนที่ยื่นออกมาจากตัวอาคารที่ก่อด้วยอิฐหรือไม้ตรงมุมแล้วควรใช้เทปพันรอบๆ สายไว้สัก ๒ ชั้น เพื่อช่วยป้องกันการเสียดสี

๒.๙ การเดินสายโทรศัพท์กับสายไฟ ระยะห่างระหว่างสายอย่างน้อยจะต้องห่างกัน ๑ ฟุต และถ้าหากสายทั้ง ๒ เส้นนี้ขึงตัดกัน ควรจะเว้นระยะห่างอย่างน้อย ๒ ฟุต



ภาพที่ ๑๑-๒ กรณีวางสายร่วมกับเสาไฟฟ้า (๑)



ภาพที่ ๑๑-๓ กรณีใช้เสาร่วมกับเสาไฟฟ้า (๒)

๒.๑๑ Clearance And SAG

ตารางที่ ๑๑-๑ ระยะแนวดิ่งอย่างต่ำสำหรับสายดรอพวายร์อากาศ

ระดับแนวดิ่งอย่างต่ำสำหรับสายดรอพวายร์อากาศ	เมตร
<u>ระดับของสายดรอพวายร์ที่ขึงไปตามแนวทางหลวง ถนน และตรอก</u>	
ตามถนนในเขตตัวเมือง	5.00
ตามซอยหรือตรอกในเขตตัวเมือง	4.50
ถนนในเขตชนบท (2)	4.20
ทางเดินเท้า	3.00
<u>ระดับสายดรอพวาร์ที่ขึงข้าม</u>	
ตามถนนสาธารณะในเขตตัวเมือง หรือในชนบท	5.50
ตามซอยหรือตรอกในเขตตัวเมือง	5.00
ตามทางรถในเขตชนบท (2)	4.50
ทางรถส่วนตัวเข้าบ้านทั่ว ๆไป	4.00
ทางเดินเท้า	3.50
<u>ระดับสายดรอพวายร์ที่ลอดผ่าน</u>	
สายไฟฟ้าเปลือยขนาด 0-750 Volts	1.20
สายไฟฟ้าเปลือยขนาด 750-8700 Volts	1.20
สายไฟฟ้าเปลือยขนาด 8700-50,000 Volts	1.80
สายไฟฟ้าบริการเข้าบ้าน 0-750 Volts	0.60
ใช้เสาร่วม	1.00

หมายเหตุ ถ้าระยะช่วงของสายดรอพวายร์ ยาวเกินกว่าระยะห่างข้างบน ระยะห่างต้องเพิ่มขึ้นอีก ๑ นิ้ว ทุกๆ ความยาว ๘ ฟุตที่เพิ่มขึ้น และระยะห่างอาจจะต้องเพิ่มขึ้นอีก ถ้ามีการสัญจรของยวดยานมากขึ้น

ตารางที่ ๑๑-๒ ระยะการเดินสายดรอพวายร์ และสายสเตย์ชั่นวายร์ (ภายนอกและภายในอาคาร)

ระยะห่างอย่างต่ำ จากสิ่งกีดขวางในการเดินสายดรอพวายร์ และสายสเตย์ชั่นวายร์ ภายนอกและภายในอาคาร		
วัตถุหรือสิ่งกีดขวางต่าง ๆ	ระดับช่วงอย่างต่ำ	
	ดรอพวายร์	สเตย์ชั่นวายร์
- สายไฟฟ้า (ที่ไม่เกิน 750 V)		
สายเปลือย	4 นิ้ว	4 นิ้ว
สายอยู่ในท่อ	2 นิ้ว	2 นิ้ว
- เสาอากาศวิทยุและโทรทัศน์ สายอากาศและสายดิน	4 นิ้ว	4 นิ้ว
- เหล็กล่อฟ้าและสายดิน	6 ฟุต	6 ฟุต
- สิ่งอื่นๆ ที่เป็นสื่อลงดิน	2 นิ้ว	1/2 นิ้ว
- แผงนีออน และสายที่เกี่ยวข้อง	6 นิ้ว	6 นิ้ว
- ท่อโลหะต่าง ๆ (ท่อแก๊ส, น้ำ, น้ำมัน,ไอน้ำ) และวัสดุก่อสร้าง	2 นิ้ว	1/2 นิ้ว
- สายดรอพวายร์	-	2 นิ้ว
- สายสเตย์ชั่นวายร์	2 นิ้ว	-
- ไฟสัญญาณ และสายควบคุมสัญญาณ		
ที่เกิน 50 Volts	4 นิ้ว	2 นิ้ว
ที่ต่ำกว่า 50 Volts	2 นิ้ว	-

หมายเหตุ ถ้าหากไม่สามารถจัดระยะห่างอย่างต่ำ ตามที่กำหนดไว้ได้ ควรหาทางป้องกันสายโดยใช้หลอดหรือท่อฉนวนหุ้มห่อไว้ หรือพันด้วยเทปยางสักสองชั้น และขยายสายให้ห่างจากวัตถุหรือสิ่งกีดขวางประมาณ ๒ นิ้ว

๓. การรวมสายกระจายเข้าตู้พัก (Terminating Wire at Cable Terminals)

๓.๑ การตัดสายเข้าตู้พักปลายทาง ควรจัดหรือเผื่อสายไว้ให้เข้าตู้พักได้ทุกๆ หมุด ในกรณีที่เป็นสาย Drop Wire สายที่มีสัน หรือสาย Ring ให้เข้าที่หมุดขวามือ ส่วนสายที่ไม่มีสันให้เข้าหมุดซ้ายมือเป็นสาย Tip (ตามกฎ Ridge-Red-Right-Ring) แต่ถ้าเป็นสายชนิดอื่นให้ดูที่สี โดยสีแดง คือ Ring และสีน้ำเงิน คือ Tip

๓.๒ ถ้าเป็นสายเข้าตู้พักที่เป็นสายพวก Special Circuit เช่น สายโทรเลข โทรพิมพ์ สายสัญญาณต่าง ๆ ที่มีความสำคัญ ควรทำเครื่องหมายหรือมีป้ายแขวนบอกชนิดของสายที่ใช้งานนั้นไว้เป็นที่สังเกตด้วย

๓.๓ การรวมสายกระจายดังกล่าว ควรคำนึงถึงความเป็นระเบียบเรียบร้อย สวยงามด้วย เพื่อสะดวกต่อการหาเหตุเสีย ไม่ควรตัดสายขดไว้ หรือเหลือจนยาวเกินไป ควรยึดสายให้แน่นก่อนเข้าตู้พัก เพื่อป้องกันการแกว่งไปมา เมื่อโดนลมพัด เป็นเหตุทำให้สายเกิดการหักชำรุดได้ง่าย

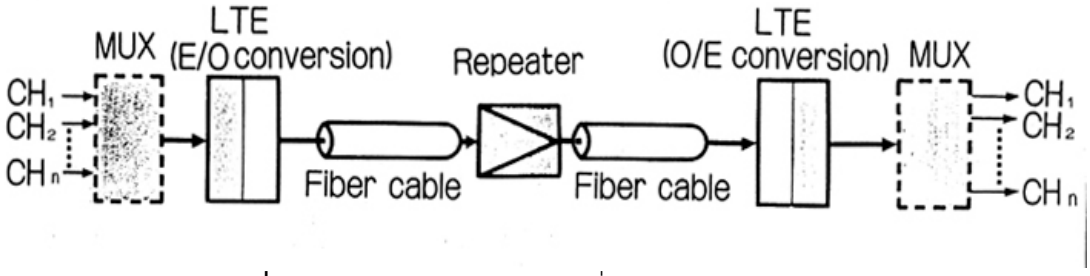
๓.๔ ไม่ควรต่อสายเข้าหมุดหนึ่งหมุดใดของตู้พัก ในคราวเดียวกันเกินกว่า ๒ คู่ ถ้าหากมีความจำเป็นจริงๆ ที่จะต้องพ่วงมากกว่าสองคู่ ให้ต่อสายอีกคู่หนึ่งไว้นอกตู้ โดยใช้ตลับต่อสายช่วย

บทที่ ๑๒
ระบบสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง
(Fiber Optic Communication System)

การสื่อสารด้วยแสงได้มีการคิดค้นและพัฒนาเป็นเวลากว่า ๑๐๐ ปีแล้ว และเริ่มมีการใช้งานอย่างจริงจังเมื่อปี ๑๙๗๐ โดยใยแก้วนำแสงที่ผลิตจากสารประเภทซิลิกา (Sio_2) โดยมีอัตราการสูญเสียประมาณ 20 dB/Km การใช้งานใยแก้วนำแสงในการสื่อสารได้ผลมาจากพัฒนาการของอุปกรณ์นำแสง และอุปกรณ์รับแสงจากสารประเภทกึ่งตัวนำ (Semiconductor Light Source) ปัจจุบันการสื่อสารทางแสง ได้เป็นที่ยอมรับและมีการใช้งานทั่วไปแล้ว โดยเฉพาะในระบบสื่อสารโทรคมนาคม (Long Haul Communications) ที่เห็นได้ชัดเจนคือ การติดต่อสื่อสารระหว่างประเทศทั่วโลก เช่น โครงการ Fiber Link Around the Glob (FLAG) ซึ่งเป็นโครงการที่มีเครือข่ายของเส้นใยแก้วนำแสงเชื่อมทุกทวีปในโลกเข้าด้วยกัน เส้นทางที่วาง F/O ส่วนใหญ่คือใต้ทะเล ซึ่งมีระยะห่างแต่ละสถานีทวนสัญญาณ (Repeater Span) ถึง ๓๐๐ กม. ใช้ใยแก้วนำแสงที่มีคุณภาพสูง มีอัตราการลดทอน (Attenuation) ต่ำ และใช้เทคโนโลยีของการขยายสัญญาณแสงด้วย Optical Amplifier

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงสามารถเดินทางได้ไกล จนสามารถนำสัญญาณเสียงหรือสัญญาณอื่นๆ เช่น ภาพ ข้อมูลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ที่อยู่ไกลกันมากตามที่ต้องการได้นั้น มิใช่มีแต่คลื่นวิทยุเท่านั้น คลื่นแสงหรือพลังงานแสงซึ่งจัดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก็สามารถนำมาประยุกต์ในการนำสัญญาณจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งที่อยู่ห่างไกลได้เช่นกัน ต่างกันแต่ว่าในการนำสัญญาณดังกล่าวคลื่นวิทยุพร้อมสัญญาณที่ผสมอยู่จะกระจายไปในอากาศจากสายอากาศส่งไปในสายอากาศรับ สถานีรับจะจูน (Tune) รับคลื่นความถี่ที่ต้องการและถอดสัญญาณที่มีลักษณะเป็นสัญญาณไฟฟ้า ที่ผสมมากับคลื่นดังกล่าว เพื่อดำเนินการตามความต้องการต่อไป แต่ในกรณีของคลื่นแสงสัญญาณต่างๆที่ต้องการส่งในลักษณะสัญญาณไฟฟ้าจะถูกแปลงเป็นสัญญาณคลื่นแสงส่งผ่านไปตามตัวกลาง ตลอดเส้นทางจากจุดส่งจนถึงจุดรับที่ซึ่งสัญญาณแสงจะถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับความเข้มของสัญญาณแสง เพื่อดำเนินการตามที่ต้องการต่อไป ตัวกลางที่นิยมใช้ในการให้คลื่นแสงเดินทางเพื่อการสื่อสารดังกล่าว ได้แก่ สายใยแก้วนำแสง (Optical Fiber)

หลักการทั่วไปของการสื่อสารในสายไฟเบอร์ออฟติกคือการเปลี่ยนสัญญาณ (ข้อมูล) ไฟฟ้าให้เป็นคลื่นแสงก่อน จากนั้นจึงส่งออกไปเป็นพัลส์ของแสงผ่านสายไฟเบอร์ออฟติก สายไฟเบอร์ ออฟติกทำจากแก้วหรือพลาสติกสามารถส่งลำแสงผ่านสายได้ทีละหลายๆ ลำแสงด้วยมุมที่ต่างกัน ลำแสงที่ส่งออกไปเป็นพัลส์นั้น จะสะท้อนกลับไปมาที่ผิวของสายชั้นในจนถึงปลายทาง แสดงได้ดังรูป



ภาพที่ ๑๒-๑ องค์ประกอบของการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

เครื่องส่ง (Transmitter) เครื่องส่งจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณที่ได้ถูกมอดูเลต และขยายแล้ว โดยการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณแสง ชุดเครื่องส่งนี้จะมีส่วนประกอบหลักคือ แหล่งกำเนิดแสง และวงจรขับที่สามารถทำการขยายและมอดูเลตสัญญาณได้ แหล่งกำเนิดแสง Transmitter ที่ใช้กันอยู่มี ๒ ประเภทคือ LED (Light Emitting Diode) กับ Laser Diode (LD) รายละเอียดจะกล่าวต่อไป

เครื่องรับ (Receiver) เครื่องรับจะทำหน้าที่รับสัญญาณแสงแล้วเปลี่ยนเป็นไฟฟ้า โดยเครื่องรับประกอบด้วยอุปกรณ์รับแสงและขยายกำลัง เป็นอุปกรณ์เพื่อประกอบเป็นเครื่องรับสัญญาณ Receivers มีอยู่ ๒ ชนิดใหญ่ๆ คือ Avalanche Photo Diode (APD) และ PIN Diode โดยที่ PIN Diode มีการพัฒนาใช้เทคโนโลยีแบบ Field Effect Transmitter (FET) และ Hight Effect Transmitter Mobility Transistor (HEMT) Amplifier ทั้ง APD และ PIN Diode ได้รับการพัฒนาควบคู่กันขึ้นมา โดยที่ในการใช้งานปัจจุบันสามารถรับแสงด้วย Bit Rate มากกว่า 2 Gb/s ในบรรดา Receivers ทั้งหมดที่กล่าวมา PIN FET มีวิธีการผลิตที่ง่ายที่สุด ในกรณีที่เครื่องรับสัญญาณทำหน้าที่ขยายกำลังแสงเพื่อส่งต่อไปจะเรียกว่า อุปกรณ์ทวนสัญญาณ (Repeater) จะใช้ APD หรือ พินโฟโตไดโอด

อุปกรณ์ทวนสัญญาณ (Repeater) สัญญาณแสงที่เดินทางไปในเส้นใยแก้วนำแสง จะมีการสูญเสียสัญญาณไปกับระยะทาง หรือความยาวของใยแก้วนำแสง ดังนั้นเมื่อถึงระยะหนึ่ง สัญญาณแสงอาจต่ำมากจน ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ จึงจำเป็นต้องมีสถานีทวนสัญญาณ (Repeater) ระยะทางระหว่าง Repeater คือ Link ความต้องการคือต้องการให้ระยะห่างระหว่างสถานีทวนสัญญาณ (Repeater Span) สูงที่สุด เพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายให้มากที่สุด องค์ประกอบสำคัญที่ใช้ในการพิจารณา คือส่วน Transmitter Cable และ Receivers โดยที่มีความต้องการใช้กำลังส่งสูง สาย Cable ที่มีอัตราการลดทอนต่ำ และ Receiver Sensitivity สูง

การสื่อสารทางแสง เราสามารถควบคุมสถานภาพแวดล้อมได้ เพราะเป็นการส่งคลื่นแสงไปตามสาย จึงได้มีการให้ความสำคัญด้านการพัฒนาอย่างมากทั้งในด้านสายใยแก้วนำแสง และอุปกรณ์แปลงสัญญาณ ฯลฯ จนมีผลให้เกิดข้อดีอื่นๆ ขึ้นหลายประการในปัจจุบัน เช่น สามารถมีการทำให้มีการสูญเสียกำลังกำลังจากการเดินทางในสายใยแก้วนำแสงน้อยลงได้มาก อุปกรณ์กำเนิดแสงที่มีการแตกกระจายของแสงน้อยลงทำให้สามารถมีแบนด์วิชท์ (Bandwidth) ของสัญญาณที่กว้างขึ้นเพราะมีการผิดเพี้ยนของสัญญาณที่น้อย ฯลฯ ซึ่งเมื่อรวมกับข้อดีอื่นๆ เช่น การที่คลื่นแสงมีสเปคตรัมที่กว้างมาก สายใยแก้วนำแสงมีขนาดที่เล็ก น้ำหนักเบา การไม่มีการรบกวนจากการ

เหนี่ยวนำเนื่องจากสายใยแก้วนำแสงไม่ใช่โลหะ สายใยแก้วนำแสงไม่เป็นสนิมจึงไม่ผุกร่อน และการที่อุปกรณ์ที่ใช้ทำสายใยแก้วนำแสงสามารถหาได้ง่ายและมีราคาถูก เช่น ในกรณีที่ใช้ซิลิกอนออกไซด์ ซึ่งมีมากในธรรมชาติ เพราะเป็นสารในทราย เป็นต้น

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับข้อเสียของการสื่อสารทางแสงเอง เช่น สายใยแก้วนำแสงแตกหักง่ายกว่าสายโลหะ สายใยแก้วนำแสงต้องการการเชื่อมต่อที่มีความแน่นอนถูกต้องเสมอความไม่เหมาะสมสำหรับงานสื่อสารเคลื่อนที่ เพราะต้องสายใยแก้วนำแสงในเส้นทางการติดต่อด้วยเสมอ ฯลฯ แล้วจะพบว่าสายใยแก้วนำแสงมีข้อดีมากกว่า และเหมาะอย่างยิ่งกับการสื่อสารประจำที่ ดังนั้น ในปัจจุบันการสื่อสารทางแสง จึงเป็นกำลังเป็นที่นิยมในการใช้มากขึ้นเรื่อยๆ ในกิจการสื่อสารประจำที่ทั้งในด้านการสื่อสารโทรคมนาคม และด้านโทรทัศน์ (ผ่านสายใยแก้วนำแสง)

จากประเด็นดังกล่าว จึงเห็นควรที่จะได้มีการกล่าวถึงการกระจาย หรือการเดินทางของคลื่นแสงในสายใยแก้วในหัวข้อวิชาการการแพร่กระจายคลื่นนี้ด้วย (โดยกล่าวถึงเฉพาะการกระจาย หรือเดินทางของคลื่นแสงในสายใยแก้วนำแสงเท่านั้นไม่รวมหัวข้ออื่นของการสื่อสารทางแสง เช่น การแปลงและการผสมสัญญาณที่ภาคส่ง และการรับคลื่น ฯลฯ ด้วย)

๑. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแสงและการเดินทางของแสงในเส้นใยแก้วนำแสง

๑.๑ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแสง

ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแสง ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแสงจะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลางที่แสงเดินทางผ่านแสงจะมีความเร็วสูงสุดเมื่อเคลื่อนที่ในสุญญากาศ ความเร็วของแสงในสุญญากาศจะแทนด้วยตัวอักษร C และมีค่าเท่ากับ ๓๐๐,๐๐๐ กิโลเมตรต่อวินาที ตามกฎของไอสไตน์ ความเร็วนี้เป็นความเร็วสูงสุดที่สามารถสังเกตได้ในการวัดทางกายภาพ เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางอย่างอื่นจะมีความเร็วลดลง ความเร็วของแสงในการเดินทางผ่านตัวกลางอื่นนี้จะแทนด้วยด้วยตัวอักษร V และมีความสัมพันธ์กับ C ดังสมการ

$$V = \frac{C}{n}$$

n คือ ค่าดัชนีหักเหของแสงของวัสดุตัวกลางที่แสงผ่าน

ตามปกติแล้วแก้วที่ใช้ในการทำเส้นใยแก้วนำแสงจะมีค่าดัชนีการหักเหประมาณ ๑.๕ หากนำค่าที่กำหนดแทนที่ในสมการข้างต้น ความเร็วของแสงในแก้วจะเป็น ๒๐๐,๐๐๐ กิโลเมตรต่อวินาที

คุณลักษณะของแสงในสภาพคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รูปแบบหนึ่งในการพิจารณาแสง คือ การแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะประกอบด้วยความถี่และความยาวคลื่น อันเป็นคุณลักษณะพื้นฐานเดียวกับคลื่นวิทยุต่างกันเพียงแต่ว่าแสง จะมีความถี่สูงกว่า จากรูปข้างล่างสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ ในย่านความถี่ต่ำจะเป็นไฟฟ้า และความถี่

วิทยุ ซึ่งใช้ในด้านดนตรี การกระจายเสียง และการสื่อสารด้วยไมโครเวฟ ในย่านความถี่สูงจะเป็นย่านของความถี่แสง และรังสีต่างๆ ความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารทางแสงจะมี ซึ่งเท่ากับ ๓๐๐,๐๐๐ กิกะเฮิรตซ์ ความถี่นี้จะต่ำกว่าความถี่แสงที่มองเห็น (Visible Light) หมายความว่าแสงที่ใช้ในการสื่อสารทางแสงจะเป็นแสงที่มองไม่เห็น (Invisible Light) และความถี่แสงอยู่ในย่านรังสีอินฟราเรด (Infrared Light) ตามปกติแล้วการกำหนดชนิดของแสงจะใช้ความยาวคลื่น ของแสงนั้นแทนที่จะใช้ความถี่หรือสี ความยาวคลื่นของแสงในสุญญากาศจะสัมพันธ์กับ C และความถี่ V ดังสมการ

$$\lambda = \frac{C}{V}$$

ในทางปฏิบัติค่าความยาวคลื่น (λ) ที่ใช้ในการสื่อสารนั้นจะอยู่ในย่าน ๘๕๐, ๑๓๑๐ หรือ ๑๕๕๐ นาโนเมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแสงจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่แสงเดินทางผ่านสำหรับวัสดุอื่นนอกเหนือจากสุญญากาศแล้วความยาวคลื่นของแสงในวัสดุ (λ mat) นั้นสามารถหาได้จากสูตร

$$\lambda_{mat} = \frac{V_{mat}}{V}$$

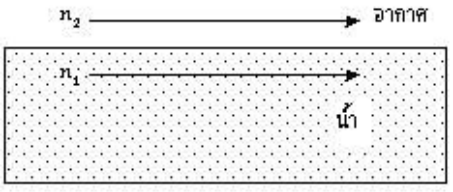
$$\lambda_{mat} = \frac{C}{n_{mat}} \times \frac{1}{V} \quad \because V_{mat} = \frac{C}{n_{mat}}$$

$$\lambda_{mat} = \frac{\lambda_{vac}}{n_{mat}}$$

โดยที่ λ vac คือ ความยาวคลื่นแสงเมื่อแสงเดินทางผ่านสุญญากาศ
n mat คือ ค่าดัชนีการหักเหของวัสดุที่แสงเดินทางผ่าน

๑.๒ คุณสมบัติของแสง

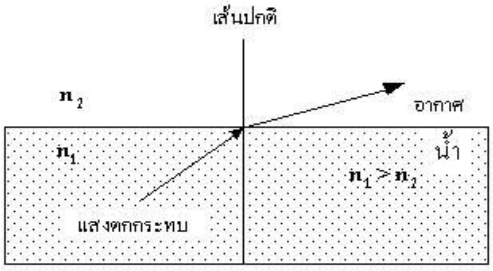
แสงเดินทางเป็นเส้นตรง ตามปกติแล้วแสงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียว หรือมีค่าดัชนีหักเหของแสงเท่ากัน แสงจะเดินทางเป็นเส้นตรง



ภาพที่ ๑๒-๒ คุณสมบัติของแสง - แสงเดินทางเป็นเส้นตรง

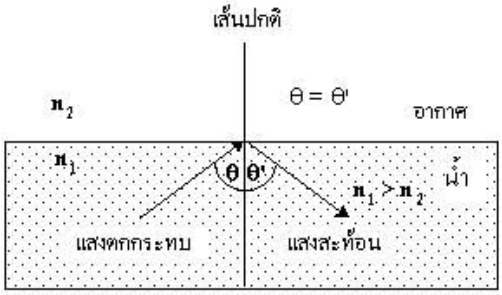
การหักเหของแสงและมุมหักเหของแสง แสงตกกระทบจะหักเหที่รอยต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหที่แตกต่างกัน แสงตกกระทบ แสงหักเห และเส้นปกติที่เกิด ณ จุดตกกระทบที่รอยต่อ

ของตัวกลาง ทั้งสองจะอยู่ในระนาบเดียวกัน มุมหักเหจะสามารถคำนวณได้โดยกฎของสเนล (Snell's Law) ดังรูป



ภาพที่ ๑๒-๓ คุณสมบัติของแสง - การหักเหของแสง

การสะท้อนของแสงและมุมการสะท้อนของแสง แสงตกกระทบจะสะท้อนที่รอยต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหที่ต่างกัน ดังรูป



ภาพที่ ๑๒-๔ คุณสมบัติของแสง – การสะท้อนของแสง

ค่าดัชนีหักเหของแสง (Refractive Index) ปกติแล้วแสงจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงสุดเมื่อเดินทางผ่านสุญญากาศ คือ ประมาณ 3 x10^8 เมตรต่อวินาที แต่ความเร็วจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางชนิดอื่นๆ จึงเห็นได้ว่าแสงจะเกิดการหักเหขึ้น ถ้าหากเดินทางผ่านตัวกลาง ๒ ชนิด ตามคุณสมบัติของแสง โดยสามารถเขียนความสัมพันธ์ของค่าดัชนีหักเหของแสง ความเร็วของแสงในตัวกลาง และความเร็วของแสงในสุญญากาศได้ดังนี้

$$n = \frac{C}{V}$$

เมื่อ n คือ ค่าดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางนั้น

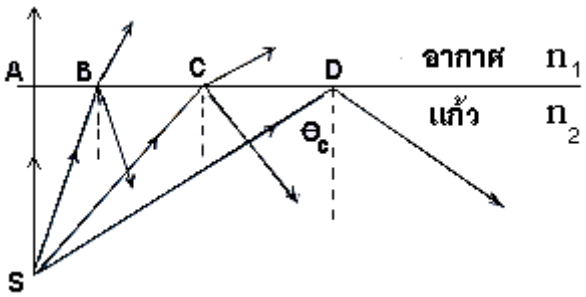
C คือ ความเร็วของแสงในสุญญากาศ (3 x10^8 เมตรต่อวินาที)

V คือ ความเร็วของแสงในตัวกลางนั้น

ตารางที่ ๑๒-๑ แสดงค่าดัชนีหักเหของแสงของตัวกลางต่างๆ

ตัวกลาง	ดัชนี	ตัวกลาง	ดัชนี	ตัวกลาง	ดัชนี
Water	1.33	Fused quartz	1.46		
Ethyl alcohol	1.36	Glass, crown	1.52	Sodium chloride	1.53
Carbon bisulfide	1.63	Glass, dense flint	1.66	Polyethylene	1.50-1.54
Air (1 atm and 20 C)	1.0003	Methylene iodide	1.74		

อธิบายโดยใช้หลักการของแสง (Geomerrical Optic) ได้ดังนี้



ภาพที่ ๑๒-๕ หลักการของแสง (Geometrical Optic)

S คือ จุดกำเนิดแสง จะมีแสงออกจากจุดนี้ไปยังจุดต่างๆ ของผิวแก้วดังรูป ที่จุด A แสงจะพุ่งออกจากแก้วไปยังอากาศโดยไม่มีการหักเห ที่จุด B จะมีการหักเหเล็กน้อย และมีบางส่วนสะท้อนกลับมาในแก้ว ที่จุด C จะมีการหักเหมากขึ้นเล็กน้อย และมีบางส่วนสะท้อนกลับมาในแก้ว ที่จุด D จะไม่มีการหักเห แสงจากจุด S ทั้งหมดจะสะท้อนกลับมาในแก้ว ณ จุดนี้จะเรียกมุม θ_cว่า มุมวิกฤต (Critical angle) ทำให้เกิดปรากฏการณ์ การสะท้อนกลับหมด (Total reflection) หาค่ามุม θ_c ได้จากสมการ

$$\theta_c = \sin^{-1}\frac{n_2}{n_1}$$

๑.๓ การเดินทางของแสงในสายไฟเบอร์ออฟติก

ภาพที่ ๑๒-๖ การเดินทางของแสงในสายไฟเบอร์ออฟติก

เมื่อแสงผ่านเข้ามาในสายไฟเบอร์ออฟติก (เส้นใยแก้วนำแสง) ที่ทำจากแก้ว จะเกิดการสะท้อนกลับหมดที่ผิวแก้ว (บริเวณที่เป็นรอยต่อของแก้วกับอากาศ) แสงที่สะท้อนนี้จะกลับเข้ามาในสายไฟเบอร์ออฟติก และเกิดการสะท้อนที่ผิวแก้วอีกด้านหนึ่ง การสะท้อนนี้จะเกิดภายในแก้ว โดยไม่มีการทะลุผ่านผิวแก้วออกไปยังอากาศ ทำให้สายไฟเบอร์ออฟติก สามารถนำแสงจากจุด A ไปยังจุด B ได้ โดยเส้นทางของ AB เป็นเส้นโค้ง จากสมบัติข้อนี้จึงได้มีการสร้างเครื่องมือตรวจดูอวัยวะภายในร่างกายมนุษย์โดยการนำแสงจากภายนอกผ่านสายไฟเบอร์ออฟติกไปยังกระเพาะอาหาร และนำภาพกระเพาะอาหารกลับมายังภายนอกให้ผู้ทำการตรวจได้มองเห็น

๒. คุณลักษณะในการส่งสัญญาณของเส้นใยแก้วนำแสง

เนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสง คือ สื่อกลางชนิดหนึ่งที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ซึ่งไม่ว่าจะเป็นตัวกลางชนิดใด ย่อมจะมีคุณลักษณะเฉพาะตัว ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อสัญญาณ ที่ทำการส่งเส้นใยแก้วนำแสงก็เช่นเดียวกัน โดยเส้นใยแก้วนำแสงจะมีคุณลักษณะต่างๆ ในการส่งสัญญาณนี้

๒.๑ การลดทอนสัญญาณ การลดทอนสัญญาณของเส้นใยแก้วนำแสงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ทำให้เส้นใยแก้วนำแสงนิยมนำมาใช้ในระบบการสื่อสารโทรคมนาคม โดยการลดทอนสัญญาณของเส้นใยแก้วนำแสงก็จะแสดงอยู่ในหน่วย เดซิเบล เช่นเดียวกับตัวนำที่เป็นโลหะ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการนี้

$$Singgle\ Attenuation \quad = \quad 10\log_{10}\frac{P_i}{P_o}$$

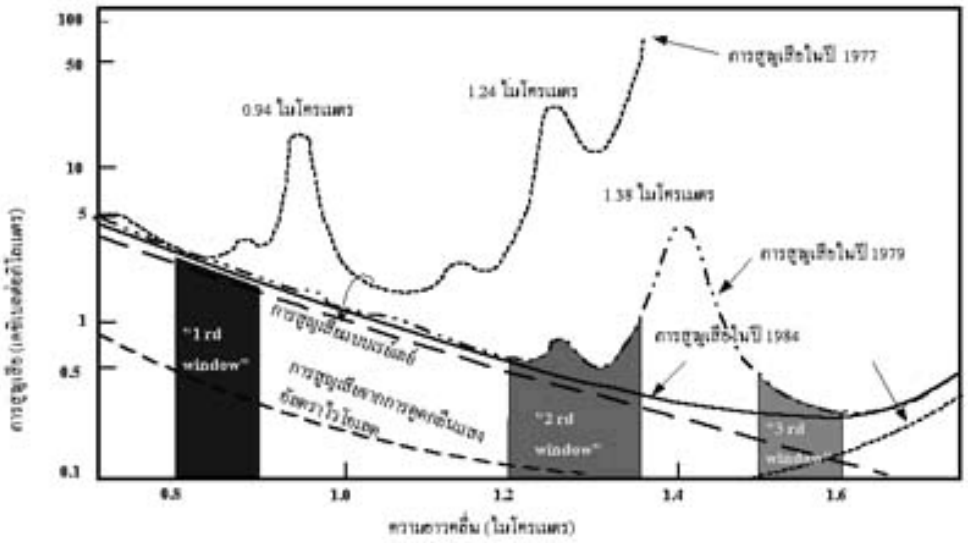
แต่เนื่องจากการสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสงนั้นนิยมบอกค่าการลดทอนสัญญาณในรูปของเดซิเบลต่อหน่วยความยาว (เช่น dBkm-1) ดังนั้นสามารถเขียนสมการได้ใหม่เป็น

$$\alpha_{dB}L \quad = \quad 10\log_{10}\frac{P_i}{P_o}$$

โดย α_{dB} คือ การลดทอนสัญญาณต่อหน่วยความยาว

L คือ ความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง

๒.๒ การสูญเสียสัญญาณในเส้นใยแก้วนำแสง การลดทอนสัญญาณของเส้นใยแก้วนำแสงจะทำให้เกิดการสูญเสียสัญญาณ (Transmission Loss) โดยเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น องค์ประกอบสารที่นำมาสร้าง เทคนิคในการเตรียมสาร และการทำให้สารบริสุทธิ์ และโครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง นอกจากนี้ยังมีการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการใช้คอนเนคเตอร์ และการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งสามารถแยกการสูญเสียสัญญาณออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ การสูญเสียที่มีอยู่ในตัวเส้นใยแก้วนำแสง (Fixed Loss) และการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นจากการนำไปใช้งาน (Addition Loss)



ภาพที่ ๑๒-๗ รูปแบบการสูญเสียแบบต่างๆ

การสูญเสียที่มีอยู่ในตัวเส้นใยแก้วนำแสง (Fixed Loss) ประกอบด้วย

๒.๒.๑ การสูญเสียจากการดูดกลืนแสงของวัสดุที่ใช้สร้าง (Material Absorption Losses) คือ การสูญเสียเนื่องจากการดูดกลืนแสงขององค์ประกอบของสารที่ใช้ในการสร้างเส้นใยแก้วนำแสง โดยการสูญเสียนี้จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารที่ใช้สร้างและกระบวนในการสร้าง (Fabrication Process) เส้นใยแก้วนำแสง โดยจะทำให้เกิดการกระจายตัวของกำลังงานแสงที่ส่งกลายเป็นความร้อนขึ้นภายในเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งการสูญเสียแสงเนื่องจากกการดูดกลืนแสงสามารถแบ่งได้ ๒ กรณี คือ

๒.๒.๑.๑ การดูดกลืนแสงเนื่องจากสารที่ใช้ทำเส้นใยแก้วนำแสง (Intrinsic Absorption) เนื่องจากแก้วซิลิกาบริสุทธิ์ที่ใช้ในการสร้างเส้นใยแก้วนำแสงจะมีการดูดกลืนแสงโดยการดูดกลืนแสงอุลตร้าไวโอเลทมากที่สุดที่ความยาวคลื่น ๐.๑ ไมโครเมตร และมีการดูดกลืนแสงอินฟาเรดมากที่สุดที่ความยาวคลื่น ๑๐ ไมโครเมตร

