

ปฐมนิเทศ วิชาการสื่อสารประเภทสาย

บทที่ 1 ทฤษฎีของ TRANSMISSION LINE

กล่าวทั่วไป

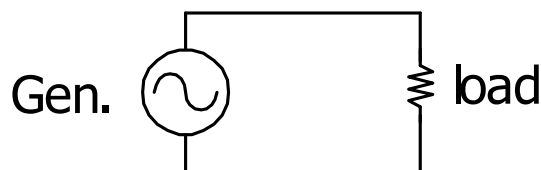
ทางสายส่งกำลัง คือ มัชฌิมการสื่อสารชนิดหนึ่ง ซึ่งทำหน้าที่ส่งกำลังงานไฟฟ้าจากจุดใดจุดหนึ่ง ไปยังปลายทางที่ต้องการ ไม่ว่าจะเป็นการส่งกำลังงานในระบบไฟฟ้ากำลัง (Power) หรือระบบทางการสื่อสาร (Communication) ย่อมต้องใช้สายส่งกำลังดังกล่าวเป็นมัชฌิมการสื่อสารเสมอ จะผิดกันก็แต่ระดับกำลังทั้งสองระบบนี้เล็กน้อยไม่เท่ากันเท่านั้น

ในระบบการติดต่อสื่อสารหรือการส่งพลังงานไฟฟ้า มีส่วนประกอบอยู่ 3 ประการคือ

1. อุปกรณ์ที่ผลิตพลังงานไฟฟ้า เช่น เครื่องส่งโทรศัพท์ (ปากพูด) หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ตั้งอยู่ที่ปลายส่งของสาย Transmission Line
2. อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานในรูปอื่น ที่ใช้ประโยชน์ในพลังงานนั้น ๆ เช่น เครื่องรับโทรศัพท์จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานเสียง และ ตั้งอยู่ที่ปลายรับของสาย Transmission Line
3. มัชฌิมในการส่งกำลังงาน คือ สายส่งกำลัง ในระบบ จะต้องประกอบด้วยตัวนำ 2 ตัวนำ แยกกันบางครั้งจะเห็นว่ามีส่วนนำเส้นเดียว แต่อีกด้านหนึ่งนั้นคือดิน

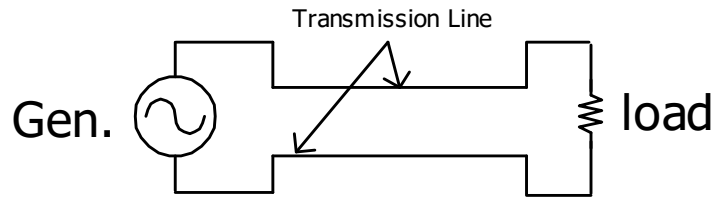
ลักษณะของทางสายส่งกำลัง (Transmission Line Characteristics)

คุณลักษณะของสายส่งกำลัง พิจารณาจากวงจรเปรียบเทียบจะปรากฏว่าลักษณะของทางสายส่งกำลังเป็นตามลักษณะที่แสดงดังรูปที่ 1-1