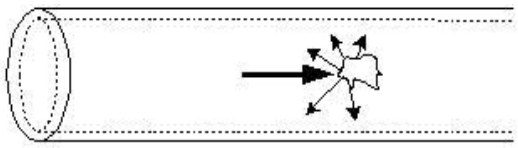
๒.๒.๑.๒ การดูดกลืนแสงเนื่องจากสารที่เจือปนอยู่ในเส้นใยแก้วนำแสง (Extrinsic Absorption) เกิดขึ้นเนื่องจากการเจือปนอิออนของธาตุโลหะในเส้นใยแก้วนำแสง ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนของการหลอมแก้ว ซึ่งสารที่เจือปนในเส้นใยแก้วนำแสงที่เกิดจากการหลอมเหลวนี้เป็นสาเหตุสำคัญของการลดทอนสัญญาณแสง

๒.๒.๒ การสูญเสียแสงเนื่องจากการกระจัดกระจายแสง (Scattering Losses) เมื่อเกิดการกระจัดกระจายของแสง จะทำให้แสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงเกิดการเปลี่ยนโหมด ซึ่งจะทำให้แสงเกิดการเปลี่ยนไปสู่โหมดที่สามารถแพร่กระจายออกไปนอกเส้นใยแก้วนำแสงได้ ไม่สามารถเดินทางไปในคอร์ได้ แต่จะแพร่กระจายออกไปภายนอก การสูญเสียที่เกิดจากการกระจัดกระจายแสงสามารถแบ่งได้ ๒ ชนิด คือ แบบเรย์เลห์ (Rayleigh Scattering) และแบบไม (Mie Scattering) ซึ่งทั้งสองแบบล้วนมีสาเหตุมาจากคุณลักษณะทางกายภาพที่ ไม่สมบูรณ์ของเส้นใยแก้วนำแสงที่เกิดจากกระบวนการผลิตซึ่งยากที่จะกำจัดให้หมดไปในปัจจุบัน

๒.๒.๒.๑ การกระจายแสงแบบเรย์เลห์ (Rayleigh Scattering) เกิดมาจากการที่แสงเดินทางไปกระทบวัตถุที่มีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่นแสงที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ทำให้แสง

แตกกระจายออกไปในทิศทางที่ต่างๆ ดังรูป โดยวัตถุที่เจือปนอยู่นั้นเกิดขึ้นในตอนการผลิตเส้นใยแก้วนำแสง คือ ในกระบวนการทำเส้นใยนำแสงให้ความร้อนประมาณ ๒,๐๐๐ องศาเซลเซียส แก่แท่งแก้วพรีฟอร์มแล้วดึงแท่งแก้วให้เป็นเส้นใยแก้วนำแสงขนาดเล็ก และลดอุณหภูมิของเส้นใยแก้วนำแสงนั้นเป็น ๒๐ องศาเซลเซียสอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของความหนาแน่นและเกิดเป็นวัตถุขนาดเล็กๆ ขึ้น โดยค่าการสูญเสียเนื่องจากการกระจัดกระจายแบบเรย์เลย์นี้จะเกิดกับแสงในช่วงอัลตราไวโอเลทและอินฟาเรด จะแปรผกผันกับความยาวคลื่นแสง ดังสมการ

$$\text{Rayleigh Scattering Loss} = \frac{1}{\lambda^4}$$



ภาพที่ ๑๒-๘ การกระจายแสงแบบเรย์เลห์ (Rayleigh Scattering)

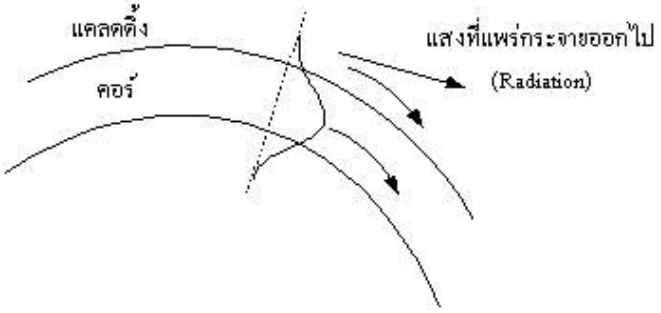
โดยค่าการสูญเสียแสงที่เกิดจากการกระจัดกระจายแสงแบบเรย์เลห์นี้จะมีค่าประมาณ ๐.๓ เดซิเบลต่อกิโลเมตรที่ความยาวคลื่น ๑๓๐๐ นาโนเมตร และ ๐.๑๘ เดซิเบลต่อกิโลเมตรที่ความยาวคลื่น ๑๕๕๐ นาโนเมตร

๒.๒.๒.๒ การกระจายแสงแบบไม (Mie Scattering) เกิดขึ้นเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ทางโครงสร้างรูปทรงกระบอกของเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งมีสาเหตุมาจากความผิดปกติของรอยต่อระหว่างคอร์กับแคลดดิ้ง ค่าดัชนีการหักเหของคอร์กับแคลดดิ้งที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง และการผันแปรของเส้นผ่าศูนย์กลาง เป็นต้น ส่งผลให้แสงที่ตกกระทบเกิดการกระจัดกระจายออก การสูญเสียแสงแบบนี้จะแปรผันโดยตรงกับความยาวคลื่นตามสมการ

$$\text{Mie Scattering Loss} = \frac{\lambda}{10}$$

การสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมาจากการนำไปใช้งาน (Addition Loss) ประกอบด้วย

๒.๒.๒.๓ การสูญเสียแสงเนื่องจากการโค้งงอของเส้นใยแก้วนำแสง (Bending Loss) จะเกิดขึ้นเมื่อมีการโค้งงอเส้นใยแก้วนำแสง โดยมีมุมการโค้งงอมากกว่ามุมวิกฤต ซึ่งทำให้แสงที่เดินทางไปเกิดการกระจัดกระจายออกไปนอกคอร์ได้ดังรูปต่อปนี้



ภาพที่ ๑๒-๙ การสูญเสียแสงเนื่องจากการโค้งงอของเส้นใยแก้วนำแสง (Bending Loss)

๒.๒.๔ การสูญเสียที่เกิดจากการโค้งงอเส้นใยแก้วนำแสงแบบไมโครเบนดิ้ง (Micro Bending) เป็นการสูญเสียสัญญาณแสงที่เกิดจากการมีแรงกดที่ไม่สม่ำเสมอมากระทำต่อด้านข้างของเส้นใยแก้วนำแสงส่งผลให้แกนของเส้นใยแก้วนำแสงเกิดการบิดงอไปเล็กน้อย (ประมาณ ๒-๓ ไมโครเมตร) ทำให้แสงที่ตกกระทบบริเวณดังกล่าวเกิดการหักเหออกไปภายนอกเส้นใยแก้วนำแสงได้

๒.๒.๕ การสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยแก้วนำแสง (Connection Loss) จะเกิดขึ้นเนื่องจากการเชื่อมต่อไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้บริเวณรอยต่อจะเกิดช่องว่างขนาดเล็กซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียแสงจากการสะท้อนกลับ ซึ่งเรียกว่า "Fresnel Reflection" ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียที่เรียกว่า "Fresnel Loss" โดยคำนวณได้จากสมการ

$$Fresnel\ Loss = -10\log(1-r)$$

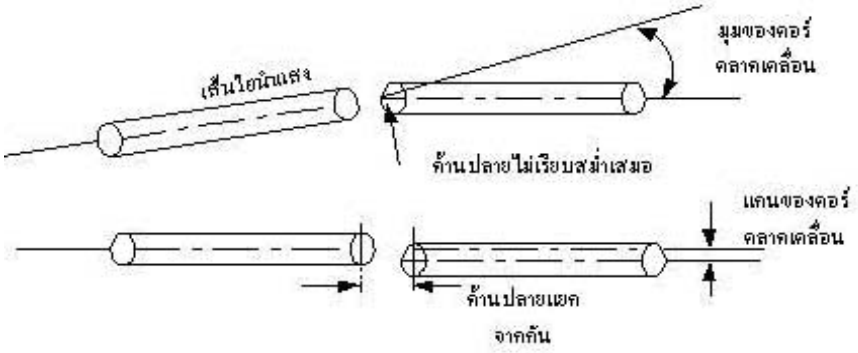
โดยที่ $r = \left(\frac{n_1 - n}{n_1 + n}\right)^2$

R = ขนาดของ Fresnel Reflection

n1 = ดัชนีการหักเหของคอร์เส้นใยแก้วนำแสง

n2 = ดัชนีการหักเหของตัวกลางที่อยู่ระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงที่ทำการเชื่อมต่อ

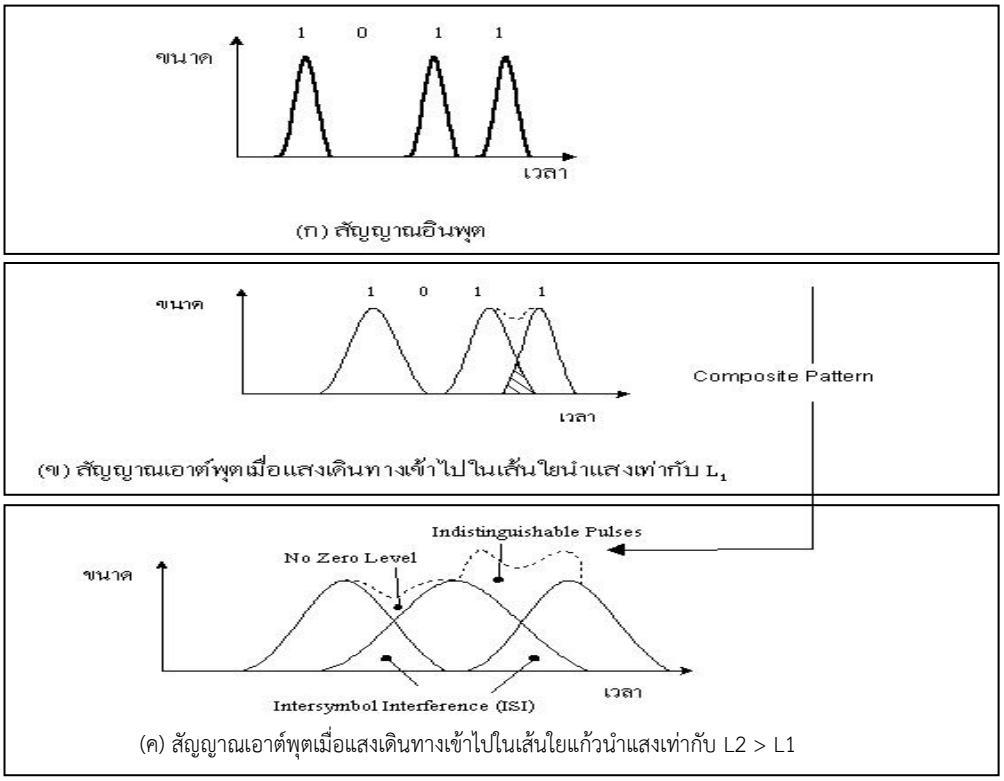
๒.๒.๖ การสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการคัปปลิงสัญญาณ (Coupling Loss) เป็นการสูญเสียระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงกับแหล่งกำเนิดแสง เนื่องจากแสงที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงจะมีความกว้างของลำแสงไม่เท่ากัน คือ เลเซอร์ไดโอด (LD) จะมีลำแสงแคบกว่าแอลอีดี (LED) จึงทำให้การสูญเสียจากการคัปปลิงสัญญาณของเลเซอร์มีค่าน้อยกว่าแอลอีดี นอกจากนี้ค่าการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) ของเส้นใยแก้วนำแสง ถ้ามีค่ามากก็จะ เกิดการสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยแก้วนำแสงน้อยกว่าเส้นใยแก้วนำแสงที่มีค่าการเปิดรับให้แสงผ่านน้อย



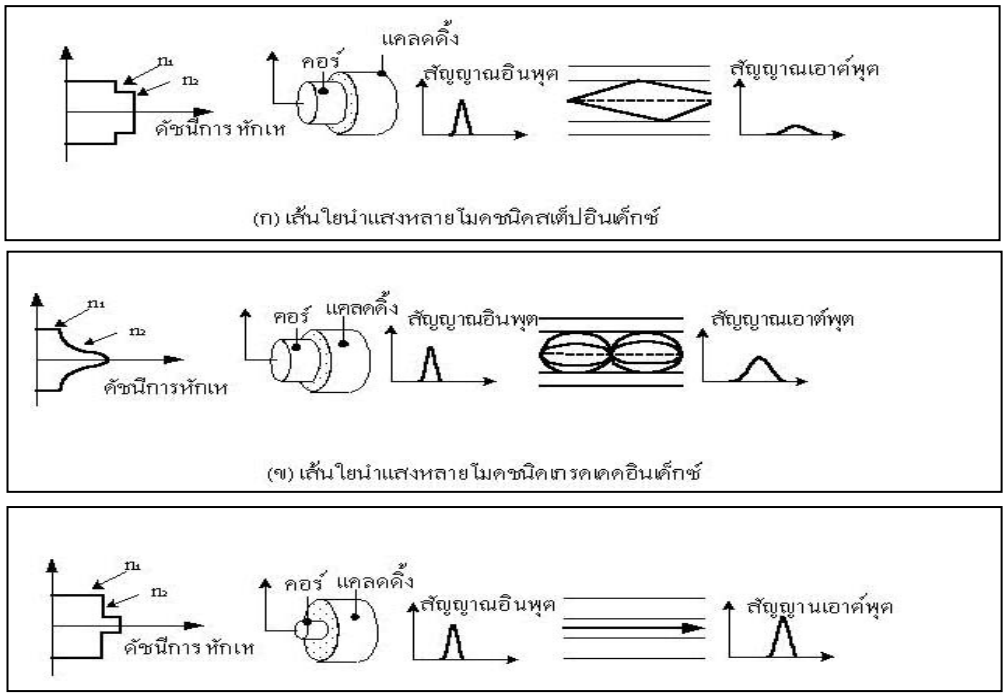
ภาพที่ ๑๒-๑๐ แสดงการสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยแก้วนำแสง (Coupling Loss)

๒.๓ การขยายกว้างออกของสัญญาณแสง (Dispersion) ทำให้เกิดการผิดเพี้ยนทั้งในกรณีที่เป็นการส่งสัญญาณแบบอะนาลอก และดิจิตอล ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วเราจะใช้ในการส่งสัญญาณแบบดิจิตอล ดังนั้นเมื่อเกิดการขยายกว้างออกก็ทำให้สัญญาณพัลส์ของแสงที่ทำการส่ง และเดินทางไปในเส้นใยแก้วนำแสง การขยายกว้างออกเกิดขึ้นดังภาพที่ ๑๒-๑๑ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการซ้อนทับกันของพัลส์ ทำให้ภาครับไม่สามารถแยกสัญญาณออกจากกันได้ ซึ่งเราเรียกผลที่เกิดขึ้นนี้ว่า "Intersymbol Interference (ISI)" หากมีค่า ISI สูงก็จะส่งผลให้ความผิดพลาดสูงขึ้น ในภาพที่ ๑๒-๑๒ แสดงการเกิดการขยายกว้างออกของสัญญาณดิจิตอลที่ทำการส่งในเส้นใยแก้วนำแสงชนิดต่างๆ โดยความกว้างของพัลส์จะขึ้นอยู่กับระยะทางที่แสงเดินทางด้วย โดยสามารถแยกชนิดของการขยายกว้างออกได้เป็น ๒ ชนิด คือ

๒.๓.๑ การขยายกว้างออกเนื่องจากโหมด (Mode Dispersion หรือ Modal Dispersion) จะเกิดขึ้นเนื่องจากคุณลักษณะของแสง กล่าวคือ ความเร็วในการเดินทางของแสงแต่ละโหมดจะแตกต่างกัน ดังนั้นแสงจะเดินทางมาถึงปลายทางไม่พร้อมกัน ส่งผลให้เกิดการซ้อนทับกันของข้อมูล โดยสามารถแก้ไขโดยไม่ส่งพัลซ์ของข้อมูลที่มีความแคบมากเกินไป คือ การจำกัดความเร็วในการส่งนั้นเอง โดยการเกิดโหมดดิสเปอร์ชันนี้จะเกิดในเส้นใยแก้วนำแสงแบบสเต็ปอินเด็กซ์มากกว่า เส้นใยแก้วนำแสงแบบเกรดเดดอินเด็กซ์



ภาพที่ ๑๒-๑๑ การเกิดการขยายกว้างออกของสัญญาณพัลส์ 1011 เมื่อผ่านเส้นใยแก้วนำแสง



ภาพที่ ๑๒-๑๒ การขยายกว้างออกของสัญญาณดิจิตอลที่ส่งในเส้นใยแก้วนำแสงชนิดต่างๆ

๒.๓.๒ การขยายกว้างออกเนื่องจากความยาวคลื่น แบ่งได้เป็น ๒ ชนิด

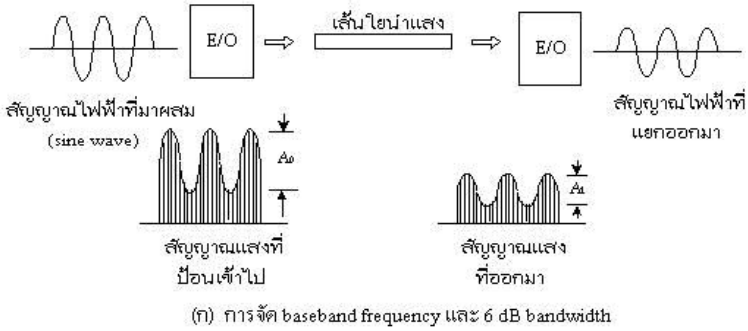
๒.๓.๒.๑ การขยายกว้างออกเนื่องจากสารที่ใช้สร้าง (Material Dispersion) เกิดขึ้นเนื่องจากในตัวกลางชนิดเดียวกัน ถ้าความยาวคลื่นแสงที่เดินทางในตัวกลางนั้นมีค่าต่างกันด้วย และเนื่องจากแสงที่ใช้ในระบบการสื่อสารก็ไม่ได้เพียงความยาวคลื่นเดียวที่แท้จริง กล่าวคือ แอลอีดีจะมีความกว้างของสเปกตรัมเท่ากับ ๓๐ ถึง ๖๐ นาโนเมตร และเลเซอร์ไดโอดจะมีความกว้างสเปกตรัม ๒ ถึง ๕ นาโนเมตร ดังนั้นแสงก็จะเดินทางจะเดินทางมาถึงปลายทางไม่พร้อมกัน ส่งผลให้เกิดการซ้อนทับกันของข้อมูลเหมือนกับกรณีของการขยายกว้างออกเนื่องจากโหมด

๒.๓.๒.๒ การขยายกว้างออกเนื่องจากโครงสร้าง (Structure Dispersion) จะเกิดจากการป้อนแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่มีหลายความยาวคลื่น ทำให้ค่าดัชนีการหักไม่เท่ากัน ดังนั้นผลต่างดัชนีการหักเหระหว่างคอร์กับแคลดดิ้งก็จะมีค่าไม่เท่ากันในแต่ละความยาวคลื่น โดยแสงที่มีค่าความยาวคลื่นสูงกว่าจะเดินทางทะลุผ่านเข้าไปในส่วนของแคลดดิ้งมากกว่าแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของการขยายกว้างออกชนิดต่างๆ การขยายกว้างออกเนื่องจากโหมด >> การขยายกว้างออกเนื่องจากสารที่ใช้สร้าง > การขยายกว้างออกเนื่องจากโครงสร้าง ดังนั้นเส้นใยแก้วนำแสงแบบหลายโหมด จะถูกกำหนดแบนด์วิดท์โดยโหมดดิสเปอร์ชัน ส่วน Wavelength Dispersion จะมีผลต่อการส่งสัญญาณของเส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมดน้อยมาก แต่จะเป็นตัวแปรที่สำคัญในการกำหนดแบนด์วิดท์ของเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดียว ซึ่งในการใช้งาน เส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดียวก็จะเลือกใช้ความยาวคลื่นที่ทำให้มะทีเรียลดิสเปอร์ชันหักล้างกับสตัคเตอร์ดิสเปอร์ชันให้มากที่สุด ซึ่งความยาวคลื่นนี้เรียกว่า "Zero Dispersion Wavelength"

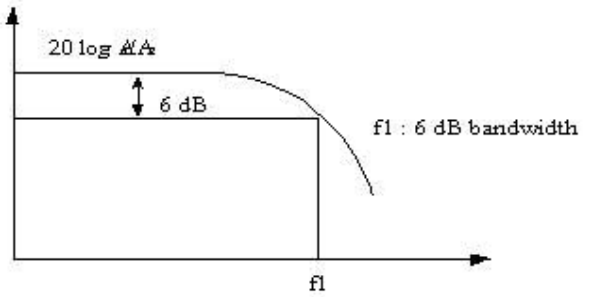
๓. แบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณ (Transmission Bandwidth)

ความกว้างของแบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณเส้นใยแก้วนำแสง สามารถหาได้จากการป้อนสัญญาณแสงที่มอดูเลตแล้วดังภาพที่ ๑๒-๑๓ เข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงที่มอดูเลตแล้วทางด้านเอาต์พุตเมื่อแสงเดินทางไปได้ ๑ กิโลเมตร แล้วนำค่าของ A1 และ A0 มาวาดกราฟดังภาพที่ ๑๒-๑๔ จากนั้นทำการเพิ่มความถี่ของสัญญาณที่นำการมอดูเลตให้สูงขึ้นจนถึงจุดที่ขนาดของคุณลักษณะทางความถี่ของสัญญาณเบสแบนด์ (Baseband Frequency Characteristic) ลดลงมา 6 dB ความถี่ ณ ตำแหน่งที่คุณลักษณะทางความถี่ของสัญญาณเบสแบนด์ลดลงมา 6 dB คือแบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณของเส้นใยแก้วนำแสง



(ก) การจัด baseband frequency และ 6 dB bandwidth

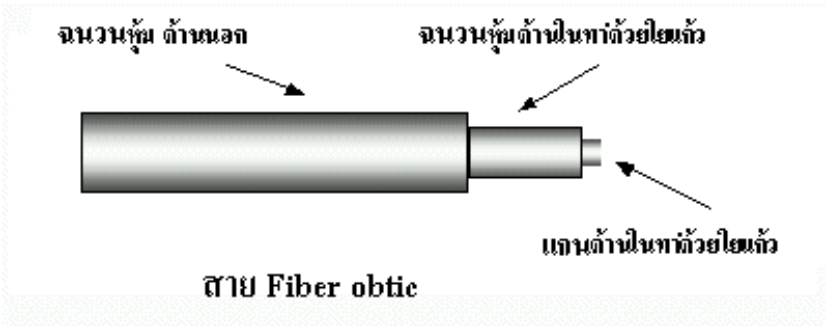
ภาพที่ ๑๒-๑๓ แสดงการหาแบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณ



(ข) คุณสมบัติ baseband frequency และ 6 dB bandwidth

ภาพที่ ๑๒-๑๔ แสดงการหาแบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณ (ต่อ)

๔. โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง



ภาพที่ ๑๒-๑๕ โครงสร้าง (ส่วนประกอบ) ของเส้นใยแก้วนำแสง

๔.๑ Core ทำหน้าที่ให้แสงเดินทางผ่าน ซึ่งเป็นตัวนำสัญญาณ จะมีขนาดและเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 um, 50 um และ 62.5 um

๔.๒ Cladding ทำหน้าที่เป็นตัวหนักเหของแสง เป็นสารเคลือบแก้วให้นำสัญญาณได้ นิยมเคลือบจนแก้วมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 125 um

๔.๓ ฉนวนป้องกัน (Coating) เป็นเสมือนผนังของเส้นแก้วที่เคลือบให้ปลอดภัยขึ้น และใส่สีที่ผนังชั้นนี้ ซึ่งจะเคลือบจนมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 250 um

๔.๔ Jacket ทำหน้าที่ป้องกันส่วน Core และ Cladding เป็นเสมือนเสื้อนอกที่ใส่ให้เกิดความเรียบร้อย ฉนวนชั้นนี้จะมีความแตกต่างตามการใช้งานได้แก่ Indoor, Outdoor เป็นต้น

การป้อนแสงเข้าไปเส้นใยแก้วนำแสง ใช้ทฤษฎีการหักเหของแสง โดยสรุปคือ แสงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางต่างกัน ความเร็วของแสงจะไม่เท่ากันทำให้เกิดการหักเหของแสง ดังนั้นระหว่าง Core กับ Cladding จะมีดัชนีการหักเหของแสงไม่เท่ากัน เมื่อแสงถูกป้อนเข้าไปด้วยมุมที่พอเหมาะ แสงจะเกิดการหักเหและเดินทางได้ภายในใยแก้วนำแสง

๕. ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง

๕.๑ แบ่งตามชนิดของ Dielectric สามารถแบ่งออกได้เป็น ๓ ชนิดคือ

๕.๑.๑ Silica Glass Optic Fiber ซึ่งใช้ Dielectric ที่เป็น Silica glass ซึ่งนอกจากจะใช้ Silica (Sio_2) ที่บริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่แล้วยังใช้สารอื่นเติมลงไปเพื่อทำให้ค่าดัชนีการหักเหเปลี่ยนแปลงตามต้องการ สารอื่นที่เติมลงไปนี้เรียกว่า Dopant ได้แก่ Germanium (Ge), Boron (B) , Fluorine (F) เป็นต้น สำหรับเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงแบบ Silica Glass Optic Fiber นั้นนิยมใช้ในข่ายการสื่อสารโทรคมนาคม (Telecommunication Network) เพราะมีข้อดีคือ การลดทอน (Loss) ต่ำ และคุณสมบัติการส่ง (Transmission Characteristic) คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

๕.๑.๒ Multi Component Glass Optic Fiber ซึ่งใช้ Dielectric ที่เป็นแก้วหลายชนิดปนกัน ส่วนมากจะใช้ Soda Calcium, แก้ว, แก้วที่มี Boron และ Silicon ผสม และอื่นๆ เป็นสารหลัก ส่วน Dopant ได้แก่ โซเดียม (Na), แคลเซียม (Ca)

๕.๑.๓ Plastic Optic Fiber ซึ่งใช้ Dielectric ที่เป็นพลาสติก ซึ่งใช้สารพวก Silicon Resin, Acryl Resin เช่น Ploymetacryl Methyl Acid : PMMA เหมาะสำหรับงานที่ต้องการคุณสมบัติการส่งที่ด้อยลงมา ใช้งานง่าย ต่อเชื่อมง่าย หักยากแม้จะงอเส้นใยแก้วนำแสงมากๆ และใช้กับการสื่อสารระยะทางใกล้ เช่นใช้กับการเดินสายภายในรถยนต์ (Wire Harness) และอื่นๆ

๕.๒ แบ่งตามลักษณะการใช้งาน สามารถแบ่งออกได้เป็น

๕.๒.๑ สายเบิลเดินในท่อหรือเดินลอย (Ducted Cable or Lash Aerial)

๕.๒.๒ สายเคเบิลฝั่งดินโดยตรง (Direct Buried)

๕.๒.๓ สายเคเบิลเดินลอยมีสายรับแรง (Figure '8' Aerial)

๕.๒.๔ สายเคเบิลใต้น้ำ (Submarine)

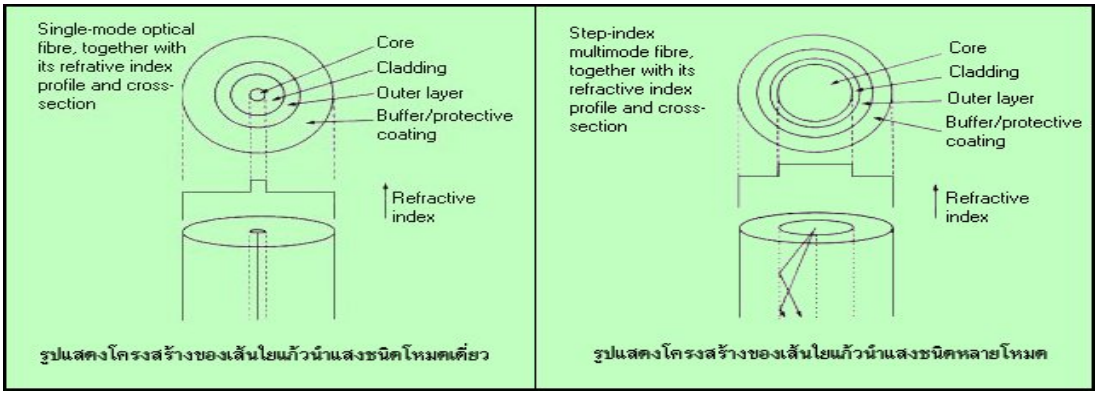
๕.๒.๕ สายเคเบิลไม่มีตัวนำรับแรงด้วยตัวเอง (All Dielectric Self Support)

๕.๒.๖ สายเคเบิลใช้เป็นสายดินในระบบสายส่งกำลัง (Overhead Ground Wire)

๕.๓ แบ่งตามจำนวน Propagation Mode สามารถแบ่งออกได้เป็น ๒ ชนิด คือ

๕.๓.๑ Single Mode Optic Fiber (SM Fiber) เส้นใยแก้วนำแสงแบบ SM Fiber มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Cord ประมาณ ๕-๑๐ ไมครอน และขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Cladding ประมาณ ๑๒๕ ไมครอน ซึ่งส่วนของ Core ที่มีขนาดเล็กมากนี้เองมีผลทำให้แสงเดินทางออกมาเพียงโหมดเดียว มีการแตกกระจายของสัญญาณเกิดขึ้นได้ยาก ทำให้มีแบนด์วิดท์ที่กว้าง

๕.๓.๒ Multi Mode Optic Fiber (MM Fiber) เส้นใยแก้วนำแสงแบบ MM Fiber มีขนาดของ Core ประมาณ ๕๐ ไมครอน และมีขนาดของ Cladding ประมาณ ๑๒๕ ไมครอน ซึ่งจะเป็นว่าขนาดของ Core จะมีขนาดใหญ่กว่าเส้นใยแก้วนำแสงแบบ SM Fiber มีผลทำให้แสงที่ตกกระทบที่ปลายอินพุตของเส้นใยแก้วนำแสงมีมุมตกกระทบที่แตกต่างกันหลายค่า ทำให้มีแนวลำแสงเกิดขึ้นหลายโหมด ซึ่งทำให้เกิดการแตกกระจายของโหมดแสง



ภาพที่ ๑๒-๑๖ ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง แบ่งตามจำนวน Propagation Mode

๕.๔ แบ่งตามลักษณะของดัชนีการหักเห สามารถแบ่งออกได้เป็น ๒ ชนิด

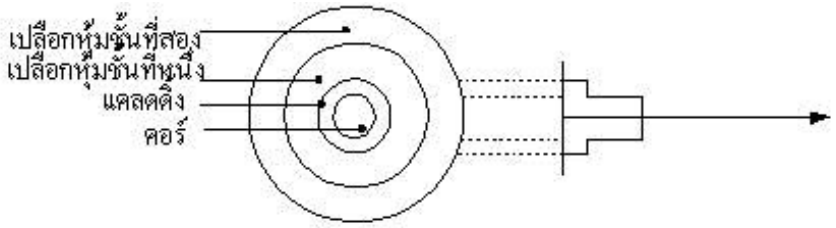
๕.๔.๑ Step Index Optic Fiber (SI-Fiber) เป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่าง Core กับ Cladding เป็นในลักษณะขั้นบันได (Step)

๕.๔.๒ Graded Index Optic Fiber (GI-Fiber) เป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่าง Core กับ Cladding ค่อยๆ ลดลงทีละน้อย จึงเรียกว่า Graded Index Optic Fiber

หมายเหตุ SM Fiber นั้นจัดอยู่ในพวกของ SI-Fiber เหมือนกันแต่เนื่องจากจุดประสงค์ที่ต้องการให้เป็น Single Mode จึงทำให้อัตราส่วนผลต่างของค่าดัชนีการหักเหของ Core และ Cladding มีค่าน้อยมาก จึงแบ่งชนิดแยกออกมาต่างหาก ดังนั้นในกรณีที่เรียกว่า SI-Fiber นั้นโดยทั่วไปจะหมายถึง Multi Mode Optic Fiber ที่มีผลต่างของดัชนีการหักเหเปลี่ยนแปลงเป็นขั้นบันได (Step)

๖. เส้นใยแก้วนำแสงชนิดมัลติโหมดสเต็ปอินเด็กซ์ (Multimode Step Index)

เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้สร้างจากแก้วหลายๆ ชนิดปนกัน หรือแก้วซิลิกาก็ได้ โดยจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง และขนาดการเปิดรับแสงขนาดใหญ่เพื่อประสิทธิภาพในการคัปปลิ้งสัญญาณกับแหล่งกำเนิดแสงแบบหลายความยาวคลื่น (Incoherent) เช่น แอลอีดี คุณลักษณะ และประสิทธิภาพของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ จะมีค่าเปลี่ยนแปลงโดยขึ้นอยู่กับสารที่ใช้สร้าง และกระบวนการในการเตรียมสาร ซึ่งโครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้สามารถดูได้ดังรูปต่อไปนี้



ภาพที่ ๑๒-๑๗ โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงชนิด Multimode Step Index

โครงสร้างเส้นใยแก้วนำแสงชนิดมัลติโหมดสเต็ปอินเด็กซ์ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์เท่ากับ ๕๐ ถึง ๔๐๐ ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของแคลดดิ้งเท่ากับ ๑๒๕ ถึง ๕๐๐ ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของเปลือกหุ้มเท่ากับ ๒๕๐ ถึง ๑๐๐๐ ไมโครเมตร และมีขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) เท่ากับ ๐.๑๖ ถึง ๐.๕ มีคุณลักษณะทางประสิทธิภาพ ดังนี้

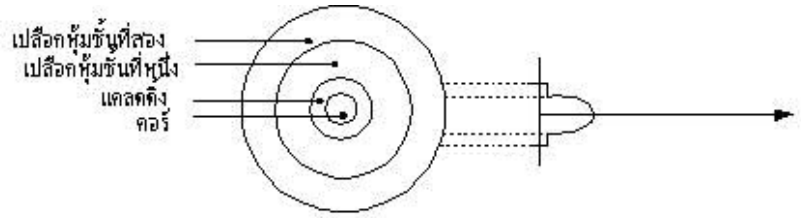
๑. การลดทอนสัญญาณ มีค่าอยู่ในช่วง ๒.๖ ถึง ๕๐ เดซิเบลต่อกิโลเมตร ที่ความยาวคลื่น ๘๕๐ นาโนเมตร ถูกจำกัดโดยการดูดกลืน การกระจาย และการลดทอนจากความยาวคลื่น

๒. แบนด์วิดท์ มีแบนด์วิดท์อยู่ในช่วง ๖ ถึง ๕๐ เมกะเฮิรตซ์กิโลเมตร

๓. การใช้งาน เหมาะที่สุดสำหรับใช้งานในโครงข่ายแบบการสื่อสารระยะสั้น (Short - Haul) มีแบนด์วิดท์จำกัดและใช้งานกับงานที่ราคาไม่สูง

๗. เส้นใยแก้วนำแสงชนิดมัลติโหมดเกรดเดดอินเด็กซ์ (Multimode Graded Index)

เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้สร้างจากแก้วหลายชนิดปนกัน หรือแก้วซิลิกาก็ได้เช่นเดียวกับเส้นใยแก้วนำแสงชนิดมัลติโหมดสเต็ปอินเด็กซ์ โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้แสดงดังรูป



ภาพที่ ๑๒-๑๘ โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงชนิด Multimode Graded Index

โครงสร้างเส้นใยแก้วนำแสงชนิดมัลติโหมดเกรดเดดอินเด็กซ์มีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์เท่ากับ ๓๐ ถึง ๑๐๐ ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของแคลดดิ้งเท่ากับ ๑๐๐ ถึง ๑๕๐ ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของเปลือกหุ้มเท่ากับ ๒๕๐ ถึง ๑๐๐๐ ไมโครเมตร และขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) เท่ากับ ๐.๒ ถึง ๐.๓ มีคุณลักษณะทางประสิทธิภาพ ดังนี้

๑. การลดทอนสัญญาณ มีการลดทอนสัญญาณในช่วง ๒ ถึง ๑๐ เดซิเบลต่อกิโลเมตร ที่ความยาวคลื่น ๘๕๐ นาโนเมตร ถูกจำกัดโดยการการกระจาย ส่วนการลดทอนสัญญาณโดยเฉลี่ย ที่ความยาวคลื่น ๑๓๐๐ นาโนเมตร และ ๑๕๕๐ นาโนเมตร มีค่าเท่ากับ ๐.๔ และ ๐.๒๕ เดซิเบลต่อกิโลเมตร ตามลำดับ

๒. แบนด์วิดท์ มีแบนด์วิดท์อยู่ในช่วง ๓๐๐ เมกะเฮิรตซ์กิโลเมตร ถึง ๕๐ กิกะเฮิรตซ์ กิโลเมตร

๓. การใช้งาน เหมาะที่สุดสำหรับใช้งานในโครงข่ายแบบการสื่อสารระยะกลาง มีแบนด์วิดท์ปานกลางถึงสูงซึ่งใช้แอลอีดี หรือเลเซอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์กำเนิดแสง

เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์กับแคลดดิ้ง ดังนี้

๑. เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์กับแคลดดิ้ง เท่ากับ ๕๐ ถึง ๑๒๕ ไมโครเมตร ซึ่งค่าขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) โดยปกติอยู่ระหว่าง ๐.๒๐ ถึง ๐.๒๔ เส้นใยแก้ว

นำแสงชนิดนี้พัฒนา และกำหนดมาตรฐานโดย CCITT (Recommendation G 651) สำหรับงานด้านโทรคมนาคมที่ความยาวคลื่น ๘๕๐ นาโนเมตรและ ๑๓๐๐ นาโนเมตร แต่ปัจจุบันนิยมนำมาใช้งานในด้านการสื่อสารข้อมูลระบบ LAN

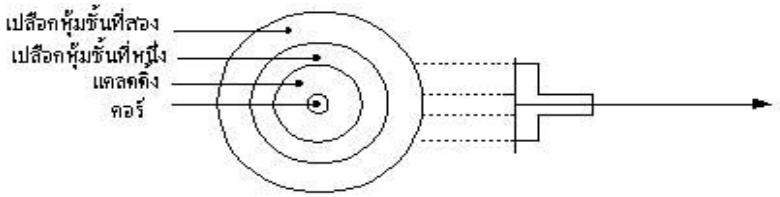
๒. เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์กับแคลดดิ้ง เท่ากับ ๖๒.๕ ถึง ๑๒๕ ไมโครเมตร ซึ่งค่าขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) โดยปกติอยู่ระหว่าง ๐.๒๖ ถึง ๐.๒๙ ถึงแม้ว่าเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้จะพัฒนามาเพื่อการใช้งานใน Subscriber Loop ที่มีระยะทางไกลที่ความยาวคลื่น ๘๕๐ นาโนเมตร และ ๑๓๐๐ นาโนเมตร แต่ในปัจจุบันการใช้งานส่วนใหญ่จะนำมาใช้ในระบบ LAN

๓. เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์กับแคลดดิ้ง เท่ากับ ๘๕ ถึง ๑๒๕ ไมโครเมตร ซึ่งค่าขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) โดยปกติอยู่ระหว่าง ๐.๒๖ ถึง ๐.๓๐ เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้จะพัฒนามาเพื่อการใช้งานที่ความยาวคลื่น ๘๕๐ นาโนเมตร และ ๑๓๐๐ นาโนเมตร ในระบบ LAN และระบบสื่อสารระยะสั้น (Short- Haul)

๔. เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์กับแคลดดิ้ง เท่ากับ ๑๐๐ ถึง ๑๒๕ ไมโครเมตร ซึ่งค่าขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) โดยปกติอยู่ระหว่าง ๐.๒๙ เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้พัฒนามาเพื่อการใช้งานที่ความยาวคลื่น ๘๕๐ นาโนเมตร เพื่อมาใช้งานในระบบที่ราคาถูกและระยะทางสั้น

๘. เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว (Singlemode Optical Fibers, SM)

เส้นใยแก้วนำแสงชนิดซิงเกิลโหมดนี้ สามารถที่จะสร้างให้มีความแตกต่างของดัชนีได้ทั้งแบบสเต็ปอินเด็กซ์ และเกรดเดดอินเด็กซ์ แต่เนื่องจากการสร้างเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดียวที่มีความแตกต่างของดัชนีการหักเหแบบเกรดเดดอินเด็กซ์มีราคาแพง และคุณสมบัติที่ได้จากการที่มีความแตกต่างของดัชนีการหักเหแบบเกรดเดดอินเด็กซ์ก็ไม่มีประโยชน์ต่อระบบการสื่อสาร ดังนั้นในปัจจุบันเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดียวที่สร้างขึ้นในเชิงพาณิชย์ ก็จะมีแต่เส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียวแบบสเต็ปอินเด็กซ์เท่านั้น ซึ่งเหมาะสำหรับงานที่ต้องการแบนด์วิดท์กว้าง และระยะทางไกล โดยทั่วไปจะสร้างจากแก้วซิลิกาเพื่อให้มีการลดทอนสัญญาณต่ำ ถึงแม้ว่าเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดียวจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์เล็ก เพื่อให้มีโหมดที่เดินทางเพียงโหมดเดียว แต่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแคลดดิ้งก็จะต้องมีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่าศูนย์กลาง ของคอร์อย่างน้อย ๑๐ เท่า เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียจากการเลือนหายของสนามไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดียวแสดงดังรูป



ภาพที่ ๑๒-๑๙ โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงชนิด Single Mode

โครงสร้างเส้นใยแก้วนำแสงชนิดซิงเกิลโหมดนั้นมีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์เท่ากับ ๕ ถึง ๑๐ ไมโครเมตรโดยปกติอยู่ประมาณ ๘.๕ ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของแคลดดิ้งโดยทั่วไปมีขนาด ๑๒๕ ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของเปลือกหุ้มเท่ากับ ๒๕๐ ถึง ๑๐๐๐ ไมโครเมตร และขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) เท่ากับ ๐.๐๘ ถึง ๐.๑๕ โดยทั่วไปมีค่าประมาณ ๐.๑ มีคุณลักษณะทางประสิทธิภาพ ดังนี้

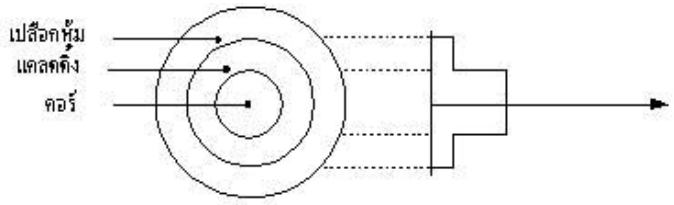
๑. การลดทอนสัญญาณ มีการลดทอนสัญญาณในช่วง ๒ ถึง ๕ เดซิเบลต่อกิโลเมตร ที่ความยาวคลื่น ๘๕๐ นาโนเมตรมีการลดทอนสัญญาณโดยเฉลี่ย ๐.๓๕ และ ๐.๒๑ เดซิเบลต่อกิโลเมตร ที่ความยาวคลื่น ๑๓๐๐ นาโนเมตร และ ๑๕๕๐ นาโนเมตร ตามลำดับ

๒. แบนด์วิดท์มากกว่า ๕๐๐ เมกะเฮิรตซ์กิโลเมตร ในทางทฤษฎีแบนด์วิดท์จะถูกจำกัดโดยความยาวคลื่น และการขยายกว้างออกเนื่องจากโครงสร้าง โดยมีค่าประมาณ ๔๐ กิกะเฮิรตซ์ ที่ความยาวคลื่น ๘๕๐ นาโนเมตร ในทางปฏิบัติแล้วแบนด์วิดท์มากกว่า ๑๐ กิกะเฮิรตซ์ ที่ความยาวคลื่น ๑๓๐๐ นาโนเมตร

๓. การใช้งานเหมาะกับงานที่ต้องการแบนด์วิดท์สูง และระยะทางไกลมาก โดยใช้เลเซอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์กำเนิดแสง

๙. เส้นใยแก้วนำแสงแบบพลาสติกแคลดดิ้ง

เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้เป็นเส้นใยแก้วนำแสงแบบหลายโหมด ซึ่งมีความแตกต่างของดัชนีการหักเหทั้งแบบสเต็ปอินเด็กซ์ และเกรดเดดอินเด็กซ์ เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้มีส่วนของแคลดดิ้งที่สร้างมาจากพลาสติก (โดยส่วนใหญ่จะใช้ยางซิลิโคน) และส่วนของคอร์สร้างมาจากซิลิกา ซึ่งเรามักเรียกเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ว่า "PCS (Plastic Clad Silica)" เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้จะมีราคาถูกกว่าเส้นใยแก้วนำแสงที่สร้างจากแก้วซิลิกา แต่ก็จะมีคุณลักษณะทางประสิทธิภาพที่จำกัด โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้แสดงดังรูปต่อไปนี้



ภาพที่ ๑๒-๒๐โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติกแคลดดิ้งแบบ Multimode Step Index

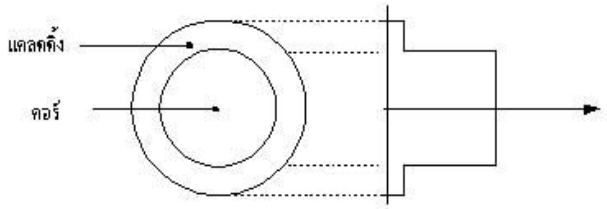
โครงสร้างและคุณลักษณะทางประสิทธิภาพของเส้นใยแก้วนำแสงแบบพลาสติกแคลดดิ้งชนิดสเต็ปอินเด็กซ์ และเกรดเดดอินเด็กซ์ มีรายละเอียดตามตาราง

ตารางที่ ๑๒-๒ โครงสร้างและคุณลักษณะทางประสิทธิภาพของเส้นใยแก้วนำแสงแบบพลาสติกแคลดดิ้ง

	สเต็ปอินเด็กซ์	เกรดเดดอินเด็กซ์
เส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์	100 - 500 ไมโครเมตร	50 - 100 ไมโครเมตร
เส้นผ่าศูนย์กลางของแคลดดิ้ง	300 - 800 ไมโครเมตร	125 - 150 ไมโครเมตร
เส้นผ่าศูนย์กลางของเปลือกหุ้ม	500 - 1000 ไมโครเมตร	250 - 1000 ไมโครเมตร
ขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน	0.2 - 0.5	0.2 - 0.3
การลดทอนสัญญาณ	5 - 50 เดซิเบลต่อกิโลเมตร	4 - 15 เดซิเบลต่อกิโลเมตร

๑๐. เส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติกทั้งหมด

จะเป็นแบบมัลติโหมดสเต็ปอินเด็กซ์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์กับ แคลดดิ้งขนาดใหญ่ ซึ่งทำให้ไม่จำเป็นต้องมีเปลือกหุ้ม เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้จะมีราคาถูก โดยเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้จะใช้สาร Polymethyl Methacry (PMMA) ในการสร้างคอร์ และใช้ Fluorinated Acrylic ในการสร้างแคลดดิ้ง ซึ่งในปัจจุบันสามารถให้มีความสูญเสียต่ำที่สุดประมาณ ๒๐ เดซิเบลต่อกิโลเมตรที่ความยาวคลื่น ๐.๘๖ ไมโครเมตรการพัฒนาและปรับปรุงเส้นใยแก้วนำแสงที่สร้างจากพลาสติกนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพในสภาวะแวดล้อมพิเศษต่างๆ เช่น สภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง หรือในภาวะที่มีอันตรายต่างๆ สำหรับโครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้แสดงให้ดูในรูปต่อไปนี้



ภาพที่ ๑๒-๒๑ โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติกทั้งหมด

โครงสร้างเส้นใยแก้วนำแสงชนิดพลาสติกมีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์เท่ากับ ๒๐๐ ถึง ๖๐๐ ไมโครเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของแคลดดิ้งโดยทั่วไปมีขนาด ๔๕๐ ถึง ๑๐๐๐ ไมโครเมตร และขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) เท่ากับ ๐.๕ ถึง ๐.๖ มีคุณลักษณะทางประสิทธิภาพ ดังนี้

๑. การลดทอนสัญญาณ มีการลดทอนสัญญาณ ๕๐ ถึง ๑๐๐๐ เดซิเบลต่อกิโลเมตร ที่มีความยาวคลื่น ๖๕๐ นาโนเมตร

๒. การใช้งาน เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ใช้สำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ราคาต่ำที่มีระยะทางสั้นมาก (Very Short - Haul Low Cost Link) เท่านั้น เช่นในบ้าน โดยมีการเชื่อมต่อและการคัปปลิงที่ง่าย

๑๑. อุปกรณ์รับแสง (Optical Receiver)

อุปกรณ์รับแสง (Optical Receiver) ทำหน้าที่เปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า สามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 2 วิธี คือ

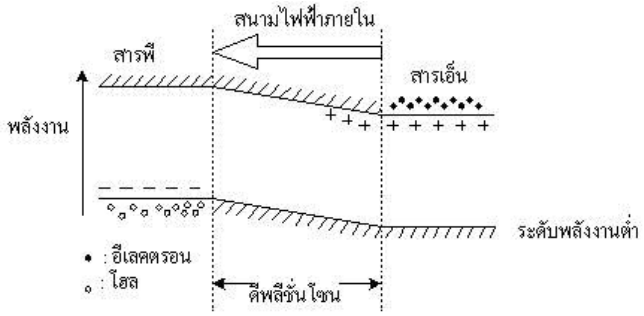
๑. การเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้าโดยตรง เรียกว่า “โฟโตอิเลคทริคเอฟเฟค” (Photo Electric Effect)

๒. การเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อนแล้วจึงเปลี่ยนเป็นไฟฟ้า เรียกว่า "เซนซิทีฟฮีทเอฟเฟค” (Sensitive Heat Effect)

หลักการทำงานของอุปกรณ์รับแสง

เมื่อมีแสงมาตกกระทบสารกึ่งตัวนำอีเลคตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานต่ำจะเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูง แต่การเลื่อนขึ้นไปนี้เป็นแต่เพียงอีเลคตรอนเคลื่อนที่ไปเท่านั้น และในที่สุดมันจะไปรวมกันใหม่กับโฮลในระดับพลังงานต่ำอีก ทำให้ไม่ได้รับโฟโตอิเลคทริคเอฟเฟค เพื่อที่จะเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้าจะต้องใช้สภาพการแยกกันของ อีเลคตรอนกับโฮลก่อนที่มันจะรวมกัน

สำหรับอุปกรณ์รับแสงสารกึ่งตัวนำก็เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสง นั่นคือ เพื่อที่จะแยกอีเลคตรอนกับโฮลนั้น โดยทั่วไปใช้รอยต่อพีเอ็น ที่รอยต่อของพีกับเอ็นนั้นจะเกิดสนามไฟฟ้าในที่ว่างขึ้น แต่มันจะถูกดึงด้วยอีเลคตรอนของสารเอ็นซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ และโฮลของสารพีซึ่งมีประจุไฟฟ้า เป็นบวก เป็นผลให้เกิดบริเวณที่ไม่มีอีเลคตรอนและโฮลขึ้นตรงรอยต่อบริเวณนี้เรียกว่าดีพลีชั่นโซน (Depletion Zone) ดังแสดงในรูป



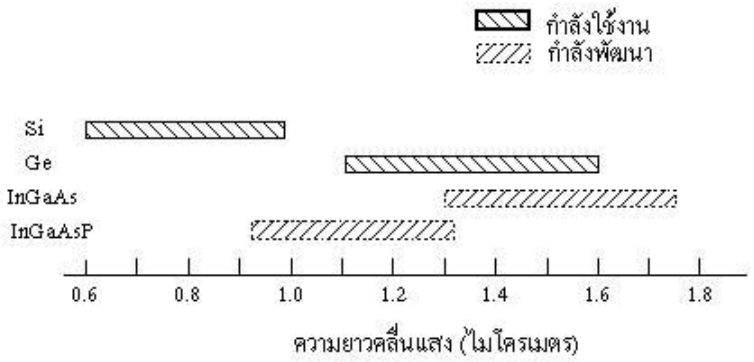
ภาพที่ ๑๒-๒๒ Depletion Zone

ในสภาพเช่นนี้ เมื่อมีแสงมากระทบจากทางด้านบริเวณสารพีแสงนั้นจะถูกดูด พร้อมทั้งเคลื่อนที่ไปทางบริเวณสารเอ็นแต่ที่ดีพลีชันโซนอีเลคตรอน และโฮลที่เกิดจากการดูดพลังงานจากแสงจะถูกสเปคอีเลคทริคฟิลส์ (Space Electric Field) แยกไปในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือ อีเลคตรอนไปทางด้านเอ็นและโฮลไปทางด้านพี ที่บริเวณซึ่งอยู่ห่างจากดีพลีชั่นโซนนั้น เนื่องจากไม่มีสนามไฟฟ้าอีเลคตรอน และโฮลที่เกิดจากโฟโตอิเลคทริคเอฟเฟคจะรวมตัวกันใหม่ ในระหว่างเคลื่อนที่ แต่สำหรับอีเลคตรอน และโฮลที่เคลื่อนที่เข้าไปในสเปคอีเลคทริคฟิลส์แล้วนั้น จะสามารถเข้าไปยังบริเวณตรงกันข้ามได้ ผลที่ได้ก็คือ จะเกิดแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับบริเวณของอีเลคตรอน และโฮลที่ถูกแยกขึ้นระหว่างปลายทั้งสองของสารพี และสารเอ็นถ้าหากนำวงโคจรภายนอกมาต่อกับปลายทั้งสองนี้ จะทำให้อีเลคตรอน และโฮลสามารถรวมตัวกันได้โดยผ่านวงจรภายนอก นั่นคือมีกระแสไหลนั่นเอง

กระแสที่เกิดที่ดีพลีชั่นโซนเรียกว่า "Drift Current" ส่วนกระแสที่เกิดตรงบริเวณที่อยู่ห่างจากดีพลีชั่นโซนเรียกว่า "Diffusion Current" และกระแสนี้เป็นหลักของการเปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า

สารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง

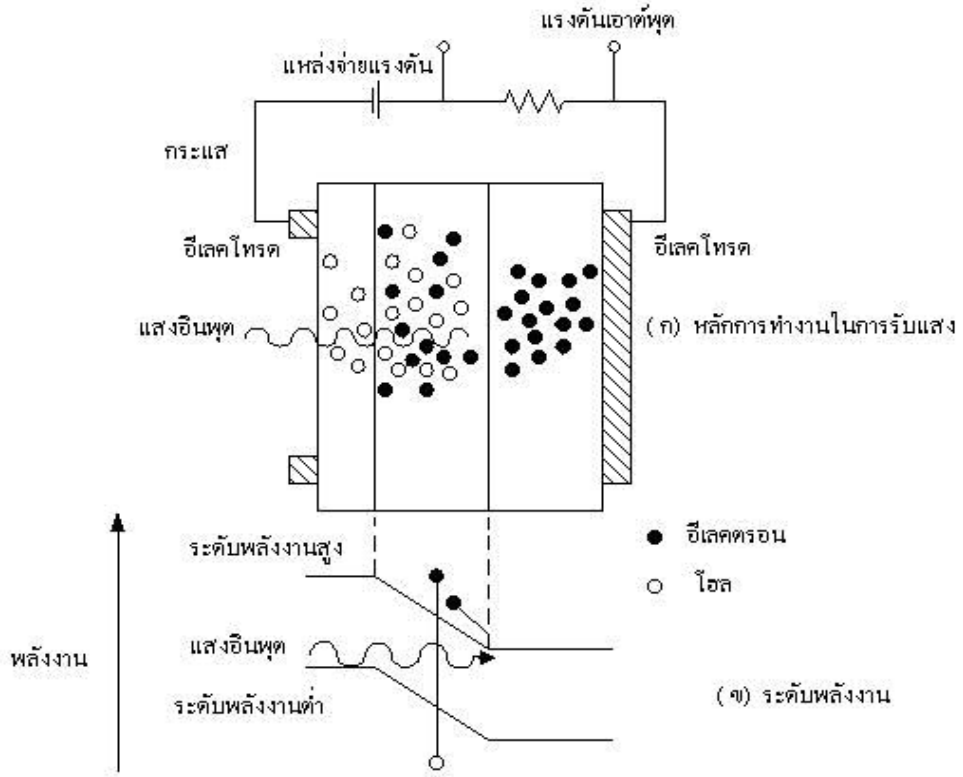
สารที่ใช้สร้างอุปกรณ์รับแสง สำหรับอุปกรณ์รับแสงก็เช่นเดียวกับอุปกรณ์กำเนิดแสงนั้น มีสารหลายชนิด นอกจากนั้นผลต่างของพลังงานของระดับพลังงานสูง และระดับพลังงานต่ำของอุปกรณ์รับแสงมีค่าแตกต่างกันทำให้มีย่านความยาวคลื่นต่างกันที่ดูดสัญญาณที่เข้ามาได้ง่าย (ความไวในการรับแสง) คุณสมบัติความไวในการรับแสงของสารแต่ละชนิด แสดงดังรูป



ภาพที่ ๑๒-๒๓ ความยาวคลื่นในการรับแสงของอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิด

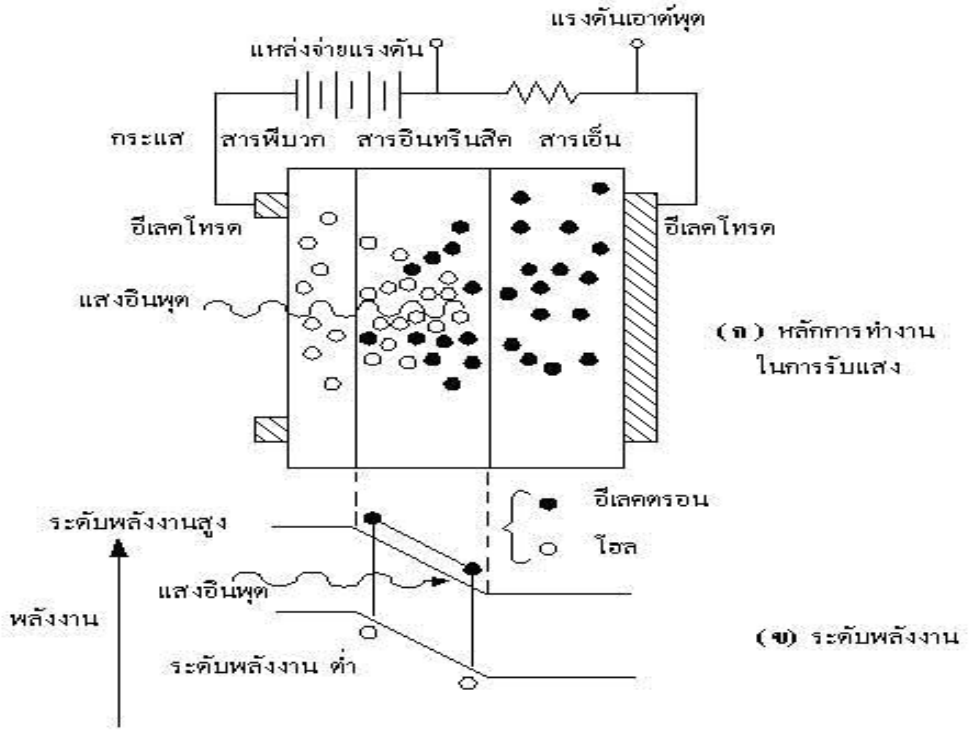
ในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงนั้น จะต้องเลือกอุปกรณ์รับแสงที่เหมาะสมกับความยาวคลื่นที่ใช้ เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสง สำหรับย่านความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า 1 ไมโครเมตร จะใช้สารซิลิกอน สำหรับย่านความยาวคลื่น ๑-๑.๗ ไมโครเมตร ใช้เจอรมันเนียมเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นในปัจจุบันสำหรับความยาวคลื่นในช่วง ๑.๕๕ ไมโครเมตร เป็นความยาวคลื่นมีการสูญเสียในเส้นใยแก้วนำแสงน้อยมาก และเป็นความยาวคลื่นที่อยู่ในวินโดส์ที่สาม (Third Window) การใช้งานอุปกรณ์รับแสงชนิดใหม่ที่ทำจากสารที่เป็นสารประกอบของสารกึ่งตัวนำอินเดียมแกลเลียมอาเซไนส์ และอื่นๆ ซึ่งมีความไวในการรับแสงดีมากนั้น กำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง ได้กล่าวถึงสเปสอีเลคทริคฟิลส์ตรงรอยต่อสารพีเอ็นที่ทำให้อีเลคตรอนและโฮลเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้าม แต่ถ้าให้แรงดันไฟฟ้ากลับทิศทางจากภายนอก กล่าวคือทางด้านพีให้ไฟลบ และทางด้านเอ็นให้ไฟบวก จะทำให้การเคลื่อนที่ของอีเลคตรอน และโฮลตรงรอยต่อที่มีอัตราเร่งเพิ่มขึ้น อุปกรณ์รับแสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำนี้แบ่งออกเป็น ๒ พวกใหญ่ๆ คือ โฟโตไดโอด (Photo Diode : PD) กับ อวาลานซ์โฟโตไดโอด (Avalanche Photo Diode : APD) พวกโฟโตไดโอดนั้นเป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณน้อย ส่วนพวกอวาลานซ์โฟโตไดโอด เป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณมาก ตัวอย่างของโฟโตไดโอด คือ พินโฟโตไดโอด (PIN-Photo Diode) ดังแสดงในภาพที่ 12-24 PIN หมายถึงว่าในระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P - Type) และชนิดเอ็น (N - Type) มีสารกึ่งตัวนำที่เรียกว่าอินทรินสิค (Intrinsic : I) คั่นอยู่ ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าดริฟเคอร์เรนส์ (Drift Current) นั้นเกิดขึ้นในดีพลีชั่นโซน และผลของสนามไฟฟ้าทำให้มีการตอบสนองเร็ว แต่ในทางตรงกันข้าม ดริฟเคอร์เรนส์ที่เกิดขึ้นภายนอกดีพลีชั่นโซนนั้น มีการตอบสนองช้า ดังนั้นถ้าความกว้างของดีพลีชั่นโซนยิ่งกว้างมากเท่าใด ประสิทธิภาพทางควอนตัม (Quantum

Efficiency)และความเร็วในการตอบสนองความถี่ยิ่งดีขึ้น ความกว้างของดีพลีชั่นโซนนี้มีความหนาแน่นของอีเลคตรอน และโฮลของสารพีและสารเอ็นยิ่งต่ำจะยิ่งกว้าง ดังนั้นสารกึ่งตัวนำแบบ I ที่คั่นกลางระหว่างสารพีกับสารเอ็น จึงมีหน้าที่เพื่อทำให้ความกว้างของดีพลีชั่นโซนกว้างขึ้นนั่นเอง เนื่องจากโฟโตไดโอดที่ใช้ในระบบการสื่อสารนั้นโดยทั่วไปต้องการความเร็วในการตอบสนองสูง ดังนั้นส่วนใหญ่จะใช้พินโฟโตไดโอด



ภาพที่ ๑๒-๒๔ หลักการทำงานรับแสง และระดับพลังงานของพินโฟโตไดโอด

อวาลานช์โฟโตไดโอดนั้นใช้ปฏิกิริยาการขยาย (Avalanche) ของอีเลคตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำเมื่อเปรียบเทียบกับโฟโตไดโอดแล้ว เป็นอุปกรณ์รับแสงที่ให้กระแสจำนวนมาก หลักการทำงานของอวาลานช์โฟโตไดโอดแสดงดังภาพที่ ๑๒-๒๕ สำหรับโครงสร้างนั้นส่วนใหญ่ทางด้านสารพีของรอยต่อพีเอ็น จะมีสารกึ่งตัวนำแบบสารพีที่มีความหนาแน่นของโฮลสูงติดอยู่ (ส่วนที่แสดงด้วยสารพีบวกในรูป) โดยการทำเช่นนี้จะทำให้สนามไฟฟ้าภายในของบริเวณใกล้ๆรอยต่อที่มีสารพีเป็นศูนย์กลางมีค่ามาก อีเลคตรอนที่ดูดแสงที่มาตกกระทบทางด้านพีบวก และถูกกระตุ้นจากระดับพลังงานต่ำไปยังระดับพลังงานสูง ในระหว่างที่มันได้รับอัตราเร่งและผ่านสารพีนั้น มันจะได้รับพลังงานจำนวนมากกว่าผลต่างของพลังงานของระดับพลังงานสูงกับระดับพลังงานต่ำ จากเหตุผลนี้ทำให้สามารถกระตุ้นอีเลคตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานต่ำ และทำให้เกิดอีเลคตรอนกับโฮลใหม่ได้ และอีเลคตรอนกับโฮลใหม่นี้ ยังถูกสนามไฟฟ้าเร่งอัตราเร่งให้อีก ทำให้เกิดอีเลคตรอนกับโฮลขึ้นมาใหม่อีก เมื่อขบวนการนี้เกิดอย่างต่อเนื่องกันนั้น จำนวนของอีเลคตรอนกับโฮลจะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากมาย เป็นผลให้เกิดการขยายที่เรียกว่า "Avalanche Multiplication" ผลนี้ทำให้เกิดกระแสถูกขยายนั่นเอง



ภาพที่ ๑๒-๒๕ หลักการทำงานของอวาลานซ์โฟโตไดโอด

คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง การเลือกอุปกรณ์รับแสงมาใช้งานจะต้องพิจารณาคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้

๑. มีความไวสูงในช่วงความยาวคลื่นที่ใช้งาน อุปกรณ์รับแสงในยุคแรกจะตอบสนองการใช้งานกับความยาวคลื่นแสงช่วงวินโดว์ที่ ๑ แต่ในปัจจุบันระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงนิยมใช้งานในช่วงวินโดว์ที่ ๒ และช่วงวินโดว์ที่ ๓ ดังนั้นอุปกรณ์รับแสงจะต้องสร้างให้สามารถตอบสนองต่อความยาวคลื่นดังกล่าวได้ดี โดยการเลือกใช้สารที่เหมาะสม

๒. ความสามารถสร้างสัญญาณไฟฟ้าจากสัญญาณแสงได้มาก ความสามารถนี้จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพทางควอนตัมของสารที่ใช้สร้าง โดยทั่วไปประสิทธิภาพทางควอนตัมจะถูกกำหนดโดยสัมประสิทธิ์การดูดกลืน (Absorption Coefficient ; a0) ของสารนั้น ค่า a0 นี้จะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น คือ สารแต่ละชนิดจะมีค่า a0 ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ไม่เท่ากัน

๓. มีความไวสูงในการตอบสนองต่อสัญญาณอินพุต เพื่อให้เหมาะสมกับแบนด์วิดท์ เนื่องจากในปัจจุบันแบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงจะมีค่าตั้งแต่หลายร้อยเมกะเฮิรตซ์ ดังนั้นอุปกรณ์รับแสงจะต้องมีความไวในการตอบสนองต่อสัญญาณอินพุตสูง เพื่อให้สามารถทำงานได้ทันกับสัญญาณอินพุตที่ได้รับ

๔. สัญญาณรบกวนต่ออุปกรณ์แสงจะต้องมีค่าต่ำ สัญญาณรบกวนที่สำคัญ ได้แก่ สัญญาณรบกวนควอนตัม (Quantum Noise หรือ Shot Noise) เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงกระแสโฟโต โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากแสงที่มาตกกระทบในบางช่วง เป็นแสงที่ไม่มีเฟสเดียวกัน หรือมีหลายความยาวคลื่น ทำให้อีเลคตรอนได้รับพลังงานไม่เท่ากัน จึงทำให้จำนวนอีเลคตรอนที่เกิดขึ้น

แตกต่างกัน ดังนั้นปริมาณกระแสโฟโตจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย สัญญาณรบกวนควอนตัมนี้จะแปรผันโดยตรงกับแรงดันไฟฟ้าที่ไบอัสกลับ

๕. มีขนาดเล็ก เพื่อให้สามารถนำอุปกรณ์ดังกล่าวมาใช้งานได้สะดวก และเชื่อมต่อกับเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งมีขนาดเล็กได้ง่าย

๖. ใช้แรงดันไบอัสต่ำ เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้า

๗. มีความเชื่อถือได้สูง อุปกรณ์รับแสงจะต้องสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง และต่อเนื่องเป็นเวลาหลายปี

๘. มีราคาต่ำ เนื่องจากในการออกแบบระบบ ปัจจัยทางด้านการเงินมักจะเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการออกแบบ

๑๒. ข้อดีของการสื่อสารระบบ Fiber Optic

๑๒.๑ ช่วงการส่งสัญญาณ (Bandwidth) กว้าง เนื่องจากความถี่ของแสงสูงมาก ทำให้ใช้แบนด์วิดธ์ได้กว้าง และสามารถส่งข้อมูลได้ด้วยอัตราส่งสูง ในทางทฤษฎีอาจได้ถึง 1014 bps ในปัจจุบันเส้นใยแก้วนำแสงสามารถใช้ส่งข้อมูลได้ประมาณ 1,000 Mbps ในระยะทาง ๑ กิโลเมตร ทั้งนี้เนื่องจากเวลาตอบสนองของโฟโต้ไดโอดต่อแสงใช้เวลา 10^{-9} วินาที ปกติแล้วเส้นใยแก้วนำแสงสามารถใช้ส่งข้อมูลเสียงได้พร้อมๆ กัน ๓๐,๐๐๐ ช่องสัญญาณ และเนื่องจากอัตราการส่งข้อมูลสูง จึงเหมาะสำหรับใช้ส่งข้อมูลเสียง ภาพ และข้อมูลดิจิตอลจากคอมพิวเตอร์ไปพร้อมๆ กันในระบบ ISDN (Inergrated Services Digital Nerwork)

๑๒.๒ ไม่มีการเหนี่ยวนำจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องจากสาย Fiber Optic ทำจากแก้วพวกซิลิกาซึ่งมีคุณสมบัติไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า ดังนั้นจึงไม่เกิดการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอก เช่น ฟ้าแลบ ฟ้าร้อง ฟ้าฝ่า สายไฟแรงสูง คลื่นโทรทัศน์ คลื่นวิทยุ เป็นต้น และเส้นใยแก้วนำแสง เป็นสารอโลหะ จึงไม่ถูกรบกาวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือสัญญาณวิทยุ ตลอดจนการสปาร์ก (Sparks) ทางไฟฟ้า ดังนั้นความผิดพลาดจะต่ำกว่า 10^{-9} ในขณะที่สายทองแดงมีอัตราความผิดพลาดประมาณ 10^{-6}

๑๒.๓ อัตราการสูญเสียในการรับ-ส่งสัญญาณต่ำ การสูญเสียในสาย Fiber Optic ในปัจจุบันค่าต่ำที่สุด คือ 0.2 db/Km (Coaxial Line หรือ สายลวดทองแดงมีการสูญเสียต่ำสุด 1 dB/Km)

๑๒.๔ เพิ่มระยะห่างของสถานีทวนสัญญาณ ระยะห่างระหว่างสถานีทวนสัญญาณ (Repeater) จะเพิ่มมากขึ้นเพราะมีอัตราการสูญเสียในสาย Fiber Optic ต่ำ เนื่องจากการสูญเสียกำลังส่งของสัญญาณ (Signal loss) ในเส้นใยแก้วนำแสงมีน้อยกว่าสายทองแดงและสายโคแอกเชียลมาก ดังนั้นจึงอาจใช้รีพีตเตอร์เพื่อทวนสัญญาณใหม่ในระยะทางที่ห่างกันได้ถึง ๒๐-๓๐ ไมล์ ในขณะที่สายทองแดงต้องใช้รีพีตเตอร์ทุกๆ 2.8 ไมล์ ในการส่งสัญญาณแบบดิจิตอล

๑๒.๕ จำนวนของสัญญาณในการรับ-ส่งมีมาก เนื่องจากในสาย Fiber Optic เพียงเส้นเดียวสามารถบรรจุช่องการสื่อสารได้เป็นจำนวนมาก จึงสามรถรับ-ส่งสัญญาณภาพ เสียง และข้อมูล (Computer Network) โดยแยกให้เห็นชัดเจนได้ คือโทรศัพท์, ข้อมูล (Computer, Radar Data) ,

เคเบิ้ลทีวี, วิดิทัศน์ (Video Conference : เป็นการประชุมระยะไกลที่ต้องส่งสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงได้พร้อมกัน)

๑๒.๖ ขนาดของสาย Fiber Optic มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา เส้นผ่าศูนย์กลางของสาย Fiber Optic มีขนาดเพียง ๒๕๐ ไมครอนเท่านั้น ดังนั้นภายในสายเคเบิล ๑ สาย จึงประกอบด้วย Fiber Optic จำนวนมาก ตัวอย่างเช่น ในสายเคเบิลประกอบด้วยสาย Fiber Optic จำนวน ๑๒ เส้น มีเส้นผ่าศูนย์กลางเพียง ๐.๔๙ นิ้ว เท่านั้น สายเคเบิลของเส้นใยแก้วนำแสงมีขนาดเล็ก และน้ำหนักเบา ทำให้สิ้นเปลืองเนื้อที่เการวางสายและติดตั้งน้อยพื่อวางสายน้อย

๑๒.๗ ไม่มีขีดจำกัดเรื่องการใช้ความถี่วิทยุ การใช้ความถี่วิทยุซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายในอากาศ และต้องได้รับการจัดสรรและควบคุมจากกรมไปรษณีย์โทรเลข ซึ่งปัจจุบันความถี่วิทยุที่ได้รับการจัดสรรเหลือน้อยแต่การสื่อสารแบบ Fiber Optic เป็นการสื่อสารโดยใช้สัญญาณแสงผ่านทาง Fiber Optic ซึ่งเป็นสาย Cable จึงไม่ต้องขออนุญาตจากกรมไปรษณีย์โทรเลข

๑๒.๘ ความปลอดภัย (Security) สูง ในทางจารกรรมข้อมูลจะทำได้เพียงวิธีเดียว คือการต่อเชื่อมสาย Fiber Optic เท่านั้น ซึ่งในทางปฏิบัติไม่สามารถกระทำได้ เนื่องจากทางด้านการส่งสัญญาณจะตรวจพบในทันทีว่า มีการสูญเสียของสัญญาณเกิดขึ้น นอกจากนี้จะไม่ถูกรบกวน (Jamming) จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

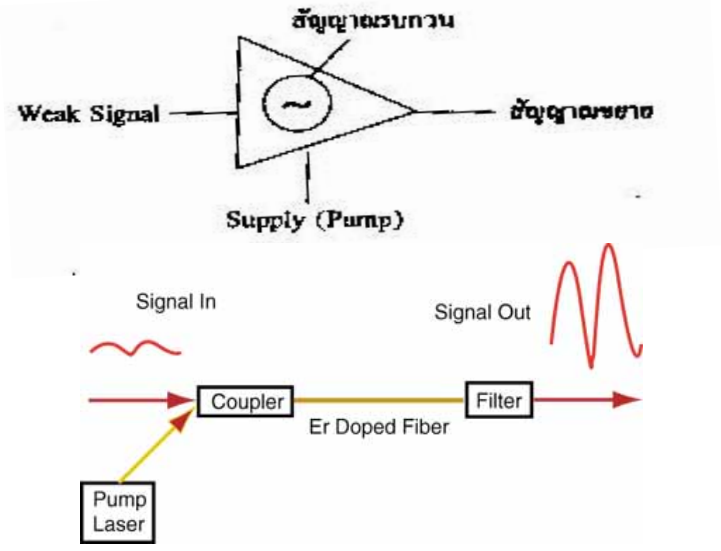
๑๒.๙ อายุการใช้งาน ระบบ Fiber Optic มีอายุการใช้งานนานถึง ๒๕ ปี ในขณะที่ระบบไมโครเวฟ และดาวเทียม มีอายุการใช้งานประมาณ ๑๕ ปี

บทที่ ๑๓
การขยายสัญญาณแสง

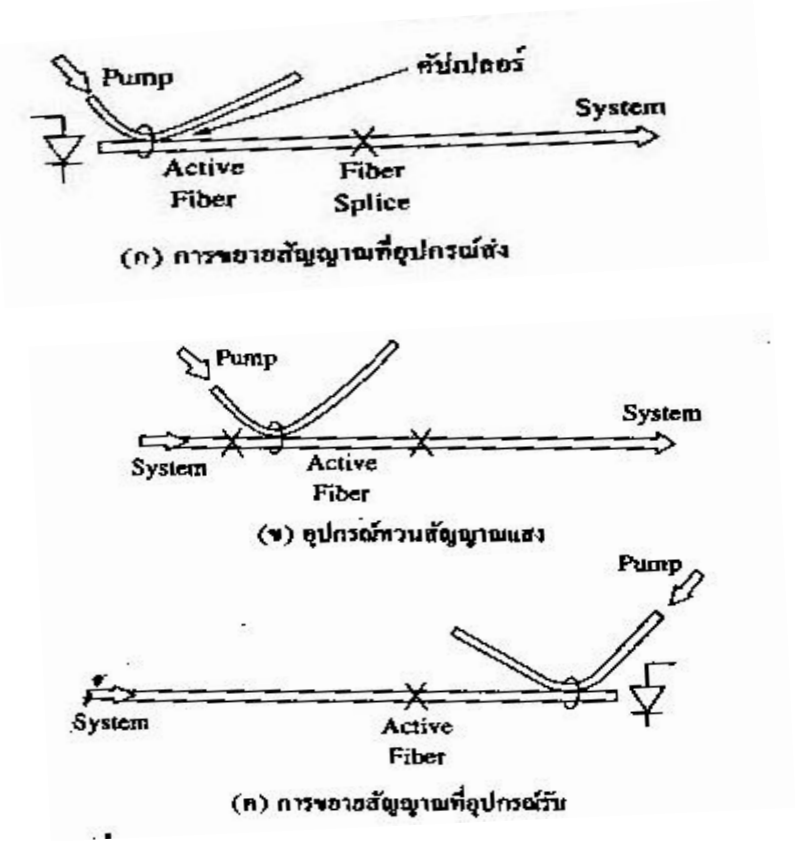
เนื่องจากงานทางด้านการสื่อสารผ่านระยะทางไกลๆ เช่น การส่งสัญญาณจากสถานีส่งไปยังอีกสถานีรับหนึ่ง ซึ่งจะมีขนาดลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นเพื่อที่จะทำให้ขนาดของสัญญาณมีค่าสูงพอที่จะให้การแปลงข้อมูลที่เครื่องรับมีได้ จึงต้องมีอุปกรณ์สำหรับขยายสัญญาณติดตั้งที่สถานีส่งและสถานีรับตามจำนวนที่จำเป็น แต่เดิมการขยายขนาดของสัญญาณจะดำเนินการโดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งจะประกอบด้วยขั้นตอนของการแปลงสัญญาณแสงไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อนำสัญญาณดังกล่าวไปขยาย และจากนั้นต้องมีการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้ากลับมาเป็นสัญญาณแสงดังเดิมเพื่อส่งผ่านกลับเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงต่อไปยังจุดหมายปลายทาง

โดยทั่วไปแล้ววงจรสำหรับขยายวงจรในเชิงอิเล็กทรอนิกส์ (ภาพที่ ๑๓-๑) จะถูกออกแบบมาให้ทำงานได้กับจำนวนความจุของข้อมูลคงที่ค่าหนึ่ง (จำนวนบิตของข้อมูลที่ส่งมีค่าคงที่ค่าหนึ่งใน ๑ วินาที) เนื่องมาจากความจำกัดในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งข้อจำกัดเช่นนี้ ไม่เหมาะสมกับสภาวะการณ์ของการเจริญทางด้านการสื่อสารข้อมูลที่ต้องการส่งมีเพิ่มมากขึ้นอย่างในปัจจุบัน

ดังนั้น เพื่อที่จะแก้ปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการพัฒนาระบบการขยายสัญญาณในเชิงแสงขึ้นมาแทน เพราะระบบนี้ไม่มีข้อจำกัดในแง่ของความจุข้อมูลมาเกี่ยวข้อง เหมือนเช่นระบบอิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าว ระบบทางแสงนี้รู้จักกันในนามของอุปกรณ์ขยายสัญญาณแสง (Optical Fiber Amplifier) แสดงในภาพที่ ๑๓-๑ และ ๑๓-๒



ภาพที่ ๑๓-๑ แสดงการขยายสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์

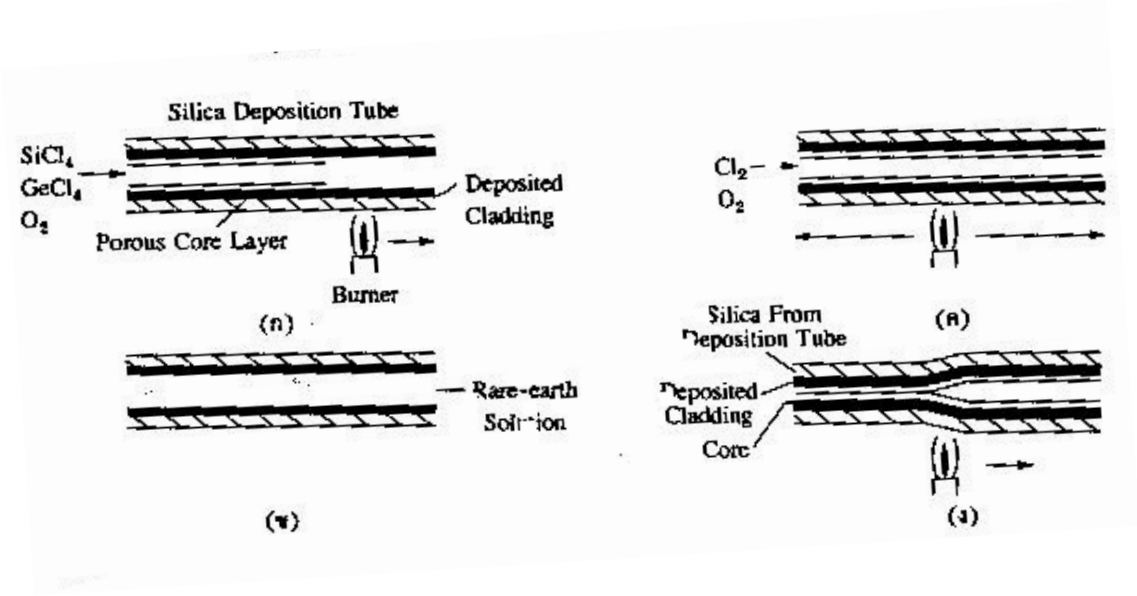


ภาพที่ ๑๓-๒ แสดงลักษณะต่างๆ ของอุปกรณ์ขยายสัญญาณทางแสง

ในการที่จะทำการวางสายเคเบิลใยแก้วใต้ทะเลนั้นปัญหาที่ประสบอยู่คือ ขีดความสามารถของตัวทวนสัญญาณ ซึ่งอาจจะต้องวางลึกลงไปใต้ทะเลถึง ๕,๐๐๐ เมตร ซึ่งก็หมายความว่าถ้าเกิดการชำรุดขึ้นนั้นจะนำมาซึ่งความสูญเสียอย่างมากทีเดียว ในปัจจุบันใช้ตัวทวนสัญญาณที่เป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีปัญหาในการเชื่อมต่อกับเส้นใยแก้วนำแสง เพราะมีการสูญเสียกำลังสัญญาณที่จุดต่อสูง การทวนสัญญาณด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์จะต้องมีส่วนที่ทำหน้าที่ปรับค่าเวลาของสัญญาณ (Retiming) เพื่อให้สัญญาณมีความถูกต้องสมบูรณ์ซึ่งมีผลทำให้ตัวทวนสัญญาณแบบนี้ไม่มีความยืดหยุ่นในการเปลี่ยนแปลงอัตราการส่งข้อมูลทำให้ระบบการสื่อสารเสื่อมประสิทธิภาพตามขีดความสามารถของตัวทวนสัญญาณ ทำให้ใช้งานได้ไม่เต็มความสามารถที่เส้นใยนำแสงจะทำได้

ดังนั้น เพื่อให้การพัฒนาระบบการสื่อสารด้วยคลื่นแสงให้ได้ประโยชน์เต็มที่จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาอุปกรณ์ที่จะมาเป็นตัวทวนสัญญาณให้มีคุณสมบัติที่เป็นอุปกรณ์ทางแสงโดยตรง ซึ่งในที่นี้เราจะเรียกอุปกรณ์นี้ว่า ตัวขยายสัญญาณแสง (Optical Amplifiers)

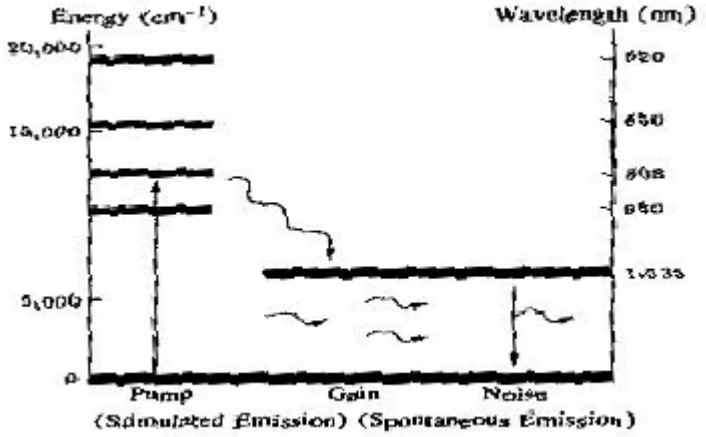
ใยแก้วเออร์เบียมโดป (Erbium Doped Amplifiers) ทำให้การเติมธาตุในกลุ่มแรร์เอิร์ท (Rare Earths) คือ นีโอไดเมียม (Neodynium) หรือ เออร์เบียม (Erbium) ที่อยู่ในรูปของออกไซค์เข้าไปในระหว่างขั้นตอนในการประดิษฐ์เส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งทำให้สิ่งประดิษฐ์ที่รู้จักกันดีในชื่อเลเซอร์ใยแก้ว (Fiber Laser) ซึ่งทำให้ปัญหาที่เคยมีกับตัวขยายสัญญาณแบบสารกึ่งตัวนำหมดไป การเติมสารเจือให้กับเส้นใยแก้วนำแสงนั้นท่อนำคลื่นที่ได้จะมีความสมมาตร และสามารถนำมาเชื่อมต่อเข้าได้กับเส้นใยแก้วนำแสงได้ดีโดยให้การลดทอนสัญญาณที่จุดต่อที่ต่ำ (ดูภาพที่ ๑๓-๓)



ภาพที่ ๑๓-๓ การสร้างใยแก้วนำแสงชนิดเออร์เบียมโดป หรือเจือสารเออร์เบียม

ในแก้วซิลิกา ดูภาพที่ ๑๓-๔ แสดงเส้นใยแก้วของเออร์เบียมโดป การดูดกลืนแสงโดยอิออนในสภาวะพื้นฐานจะทำให้อิออนขึ้นไปอยู่ในชั้นที่สูงกว่าระดับเลเซอร์ทันที ในสภาวะเลเซอร์จะมีช่วงชีวิตที่ยาว และกระทำตัวเหมือนชั้นที่สะสมอิออน โฟตอนที่มีความยาวคลื่นที่ ๑.๕๓๕ ไมโครเมตร จะถูกกระตุ้นด้วยโฟตอนที่เหมือนกัน และออกมาเป็นเลเซอร์ หรือมีการขยายสัญญาณ

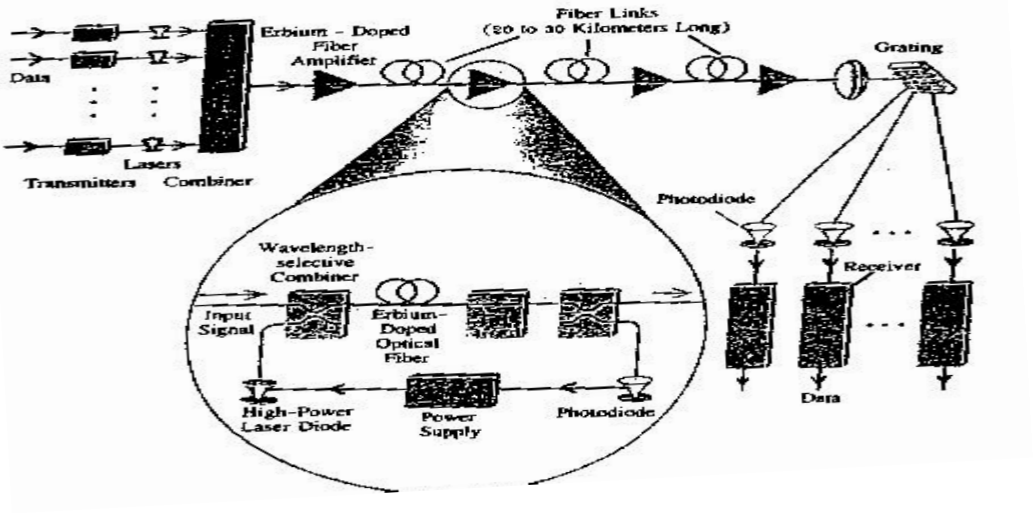
จากการสังเกตไดอะแกรมของระดับพลังงานของแถบสเปกตรัมที่จะนำมาใช้งานที่ดีที่สุดจะมีอยู่ ๒ ช่วงคือ ที่ ๙๘๐ ไมโครเมตร และที่ ๑.๔๖ – ๑.๔๙ ไมโครเมตร ซึ่งที่ ๙๘๐ ไมโครเมตร จะมีเกณฑ์ที่ 3.9 $dBmW^{-1}$ ใช้เลเซอร์ไดโอดที่เป็น GaAlAs หรือตัวกระตุ้น ส่วนที่ ๑.๔๖ – ๑.๔๙ ไมโครเมตร จะมีเกณฑ์ 2.2 $dBmW^{-1}$ ใช้เลเซอร์ไดโอดชนิด GaAsP เป็นตัวกระตุ้น



ภาพที่ ๑๓-๔ ลักษณะของระดับพลังงานของเออร์เบียม

อัตราขยายสูงสุดที่ทำได้ของตัวขยายสัญญาณแบบนี้ตามที่มีการรายงานไว้ทำได้ถึง 46.5 dB โดยที่การกระตุ้นที่พลังงาน 133 mW ที่ ๑.๔๘ ไมโครเมตร และอัตราขยายที่ 25-40 dB สำหรับพลังงานที่ 40-100 mW ที่ ๑.๔๘ ไมโครเมตร และ 6-20 mW ที่ ๙๘๐ ไมโครเมตร การที่ตัวขยาย

สัญญาณแบบนี้มีค่าการสูญเสียเนื่องจากรอยต่อที่ต่ำ ทำให้อัตราขยายที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงเมื่อนำไปใช้งาน แต่ค่าแบนด์วิดท์ทางแสงมีค่าที่จำกัดมากกว่าตัวขยายของสัญญาณแบบสารกึ่งตัวนำ (๓-๑๐ นาโนเมตร) แต่ปัญหาใหญ่เกิดจากการที่มีค่าแบนด์วิดท์ทางแสงที่แคบ ทำให้มีค่าอิ่มตัวของเอ้าท์พุตต่ำ ที่ต่ำ -5 ถึง +3 dB



ภาพที่ ๑๓-๕ การใช้งานใยแก้วนำแสงขยายสัญญาณ

ใยแก้วเออร์เบียมโดป มีข้อดีเหมาะสมสำหรับนำมาใช้งาน เนื่องจากให้อัตราขยายสูง มีสัญญาณรบกวนต่ำ และไม่มีผลรบกวนเรื่องโพลาไรซ์ แต่ก็มีข้อเสียในเรื่องของช่องความกว้างของช่องการสื่อสาร (Optical Bandwidth) ที่แคบและมีค่าเอ้าต์พุทที่อิ่มตัวที่ต่ำ รูปที่ ๑๓-๕ แสดงการใช้อุปกรณ์ใยแก้วขยายสัญญาณ ส่วนในระบบสื่อสารใยแก้ว เพื่อลดการใช้อุปกรณ์ทวนสัญญาณ และข้อจำกัดจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงนั่นเอง

๑. อุปกรณ์ขยายสัญญาณแสงในเส้นใยแก้ว (Optical Fiber Amplifier)

แอมปริฟลายเออร์ (Amplifier) ในระบบสื่อสารด้วยแสงที่ใช้เส้นใยแก้ว (Optical Fiber) เป็นสายส่งสัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งออกไปจากสถานีต้นทางไปยังผู้รับ หรือสถานีปลายทาง จะมีความแตกต่าง จากข้อมูลเริ่มต้นอยู่ ๒ ประการหลัก คือ

๑.๑ ขนาดของข้อมูลจะเล็กลง นั่นคือ ค่าความเข้มแสง (Optical Intensity) หรือกำลังความสว่างของแสงที่ได้รับจะมีค่าน้อยกว่าค่าเริ่มต้น เช่น สมมติให้ข้อมูลที่ส่งออกมาจากกรุงเทพมีค่าความเข้มแสง ๑๐๐ มิลลิวัตต์ เมื่อแสงเดินทางผ่านเส้นใยแก้วไปยังเพชรบุรี ค่าความเข้มแสงที่รับได้อาจมีค่าลดลงเหลือเพียง ๑๐ มิลลิวัตต์ เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องมาจากคุณสมบัติในการลดทอนสัญญาณ (Attenuation) ของเส้นใยแก้วเอง เส้นใยแก้วที่มีค่าการลดทอนสูง (เช่น 1 dB/km) ย่อมทำให้ค่าความเข้มแสงลดลงได้มากกว่าเส้นใยแก้วที่มีค่าการลดทอนต่ำ (เช่น 0.3 dB/km) เมื่อเส้นใยแก้วมีขนาดความยาวเท่ากัน

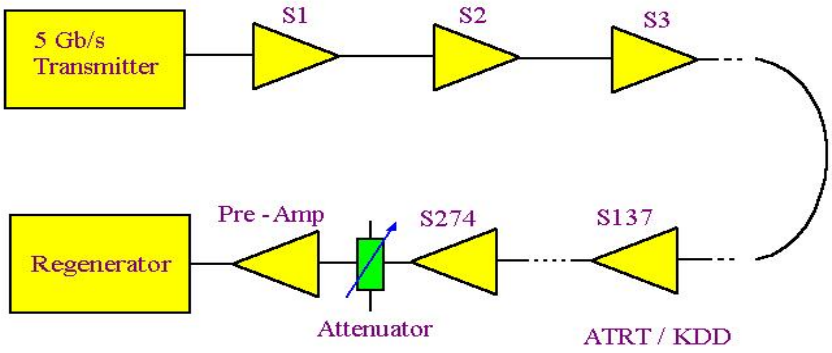
๑.๒ ความกว้างของข้อมูลพัลส์ในระบบดิจิตอล จะมีขนาดกว้างขึ้นมากกว่าเดิม (Dispersion) ในเส้นใยแก้ว เช่น ข้อมูลส่งที่มีความกว้างพัลส์เพียง ๑๐ นาโนวินาที อาจมีความกว้างพัลส์เพิ่มขึ้นเป็น ๑๕ นาโนวินาที เมื่อต้องเดินทางไปในเส้นใยแก้วเป็นระยะทางหนึ่ง เป็นต้น โดยค่าความกว้างพัลส์ที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าแปรผันตรงกับความยาวของเส้นใยแก้ว กล่าวคือ ยิ่งเส้นใยแก้วมีความยาวมากขึ้นเท่าไร ก็ยิ่งทำให้พัลส์มีขนาดกว้างเพิ่มขึ้น เท่านั้น การที่สัญญาณพัลส์ของแสงที่ปลายทางที่ขนาดความกว้างมากๆ จะส่งผลให้อัตราการส่งข้อมูลหรือบิตเรต (Bit Rate) มีขนาดลดลงไปด้วย เมื่อบิตเรตมีค่าน้อยก็จะส่งข้อมูลได้น้อย

๒. สถานีทวนสัญญาณ หรือรีพีตเตอร์ (Repeater)

หากเราต้องการออกแบบและติดตั้งระบบสื่อสารด้วยแสงที่ใช้เส้นใยแก้วนำแสงเป็นสายส่งเชื่อมโยงระหว่างสถานีระยะห่างระหว่างผู้ส่งและผู้รับ (ถ้าจะให้ถูกต้องควรหมายถึงขนาดความยาวของเส้นใยแก้ว) ต้องอยู่ในระยะที่มีค่าเหมาะสม เพื่อที่ผู้รับยังสามารถรับรู้ข้อมูลและมีความเข้าใจได้อย่างถูกต้อง แม้ว่าข้อมูลที่ได้รับจะมีรูปร่างผิดเพี้ยนไปจากข้อมูลเดิม ทั้งขนาดความกว้างพัลส์และค่าความเข้มแสง ถ้าระยะทางไกลเกินไปสัญญาณจะมีความผิดเพี้ยนมากขึ้น จนกระทั่งผู้รับไม่เข้าใจข้อมูลเดิม เพราะไม่สามารถตีความให้ถูกต้องได้ แต่ในความเป็นจริงระยะห่างระหว่างสถานีต้นทางและปลายทางมักมีค่าแน่นอน (เช่น ระยะห่างระหว่างเมืองสองเมือง) และอาจมีค่ามากกว่าระยะทางที่เหมาะสมในการใช้งานเส้นใยแก้ว จึงต้องทำการแก้ปัญหาโดยการเพิ่มสถานีทวนสัญญาณหรือรีพีตเตอร์ (Repeater) เข้าไประหว่างสถานีเพื่อทำหน้าที่จัดรูปแบบ สัญญาณที่ผิดเพี้ยนไป (แต่ยังคงเข้าใจได้) ให้กลับคืนสู่รูปแบบเดิมทั้งขนาดความกว้างพัลส์และค่าความเข้มแสง แล้วทำการส่งออกไปใหม่เสมือนกับการย่นระยะของสถานีส่งให้อยู่ใกล้เข้ามานั่นเอง ทำให้ผู้รับสามารถรับข้อมูลได้ถูกต้อง ในช่วงระยะห่างระหว่างสถานีอาจมีสถานีทวนสัญญาณอยู่หลายสถานี โดยทั่วไปในระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงระยะห่างระหว่างสถานีทวนสัญญาณมีค่าประมาณ ๑๐-๕๐ กิโลเมตร (ในระบบโทรศัพท์ด้วยสายส่งทองแดงระยะนี้มีค่าประมาณ ๒-๘ กิโลเมตร เท่านั้น)

หลักการทำงานของสถานีทวนสัญญาณ ในระบบสื่อสารด้วยแสงที่เป็นอยู่เดิม แสดงได้ด้วยบล็อกการทำงานสถานีทวนสัญญาณตามรูป ซึ่งจะใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำการแปลงสัญญาณแสงกลับให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าก่อน แล้วจึงทำการจัดรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าให้มีลักษณะเหมือนข้อมูลเดิม (Reform Signal) จากนั้นทำการเปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้ากลับไปเป็นสัญญาณแสง แล้วส่งออกไปสู่เส้นใยแก้วอีกทีหนึ่ง ซึ่งการทำงานทั้งหมดในสถานีทวนสัญญาณ จะใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั้งสิ้น หากเราลองคิดเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณแสงกับสัญญาณไฟฟ้า ก็คงจะพอเดาได้ว่าแสงต้องมีความเร็วมากกว่าไฟฟ้าอยู่แล้ว ดังนั้นระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้อยู่ในสถานีทวนสัญญาณแบบนี้จึงเป็นตัวที่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะจะทำให้ความเร็วในการส่งข้อมูลหรือบิตเรตมีค่าลดลงไปจากที่ควรจะเป็น ปัญหาอีกประการหนึ่ง ก็คือ หากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ผิดพลาดทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลต่อไปยังปลายทางได้ ผู้ใช้อาจเกิดความสับสนว่าระบบส่ง ระบบรับ หรือ สถานีทวนสัญญาณกันแน่ ที่เป็นปัญหาจึงต้องมีสวิตซ์ตัดเข้าสู่เส้นใยแก้วในลักษณะบายพาส (By Pass) ที่สถานีทวนสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์เมื่อเกิดมีปัญหาขึ้น ซึ่งลักษณะเช่นนี้ผู้รับยังคงสามารถรับสัญญาณแสงได้ แต่อาจไม่สามารถเข้าใจความหมายของข้อมูลได้

เพราะสัญญาณจะผิดเพี้ยนไปมากแน่นอน แต่ผลลัพธ์เช่นนี้ก็ทำให้ผู้ใช้เข้าใจได้ทันทีว่าเกิดความผิดพลาดขึ้นที่สถานีทวนสัญญาณ



ภาพที่ ๑๓-๖ แสดงบล็อกการทำงานสถานีทวนสัญญาณ

๓. สถานีทวนสัญญาณแสง Fiber Amplifier

การที่จะทำให้บิตเรต หรือความเร็วในการส่งข้อมูลมีมากขึ้น ต้องทำให้ข้อมูลแสงเดินทางจากผู้ส่งไปถึงยังผู้รับได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการขัดจังหวะ กล่าวคือ ข้อมูลแสงต้องไม่มีการถูกเปลี่ยนกลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าในระหว่างการเดินทาง ในขณะเดียวกันขนาดและรูปแบบของสัญญาณข้อมูลจะต้องถูกปรับปรุงให้มีลักษณะใกล้เคียงกับข้อมูลเดิมอยู่เสมอด้วย ซึ่งด้วยเทคโนโลยีปัจจุบันสามารถกระทำได้โดยใช้อุปกรณ์ขยายสัญญาณแสงด้วยแสงในเส้นใยแก้ว หรือออปติคอลไฟเบอร์แอมปลิฟลายเออร์ เป็นสถานีทวนสัญญาณ

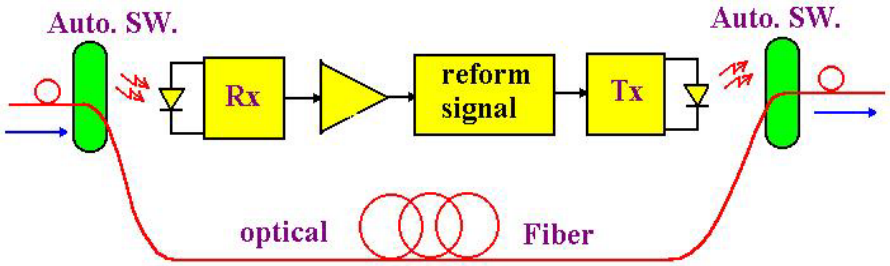
หลักการทำงานของ Fiber Amplifier อาศัยหลักการพื้นฐานทางฟิสิกส์ที่ใช้การกระตุ้นพลังงานจากภายนอกเข้าไปในสสาร แล้วทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในอะตอมของมันเกิดการเปลี่ยนแปลง แต่เนื่องจากธรรมชาติของอิเล็กตรอน มันจะไม่สามารถดำรงอยู่ในสภาวะอื่นที่ไม่ใช่สภาวะเดิมของมันได้ จึงต้องหาทางกลับของมัน และจากการที่อิเล็กตรอนได้รับพลังงานกระตุ้นจากภายนอกที่ป้อนให้ก่อนหน้านั้น มันจึงต้องคายพลังงานส่วนเกินนั้นออกมาในรูปของพลังงานแสงที่มีความยาวคลื่นขึ้นอยู่กับชนิดและคุณสมบัติของสสารเพื่อทำให้อิเล็กตรอนกลับสู่สภาวะเดิมได้ หากเราเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมพลังงานส่วนเกินที่อิเล็กตรอนคายออกก็จะกลายเป็นพลังงานของแสงตามที่เราต้องการ วัสดุที่สามารถเปล่งแสงสีเดียวกับแสงที่ใช้ในระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วในกระบวนการของ Fiber Amplifier มีหลายชนิดเช่นสารเออร์เบียม (Erbium) จะให้แสงออกมาในช่วงความยาวคลื่น ๑.๕๕ ไมครอน และสารนีโอดีเมียม (Neodymium) จะให้แสงออกมา ในช่วงความยาวคลื่น ๑.๓๓ ไมครอน เป็นต้น

ในทางปฏิบัติเส้นใยแก้วชนิดพิเศษจะถูกสร้างขึ้นให้มีส่วนประกอบของสารเหล่านี้อยู่ในส่วนของคอร์ของเส้นใยแก้ว เช่น หากเลือกใช้สารเออร์เบียมผสมกับเนื้อแก้วของเส้นใยแก้วจะเรียกว่า Erbium-Doped Fiber หรือ EDF ซึ่งโครงสร้างทางกายภาพจะมีลักษณะเช่นเดียวกับเส้นใยแก้วธรรมดาทั่วไป และเมื่อนำ EDF มาใช้ในการขยายสัญญาณแสงจะเรียกว่า Erbium-Doped Fiber Amplifier หรือ EDFA แสงที่เดินทางผ่านเส้นใยแก้ว EDF จะมีพฤติกรรมเหมือนเดินทางในเส้นใยแก้วทั่วไปคือเกิดการลดทอนสัญญาณและเกิด Dispersion ตามปกติ โดยจะไม่มีการ

เปลี่ยนแปลงใดๆ กับสัญญาณข้อมูล แต่ถ้าทำการกระตุ้นเส้นใยแก้วพิเศษนี้ด้วยการป้อนพลังงานแสงที่เหมาะสมให้กับ EDF ข้อมูลแสงที่เดินทางผ่านเข้าไปจะถูกทำให้มีพลังงานเพิ่มมากขึ้นอันเนื่องมาจากการรวมกันทางความเข้มแสงของสัญญาณเดิมที่นำข้อมูล กับสัญญาณแสงที่เปล่งออกมาใหม่จากการกระตุ้นพลังงานเข้าไป ซึ่งแสงทั้งสองต้องมีขนาดความยาวคลื่นที่ตรงกัน จึงเสมือนกับการขยายสัญญาณข้อมูล แสงที่เดินทางในระบบสายส่งให้มีความเข้มแข็งแสงเพิ่มขึ้น พร้อมที่จะเดินทางไปในระยะทางที่ไกลออกไปได้

โครงสร้างของสถานีทวนสัญญาณแสงที่ใช้ EDF แทรกเข้าไปในระบบสายส่งข้อมูลแสงในระบบสื่อสารที่มีความยาวคลื่น ๑.๕๕ ไมครอน จะเดินทางผ่านคับเปลอร์เส้นใยแก้ว (Fiber Coupler) ในขณะที่สัญญาณอินพุตอีกทางหนึ่งของคับเปลอร์เส้นใยแก้ว จะถูกป้อนด้วยแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นประมาณ ๙๘๐ นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมในการกระตุ้น EDF แสงทั้งสองที่เดินทางรวมกันออกจากคับเปลอร์ในช่วงของเส้นใยแก้วธรรมดาจะไม่มีอะไรเกิดขึ้น ข้อมูลแสงเดิมก็ยังคงมีความเข้มแสงไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อแสงเดินทางผ่านเข้าไปในส่วนของ EDF แสงที่มีความยาวคลื่น ๙๘๐ นาโนเมตร จะกระตุ้นอิเล็กตรอนให้มีพลังงานที่สูงขึ้น เรียกว่าเป็นการปั๊ม (Pump) และเมื่ออิเล็กตรอนคายพลังงานออกมา จะขึ้นอยู่กับขนาดความยาวที่เหมาะสมค่าหนึ่งเท่านั้นอุปกรณ์ Optical Isolator ที่เห็นในรูปทำหน้าที่ควบคุมทิศทางของแสงให้เดินทางไปในทิศทางที่ต้องการ จะมีหรือไม่มีก็ได้แล้วแต่สภาพโดยรวมของระบบและการใช้งาน

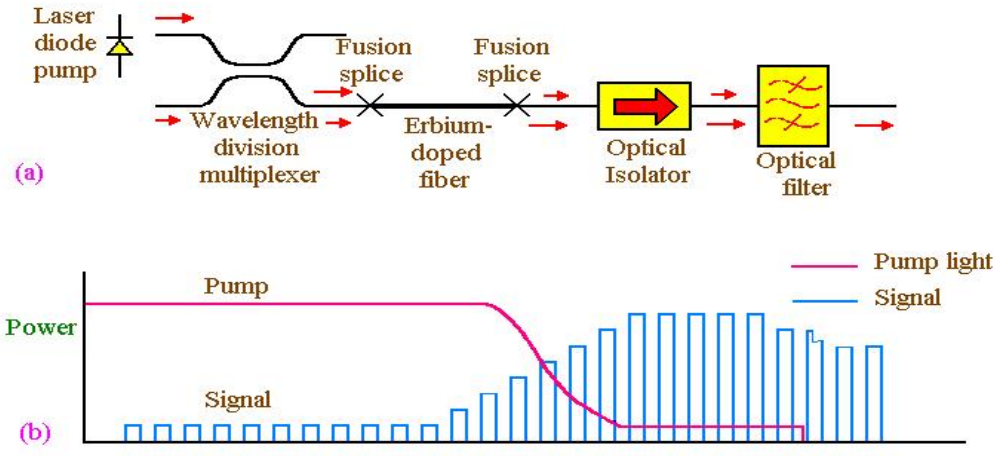
การใช้งานของอุปกรณ์ขยายสัญญาณแสงด้วยแสง หรือ EDFA ช่วยให้ความเร็วในการส่งข้อมูลทางแสงเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะจะช่วยลดปัญหาความเข้มแสงของสัญญาณที่ถูกลดทอนจากเส้นใยแก้ว ได้เป็นอย่างดี แต่อุปกรณ์นี้ยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาการเกิดดิสเพอร์ชั่นที่ทำให้เกิดการบานออกของสัญญาณพัลส์ได้ ซึ่งในกรณีหลังนี้การแก้ไขปัญหาทำได้โดยการเลือกสีของแสงเฉพาะที่มีความยาวคลื่นแสง ๑.๓ และ ๑.๕๕ ไมครอน เป็นตัวนำข้อมูลโดยปรกติแสงที่มีความยาวคลื่น ๑.๓ ไมครอน เป็นช่วงที่ทำให้เส้นใยแก้วมีค่าการลดทอนสัญญาณและค่าดิสเพอร์ชั่นต่ำทำให้การบานออกของสัญญาณพัลส์น้อยมาก แม้ว่าจะส่งข้อมูลไปในระยะทางไกลก็ตาม สำหรับแสงที่มีความยาวคลื่น ๑.๕๕ ไมครอน จะทำให้เส้นใยแก้วมีค่าการลดทอนสัญญาณน้อยลงไปอีก (เมื่อเทียบกับเส้นใยแก้วเส้นเดียวกัน) แต่ค่าดิสเพอร์ชั่นจะสูง จึงต้องใช้เส้นใยแก้วชนิด DSF (Dispersion-Shifted Fiber) ซึ่งถูกออกแบบให้ค่ามีค่าดิสเพอร์ชั่นต่ำมากที่ความยาวคลื่น ๑.๕๕ ไมครอน ในระบบสื่อสารปัจจุบันและอนาคต จะเลือกใช้ขนาดความยาวคลื่น ๑.๕๕ ไมครอน แทน ๑.๓ ไมครอน ส่วนใหญ่ การเปลี่ยนแปลงระบบไปจากเดิมทันทีทำให้ต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายมาก เพราะระบบรับส่งแสงที่ความยาวรักษาสภาวะของตัวมันจะได้แสงที่มีความยาวคลื่น ๑.๕๕ ไมครอน เมื่อรวมกับข้อมูลแสงที่มีความยาวคลื่นเท่ากัน ก็จะทำให้สัญญาณพัลส์แสงมีค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้นตามความยาวของ EDF และสามารถเดินทางเข้าไปในเส้นใยแก้วธรรมดาที่เป็นสายส่งได้ต่อไป ในขณะเดียวกันพลังงานของแสงที่นำมาปั๊ม (ที่ ๙๘๐ นาโนเมตร) ก็จะมีค่าลดลงและจางหายไปในที่สุด อย่างไรก็ตามขนาดความยาวของ EDF ที่มีค่ามากๆ มิได้หมายความว่าจะทำให้ความสามารถในการขยายสัญญาณแสง มีค่าเพิ่มขึ้นเสมอ จึงมีการออกแบบเส้นใยแก้วที่เรียกว่า Dispersion-Flattened Fiber ซึ่งเป็นเส้นใยแก้วที่มีค่าดิสเพอร์ชั่นต่ำ ทั้งในช่วงของความยาวคลื่นแสงที่ ๑.๓๓ และ ๑.๕๕ ไมครอน ทำให้ระบบเดิมยังคงสามารถใช้งานได้



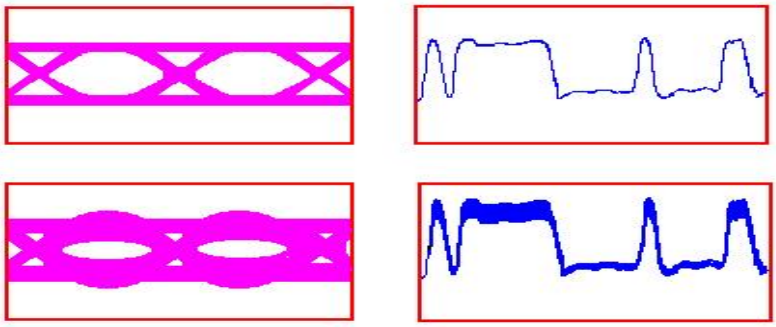
ภาพที่ ๑๓-๗ แสดงโครงสร้างของสถานีทวนสัญญาณแสงที่ใช้ EDF

๔. ระบบสื่อสารที่ใช้ EDF

ระบบสื่อสารแบบดิจิตอลด้วยเส้นใยแก้ว ที่ทดลองโดย AT&T ร่วมกับ KDD เมื่อหลายปีมาแล้ว โดยทำการทดลองส่งข้อมูลขนาด 5 Gb/s (ระบบที่ดีที่สุดในบ้านเรามีบิตเรตประมาณ 565 Mb/s เท่านั้น) ด้วยการเข้ารหัสแบบ NRZ (Non-Return to Zero) เป็นระยะทาง ๙๐๐๐ กิโลเมตร โดยใช้สถานีทวนสัญญาณแสงที่เป็น EDFA ถึง ๒๗๔ ตำแหน่ง (ระยะห่างระหว่างสถานีทวนสัญญาณหรือ Repeater Spacing ประมาณ ๓๒ กิโลเมตร) เมื่อทำการวัดสัญญาณข้อมูลที่ปลายทางเทียบกับข้อมูลเดิมที่ส่งจากต้นทางดังแสดงในรูปด้านล่าง จะเห็นว่าข้อมูลที่รับได้ยังถือว่ามีลักษณะที่ดี ไม่ว่าจะเป็นรูปสัญญาณหรือการแสดงด้วย Eye Diagram ปัจจุบัน Optical Fiber Amplifier โดยเฉพาะที่เป็น EDFA เริ่มถูกนำมาใช้ในระบบปัจจุบันมากขึ้น ข้อดีของ EDFA นอกเหนือจากการทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงแล้ว ยังลดความซับซ้อนทางด้านเทคนิค เพราะโครงสร้างของ EDFA ไม่มีความยุ่งยาก สามารถออกแบบให้เป็นแพ็กเกจเดียวที่มีขนาดเล็กลงได้ เมื่อเทียบกับระบบอิเล็กทรอนิกส์เดิมที่ประกอบด้วยแผงวงจรขนาดที่ใหญ่กว่า ซึ่งในอนาคตสถานีทวนสัญญาณของระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วจะเป็นการทำงานเชิงแสงทั้งหมด



ภาพที่ ๑๓-๘ แสดงระบบสื่อสารดิจิตอลด้วยเส้นใยแก้วที่ใช้ EDFA ระยะทาง ๙๐๐๐ กิโลเมตร



ภาพที่ ๑๓-๙ รูปสัญญาณดิจิตอลขนาด 5 Gb/s และ Eye Diagrams

หมายเหตุ

๑. ดิสเพอร์ชั่น (Dispersion) เป็นปรากฏการณ์ที่ทำให้พัลส์แสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วเกิดการบานออก คือมีขนาดความกว้างพัลส์เพิ่มมากขึ้น ตามระยะทางที่แสงเดินทางในเส้นใยแก้ว

๒. คับเปลอร์เส้นใยแก้ว (Fiber Coupler) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แยกสัญญาณแสงจากเส้นใยแก้วเส้นหนึ่ง ออกไปเป็นหลายทางในเส้นใยแก้วเส้นอื่น หรือทำหน้าที่รวมสัญญาณแสงจากเส้นใยแก้วหลายเส้นให้เดินทางรวมกันไปในเส้นใยแก้วที่กำหนดด้านขาออก

บทที่ ๑๔
หัวต่อ (Connectors) และสายเชื่อมต่อ (Patch Cord)

หัวต่อมีหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างเส้นใยนำแสงสองเส้น หรือระหว่างเส้นใยนำแสง กับแหล่งกำเนิดแสง หรือระหว่างเส้นใยนำแสง กับดีเท็กเตอร์ทำหน้าที่ต่อ หรือปลดสายออกจากกัน ซึ่งส่วนใหญ่ใช้กับสายที่ออกจากเครื่องมือ สายเดินในบอร์ด หรือสายคัพเปลอร์ในระบบ LAN เมื่อมีหัวต่อในวงจรจะเกิดการสูญเสียในแต่ละจุดที่ใช้หัวต่อ แต่จำนวนหัวต่อที่ต้องใช้นั้นอย่างน้อยที่สุดก็ต้องมีสองจุด คือ ที่เครื่องส่ง 1 ตัว และเครื่องรับ 1 ตัว และถ้ามีความจำเป็นถ้าใช้สายเชื่อมต่อหรือเดินในแผง จำนวนหัวต่อก็จะเพิ่มขึ้นอีก ดังนั้นการลดจำนวนหัวต่อให้น้อยที่สุดก็จะช่วยลดการสูญเสียพลังงานของแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ หัวต่อส่วนใหญ่จะมีค่าสูญเสียอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.7 เดซิเบล ทั้งนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของเส้นใยนำแสงที่ใช้และวิธีการต่อ ค่าต่อไปนี้เป็นค่าเฉลี่ยโดยทั่วไปที่ไม่ได้จากการต่อแบบสุ่มจากเส้นใยนำแสงหลายขนาดหลายชนิด และจากผู้ผลิตต่างบริษัท ค่าการสูญเสียต่างๆ คิดเทียบออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ดังนี้

ตารางที่ ๑๔-๑ ค่าการสูญเสียเปรียบเทียบออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์

ค่าการสูญเสีย (dB)	เปอร์เซ็นต์สูญเสีย
0.05	1 %
0.09	2 %
0.23	5 %
0.50	10 %
1.00	20 %

หัวใจในการออกแบบหัวต่อที่จะให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุด คือ

๑. ปลอกที่สอดสายเส้นใยนำแสงเข้าไปนั้น ต้องมีขนาดพอดีๆ กับขนาดความโตภายนอกของตัวแกนเส้นใยนำแสง

๒. ระหว่างหัวต่อสองอันการเยื้องศูนย์จะต้องไม่เกิน 1 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ ของขนาดของแกนเส้นใยนำแสง และเปอร์เซ็นต์ของมุมชนกันของแกนเส้นใยนำแสงจะต้องน้อยกว่าเปอร์เซ็นต์การเยื้องศูนย์ การยึดกันของหัวต่อต้องไม่ฟิตเกินไป จนทำให้หน้าสัมผัสเกิดการสึกหรอ หรือมีรอยขีดข่วน

๓. หน้าผิวสัมผัสระหว่างหัวต่อจะต้องไม่มีช่องว่าง ซึ่งจะทำให้เกิดแสงสะท้อนกลับ แต่จะป้องกันผิวปลายสายไม่ให้เกิดการขีดข่วนทั้งหมดนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของอุปกรณ์ของแต่ละบริษัทผู้ผลิต ซึ่งต้องนำปัญหาต่างๆ มาคิดด้วยรวมทั้งต้นทุนการผลิต ในระบบทางไกล โดยทั่วไปแล้วใช้หัวต่อเพียงอันเดียวก็พอ และเหมาะสมกว่าส่วนการเดินสายเคเบิลในอาคารจะใช้หัวต่อที่แตกต่างออกไป คุณภาพและมาตรฐานของหัวต่อที่ใช้ในอาคารมักจะนิยมชนิดเอสที (ST) และชนิดเอสซี (SC)

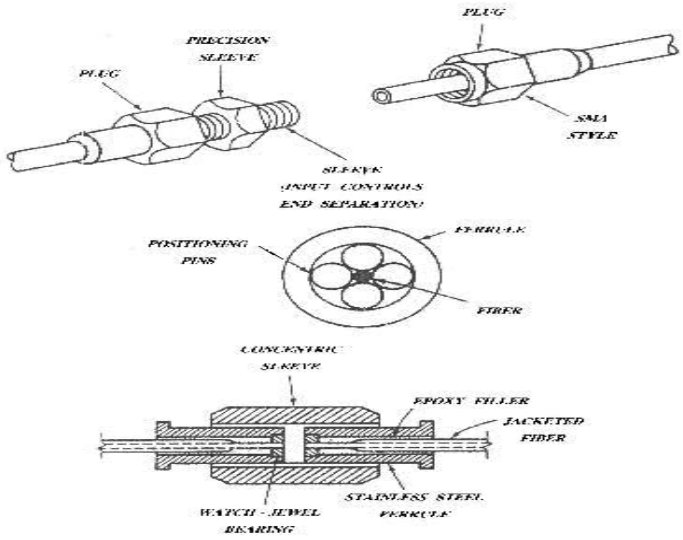
ชนิดของหัวต่อ (Connector Type)

๑. หัวต่อชนิดยืดหยุ่นได้

หัวต่อชนิดนี้เป็นหัวต่อที่ทำด้วยพลาสติกใช้ได้ทั้งแบบมัลติโหมด และซิงเกิลโหมด หัวที่ชนกันทำเป็นลักษณะปลายเรียว ซึ่งเป็นของบริษัทแอมป์ (Amp) ตัวหัวต่อจริงๆ ทำด้วยพลาสติกที่ยืดหยุ่นได้ แต่ปลอกที่สวมหุ้มหัวนั้นทำด้วยโลหะเพื่อรับแรง ปลายสานที่ชนกันนั้นจะอยู่ในปลอกหุ้ม ซึ่งประกอบด้วยหัวแกนเอียง (Taper) โดยใช้เกลียวยึดกัน

๒. หัวต่อชนิดเอสเอ็มเอ (SMA)

หัวต่อชนิดนี้เป็นที่นิยมมาก หัวต่อเป็นน๊อตหกเหลี่ยม และนิยมใช้กับสายเคเบิลแบบมัลติโหมด การออกแบบและประกอบหัวต่อชนิดนี้ทำได้ง่ายกว่าชนิดอื่นๆ การออกแบบหัวต่อชนิดเอสเอ็มเอ ขึ้นอยู่กับความเที่ยงตรงของปลอกที่บังคับหน้าสัมผัส และวิธีการออกแบบนี้ ก็ขึ้นอยู่กับเทคนิคผู้ผลิตแต่ละบริษัท

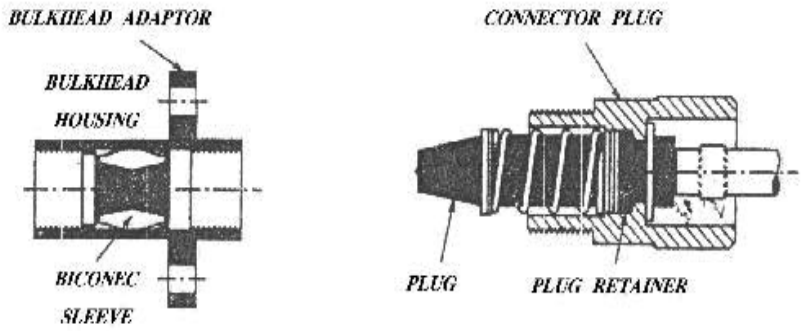


ภาพที่ ๑๔-๑ หัวต่อชนิดเอสเอ็มเอ (SMA)

๓. หัวต่อชนิดไบคอนิค (Biconic Connector)

หัวต่อแบบไบคอนิคเป็นตัวต่ออีกแบบหนึ่งที่นิยมใช้มากกับสายเคเบิล ทั้งแบบซิงเกิลโหมดและมัลติโหมด หัวต่อเป็นพลาสติกหล่อแข็ง และกลึงเป็นลักษณะคล้ายรูปกรวย โดยมีปลอกโลหะเป็นตัวบังคับให้แกนปลายเส้นใยนำแสงอยู่ในแนวแกนที่ชนกันพอดี หัวต่อชนิดนี้มีหัวเสียบที่มีรูปคล้ายกรวย และเจาะรูตรงกลางเพื่อให้เส้นใยนำแสงแบบมัลติโหมด หรือซิงเกิลโหมดผ่านทั้งหัวเสียบและรูเสียบ จะยึดติดกันพอดีเมื่อเวลาประกอบกันเข้า และปลายสายจะต้องขัดให้ดีเพื่อให้ได้หน้าสัมผัสที่สุดไม่ให้พลังงานแสงเกิดการสูญเสียหัวต่อ ชนิดนี้บริษัทเบลล์แลบ (Bell Laboratory) เป็นผู้ผลิต หัวต่อชนิดนี้มีขายสำหรับใช้กับเส้นใยนำแสงเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกขนาด 125, 140, 250 และ 400 ไมโครเมตร และมีค่าอินเซอร์ชั่นลอส (Insertion Loss) ของทั้งซิงเกิลโหมด

และมัลติโหมด อยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 1.1 เดซิเบล ขึ้นอยู่กับลักษณะการต่อเส้นใยนำแสง การสูญเสียอันเนื่องมาจากการสะท้อนของแสงที่หน้าสัมผัสในหัวต่อมีค่าต่ำกว่า 32 เดซิเบล

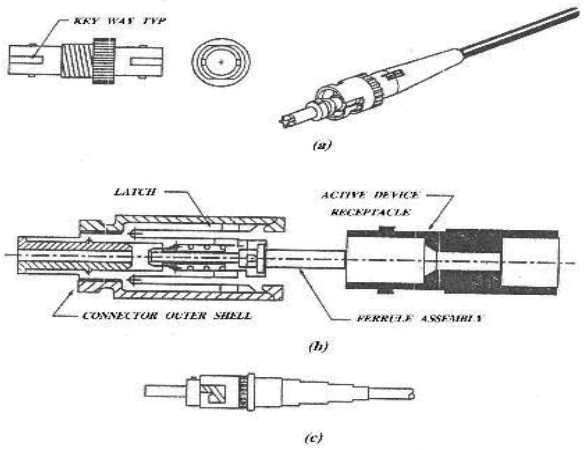


ภาพที่ ๑๔-๒ หัวต่อชนิดไบคอนิค (Biconic Connector)

๔. หัวต่อแบบเอสที (ST Connector)

หัวต่อแบบเอสทีเป็นเครื่องหมายการค้าของ บริษัทเอทีแอนด์ที (AT&T) เป็นแบบที่บริษัทโทมัสแอนด์แบตต์ (Thomas & Betts) เป็นผู้ออกแบบหัวต่อในส่วนที่ยึดติดกันก็โดยการใช้แรงดันเข้าแล้วหมุน เมื่อเร็วๆ นี้บริษัทสามเอ็ม (3M) ได้พัฒนาหัวต่อแบบพุช-พูล ขึ้นมาใหม่ การที่หัวต่อจะชนกันได้สนิทที่สุดก็อยู่ที่ปลอกยึด และการผลิตที่ละเอียดอ่อนแม่นยำเที่ยงตรง การที่จะได้รูเจาะที่เที่ยงตรงและแม่นยำนั้นบริษัทได้พยายามนำวัสดุหลายชนิดมาทดลองทำ เช่น เซอร์โคเนีย เซรามิค อลูมินาเซรามิก รูแก้วในเซรามิค รูแก้วในพลาสติกรวมทั้งสเตนเลส ARCAP และวัสดุที่เป็นคอปเปอร์เบส ในกรณีของบริษัทสามเอ็มเขาใช้ปลอกเซอร์โคเนียเซรามิคและแต่งปลายสัมผัสให้ได้หน้าสัมผัสออฟติกที่มีการลดการหักเหของแสงได้ต่ำสุด พลาสติกที่ใช้ทำหัวต่อจะเป็นเทอร์โมพลาสติก ปลอกโลหะที่ใช้จะมีขนาดของรูเจาะตั้งแต่ 1 ไมโครเมตร และมีขนาดต่างกันตามความโตของเส้นใยนำแสง บริษัทผู้ผลิตได้ประดิษฐ์หัวต่อแบบละลายด้วยความร้อน เพื่อใช้สำหรับต่อสายมัลติโหมดโดยใช้ปลอกเซอร์โคเนีย และมีกาวร้อนเป็นตัวติด เมื่อกาวเย็นลงก็จะยึดติดแน่นเสร็จแล้วค่อยขัดปลายเส้นใยนำแสง

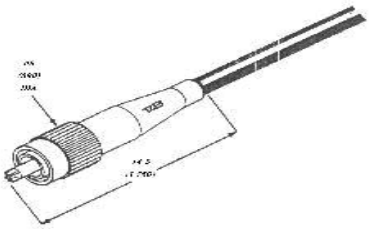
หัวต่อชนิดเอสที ค่าสูญเสียในซิงเกิลโหมดประมาณ 0.15 ถึง 0.25 เดซิเบล และค่าลดทอนอยู่ระหว่าง 0.4 ถึง 0.7 เดซิเบล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต สำหรับมัลติโหมดก็มีค่าลดทอนอยู่ระหว่าง 0.05 ถึง 0.15 เดซิเบล และสูงสุดอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.3 เดซิเบล ปัจจุบันหัวต่อชนิดเอสทีเป็นหัวต่อที่มีผู้นิยมใช้มากขึ้นทั้งนี้เพราะเป็นหัวต่อที่มี ขนาดเล็กแต่ก็ไม่ค่อยกระทัดรัดเท่ากับชนิดเอสซี ปัจจุบันได้ดัดแปลงปรับปรุงให้เป็นแบบถอดเข้าออกได้จึงทำให้ชนิดเอสซีรับความนิยมมากขึ้น



ภาพที่ ๑๔-๓ หัวต่อแบบเอสที (ST Connector)

๕. หัวต่อชนิดเอฟซี (FC Connector)

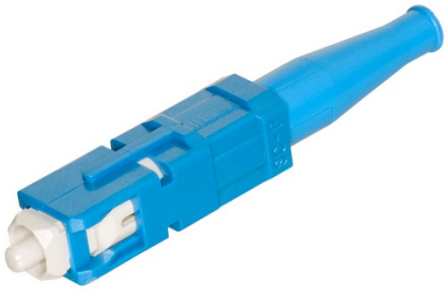
หัวต่อแบบนี้ออกแบบเป็นปลอกเหล็กอยู่ในปลอกหุ้มอีกชั้นหนึ่ง ชุดแกนของหัวต่อมีเกลียวหมุนเข้ากับตัวเรือนหุ้ม การออกแบบทำเป็นพิเศษ คือตัวเสียบนั้นมีลิ่ม และตัวรับมีร่องเมื่อเสียบเข้ากันแล้ว หน้าสัมผัสของเส้นใยนำแสงทั้งสองข้างไม่เกิดการหมุน หรือขยับเขยื้อน ซึ่งอาจทำให้หน้าสัมผัสของเส้นใยนำแสงเกิดรอยขีดข่วนได้หัวต่อชนิดนี้เมื่อใช้กับซิงเกิลโหมดจะเกิดการสูญเสียอยู่ระหว่าง 0.4 ถึง 0.7 เดซิเบล หรือสูงสุดอยู่ระหว่าง 0.8 ถึง 1.0 เดซิเบลขึ้นอยู่กับคุณภาพของสินค้าผู้ผลิต



ภาพที่ ๑๔-๔ หัวต่อแบบเอฟซี (FC Connector)

๖. หัวต่อชนิดเอสซี (SC Connector)

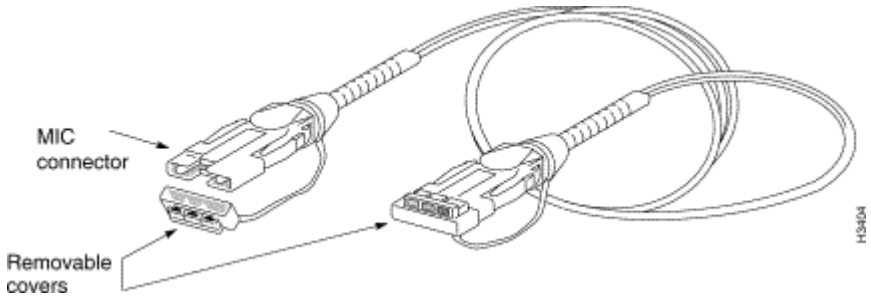
หัวต่อชนิดนี้เป็นการออกแบบของเอ็นทีทีเพื่อให้ได้งานหลายอัน ข้อดีของหัวต่อชนิดนี้ คือ หัวต่อชนิดนี้มีรูสอดเส้นใยนำแสงแสนั้นมีขนาดพอดีกับความโตของเส้นใยนำแสง และมีวิธีการผลิตที่ละเอียดอ่อนเที่ยงตรง การลดทอนสัญญาณในเส้นใยนำแสงแบบซิงเกิลโมดมีค่าประมาณ 0.25 เดซิเบล และอาจมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 0 ถึง 0.6 เดซิเบล ขณะที่เอาหัวต่อเสียบต่อกัน หัวต่อแบบเอสซีเป็นของใหม่เพิ่งนำออกมาวางตลาดในอเมริกามีใช้ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ของที่ติดตั้งทั้งหมด แต่ขณะนี้ได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากใช้ง่ายเป็นแบบถอดเข้าออกได้ และในขณะที่เอาหัวต่อกันก็ไม่ต้องหมุนหรือบิด แต่ใช้เสียบต่อตรงๆ นอกจากนี้หัวต่อยังเป็นชนิดปรับแกนเส้นใยนำแสงได้ด้วย



ภาพที่ ๑๔-๕ หัวต่อแบบเอสซี (SC Connector)

๗. หัวต่อชนิดเอฟดีดีไอ (FDDI Connector)

หัวต่อแบบเอฟดีดีไอบางทีเรียกว่า "Media Interface Connector (MIC)" ออกแบบเพื่อวัตถุประสงค์อันแรก คือ เชื่อมต่อระบบส่งเส้นใยนำแสงจากสายส่งเส้นใยนำแสงชุดแรกไปยังชุดที่สอง หรือส่งสัญญาณจากเส้นใยนำแสงผ่านหัวต่อเอฟดีดีไอแล้วแยกไปยังอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องรับ เครื่องส่ง หรือ สวิตช์บายพาส (Bypass Switch) ตัวปลั๊กเสียบมีปุ่มล็อกเพื่อล็อกกับตัวรับอีกทีหนึ่ง หัวต่อชนิดนี้มีปลอกโลหะสำหรับยึดสายจำนวนสองปลอก เพื่อใช้งานกับเคเบิลแบบ ดูเพล็กซ์ (Duplex Cable) ตัวปลอกมีสภาพเป็นประเภทยืดหด หรือปรับตัวได้ขณะที่เสียบต่อกัน



ภาพที่ ๑๔-๖ หัวต่อแบบเอฟดีดีไอ (FDDI Connector)

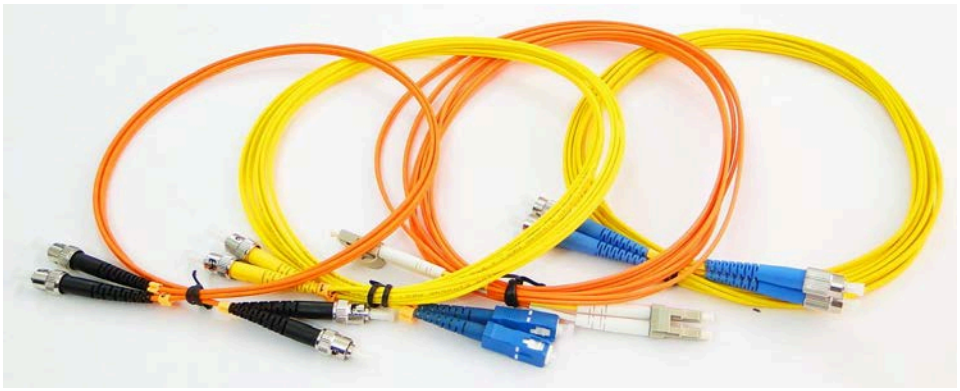
๘. หัวต่อชนิดแอลซี (LC CONNECTOR)

หัวต่อชนิดนี้ออกแบบมามีขนาดเล็กที่สุด ออกแบบเพื่อวัตถุประสงค์ คือ ใช้งานเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์เครื่องรับและเครื่องส่ง หรือเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ Converter หรือ GBIC หรือ SFP ถ้าแบบคู่ เรียก Duplex แบบเดี่ยวเรียก Simplex มีทั้งแบบ Single Mode (สีน้ำเงิน เหลือง) และ Multi Mode (สีฟ้า)

ภาพที่ ๑๔-๗ หัวต่อแบบแอลซี (LC Connector)

ชนิดของสายเชื่อมต่อ (Patch Cord Type)

สาย Patch Cord คือสาย Fiber Optics สำเร็จรูป ที่ทำการเข้าหัวเรียบร้อย พร้อมใช้งานได้ทันที ส่วนใหญ่เป็นสายที่มีระยะไม่มาก ใช้เพื่อเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ที่ติดตั้งในตู้เดียวกัน หรือไม่ห่างกันมาก



ภาพที่ ๑๔-๘ Patch Cord

โดยทั่วไปสาย Path Cord แบ่งออกเป็น ๓ ชนิด คือ แบบ Simplex, Duplex และสาย Pigtail สายแบบ Simplex มีลักษณะเป็นสายเดี่ยวนิยมใช้ในงาน Telecom และ CCTV ส่วนสายแบบ Duplex เป็นสายคู่ติดกัน นิยมใช้ในงานของระบบ Computer แต่ในปัจจุบันนี้นิยมนำมาใช้ในงานเชื่อมต่อระบบโทรคมนาคมมากขึ้น และสาย แบบ Pigtails คือสายแบบสายเดี่ยว หรือสายเปลือยและมีหัวต่อด้านเดียว (ลักษณะเหมือนชื่อเรียกคือ “หางหมู”)

ภาพที่ ๑๔-๙ Pigtail

ชนิดของสาย Patch Cord แบบ Simplex และ Duplex มีหลายประเภท ดังแสดงในตารางที่ ๑๔-๒

ตารางที่ ๑๔-๒ สายเชื่อมต่อ Patch Cord แบบ Simplex และ Duplex ชนิดต่างๆ

Simplex Patch Cord	Duplex Patch Cord
SC-SC Path Cord	DX ST-LC Path Cord
FC-FC Path Cord	DX SC-SC Path Cord
ST-ST Path Cord	DX FC-SC Path Cord

บทที่ ๑๕
เครื่องมือทดสอบทางด้านสื่อสารใยแก้วนำแสง

การทดสอบหรือตรวจสอบทางด้านการสื่อสารใยแก้วนำแสง อาจเริ่มตั้งแต่การทดสอบการเชื่อมต่อการตรวจสอบการส่งผ่านสัญญาณ การตรวจสอบการรับ-ส่งสัญญาณแบบแอนาล็อก และดิจิตอล หรือแม้กระทั่งการทดสอบคุณสมบัติของใยแก้วนำแสงของแหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์รับสัญญาณ สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องดำเนินการในการติดตั้งระบบสื่อสารใยแก้ว เครื่องมือทดสอบและตรวจสอบการสื่อสารทางแสงนั้น มีหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กันทั่วไปประกอบด้วย

๑. อุปกรณ์วิเคราะห์สัญญาณความถี่ (Spectrum Analyzer)

๒. เครื่องตรวจสอบระบบสื่อสารใยแก้วนำแสงโอทีดีอาร์ (Optical Time Domain Reflectometer, OTDR)

๓. อุปกรณ์เชื่อมต่อใยแก้ว (Splicer)

๔. อุปกรณ์ทดสอบการส่งผ่านสัญญาณ (Talk Set)

๕. อุปกรณ์คัดเลือกสายสัญญาณ (Fiber Identifier)

๖. เครื่องตรวจสอบการส่งผ่านสัญญาณดิจิตอล (Digital Tester)

๗. เครื่องตรวจสอบโปรโตคอล (Protocol Analyzer)

๘. อุปกรณ์ตรวจสอบการสูญเสียสัญญาณ (Lost Test)

นอกจากเครื่องมือเหล่านี้แล้ว ก็ยังมีเครื่องมืออื่นๆ ที่ใช้ร่วมกันในการทดสอบใยแก้วนำแสงอีก เช่น เครื่องตรวจสอบทางเรขาคณิต (Fiber Geometry) ชุดทดสอบการกระจาย (Dispersion) และเครื่องทดสอบการลดทอนในใยแก้วนำแสง (Fiber Attenuation) เป็นต้น

สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการทำงานและวิธีการใช้งานของเครื่องมือทดสอบและตรวจสอบการสื่อสารทางแสง ๒ ชนิด คือ อุปกรณ์วิเคราะห์สัญญาณความถี่ (Spectrum Analyzer) และเครื่องตรวจสอบระบบสื่อสารใยแก้วนำแสงโอทีดีอาร์ (Optical Time Domain Reflectometer, OTDR)

๑. เครื่องวิเคราะห์สัญญาณเชิงความถี่ (Spectrum Analyzer)

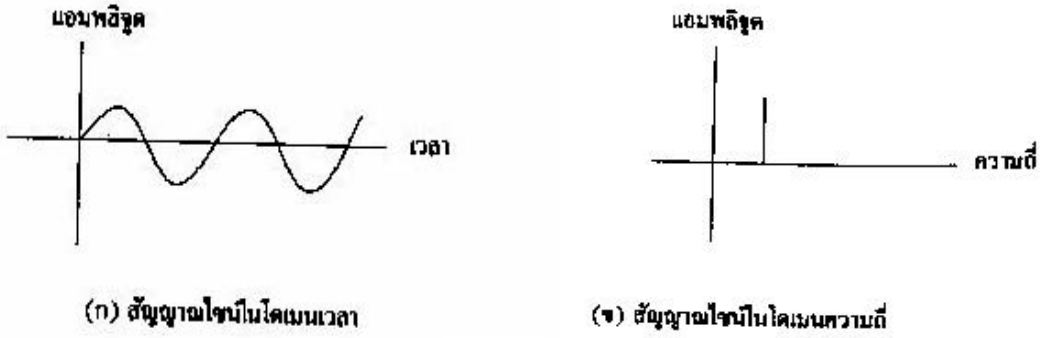
สัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหลายนั้น สามารถอธิบายได้ทั้งในแง่การเป็นฟังก์ชันของเวลาและความถี่ เมื่อสัญญาณมีลักษณะเป็นกลางจะมีความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความถี่จะค่อนข้างชัดเจน แต่ถ้าสัญญาณมีลักษณะเป็นสุ่ม (Random) จำเป็นจะต้องใช้วิธีการทางสถิติเข้ามาช่วย แต่ความสัมพันธ์ของเวลาและความถี่ก็ยังมีความสำคัญอยู่ เวลาเป็นสมบัติพื้นฐานของเอกภพที่เราอาศัยอยู่นี้โดยมีความถี่เข้ามาเกี่ยวข้องกับเวลาโดยผ่านธรรมชาติของการเป็นคาบ

ออสซิโลสโคปเป็นอุปกรณ์ที่โดยพื้นฐานแล้วจะแสดงลักษณะของสัญญาณว่าขึ้นกับเวลาอย่างไร ในขณะที่เครื่องวิเคราะห์สัญญาณเชิงความถี่จะแสดงคุณสมบัติของสัญญาณว่ามีความถี่อย่างไรบ้าง โดยคำนึงการใช้งานแล้ว ทั้งสองแบบที่วัดก็เพื่ออธิบายปรากฏการณ์เดียวกัน ทั้งเวลาและ

ความถี่ต่างก็ขึ้นซึ่งกันและกัน ถ้ารู้ค่าหนึ่งค่าใดแล้วเมื่อใช้คณิตศาสตร์ที่เหมาะสมก็จะสามารถหาค่าอีกค่าหนึ่งได้

เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์สามารถสร้างรูปคลื่นใหม่ๆ ได้โดยอาศัยการรวมคลื่นตามทฤษฎีของฟูเรียร์ เช่น คลื่นรูปสี่เหลี่ยม (Square Wave) คลื่นรูปสามเหลี่ยม (Triangular Wave) คลื่นรูปฟันเลื่อย (Sawtooth Wave)

ดังนั้นตามทฤษฎีของฟูเรียร์ สัญญาณเชิงเวลา (แอบพลิจุดเปลี่ยนกับเวลาด้วยค่าที่แน่นอน) จึงมีความสัมพันธ์กับความถี่อย่างใกล้ชิด เมื่อให้สัญญาณในโดเมนเวลาอันหนึ่ง ก็สามารถที่จะหาว่าสัญญาณนั้นประกอบด้วยความถี่ใดบ้าง โดยอาศัยคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า การแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform)



(ก) สัญญาณไซน์ในโดเมนเวลา (ข) สัญญาณไซน์ในโดเมนความถี่

ภาพที่ ๑๕-๑ สัญญาณ Sine ใน Time Domain และ Frequency Domain

ส่วนคลื่นรูปสี่เหลี่ยม รูปสามเหลี่ยม และรูปฟันเลื่อยจะมีองค์ประกอบของคลื่นมากมาย ดังตารางที่ ๑๕-๑ (แสดงไว้เพียง ๙ ฮาร์มอนิก และตัวเลขในช่องแอมพลิจูดนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์)

รูปคลื่นที่ได้จะยิ่งใกล้เคียงกับความเป็นจริงของเรขาคณิตมากขึ้น เมื่อจำนวนฮาร์มอนิกที่มาประกอบมีมากยิ่งขึ้น ซึ่งตามทฤษฎีแล้วสามารถได้ค่าอนันต์ แต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถทำได้

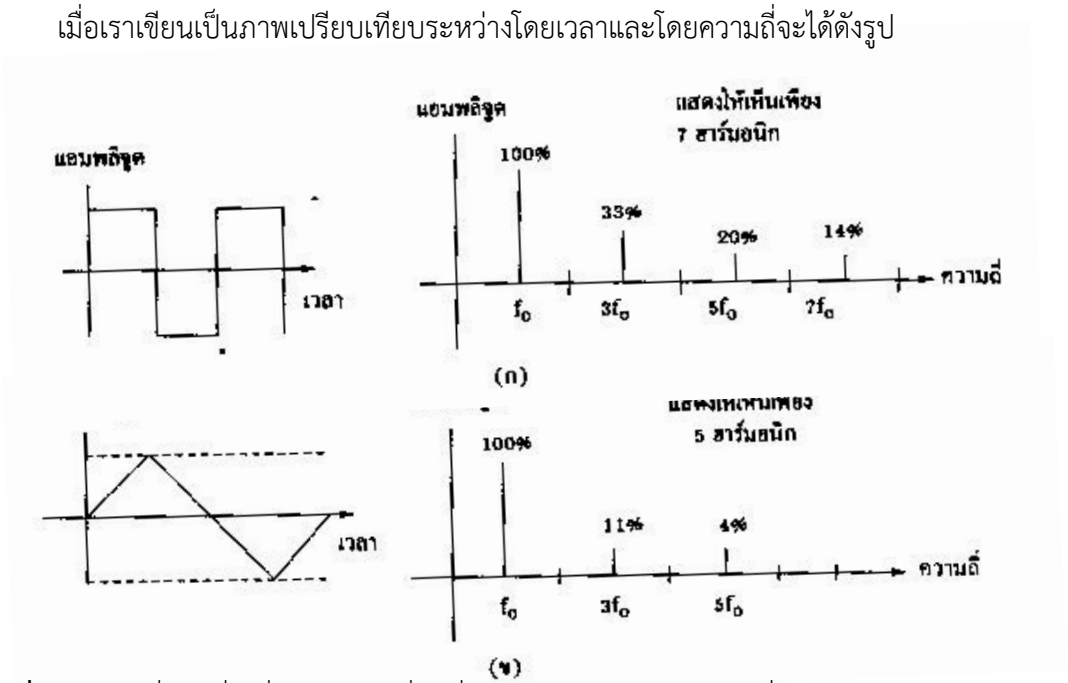
ตารางที่ ๑๕-๑ ฮาร์มอนิกของคลื่นรูปสี่เหลี่ยม รูปสามเหลี่ยม และรูปฟันเลื่อย

รูปคลื่น		ลำดับฮาร์มอนิก								
		1*	2	3	4	5	6	7	8	9
สี่เหลี่ยม	แอมพลิจูด	100	0	33	0	20	0	14	0	11
	เฟส	0°	-	180°	-	0°	-	180°	-	0°
สามเหลี่ยม	แอมพลิจูด	100	0	11	0	4	0	2	0	1.2
	เฟส	0°	-	0°	-	0°	-	0°	-	0°
ฟันเลื่อย	แอมพลิจูด	100	50	33	25	20	17	14	12.5	11
	เฟส	90°	270	90°	270°	90°	270°	90°	270°	90°

หมายเหตุ * เป็นความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency)

ฮาร์มอนิกที่กล่าวถึงในตารางที่ ๑๕-๑ นั้นก็คือ จำนวนเท่าของความถี่มูลฐาน (f_D) เช่น ฮาร์มอนิกที่ ๑ ก็คือ $1f_D$ ซึ่งก็คือความถี่มูลฐาน ฮาร์มานิกที่ ๒ ก็คือ $2f_D$ ซึ่งก็คือ ๒ เท่าของความถี่มูลฐาน ฮาร์มอนิกที่ ๓ คือ $3f_D$ ซึ่งก็คือ ๓ เท่าของความถี่มูลฐาน เป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ

เมื่อเราเขียนเป็นภาพเปรียบเทียบระหว่างโดยเวลาและโดยความถี่จะได้ดังรูป

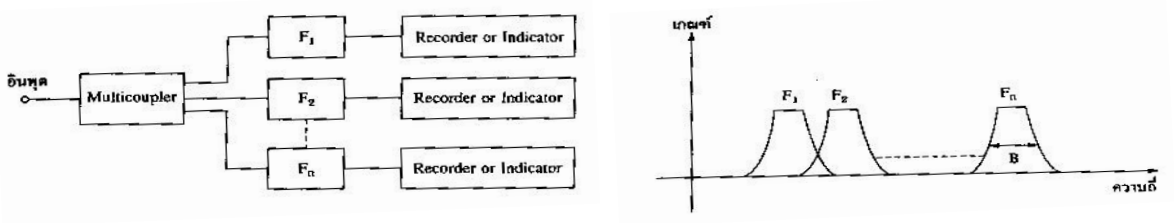


ภาพที่ ๑๕-๒ คลื่นรูปสี่เหลี่ยมและฟันเลื่อยที่เกิดจากองค์ประกอบของคลื่นหลายๆ ฮาร์มอนิกและแอมพลิจูดต่างๆ กัน

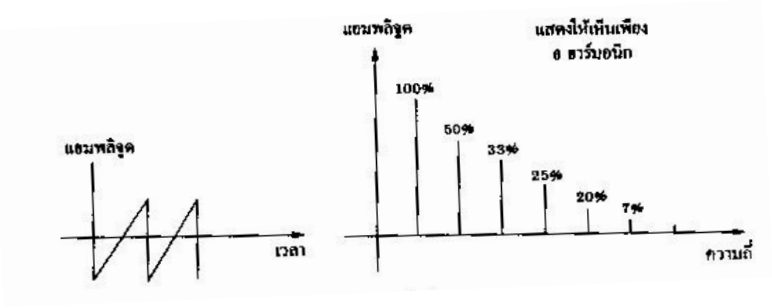
๑.๑ โครงสร้างของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ

สามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยแปลงจากโดเมนเวลาไปเป็นโดเมนของความถี่ หรือใช้เทคนิคการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform) ซึ่งประหยัดเวลามาก อย่างไรก็ตามการใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ความถี่ส่วนใหญ่จะใช้กันในส่วนของความถี่ต่ำ ๆ ซึ่งอยู่นอกเหนือพิสัยของเครื่องวิเคราะห์เชิงความถี่

การวิเคราะห์องค์ประกอบของความถี่ของสัญญาณ นอกเหนือจากการใช้คอมพิวเตอร์ดังกล่าวน่าจะใช้วงจรกรอง (Filter Circuit) กรองความถี่ละเอียดมากๆ ดังรูป



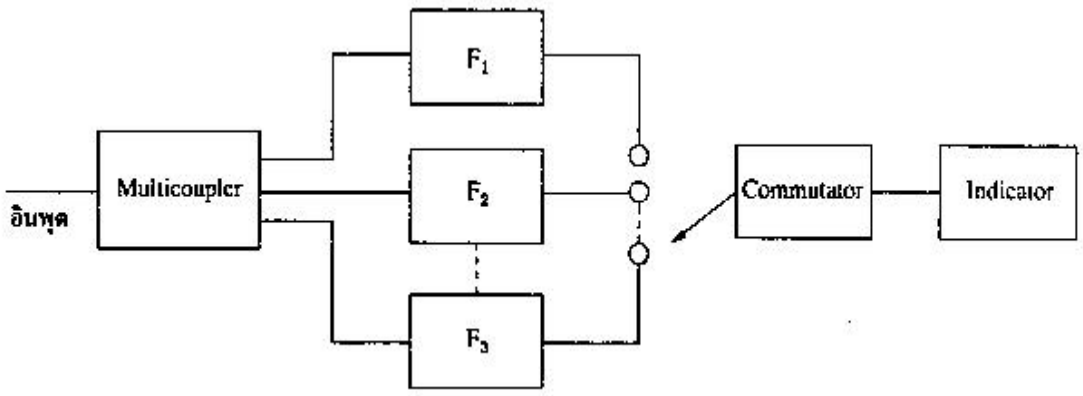
(ก) บล็อกไดอะแกรม (ข) ลักษณะสมบัติเชิงความถี่



ภาพที่ ๑๕-๓ แสดงผังวงจรกรองสัญญาณความถี่

ซึ่งเราสามารถสร้างสัญญาณขึ้นมาได้ด้วยวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ สัญญาณ (ในโดเมนเวลา) จะผ่านมัลติคัพเปอร์ซึ่งทำหน้าที่แบ่งสัญญาณไปที่ฟิลเตอร์ต่างๆ วงจรกรอง F_1 F_2 F_3 ..... F_n จะทำหน้าที่กรองความถี่จากค่าต่ำไปหาสูงเรียงลำดับไป ยิ่งช่วงห่างระหว่างเวลากรองยิ่งมีค่าน้อย ความละเอียดการวัดจะมากขึ้น ตามภาพที่ ๑๕-๓ (ข) ค่า B ยิ่งแคบค่าความละเอียดยิ่งสูง เมื่อสัญญาณที่จะศึกษาผ่านวงจรกรองก็วัดค่าแอมพลิจูดของแต่ละความถี่ที่ผ่าน วงจรกรองออกมาแล้วบันทึกค่าไว้ ซึ่งจะทำให้ทราบว่าสัญญาณประกอบด้วยค่าความถี่ใดบ้าง

จากภาพที่ ๑๕-๓ จะพบว่าต้องใช้ตัวบันทึกค่าความถี่ (Recorder or Indicator) จำนวนมาก (เท่ากับจำนวนวงจรกรอง) ดังนั้นเพื่อลดค่าใช้จ่ายดังกล่าว จะใช้ตัวบันทึกค่าความถี่เพียงตัวเดียว แต่ต้องเพิ่มอุปกรณ์ที่จะเป็นตัวเลือกต่อระหว่างวงจรกรองกับตัวบันทึก ซึ่งเรียกว่าตัวคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) หรือสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Sweep Switch) ซึ่งจะเลือกเชื่อมต่อกับ F_1 F_2 .....F_n เรียงกันเป็นอนุกรมเวลา



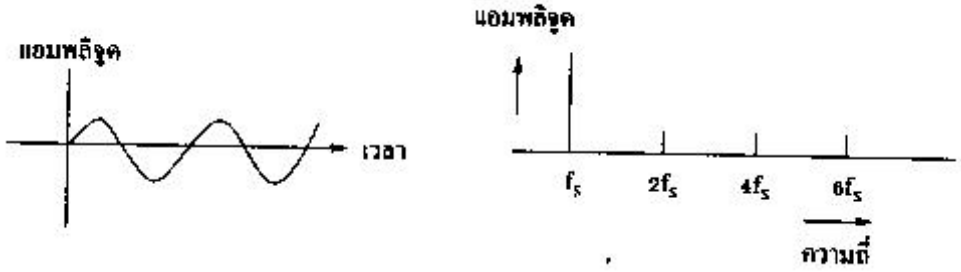
ภาพที่ ๑๕-๔ แสดงผังวงจรกรองที่ใช้คอมมิวเตเตอร์

ภาพที่ ๑๕-๓ และภาพที่ ๑๕-๔ โดยรวมแล้วจะเป็นสิ่งเดียวกัน แต่ก็ยังมีความแตกต่างกันอยู่บ้าง ตามภาพที่ ๑๕-๓ ระบบดังกล่าวจะสามารถตอบสนองได้ไม่ว่าระยะห่างระหว่างสัญญาณ (Duration) จะสั้นมากเพียงใดก็ตาม แต่สำหรับกรณีที่ใช้คอมมิวเตเตอร์ คือภาพที่ ๑๕-๔ ความเร็วของคอมมิวเตเตอร์จะเป็นตัวจำกัดระยะห่างระหว่างสัญญาณ ดังนั้นความสามารถของระยะที่สองจะถูกลดทอนไปบ้าง แต่เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายเป็นอย่างมาก และมีความเหมาะสมในเชิงพาณิชย์และการใช้งานมากกว่า

๑.๒ การประยุกต์ใช้งานเครื่องวิเคราะห์สัญญาณเชิงความถี่

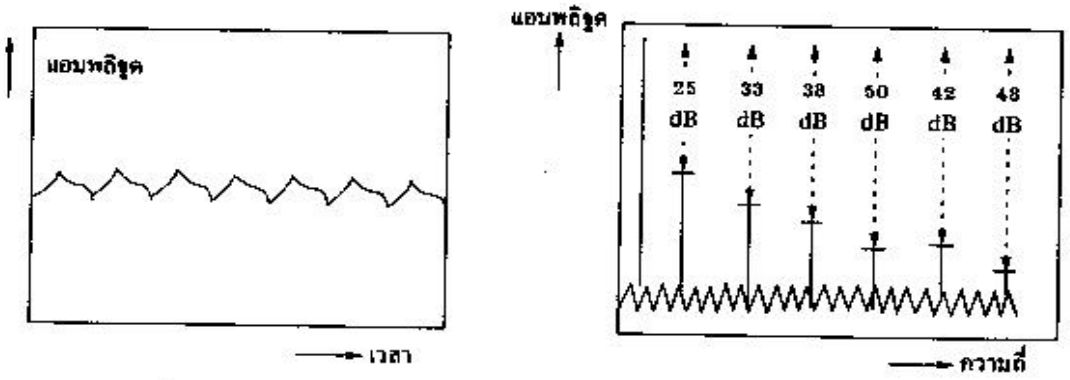
เครื่องวิเคราะห์สัญญาณเชิงความถี่ ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ ดังนี้

๑. การวิเคราะห์รูปคลื่น (Waveform Analysis) เมื่อนำสัญญาณคลื่นรูปไซน์ รูปสี่เหลี่ยม รูปสามเหลี่ยม หรือรูปฟันเลื่อยมาวิเคราะห์โดยผ่านเครื่องวิเคราะห์สัญญาณเชิงความถี่ จะได้องค์ประกอบของคลื่นนั้นๆ เป็นความถี่ และแอมพลิจูดต่างๆ กัน แต่มีรูปแบบที่แน่นอนสำหรับรูปคลื่นแต่ละชนิด การวิเคราะห์ดังกล่าวเป็นกรณีที่ง่ายและชัดเจนที่สุด ส่วนกรณีรูปคลื่นอื่นๆ นั้น จะสามารถวิเคราะห์หาองค์ประกอบของความถี่ออกมาได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้คลื่นรูปไซน์ที่เราเห็นเป็นรูปไซน์อย่างสวยงามบนจอออสซิลโลสโคป ก็อาจจะมีการผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกได้ ซึ่งจะเห็นได้ก็ต่อเมื่อผ่านการวิเคราะห์สัญญาณเชิงความถี่ ดังแสดงในภาพที่ ๑๕-๕



ภาพที่ ๑๕-๕ แสดงให้เห็นถึงการเพี้ยนของฮาร์มอนิก ของคลื่นรูปไซน์

นอกจากนี้ยังสามารถวัดการผิดเพี้ยนของคลื่นรูปไซน์ (Sinusoidal Waveform) เช่น ดังภาพที่ ๑๕-๖ ซึ่งเป็นรูปคลื่นไนโดเมนเวลา ซึ่งเห็นได้ว่าเป็นคลื่นรูปไซน์ที่ขาดความสมบูรณ์อย่างยิ่ง (เกิดในวงจรขยายบางย่านความถี่) เมื่อนำไปวิเคราะห์ผ่านเครื่องวิเคราะห์สัญญาณเชิงความถี่แล้ว จะพบว่าประกอบด้วยหลายฮาร์มอนิกส์



ภาพที่ ๑๕-๖ (ก)คลื่นรูปไซน์ที่ผิดเพี้ยนไปมาก (ข) สเปกตรัมของความถี่ซึ่งประกอบด้วยหลายฮาร์มอนิกส์

จากภาพที่ ๑๕-๖ (ข) จะเห็นว่าแอมพลิจูดที่ค่าความถี่ต่างๆ จะต่ำกว่าความถี่มูลฐานเป็น 25 dB, 33 dB, 38 dB, 50 dB, 42 dB ตามลำดับ เมื่อแปลงจาก dB เป็นอัตราส่วนของ

$$HD = \sqrt{(5.6)^2 + (2.2)^2 + (1.3)^2 + (0.3)^2 + (0.8)^2 + (0.4)^2}$$
$$= 6.2\%$$

ความต่างศักย์ และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ จะได้ค่าเป็น 5.6% , 2.2%, 1.3% , 0.3%, 0.8% และ 0.4% ตามลำดับ ซึ่งจะได้ว่าค่าผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวม (HD) มีค่าเป็น 6.2%

๒. ใช้หาเปอร์เซ็นต์ของการมอดูเลตเชิงแอมพลิจูด (AM Modulation) เมื่อสัญญาณและคลื่นพาห์ถูกรวมเข้ากันแบบแอมพลิจูดมอดูเลชั่น สมการทางคณิตศาสตร์ที่อธิบายการมอดูเลชันดังกล่าว จะแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าจะมีความถี่สองความถี่เกิดขึ้นที่สองด้านของคลื่นพาห์ โดยอยู่ห่างไปเท่าๆ กัน และมีแอมพลิจูดเท่าๆ กัน ซึ่งจะเรียกว่าเป็น “ความถี่ (Sideband Frequencies)” ดังจะเห็นได้จากสมการข้างล่าง

$$f_{AM}(t) = A_c \cos \omega_c t + B \cos \omega_1 t + B \cos \omega_2 t$$

เมื่อ $f_{AM}(t)$ คือ แอมพลิจูดของคลื่นรวมที่เวลา t ใด ๆ

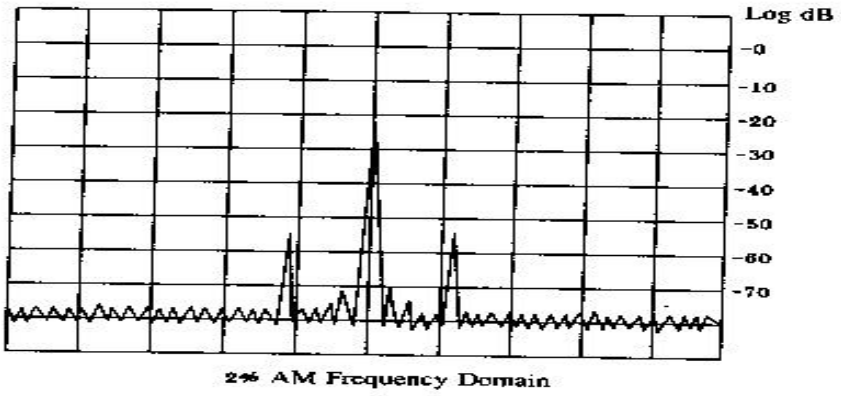
A_c คือ แอมพลิจูดของคลื่นพาห์

$$B = \frac{mA_c}{2}, \quad \text{เมื่อ m คือดัชนีการมอดูเลต} \qquad \text{.....(2)}$$

$$\omega_1 = \omega_c - \omega_m \text{ และ } \omega_2 = \omega_c + \omega_m \qquad \text{.....(3)}$$

ω_m คือ ความถี่เชิงมุมของสัญญาณ (ที่ต้องการมอดูเลต)

ดังนั้นเมื่อสัญญาณที่ถูกมอดูเลตแบบเอเอ็ม ถูกวิเคราะห์โดยเครื่องวิเคราะห์สัญญาณเชิงความถี่ จะได้ลักษณะของสเปกตรัมดังรูปด้านล่างนี้



ภาพที่ ๑๕-๗ สเปกตรัมของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตแบบเอเอ็ม

๓. ใช้วิเคราะห์การเบี่ยงเบนความถี่และความว่องไวในการมอดูเลตเชิงความถี่ (FM Peak Frequency Donation and FM Modulator Sensitivity) การมอดูเลตแบบนี้จะมีสเปกตรัมของความถี่เช่นเดียวกันกับการมอดูเลตเชิงเฟส (PM = Phase Modulation) โดยมีแอมพลิจูดของสัญญาณรวมที่เวลาใดๆ แสดงได้ดังสมการข้างล่าง

$$f_{AM}(t) = A_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\beta) \cos(\omega_c + n\omega_m)t$$

เมื่อ $f_{FM}(t)$ คือ แอมพลิจูดรวมของสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตที่เวลา t ใดๆ

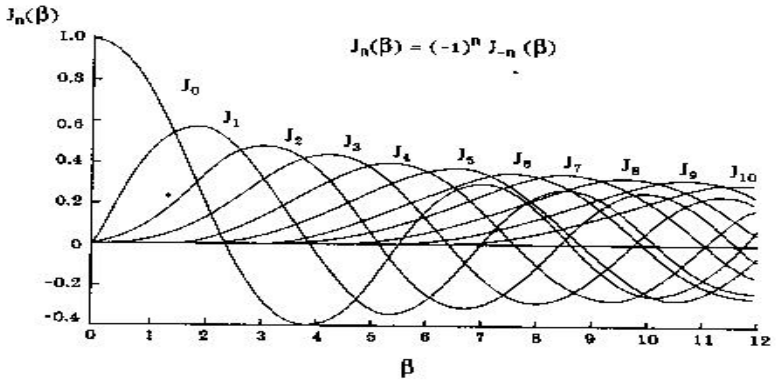
$J_n(\beta)$ คือ เบสเซลฟังก์ชัน (Ordinary Bessel Function of the First Kind)

A_c คือ แอมพลิจูดของการมอดูเลต

ω_c คือ ความถี่เชิงมุมของสัญญาณพาห์

ω_m คือ ความถี่เชิงมุมของสัญญาณที่ต้องการมอดูเลต

n คือ จำนวนเต็ม



ภาพที่ ๑๕-๘ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $J_n(\beta)$ กับ β

สมมติว่าสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตไม่มีการผิดเพี้ยนใดๆ เลย และความถี่ข้างเคียงทั้งหมดก็จะออกมาจากการแสดงผลของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณเชิงความถี่ ซึ่งนั่นเหมายถึง แบนด์วิดธ์ของการผ่านออกมาเป็นอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติแล้วความถี่ข้างเคียงที่สำคัญๆ เท่านั้นที่จะผ่านออกมาได้ คำว่า “สำคัญ” โดยปกติแล้วจะมีความหมายว่าความถี่ข้างเคียงเหล่านั้น จะต้องมีความต่างศักย์อย่างน้อยที่สุด 1β (-40dB) ของโวลเทจของคลื่นพาห์ การวัดแบนด์วิดธ์ของการมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม (หรือพีเอ็ม) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สัญญาณความถี่ ทำได้โดยเพียงแต่นับจำนวนความถี่ข้างเคียง “สำคัญ” ที่ผ่านออกมา

ตาราง ๑๕-๒ แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของตำแหน่งที่แอมพลิจูดของคลื่นพาห์มีค่าเป็นศูนย์ กับค่าดัชนีของการมอดูเลชั่น (β) ตารางนี้มีประโยชน์ในการใช้เครื่องวิเคราะห์สัญญาณเชิงความถี่ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของการมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม (และพีเอ็ม) ซึ่งเรียกว่าการ

เบี่ยงเบนความถี่ Δf (FM Peak Frequency Deviation) และความว่องไวในในการมอดูเลค m_d (Modulator Sensitivity ; Hz)

ตารางที่ ๑๕-๒ ตำแหน่งของการเป็นศูนย์ของแอมพลิจูดของคลื่นพาห์

Order of Carrier Zero	ดัชนีของการมอดูเลต (β)
1	2.40
2.	5.52
3	8.65
4	11.79
5	14.93
6	18.07
n (n>6)	11.07 + π (n-6)

ในกรณีของพีเอ็ม จะเป็นการวัดค่าเบี่ยงเบนเฟส β (PM Peak Phase Deviation : rad) และค่าความว่องไวในการมอดูเลค m_p (Modulator Sensitivity) โดยพารามิเตอร์เหล่านี้มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\beta = \frac{m_f A_m}{f_m} \quad \text{สำหรับเอฟเอ็ม}$$

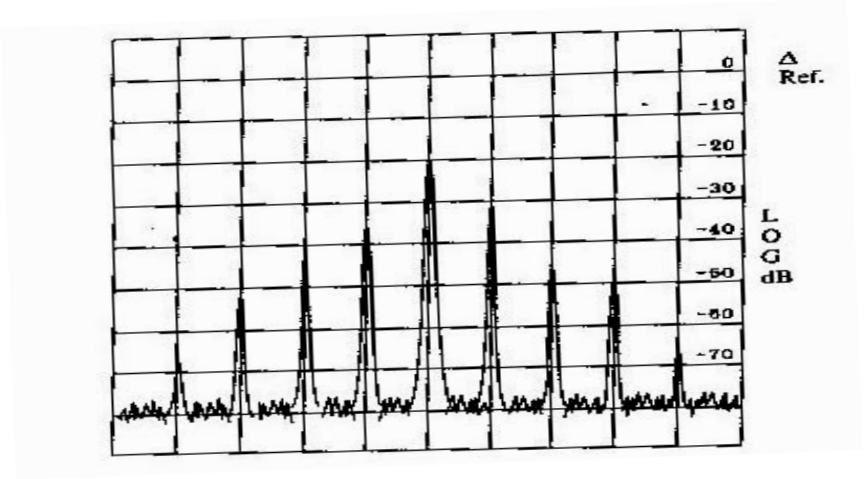
และ $$\beta = m_p A_m \quad \text{สำหรับพีเอ็ม}$$

เมื่อ A_m และ f_m คือแอมพลิจูดและความถี่ของสัญญาณที่ต้องการมอดูเลต

เมื่อ β มีค่าเพิ่มขึ้นจากศูนย์ โดยการเพิ่มค่าความว่องไวในการมอดูเลต และขนาดของสัญญาณพาห์ของเอฟเอ็ม หรือพีเอ็ม ซึ่งแสดงผลที่หน้าจอของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณเชิงความถี่จะเป็นศูนย์ เมื่อค่า β = 2.40, β = 2.52, ... และค่าอื่นๆ ดังตารางที่ด้านบน ที่ตำแหน่งที่สัญญาณพาห์เป็นศูนย์นี้ f_m จะสามารถอ่านได้จากการแสดงผลของเครื่อง ส่วน A_m ก็จะวัดได้ที่อินพุดก่อนเข้าเครื่องวิเคราะห์สัญญาณเชิงความถี่ ดังนั้นเราจะสามารถหาค่า Δf, m_p และ m_p ได้โดยอาศัยสมการข้างบนทั้งสอง

๔. การมอดูเลตที่มีการผสมระหว่างเอเอ็มกับเอฟเอ็ม พิจารณาการมอดูเลตแบบเชิงมุม (Angular Modulation) [จะหมายถึงการมอดูเลตแบบเอฟเอ็มหรือแบบพีเอ็ม] จะเป็นการมอดูเลตที่แตกต่างกันแต่ก็มีสมบัติร่วมกันอันหนึ่ง ก็คือ การมีสมมาตรของแอมพลิจูดของความถี่ข้างเคียง (Symmetrical Sideband Amplitude) ซึ่งมีเพียงวิธีเดียวเท่านั้นที่จะทำให้เกิดกรณีเช่นนี้ขึ้นได้ ก็คือ การมอดูเลตเอเอ็มร่วมกับเอฟเอ็ม (หรือพีเอ็มก็ได้) พร้อมๆ กัน ด้วยความถี่ของการมอดูเลตเดียวกัน และเนื่องจากความถี่ข้างเคียงเลขคี่ (Odd-order Sidebands) ของเอฟเอ็ม (และของ

พีเอ็ม) ที่สองด้านของความถี่พาห์จะมีเครื่องหมายกลับกัน ดังนั้นความถี่ข้างเคียงที่เกิดขึ้นแต่ละด้านของความถี่พาห์จะไม่เท่ากัน เพราะด้านหนึ่งจะถูกบวกเพิ่มขึ้นไป ในขณะที่ด้านหนึ่งจะถูกหักลบออกไป ผลก็คือ เกิดความไม่สมมาตรของแอมพลิจูดของความถี่ข้างเคียง



ภาพที่ ๑๕-๙ แสดง 42% เอเอ็มกับเอฟเอ็มที่เหมือนกัน

๕. การวัดความเร็วดอปเปอร์ (Doppler Velocity Measurement) เมื่อมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่งไปกระทบวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนจากวัตถุดังกล่าวจะมีความถี่เปลี่ยนแปลงไป เรียกว่า ความถี่ดอปเปอร์ (Doppler Frequency) ซึ่งจะมีค่ามากขึ้นเมื่อวัตถุวิ่งเข้าหาแหล่งกำเนิด และมีค่าน้อยลงเมื่อวิ่งออกห่างจากแหล่งกำเนิด ปรากฏการณ์นี้มีชื่อเรียกว่า “ปรากฏการณ์ดอปเปอร์”ความเร็วของวัตถุนั้นเราจะเรียว่า”ความเร็ว ดอปเปอร์”

ถ้าให้ f_D คือ ความแตกต่างความถี่ (Doppler Difference Frequency) และ

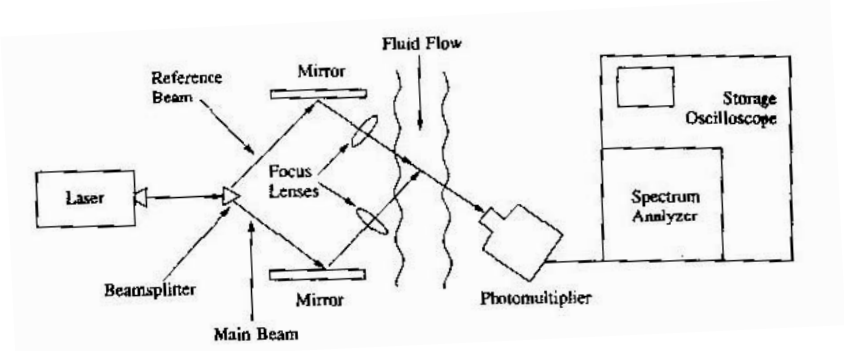
f_1 คือ ความถี่แหล่งกำเนิดที่ส่งออกไปและ

c คือ ความเร็วแสง

V คือ ความเร็ววัตถุ (Target Velocity) แล้ว f_D จะหาได้จาก

$$f_D \cong \left(\frac{2v}{c}\right) \cdot f_1$$

การวัดความเร็วดอปเปลอร์ที่ซับซ้อนกว่าที่กล่าวมาจะแสดงให้เห็นด้วยภาพที่ ๑๕-๑๐



ภาพที่ ๑๕-๑๐ แสดงการทดลองเพื่อวัดความเร็วดอปเปลอร์ของของไหล
โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สัญญาณเชิงความถี่

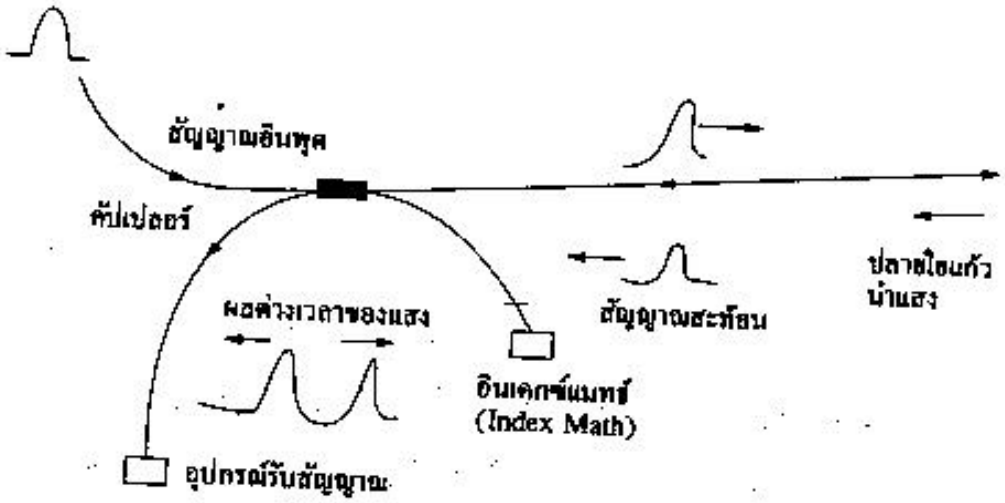
๖. การประยุกต์ ใช้งานอื่นๆ เครื่องวิเคราะห์สัญญาณเชิงความถี่ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานอื่นๆ ได้อีกเป็นอันมาก เช่น ใช้วัดสัญญาณรบกวน (Random Noise) ใช้ในการวัดการแทรกสอดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference ; EMI) ของวงจรไฟฟ้า ใช้ในการวัดความผิดเพี้ยนเนื่องจากการมอดูเลตภายใน (Intermodulation Distortion) ของวงจรขยาย เป็นต้น

๒. เครื่องตรวจสอบใยแก้วนำแสงโอทีดีอาร์ (Optical Time Domain Reflectometer, OTDR)

๑. เครื่องมือวัดการสะท้อนกลับเชิงเวลา

เมื่อสัญญาณคลื่นถูกส่งผ่านเข้าสู่ตัวกลางที่รู้ความเร็ว เช่น เมื่อคลื่นแสงเดินทางในอากาศหรือในน้ำ คลื่นจะเคลื่อนที่โดยมีความเร็วแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของตัวกลางนั้นๆ จากหลักการดังกล่าว นำมาซึ่งการสร้างเครื่องโซนาร์ (Sonar) ซึ่งสามารถบอกตำแหน่ง หรือบอกระยะทางของวัตถุที่อยู่ลึกลงไปในน้ำได้ โดยบันทึกเวลาที่คลื่นเสียงเดินทางไปและกลับจากเรือไปยังวัตถุใต้น้ำ และสะท้อนกลับมาที่เรืออีกครั้ง และทราบความเร็วของเสียงในน้ำ ในระบบเรดาร์ก็เช่นกัน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกส่งออกไปเป็นพัลส์จากแหล่งกำเนิดคลื่นไปยังวัตถุ ทำการตรวจวัดจำนวนพัลส์ของคลื่นที่สะท้อนกลับจากวัตถุ แล้ววัดเวลาหน่วง (Time Delay) ระหว่างพัลส์ที่ส่งไปและพัลส์ที่ได้รับจากการสะท้อนกลับ ก็จะสามารถบอกระยะของตำแหน่งวัตถุได้เช่นกัน

สัญญาณพัลส์ทางไฟฟ้าที่เดินทางในสายนำสัญญาณด้วยความเร็วคงที่ (ประมาณ 90% ของความเร็วแสงที่เดินทางในสูญญากาศ) เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงปลายทาง จะมีสัญญาณบางส่วนสะท้อนกลับทางเดิม ถ้าทราบค่าความเร็วของพัลส์ที่เดินทางภายในสาย และรู้เวลาไปและกลับก็จะสามารถบอกระยะทางระหว่างปลายทั้งสองได้ จากกระบวนการการนำสัญญาณเข้าสู่ปลายอินพุดตรวจวัดการสะท้อนกลับ และใช้เวลาที่แตกต่างกันระหว่างสัญญาณที่ถูกส่งเข้าและสะท้อนกลับที่ปลายอีกด้านหนึ่ง สามารถบอกระยะทางระหว่างปลายทั้งสองได้ วิธีการดังกล่าวเรียกว่าเครื่องมือวัดการสะท้อนกลับเชิงเวลา (Time Domain Reflectometry ; TDR)



ภาพที่ ๑๕-๑๑ แสดงพัลส์ของแสงที่เดินทางไปและกลับภายในสายสัญญาณ

วิธีการดังกล่าวไม่สามารถตรวจวัดเวลาจากพัลส์ส่งไปยังปลายสายได้โดยตรง แค่พิจารณาจากครึ่งหนึ่งของระยะเวลาระหว่างระยะทางที่ตรวจวัด ดังนั้นความยาวของสายอาจจะได้จากการคำนวณ

ระยะทาง = ความเร็ว x เวลา = (ความเร็ว x ผลต่างของเวลา) / 2

๒. การวัดการสะท้อนของแสงเชิงเวลา

เมื่อคลื่นแสงถูกส่งเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสง พัลส์ของแสงเดินทางผ่านเส้นใยแก้วนำแสงด้วยความเร็วที่ขึ้นกับดัชนีหักเหแสงของเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งตัวดัชนีหักเหของแสงเป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็วของแสงในสูญญากาศกับความเร็วแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสง เมื่อพัลส์ของแสงที่เดินทางภายในเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนที่มาถึงบริเวณปลายทาง แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับมายังตัวรับสัญญาณแสงที่อยู่ด้านเดียวกับแหล่งกำเนิดแสง เครื่องมือที่อาศัยหลักการวัด การสะท้อนของแสงเชิงเวลาสามารถตรวจวัดพัลส์ของแสงที่สะท้อนกลับและคำนวณความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงโดยพิจารณาดัชนีหักเหของแสง คุณสมบัติของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงที่ทำการตรวจวัดถูกนำมาสร้างเป็นเครื่อง โอ ที ดี อาร์ เพื่อใช้วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ภายในเส้นใยแก้วนำแสง สัมพันธ์กับความยาว โดยนำปลายคอนเนคเตอร์ (Connector) ด้านหนึ่งของเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการวัดต่อเข้ากับเครื่อง โอ ที ดี อาร์ (ดูภาพที่ ๑๕-๑๑)

๒.๑ ค่าต่างๆ ที่วัดได้จากเครื่อง โอ ที ดี อาร์

๑. สามารถตรวจวัดความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง

๒. สามารถตรวจวัดค่าการลดทอนกำลังของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสง เช่น

- ๒.๑ ค่าการลดทอนกำลังของแสงรวมของเส้นใยแก้วนำแสงตลอดทั้งเส้น
- ๒.๒ ค่าการลดทอนกำลังของแสงต่อหน่วยความยาว
- ๒.๓ ค่าการลดทอนกำลังของแสงที่แต่ละตำแหน่ง

๓. สามารถตรวจวัดค่าการสูญเสียกำลังของแสงอันเนื่องมาจากการเชื่อมต่อ

๔. สามารถบอกได้ว่ามีการเชื่อมต่อแบบใดบ้างในสายทั้งเส้น

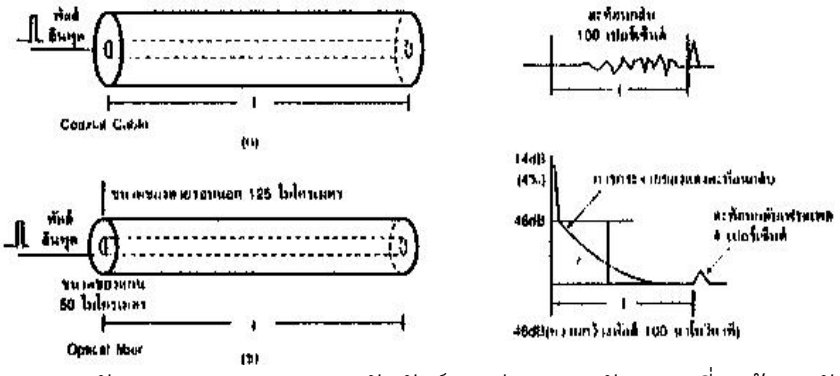
๕. สามารถบอกระยะทางที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่ง

๖. สามารถตรวจสอบและค้นหาตำแหน่งที่มีปัญหาภายในเส้นใยแก้วนำแสง เช่นมีการขาดหรือปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละเส้น

๒.๒ หลักการทำงานของเครื่องโอ ที ดี อาร์

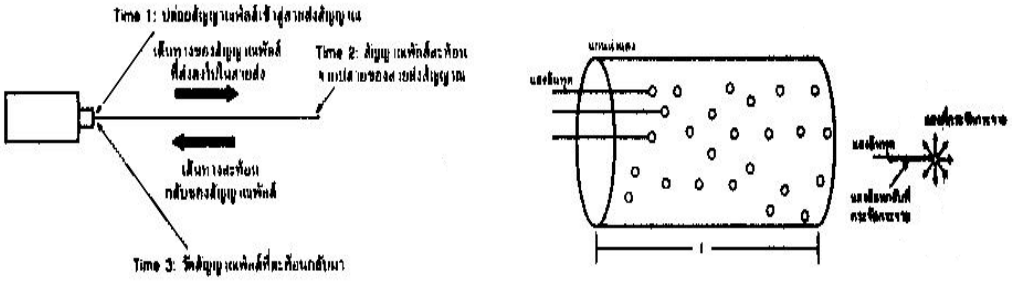
โดยทั่วไปเทคนิคที่ใช้ในการตรวจสอบหารอยตำหนิในสายเคเบิลชนิดแกนร่วม (Coaxial Cable) สามารถกระทำได้โดยการส่งสัญญาณในรูปพัลส์ (Pulse) ที่ปลายด้านหนึ่งของสายเคเบิล และทำการตรวจวัดสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจากรอยตำหนิที่เกิดขึ้น ภายในเส้นใยแก้วนำแสง (การสะท้อนกลับของสัญญาณดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากความไม่ต่อเนื่องของตัวกลางของสัญญาณที่บริเวณรอยตำหนิซึ่งสัญญาณที่สะท้อนกลับจะมีลักษณะที่ค่อนข้างเด่นชัด) โดยการตรวจวัดจะสนใจเวลานับจากการส่งสัญญาณไปจนกระทั่งสัญญาณสะท้อนกลับมาที่ด้านอินพุตเดิม นอกจากนี้ถ้าทราบความเร็วของสัญญาณที่วิ่งในสายเคเบิล ก็จะสามารถคำนวณหาตำแหน่งของรอยตำหนิได้

เทคนิคดังกล่าว มีชื่อเฉพาะว่า Time Domain Reflectometry (TDR) ซึ่งหมายถึง วิธีการที่ให้สัญญาณเข้าไปทางด้านอินพุตของตัวนำสัญญาณ และทำการวัดสัญญาณที่สะท้อนกลับพร้อมจับเวลา (Time Delay) ระหว่างการส่ง และรับสัญญาณซึ่งสามารถนำค่า Time Delay ที่ได้พร้อมกับความเร็วของสัญญาณที่วิ่งในตัวกลางมาคำนวณหาระยะทาง ณ ตำแหน่งที่สัญญาณสะท้อนกลับมา ดังนั้นถ้าสัญญาณสะท้อนกลับมาจากปลายของสายตัวนำสัญญาณ ระยะทางที่คำนวณได้ก็คือความยาวของตัวนำสัญญาณนั่นเอง ดังแสดงหลักการของ TDR ไว้ในภาพที่ ๑๕-๑๒ (ก) เทคนิคนี้ได้ถูกนำมาใช้กับใยแก้วนำแสงด้วย และด้วยเหตุที่สัญญาณที่ใช้ในการตรวจสอบเป็นสัญญาณแสงโดยอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบจะทำการส่งสัญญาณแสงในลักษณะของพัลส์เข้าไปยังเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการตรวจสอบเทคนิคนี้จึงถูกเรียกให้เฉพาะลงไปว่า Optical Time Domain Reflectometry (OTDR) ดังแสดงหลักการของ OTDR ไว้ในภาพที่ ๑๕-๑๒ (ข) เนื่องจากค่า Time Delay ที่วัดโดย OTDR เป็นช่วงเวลาที่สัญญาณใช้เคลื่อนที่ไปและกลับ (โดยประมาณ) ดังนั้นช่วงเวลาที่สัญญาณแสงใช้เคลื่อนที่ไปก็จะเป็นครึ่งหนึ่งของเวลาทั้งหมด ซึ่งก็คือ (½) (Time 3 – Time 1) ดังแสดงไว้ในภาพที่ ๒ ดังนั้นความยาวของตัวนำสัญญาณสามารถหาได้จากสมการ ระยะทาง = (ความเร็ว Time 3 – Time1) /2 โดยในที่นี้ความเร็วของสัญญาณแสงในตัวกลางจะขึ้นอยู่กับค่าดัชนีหักเหของตัวกลางแสงที่แสงเดินทางผ่านซึ่งหาได้จาก ความเร็วของแสงในเส้นใยแก้วนำแสง = ความเร็วของแสงในสูญญากาศ/ดัชนีหักเหของแกนกลางเส้นใยแก้ว



ภาพที่ ๑๕-๑๒ หลักการ TDR กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัญญาณที่สะท้อนกลับ (แกนตั้ง)

และระยะทาง (แกนนอน) สำหรับ (ก) Coaxial Cable และ (ข) Optical Fiber



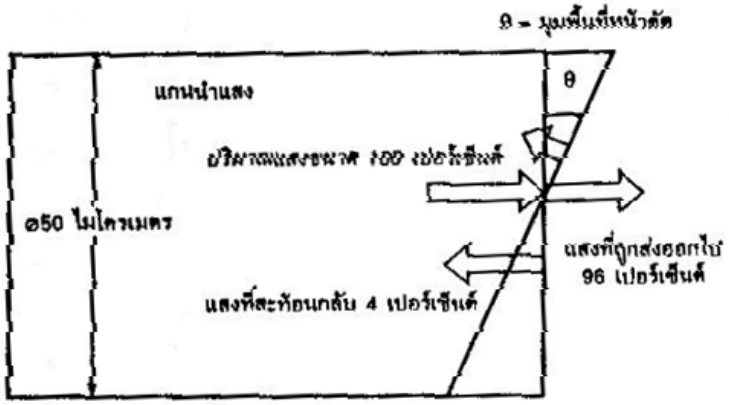
ภาพที่ ๑๕-๑๓ แสดงเวลาต่างๆ ซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ และลักษณะของ Scattering Objects ภายในเส้นใยนำแสงและทิศทางของ Scattering Light และ Back Scattering Light

OTDR จะอาศัยการวัดกำลังของแสงที่กระจัดกระจาย (Scattering) กลับจากภายในเส้นใยแก้วนำแสง โดยการกระจัดกระจายของแสงนี้อาจเกิดเนื่องมาจากความหนาแน่นที่ไม่สม่ำเสมอของเนื้อสารที่ใช้ทำเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้จากขั้นตอนการผลิต โดยขณะที่กำลังจะดึงเส้นใยแก้วนำแสงจากแท่ง Preform จำเป็นจะต้องให้ความร้อนแก่แท่ง Preform ซึ่งบริเวณ ณ ที่ให้ความร้อนนี้ โมเลกุลของสารมีการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นระเบียบ (Random) หลังจากที่ทำการดึงบริเวณปลาย Preform จนได้เป็นเส้นใยแก้วนำแสงออกมาแล้ว เส้นใยนำแสงดังกล่าวจะมีอุณหภูมิลดลง ทำให้โมเลกุลของเนื้อสารเคลื่อนที่ช้าลงจนกระทั่งหยุดในที่สุด โดยตำแหน่งของโมเลกุลที่หยุดก็เป็นแบบไม่เป็นระเบียบเช่นกัน จึงมีผลให้เนื้อสารมีความแน่นไม่สม่ำเสมอกันตลอดเส้น หรืออาจกล่าวได้ว่า ทำให้มีค่าดัชนีหักเหแตกต่างกัน คล้ายกับมีสารเจือปนกระจายอยู่ตลอดความยาวของเส้นใยนำแสง เมื่อมีแสงเดินทางผ่านบริเวณดังกล่าว จึงเกิดการกระจายของแสงขึ้น ซึ่งการกระจายแสงลักษณะนี้เรียกว่า เป็นการกระจายแบบ Rayleigh (Rayleigh Scattering) พบได้ตลอดความยาวของเส้นใยนำแสง

ทิศทางของแสงที่เกิดการกระจัดกระจายแบบ Rayleigh มีโอกาสเกิดได้ทุกทิศทางดังแสดงไว้ในภาพที่ ๑๕-๑๓ แต่จะมีแสงบางส่วนที่กระจัดกระจายกลับไปยัง OTDR แสงที่สะท้อนออกไปในลักษณะนี้เรียกว่า Back Scattering Light โดยจะมีขนาดของกำลังแสงลดลงเป็นฟังก์ชันเอ็กโพเนนเชียล เมื่อเทียบกับระยะทางที่สัญญาณแสงใช้ในการเดินทางไปและกลับ โดยทั่วไปขนาดของแสงที่สะท้อนกลับเทียบกับขนาดของสัญญาณที่ OTDR ส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงจะอยู่ในช่วง ๕๐-๖๐ เดซิเบล

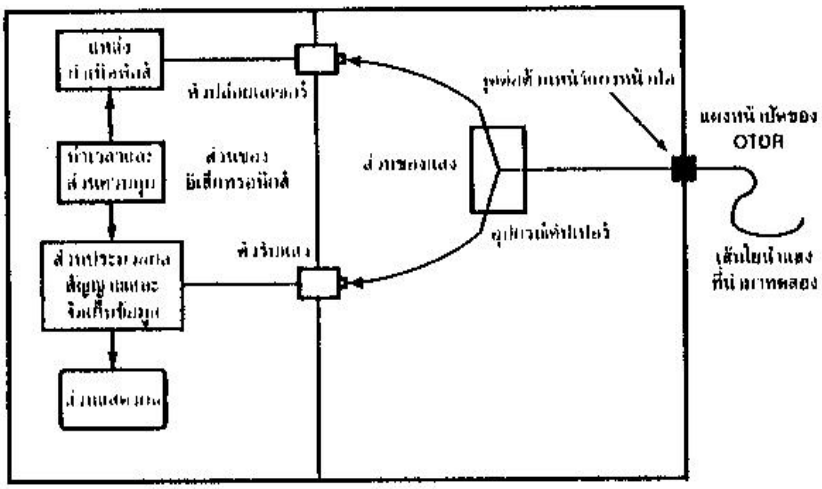
Rayleigh Scattering เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความยาวช่วงในคลื่น ๘๕๐ นาโนเมตร สาเหตุของ Rayleigh Scattering เกิดมาเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของค่าดัชนีหักเหของตัวกลางของแสง (Reflexive Index Fluctuation) ขณะที่เส้นใยแสงเย็นตัวลง โดยการลดทอนที่เกิดขึ้นจากสาเหตุดังกล่าวยังไม่สามารถจำกัดออกไปได้ด้วยเทคนิคการผลิตเส้นใยนำแสงในปัจจุบันทิศทางการกระจัดกระจายของแสงที่เกิดขึ้นนี้เป็นไปได้ทุกทิศทาง จากการศึกษาพบว่าการลดทอนของแสงเนื่องจาก Rayleigh

Scattering แปรผกผันกับกำลังสี่ของความยาวคลื่นแสงที่ใช้ ดังนั้นถ้ายิ่งใช้แสงที่มีความยาวคลื่นยาวมากการลดทอนของสัญญาณก็จะลดลง การสะท้อนของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสงสามารถเกิดขึ้นได้ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวกลางของแสงเช่นการสะท้อน ณ บริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อสารกับอากาศ ดังแสดงลักษณะไว้ในภาพที่ ๑๕-๑๔



ภาพที่ ๑๕-๑๔ การสะท้อนกลับของแสงที่บริเวณรอยต่อระหว่างตัวกลางแก้วกับอากาศ

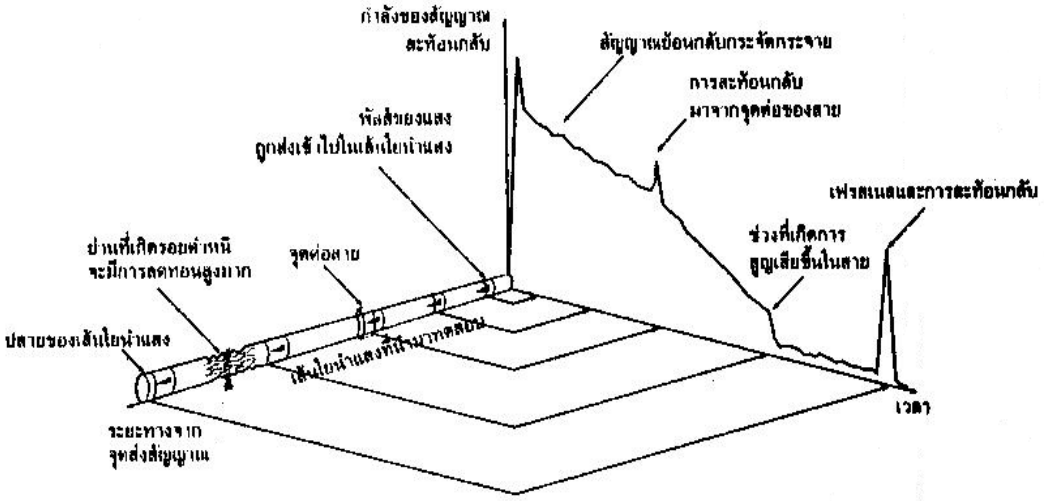
ถ้าหน้าตัดของเส้นใยแก้วนำแสงตั้งฉากกับทางเดินของแสง (หรือแกนของเส้นใยนำแสง) สัมประสิทธิ์ของแสงสะท้อนจะไม่เกิน 4% (13.98 dB) ลักษณะการสะท้อนในลักษณะนี้เรียกว่าการสะท้อนแบบเฟรสเนล (Fresnel Reflection) ซึ่งลักษณะการสะท้อนแบบเฟรสเนลสามารถพบได้ที่รอยต่อระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง ๒ เส้นที่เชื่อมต่อกันด้วยหัวต่อ รวมทั้งจุดต่อระหว่าง OTDR กับเส้นใยแก้วนำแสงและที่ปลายเส้นใยแก้วนำแสงอีกด้วย



ภาพที่ ๑๕-๑๕ โครงสร้างของ OTDR

บล็อกไดอะแกรมของ OTDR จากภาพที่ ๑๕-๑๕ แสดงถึงส่วนประกอบหลักของ OTDR โดยโครงสร้างสามารถแบ่งได้เป็นสองส่วนย่อย คือส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และส่วนอุปกรณ์ทางแสงซึ่งทั้งสองส่วนจะทำงานสัมพันธ์กันเริ่มจากในส่วนของตัวกำเนิดพัลส์ (Pulse Generator) ซึ่งทำหน้าที่ผลิตสัญญาณพัลส์ไปขับเลเซอร์ไดโอด (Laser Diode) ให้ปล่อยแสงออกมาในลักษณะของพัลส์ จากนั้นสัญญาณดังกล่าวจะถูกส่งเข้าไปยังปลายด้านหนึ่งของตัวคัปเปอร์

ซึ่งทำหน้าที่ในการส่งผ่านสัญญาณแสงไปยังเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการทดสอบ และรับสัญญาณแสงที่สะท้อนจากเส้นใยแก้วนำแสงกลับมายังหัววัดแสง (Detector) สัญญาณแสงที่สะท้อนกลับมานี้เกิดจากการสะท้อนแบบเฟรสเนล ณ จุดต่อระหว่าง OTDR กับเส้นใยแก้วนำแสง รวมถึงปลายเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งเป็นบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อสารกับอากาศ และบริเวณจุดต่อต่างๆ และการกระจัดกระจายกลับที่เกิดจากการกระจัดกระจายแบบ Rayleigh Scattering ตลอดเส้นใยแก้วนำแสงขณะที่แสงเดินทาง ตามความยาวของเส้นใยนำแสงดังแสดงไว้ในภาพที่ ๑๕-๑๖



ภาพที่ ๑๕-๑๖ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงสะท้อนกลับในเส้นใยแก้วนำแสงกับเวลา รวมถึงสาเหตุของการสะท้อนกลับ

สัญญาณแสงที่วัดได้นี้จะถูกนำมาประมวลผลโดยส่วนของ Signal Acquisition & Processing โดยอาศัยข้อมูลในส่วนของ Timing & Control จากนั้นผลที่ประมวลได้จะแสดงออกมาในรูปของการลดทอนของสัญญาณตามความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง จากภาพที่ ๑๕-๑๕ สัญญาณแสงจาก OTDR ถูกส่งเข้าทางด้านปลายของเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการทดสอบ ซึ่งวิธีการดังกล่าวทำให้เกิดการสะท้อนของแสงในลักษณะของการสะท้อนแบบเฟรสเนล ทำให้มีกำลังของแสงที่สะท้อนกลับมามากจนมีผลทำให้หัววัดแสง (โดยส่วนใหญ่ใช้ Avalanche Photo Diode : APD) เกิดการอิ่มตัวในช่วงระยะเวลาหนึ่ง มีผลทำให้ APD ไม่สามารถรับรู้สัญญาณที่เกิดขึ้นตามมาหลังเกิดจากอิ่มตัวไปชั่วขณะหนึ่งทำให้เกิดสิ่งที่เรียกว่า Dead Zone ขึ้น

หลักการทำงานของเครื่องโอ ที ดี อาร์ ในกระบวนการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงชนิดแก้วที่ทำจากทรายซิลิกา โดยการหลอมด้วยความร้อนสูงและทำให้เย็นลงให้อยู่ในสภาพของแข็ง ซึ่งพบว่าแก้วยังไม่สามารถคงรูปเป็นของแข็งได้ ต้องเติมสารเจือลงไปทำให้แก้วแข็งแรงขึ้น และให้มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน ความหนาแน่นที่ไม่เท่ากันนี้เองทำให้มีดัชนีหักเหแสงในตัวกลางแตกต่างกันในแต่ละส่วนของเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งเส้นใยแก้วนำแสงมีส่วนประกอบ ๒ ส่วนคือ ส่วนของแกน (Core) และหลอด (Cladding) แต่ส่วนที่แสงเดินทางอยู่ภายในนั้น คือ ส่วนของแกน ก็ยังอาจมีดัชนีหักเหแสงของตัวกลางที่ไม่เท่ากันบ้างเล็กน้อย เนื่องจากความหนาแน่นของตัวกลางที่ไม่เท่ากันนี่เองซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการกระเจิงกลับในระหว่างที่แสงเดินทางอยู่ภายในได้ เครื่องโอ ที ดี อาร์

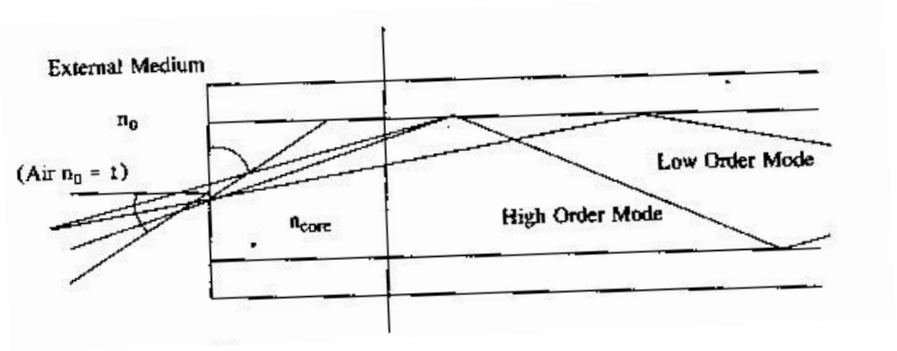
อาศัยหลักการสะท้อนของแสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงเทียบกับเวลาซึ่งแสงจะเดินทางย้อนกลับมายังด้านต้นทางที่แสงเข้าเนื่องมาจากสาเหตุ ๒ ประการคือ การกระเจิงกลับ (Back Scattering) และการสะท้อนแบบเฟรสเนล (Fresnel Reflection)

๑. การกระเจิงกลับ (Back Scattering) เมื่อแสงเดินทางผ่านเข้าไปในแกนของเส้นใยแก้วนำแสงที่มีดัชนีหักเหไม่สม่ำเสมออันเนื่องจากกระบวนการผลิต หรือกระทบอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นของแสงจะมีแสงบางส่วนสะท้อน หรือกระเจิงในแต่ละทิศทาง ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการกระเจิงแบบเรย์ลี (Rayleigh Scattering) โดยความเข้มของแสงของการกระเจิงเป็นปฏิภาคตามกับปริมาตรของอนุภาคตามกำลังสอง และเป็นปฏิภาคกลับความยาวคลื่นของแสงยกกำลังสี่ดังสมการ ซึ่งแสงกระเจิงในทุกทิศทาง และมีแสงบางส่วนกระเจิงกลับมายังตัวรับสัญญาณแสงซึ่งอยู่ด้านเดียวกับแหล่งกำเนิดแสง การสะท้อนของแสงลักษณะนี้เรียกว่าการกระเจิงกลับ (Back Scatter) ซึ่งดูได้จากความสัมพันธ์

$$S_R \propto 1/\lambda^4$$

เมื่อ S_R คือ การกระเจิงแบบเรย์ลี (Rayleigh Scattering)

λ คือ ความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง



ภาพที่ ๑๕-๑๗ แสดงการเดินทางสะท้อนกลับของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสง
เนื่องจากการกระเจิงกลับแบบเรย์ลี และการสะท้อนแบบเฟรสเนล

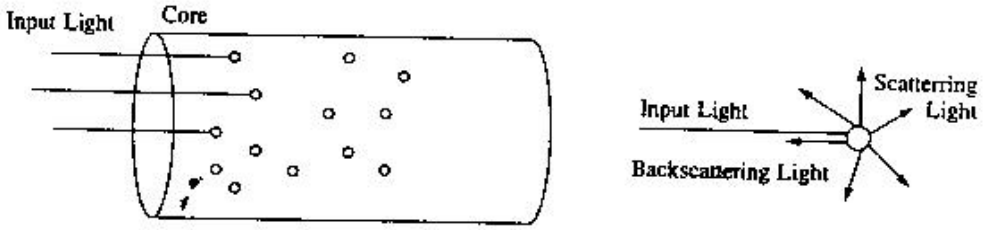
๒. การสะท้อนแบบเฟรสเนล (Fresnel Reflection) เนื่องจากแสงเดินทางผ่านบริเวณรอยต่อที่มีดัชนีหักเหของแสงแตกต่างกัน เช่น บริเวณรอยต่อของปลายเส้นใยแก้วนำแสงกับอากาศ หรือการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงบางแบบจะเกิดการสะท้อนกลับโดยค่าการสะท้อนแบบเฟรสเนลเป็นดังสมการต่อไนนี้

$$R_F = \{(n_1 - n_0) / (n_1 + n_0)\}^2$$

เมื่อ n_0 คือ ค่าดัชนีหักเหของอากาศ

n_1 คือ ค่าดัชนีหักเหของแกนภายในเส้นใยแก้วนำแสง

การกระเจิงกลับของแสงนั้นเป็นเพียงส่วนน้อยของปริมาณความเข้มแสงทั้งหมด หรือระดับกำลังของแสง (Power Level) ที่เดินทางเข้ามาในเส้นใยแก้วนำแสง การตรวจวัดแสงที่กระเจิงกลับมาสัมพันธ์กับเวลา (ซึ่งแปลงกลับมาเป็นระยะทางในเส้นใยแก้วนำแสง) แล้วนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแสงที่กระเจิงกลับกับเวลา จะสามารถแสดงระดับกำลังของแสงที่แต่ละตำแหน่งของเส้นใยแก้วนำแสงที่ตรวจวัด (Fiber Signature) แสดงในภาพที่ ๑๕-๑๗ และ ๑๕-๑๘

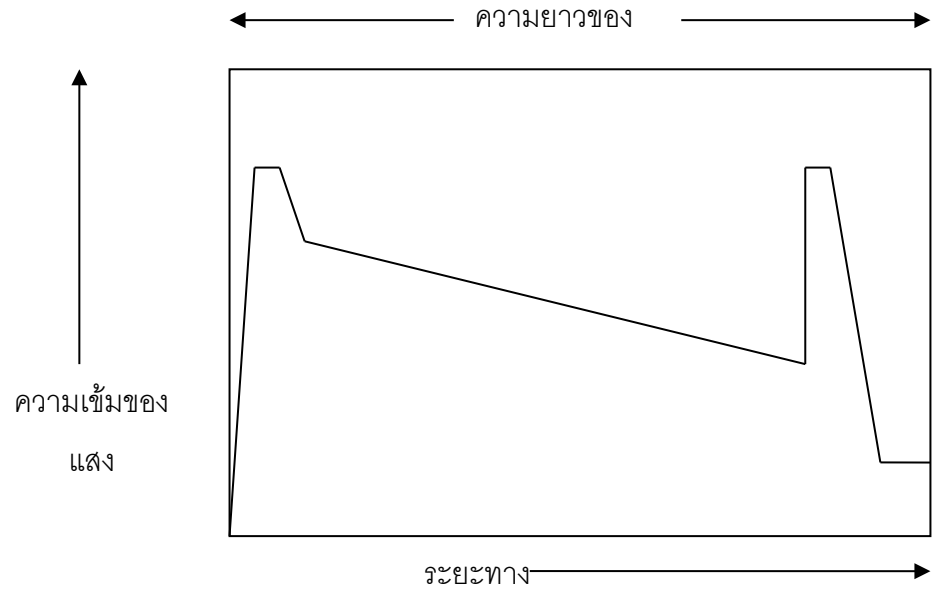


ภาพที่ ๑๕-๑๘ แสดงการกระเจิงกลับของแสง

รูปแบบของการกระเจิงกลับของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสง มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น ดังแสดงในภาพที่ ๑๕-๑๙ ความหมายจากด้านซ้ายไปยังด้านขวา ที่ตำแหน่งเริ่มต้น(ด้านซ้าย) แสดงตำแหน่งปลายคอนเนคเตอร์ของเส้นใยแก้วนำแสงต่อกับแหล่งกำเนิดแสงของเครื่องโอ ที ดี อาร์ ซึ่งระหว่างรอยต่อดังกล่าวเป็นช่องอากาศ เมื่อแสงเดินทางผ่านจะเกิดการสะท้อนกลับมาแบบเฟรสเนอประมาณ 4% (ที่รอยต่อของตัวกลางเส้นใยแก้วนำแสงกับอากาศ) อธิบายได้จากทิศของสัญญาณที่เกิดขึ้นบนหน้าจอโอ ที ดี อาร์ และมีลักษณะเดียวกับตำแหน่งปลายของสาย (ด้านขวา) ที่ตำแหน่งต่อมาความชันคงที่ อธิบายได้ว่าระดับกำลังของแสงลดลงอย่างคงที่สัมพันธ์กับความยาว นั่นคือ ขณะนั้นเกิดการลดทอน ความเข้มของพัลซ์ของแสงที่ลดลงนี้ จะลดลงตามความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง หากทำการเปรียบเทียบระดับกำลังของแสงที่ระหว่างตำแหน่ง ๒ ตำแหน่งในเครื่องโอ ที ดี อาร์ ก็จะสามารถบอกค่าการลดทอนของเส้นใยแก้วนำแสงระหว่างตำแหน่ง ๒ ตำแหน่งในเส้นใยแก้วนำแสงได้

โดยปกติหากโครงสร้างภายในของเส้นใยแก้วนำแสงมีค่าดัชนีหักเหสม่ำเสมอ การลดทอนของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสงจะแสดงความชันเป็นเส้นตรงคงที่ หากพบว่าความชันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน แสดงว่าขณะนั้นตรวจพบบางสิ่งที่ทำให้ระดับการกระเจิงกลับเปลี่ยนแปลง เช่น ตรวจพบจุดที่เชื่อมต่อของเส้นใยแก้วนำแสง และสามารถบอกชนิดของจุดที่เชื่อมต่อได้ด้วย ซึ่งให้ผลแสดงแบบเครื่องโอ ที ดี อาร์ แตกต่างกัน

ข้อพิจารณาในการปฏิบัติของ OTDR สัญญาณสะท้อนกลับที่แตกต่างในเส้นใยแก้วนำแสงจากภาพที่ ๑๕-๑๘ แสดงสัญญาณที่ให้จากแสงสะท้อนภายในเส้นใยแก้วนำแสงเทียบกับเวลา (หรือระยะทาง) ซึ่งบอกลักษณะทางกายภาพของเส้นใยนำแสงได้เป็นอย่างดี โดยในการตรวจวัดเส้นใยนำแสงแต่ละชุด ก็จะได้ลักษณะของสัญญาณสะท้อนกลับที่แตกต่างกันออกไป สัญญาณดังกล่าวจึงเรียกว่า Fiber Signature



ภาพที่ ๑๕-๑๙ Fiber Signature

ภาพที่ ๑๕-๑๙ แสดง Fiber Signature แบบง่ายๆ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของแสงที่สะท้อนกลับกับระยะทางสะท้อนกลับจากจุดต่างๆ ตามความยาวเส้นใยนำแสง ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าที่ระยะทางไกลออกไปจาก OTDR กำลังของแสงที่สะท้อนกลับมีขนาดเล็กลง โดยปริมาณของกำลังแสง ที่ลดลงต่อช่วงความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง บอกถึงการลดทอนสัญญาณแสงสำหรับเส้นใยแก้วนำแสงที่กำลังทดสอบ

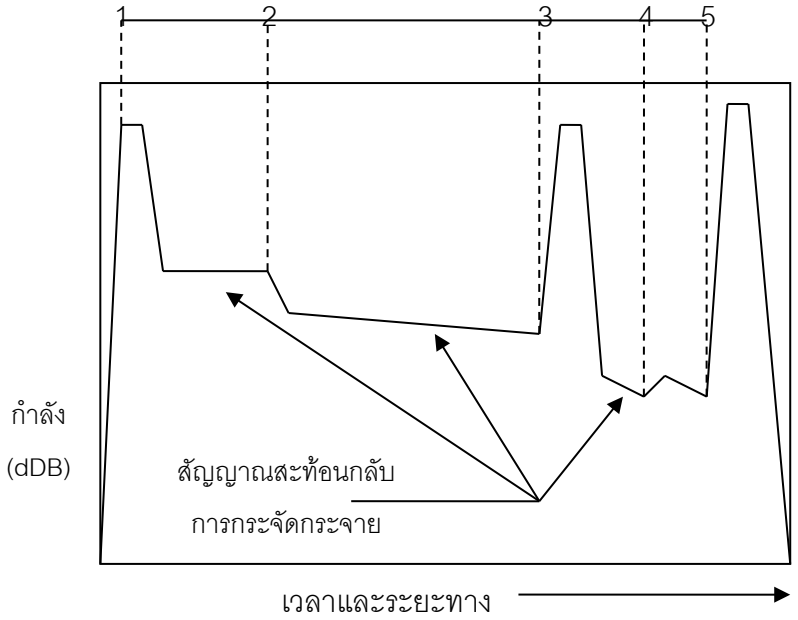
สำหรับบริเวณจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของสัญญาณนั้น มีการสะท้อนของแสงเช่นกัน แต่กลไกของการสะท้อนเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตัวกลางของสัญญาณ หรืออาจกล่าวได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีหักเหของตัวกลาง ทำให้ปริมาณของแสงสะท้อนเกิดขึ้นมากกว่าการสะท้อนกลับของแสงในแบบข้างต้น เป็นตัวอย่างของ Fiber Signature ซึ่งจะมีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณที่วัดได้จาก OTDR ในทางปฏิบัติจากรูปได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางกายภาพที่มีบนเส้นใยแก้วนำแสงกับเวลาหรือระยะทางลักษณะทางกายภาพบนจุดต่าง ๆ ของเส้นใยแก้วนำแสง ประกอบด้วย

๑. จุดเชื่อมต่อของหัวต่อระหว่าง OTDR กับเส้นใยแก้วนำแสง
๒. จุดเชื่อมต่อเส้นใยนำแสง ๒ เส้นเข้าด้วยกัน โดยการใช้ความร้อน (Fusion Splicing)
๓. จุดเชื่อมต่อเส้นใยนำแสง ๒ เส้นเข้าด้วยกัน โดยการใช้หัวต่อ (Mechanical Splicing)
๔. จุดเชื่อมต่อเส้นใยนำแสง ๒ เส้นเข้าด้วยกัน โดยการใช้ความร้อน
๕. จุดปลายของเส้นใยนำแสง

ตามภาพที่ ๑๕-๒๐ การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ ณ จุดที่ ๑, ๓ และ ๕ เกิดมาจากสาเหตุที่คล้ายคลึงกัน นั่นก็คือการเปลี่ยนแปลงของชนิดตัวกลางของแสง (หรือค่าดัชนีหักเหของตัวกลางมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน) บริเวณดังกล่าวจะมีช่องว่างอากาศเล็กๆ เกิดขึ้น ทำให้ปริมาณแสงที่สะท้อนกลับไปยังหัววัดแสงใน OTDR มีค่ามากเมื่อเทียบกับปริมาณของแสงที่เกิดจากการกระจัดกระจายแบบ Rayleigh เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีการเชื่อมต่อแบบใช้อุปกรณ์ช่วย เช่น หัวต่อ จึงเรียกว่าเป็นการ

เชื่อมต่อแบบ Mechanical แต่ในบางครั้งก็เรียกว่าเป็น Reflective Splice ก็เพราะมีการสะท้อนของแสงเกิดขึ้นที่รอยต่อนั่นเอง

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ ณ จุดที่ ๒ และ ๔ ไม่ทำให้เกิดสัญญาณสะท้อนกลับในรูปของพัลส์ตามแบบกรณีข้างต้น เนื่องจากเป็นการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงด้วยวิธี Fusion Splicing โดยใช้ความร้อน ทำให้เส้นใยนำแสงเชื่อมติดกันเสมือนเป็นเนื้อเดียว แต่ในทางปฏิบัติ ณ จุดที่เชื่อมต่อก็ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีหักเหของตัวกลาง (ณ รอยต่อ) ที่แตกต่างจากค่าดัชนีหักเหของเส้นใยนำแสงที่นำมาเชื่อมต่ออยู่บ้าง รวมทั้งคุณสมบัติบางอย่างของเส้นใยนำแสงที่นำมาเชื่อมต่อกันมีความแตกต่างกัน จึงทำให้สัญญาณที่สังเกตได้อาจมีทั้งลดลง (Loss) และเพิ่มขึ้น (Gainer) จุดเชื่อมต่อในลักษณะนี้ นอกจากจะเรียกว่า Fusion Splice แล้ว อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Non-Reflective Splice



ภาพที่ ๑๕-๒๐ แสดง Fiber Signature

สมการอย่างง่ายของกำลังสัญญาณแสงที่กระจัดกระจายย้อนกลับทิศทาง เมื่อพัลส์ของแสงถูกส่งเข้าไปในเส้นใยนำแสง พัลส์ดังกล่าวจะมีขนาดลดลงตามขนาดความยาวของเส้นใยนำแสง ถ้าพิจารณาว่ากำลังของสัญญาณที่ส่งเข้าไปในเส้นใยนำแสงมีขนาด P(0) ดังนั้น กำลังของสัญญาณแสงดังกล่าวที่ระยะทาง L (วัดจากปลายของเส้นใยนำแสงที่เชื่อมต่อกับ OTDR) สามารถเขียนได้เป็น

$$P(L) = P(O)\exp^{(-\alpha 1.L)}$$

โดยที่ α_1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนต่อหน่วยความยาว

เมื่อพิจารณากำลังของแสง P(L) ที่กระจัดกระจายย้อนกลับมายังหัววัดแสงของ OTDR กำลังของแสงที่ตรวจวัดได้จะเป็นไปตามสมการ

$$P_B(L) = (1/2)\, P(O)\, S\, \alpha_s\, V_g\, W \exp^{(-2\alpha 1.L)}$$

โดยที่ $P_B(L)$ คือ กำลังของแสงที่กระจัดกระจายย้อนกลับทิศทาง

$P(O)$ คือ กำลังของแสงที่ส่งเข้าไปในเส้นใยนำแสง

S คือ แฟกเตอร์ของการกระจัดกระจายย้อนกลับ (ขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยนำแสง)

α_s คือ สัมประสิทธิ์ของการกระจัดกระจายแบบ Rayleigh

V_g คือ ความเร็วของกลุ่มคลื่นแสง (Group Velocity)

W คือ ความกว้างของพัลส์แสง (Pulse Width)

α_1 คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนต่อหน่วยความยาว

L คือ ความยาวของเส้นใยนำแสง

ค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจัดกระจายย้อนกลับของเส้นใยนำแสงแบบ Step Index Multimode สามารถเขียนให้เห็นเป็นตัวอย่างได้ดังนี้

$$S = [\pi(NA)^2] / [4\pi n_1^2] = (NA)^2 / [4n_1^2]$$

โดยที่ NA คือ อะเพอร์เจอร์เชิงตัวเลขของเส้นใยนำแสง

n1 คือ ค่าดัชนีหักเหของแกนกลางเส้นใยนำแสง

ความหมายของสมการ (4) คือ ณ ตำแหน่งใดๆ บนเส้นใยนำแสง เช่น ที่ตำแหน่งห่างจากจุดต่อระหว่างเส้นใยนำแสงกับ OTDR มาเป็นระยะทางความยาว L จะเกิดมีการกระจัดกระจายของแสงขึ้นเนื่องจากการกระจัดกระจายแบบ Rayleigh (α_s) แสงสามารถกระจัดกระจายได้หลายทิศทาง แต่จะมีบางส่วนที่กระจัดกระจายย้อนกลับทิศทางมายังหัววัดแสงของ OTDR กำลังของแสงที่กระจัดกระจายย้อนกลับมานั้นจะมีปริมาณที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าแฟกเตอร์ของการกระจัดกระจายย้อนกลับ (S) กำลังของแสงมีการลดทอนตามเส้นใยนำแก้วแสงทั้งขาไปและขากลับ ทำให้ลดลงด้วย $\exp^{(-2\alpha 1.L)}$

<u>ตัวอย่าง</u> ถ้าเส้นใยนำแสงที่ต้องการตรวจสอบเป็นชนิด Step Index Multimode มีคุณสมบัติดังนี้

1. NA = 0.2
2. ดัชนีหักเหของแกนกลางเส้นใยนำแสง = 1.5
3. สัมประสิทธิ์ของการกระจัดกระจายแบบ Ray leigh = 0.7^{-1} km
4. ความกว้างของพัลส์แสง = 50 ns
5. ความเร็วของแสง = 2.998×10^8 m/s

จงคำนวณหากำลังของแสงที่กระจายย้อนกลับ $P_B(L)$ เทียบกับกำลังของแสงที่ส่งเข้าไป P(O) ในเส้นใยแสง

<u>วิธีทำ</u> จากสมการ (4) กำลังของแสงที่กระจัดกระจายย้อนกลับ หาได้จาก

$$P_B(L) = (1/2)P(0)\, S\, \alpha_s\, V_g W \exp(-2\alpha_1 L)$$

เนื่องจากตำแหน่งที่ต้องการหา P_B คือ ที่ด้านอินพุตของเส้นใยนำแสงดังนั้น L = 0

$P_B(0) = (1/2)P(0)\ S\ \alpha_s\ V_g W$

เนื่องจากเส้นใยนำแสงเป็นแบบ Step Index Multimode จึงสามารถแทนค่าในสมการได้เป็น

$P_B(0) = (1/2)\ \{[(NA)^2\ \alpha_s\ WV_g]/[4n_1^2]\}P(0)$

เนื่องจาก $V_g = C / n_1$ ดังนั้น

$$\frac{P_B(0)}{P(0)} = (1/2)\ \{[(NA)^2\ \alpha_s\ W\ C]/[4n_1^2]\}$$

$$= (1/2)\ \{[(0.2)^2 \times 0.7\times10^{-3} \times 50\times10^{-9} \times 2.998\times10^8\ ] / [4(1.5)]\}$$

$$= 1.55 \times 10^{-5}$$

หรือหากคิดในหน่วยเดซิเบลจะได้เป็น

$$\frac{P_B(0)}{P(0)} = 10\log_{10}1.55 \times 10^{-5}$$

$$= -\ 48.1 \text{ เดซิเบล}$$

จากตัวอย่างข้างต้นจะเห็นว่า ที่จุดอินพุตของเส้นใยแก้วนำแสง จะมีกำลังของแสงที่กระจัดกระจายย้อนกลับมาน้อยมากเมื่อเทียบกับกำลังของสัญญาณที่ป้อนเข้าไป อย่างไรก็ตามอย่าสับสนกับปริมาณแสงที่เกิดจากการสะท้อนกลับแบบเฟรสเนลอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีหักเหของตัวกลาง

ถ้าพิจารณาทางด้านอินพุตของเส้นใยแก้วนำแสง กำลังของแสงที่สะท้อนกลับ (ในแนวตั้งฉากกับผิวรอยต่อ) เทียบกับกำลังของสัญญาณที่ป้อนเข้าไปจะหาได้จากสมการ

$$P_r(0)/P(0) = [(n_1-n_2)/ (n_1+n_2)]^2$$

โดยที่ P_r คือ กำลังของแสงสะท้อน

n_1 คือ ค่าดัชนีหักเหของอากาศ = 1.00

n_2 คือ ค่าดัชนีหักเหของแกนกลางเส้นใยนำแสง = 1.50

$P_r(0)/P(0) = [(1-1.5)/ (1+1.5)]^2 = 0.04$ หรือ 4 เปอร์เซ็นต์

ผลลัพท์ที่ได้หมายความว่า ถ้ามีแสงที่ตกกระทบที่ผิวรอยต่อ 100 เปอร์เซ็นต์ จะมีปริมาณแสงประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์สะท้อนกลับหรือคิดในหน่วยเดซิเบลจะได้เป็น -13.97 เดซิเบล ซึ่งค่าจากเดซิเบลทั้งสองที่ได้ จะเห็นว่ากำลังของแสงที่ได้จากการสะท้อนกลับแบบเฟรสเนล มีค่ามากกว่ากำลังที่ได้จากการกระจายย้อนกลับแบบ Rayleigh

๒.๓ พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ต้องทำการเซต เมื่อทำการวัดด้วยเครื่อง OTDR

เมื่อจะทำการตรวจสอบเส้นใยแก้วนำแสงด้วย OTDR ทุกครั้ง ผู้ใช้เครื่องจะต้องตั้งค่าพารามิเตอร์บางตัวที่เหมาะกับระบบที่กำลังทำการวัด ซึ่งค่าต่างๆ ที่ผู้ใช้ต้องทำการป้อนก่อนจะทำ

การวัดนี้ อาจมีความแตกต่างไปบ้างขึ้นอยู่กับเครื่อง OTDR ที่กำลังใช้งานอยู่เช่นกัน ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สำคัญมีดังนี้

๑. Wavelength เนื่องจากในระบบการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงอาจมีการใช้แสงซึ่งมีความยาวคลื่น ๑๓๑๐ หรือ ๑๕๕๐ นาโนเมตร ดังนั้นในการตรวจสอบเส้นใยนำแสงด้วย OTDR จึงจำเป็นต้องเลือกความยาวคลื่นแสงที่ใช้ให้เหมาะสมด้วย

๒. Refractive Index โดยทั่วไปค่าดัชนีหักเหจะได้จากผู้ผลิตเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งค่าดังกล่าวมีผลต่อความแม่นยำในการวัดระยะทางของ OTDR เป็นอย่างมาก

๓. Pulse Width ค่าที่ผู้ใช้ป้อนเข้าไปนี้ สามารถเลือกได้จากเครื่อง OTDR สามารถเลือกช่วงกว้างของพัลส์ของแสงที่เข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงได้อยู่ในช่วงตั้งแต่ ๑-๑๐๐๐ เมตร ขึ้นกับความต้องการให้ค่าความละเอียด (Resolution) ในการวัด ในกรณีที่เลือก Pulse Width ที่กว้าง มีผลทำให้กำลังของพัลส์แสงมีค่ามาก จึงเป็นการเพิ่มความสามารถของ OTDR ให้วัดเส้นใยแก้วนำแสงที่มีความยาวมากได้ แต่ผลเสียก็คือ ทำให้ขนาดของ Dead Zone กว้างขึ้นและยากที่จะอธิบายความแตกต่างระหว่างรอยตำหนิ (Faults) บนเส้นใยแก้วนำแสงที่อยู่ใกล้ๆ กันได้ (Resolution ไม่ดี) ในกรณีที่เลือก Pulse Width ที่แคบ OTDR สามารถวัดเส้นใยแก้วนำแสงได้สั้นลง แต่ Dead Zone จะแคบและแยกความแตกต่างของจุดบกพร่องที่ใกล้ๆ กันได้ดี (Resolution ดีขึ้น)

๔. Fiber Range ควรจะเลือกให้ยาวกว่าความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงที่กำลังตรวจสอบเพียงเล็กน้อย ตัวอย่าง เช่น ถ้าเส้นใยแก้วนำแสงที่กำลังทำการวัดมีความยาว ๘๐ กิโลเมตรผู้ใช้ควรตั้งค่า Fiber Range ไว้ที่ ๑๐๐ กิโลเมตร เนื่องจากว่าถ้าป้อนค่า Fiber Range ที่สั้นเกินไปจะทำให้สัญญาณที่สะท้อนกลับมาจากปลายของเส้นใยแก้วนำแสงปรากฏอยู่ ณ ตำแหน่งที่ไม่ถูกต้อง เพราะว่าโดยหลักการของ OTDR แล้วช่วงเวลาที่หัววัดแสงทำการวัดแสงที่สะท้อนมาจากภายในเส้นใยแก้วนำแสง จะสัมพันธ์กับ Fiber Range ที่ตั้งไว้ ดังนั้นถ้าตั้งค่า Fiber Range สั้นกว่าความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงที่แท้จริง ช่วงเวลาที่หัววัดแสงเปิดรับสัญญาณที่สะท้อนกลับมาก็จะสั้นลงด้วย จึงเป็นเหตุให้สัญญาณที่สะท้อนกลับมาจากปลายเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งใช้เวลาในการเดินทางมากกว่าช่วงเวลาดังกล่าวไม่อาจถูกตรวจวัดได้ในเวลาที่ถูกต้อง ในทางตรงกันข้ามถ้าทำการเลือก Fiber Range ให้ยาวเกินไปจะทำให้ช่วงเวลาที่หัววัดแสงเปิดรับแสงที่สะท้อนกลับมีเวลานาน เป็นผลทำให้เกิดปรากฏการณ์ “การสะท้อนซ้ำ (Ghost Reflection)” ได้ และมีผลเสียอีกประการหนึ่งที่เห็นได้ชัดเจนก็คือ การวัดในแต่ละครั้งก็จะใช้เวลามากขึ้นด้วย

๕. Averaging เนื่องจากการวัดแต่ละครั้ง ค่าความเข้มของสัญญาณที่สะท้อนกลับอาจมีค่ากระจายอยู่รอบๆ หนึ่ง ดังนั้นเครื่อง OTDR บางเครื่องสามารถเลือกค่าเฉลี่ยที่วัดได้ภายในช่วงเวลา (Time Period) หรือตามจำนวนครั้งในการวัด (Sweeping Number) โดยค่าเฉลี่ยนี้จะเป็นตัวเลขที่บอกถึงว่า ในการตรวจวัดแต่ละครั้งจะทำการเฉลี่ยกับค่าที่ทำการตรวจสอบครั้งที่แล้ว การเลือกค่าเฉลี่ยที่ใช้ในการวัด ทำให้ค่าของการวัดดีขึ้น ลดสัญญาณรบกวนลงได้

๖. Back Scatter Coefficient ค่าสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนกลับ เป็นอีกค่าหนึ่งที่ได้จากผู้ผลิตเส้นใยแก้วนำแสง โดยปกติเครื่องจะกำหนดเป็น ”Normal“ ที่ความยาวคลื่นและช่วงกว้างของพัลส์ที่กำหนดให้ ซึ่งค่าดังกล่าวจะนำมาใช้ในการคำนวณกำลังของสัญญาณแสงที่กระจัดกระจายย้อนกลับ

๗. Unit สำหรับ OTDR บางเครื่องการแสดงหน่วยของความยาว เลือกได้ตามความต้องการ เช่น เมตร กิโลเมตร หรือไมล์ เป็นต้น

๘. Scale ผู้ใช้สามารถเลือก Scale ที่เหมาะสมในการแสดง Fiber Signature ได้ โดยทั่วไป แกนตั้งจะแสดงถึงกำลังแสงที่หัววัดแสงวัดได้ เทียบกับกำลังแสงอินพุต มีหน่วยเป็นเดซิเบล และจะมี Scale เป็น dB/div ส่วนแกนนอนแสดงถึงความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง มีหน่วยเป็นกิโลเมตร และจะมี Scale เป็น km/div

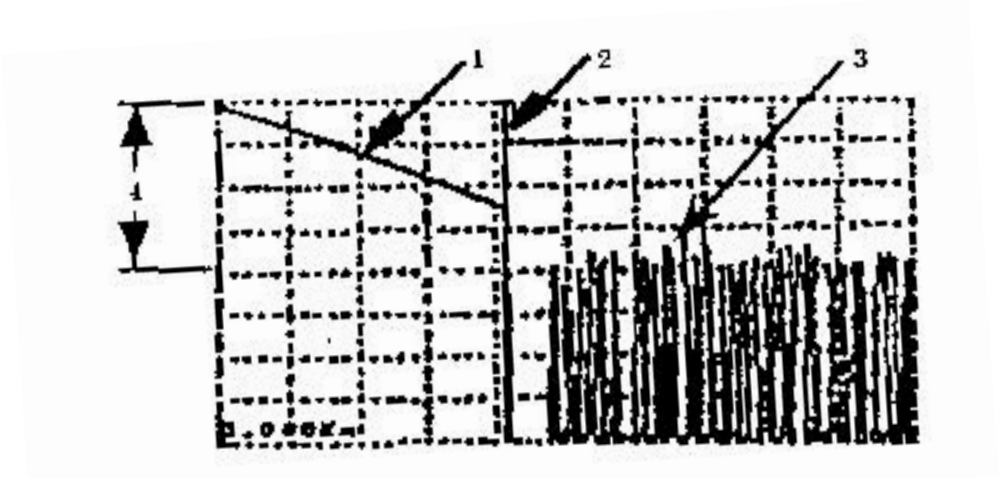
๒.๔ การสูญเสียในเส้นใยแก้วนำแสง

การสูญเสียของกำลังแสงในเส้นใยแก้วนำแสงนั้นเป็น 2 ประเภท ขึ้นกับวิธีการเชื่อมต่อ คือ

๑. การเชื่อมต่อเชิงกล (Mechanical Splice) กล่าวคือ เมื่อแสงเดินทางมาพบบริเวณช่องอากาศ (Gap) หรือมีการเปลี่ยนแปลงของดัชนีหักเหระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง ๒ เส้นที่เชื่อมต่อกัน อาจเกิดการสะท้อนที่บริเวณรอยต่อขึ้นได้ ทำให้มีแสงเดินทางย้อนกลับมาได้บางส่วนมายังตัวรับสัญญาณแสงภายในเครื่อง การสะท้อนลักษณะนี้เกิดจากรอยต่อของดัชนีหักเหที่ต่างกัน หรือเกิดการสะท้อนแบบเฟรสเนล ซึ่งแสดงถึงการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงโดยการใช้อุปกรณ์ทางกลที่ไม่ซับซ้อน และมีช่องอากาศเกิดขึ้นที่บริเวณรอยต่อ

๒. การเชื่อมต่อแบบหลอมรวม (Fusion Splice) การเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงแบบนี้มีประสิทธิภาพดีกว่า เพราะมีค่าการสูญเสียของสัญญาณน้อยกว่าแบบเชิงกล เมื่อเส้นใยแก้วนำแสงที่มีขนาดของแกนแตกต่างกันทำการเชื่อมต่อกัน การเชื่อมต่อแบบนี้อัตราการลดทอนของสัญญาณแสงจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงที่นำมาต่อ ซึ่งที่จุดเชื่อมต่อนี้มีอัตราการลดทอนของแสงแตกต่างกัน ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของความซับซ้อนของสัญญาณที่กระเจิงกลับ อาจเรียกอีกอย่างว่า “การเชื่อมต่อแบบไม่มีการสะท้อน”

จากภาพที่ ๑๕-๒๑ แสดงตัวอย่างของสัญญาณจากการตรวจวัดเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งแสดงชนิดต่างๆ ของการเชื่อมต่อ โดยพัลส์ของแสงที่เกิดขึ้นจากริมด้านซ้าย แสดงการสะท้อนของแสงที่เกิดขึ้นระหว่างรอยต่อของแหล่งกำเนิดแสงในเครื่องโอ ที ดี อาร์ และเส้นใยแก้วนำแสง ส่วนด้านขวาแสดงการสะท้อนของแสงที่เกิดขึ้นระหว่างรอยต่อของปลายเส้นใยแก้วนำแสงกับอากาศ โดยสัญญาณจะลดระดับลงมาถึงระดับของสัญญาณรบกวน (Noise Floor) ซึ่งระดับนี้แสดงว่าต่อจากนี้ไม่มีแสงสะท้อนกลับมายังตัวรับสัญญาณแสงในเครื่องโอ ที ดี อาร์ อีก



ภาพที่ ๑๕-๒๑ แสดงรูปแบบการตรวจวัดบนหน้าจอโอ ที ดี อาร์

ตำแหน่งที่ ๑ แสดงความซับซ้อนของการลดทอนของแสงในใยแก้วนำแสง
ตำแหน่งที่ ๒ เกิดการสะท้อนแบบเฟรสเนลที่รอยต่อระหว่างปลายของเส้นใยแก้วนำแสงกับอากาศของแหล่งกำเนิดแสงบนเครื่องโอ ที ดี อาร์
ตำแหน่งที่ ๓ แสดงสัญญาณรบกวนที่อยู่ในระยะที่สุดสายใยแก้วนำแสง
ตำแหน่งที่ ๔ แสดงระดับกำลังสูงสุดของเครื่องโอ ที ดี อาร์

ความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงที่ตำแหน่งต่างๆ สามารถบอกค่าที่ได้ในแนวแกน X ของเครื่องโอ ที ดี อาร์ เป็นฟังก์ชันของเวลา โดยเวลาในการส่งแสงไปและกลับของพัลส์ของแสง สามารถแปลงเป็นระยะที่แสงเดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงของตัวกลางหรือเส้นใยแก้วนำแสงได้ โดยทราบความเร็วของการส่งแสงสัญญาณขึ้นกับค่าดัชนีหักเหแสงของตัวกลางหรือเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละชนิด ส่วนแกน Y แสดงกำลังของแสง (Optical Power) ในหน่วยเดซิเบล

ระยะเดดโซน (Dead Zone) คือ ขนาดของช่วงกว้างของพัลส์ (Pulse Width) ของแสงจากแหล่งกำเนิดของแสง ขนาดของพัลส์แสงนี้จะเป็นตัวกำหนดระยะเดดโซน ซึ่งจะแสดงความสามารถในการวัดสัญญาณของเครื่องโอ ที ดี อาร์ เมื่อพัลส์ของแสงเดินทางมาพบกับตำแหน่งที่ทำให้เกิดการสะท้อน (เช่น รอยเชื่อมต่อเชิงกล หรือปลายทางของเส้นใยแก้วนำแสง) จะเกิดการสะท้อนโดยกำลังของแสงที่ตรวจวัดได้อันเนื่องจากการสะท้อนแบบ เฟรสเนลนี้ จะมีค่ามากกว่าการสะท้อนของแสงอันเนื่องจากการกระเจิงกลับโดยทั่วไป และตัวรับสัญญาณแสงของเครื่องโอ ที ดี อาร์ จะมีความไวสูงมาก หากกำลังของแสงเนื่องมาจากการสะท้อนนี้มีค่ามากพอ ทำให้ตัวรับแสงอิ่มตัวในช่วงเวลาสั้นๆ ช่วงเวลาเดดโซนดังกล่าวเครื่องจะไม่สามารถตรวจวัดสิ่งผิดปกติใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นในเส้นใยแก้วนำแสง ช่วงเวลาของช่องกว้างของพัลส์ของตัวรับสัญญาณทางแสงนี้เรียกว่า “ระยะเดดโซน”

๒.๕ การประยุกต์ใช้เครื่องโอ ที ดี อาร์

๑. การตรวจสอบม้วนเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงก่อนทำการวางสาย เนื่องจากเคยพบปัญหาว่าหลังทำการวางระบบไปแล้วพบว่าสายเคเบิลกลับมีปัญหา

๒. การประเมินค่าเคเบิลใหม่ก่อนทำการติดตั้ง หลังจากทำการวางสายเคเบิลไปแล้วก็ยังควรต้องมีการตรวจสอบอีกครั้ง เนื่องจากหลังทำการติดตั้งแล้ว ย่อมต้องมีการสูญเสียเนื่องจากการเชื่อมต่อแบบต่างๆ ในแต่ละจุด การสะท้อน การโค้งงอของเส้นใยแก้วนำแสง ค่าการลดทอน

ต่าง ๆ และค่าอันเกิดจากการวางระบบในแต่ละครั้ง จำเป็นต้องบันทึกค่าเริ่มต้นไว้ทุกครั้ง เพื่อเป็นมาตรฐานในการติดตั้งครั้งต่อไป ตลอดจนทราบค่าลดทอนในระบบนั้นๆ เพื่อเปรียบเทียบกับการซ่อมแซมอันจะต้องเกิดขึ้นในอนาคต ว่าการลดทอนรวมต้องอยู่ในค่าที่ยังยอมรับได้ก่อนรื้อทิ้งไปและเปลี่ยนเคเบิลเส้นใหม่มาแทน

๓. การตรวจสอบการทำงานของเส้นใยแก้วนำแสง เป็นการตรวจสอบว่าเคเบิลในแต่ละจุดยังคงมีประสิทธิภาพในการคัปปลิ้งสัญญาณแสงได้ดีเช่นเดิมหรือไม่ เพราะมีบางครั้งสามารถวัดได้ก่อนแต่เนิ่นๆ ก่อนจะเกิดปัญหาทำให้ระบบเสียหายไม่สามารถทำงานได้ ซึ่งจะสร้างความสูญเสียเป็นอย่างมาก ตัวอย่างเช่น ถ้าพบว่าค่าการสูญเสียที่จุดหนึ่งหากมีความชันมาก สังเกตได้บนหน้าจอหรือปรากฏการเชื่อมต่อแบบหลอมรวมขึ้นทั้งๆ ที่บริเวณนั้นไม่มีการเชื่อมต่อเลย นั่นย่อมแสดงว่าบริเวณดังกล่าวเกิดปัญหา

๔. การประเมินค่าเส้นทางที่สงสัยว่าจะเกิดปัญหา ถ้าการส่งผ่านสัญญาณเกิดการผิดพลาด ในบริเวณหนึ่งๆ เครื่องโอ ที ดี อาร์สามารถยืนยันได้ว่าเส้นใยแก้วนำแสงนั้นกำลังทำงานถูกต้องหรือผิดพลาด

๕. เครื่องโอ ที ดี อาร์ สามารถระบุตำแหน่งที่เกิดการผิดพลาด (สภาพของเส้นใยแก้วทั้งจุดที่ขาด, จุดที่แตก หรือแม้ตรวจสอบการเชื่อมต่อ (Splice) ได้อย่างถูกต้อง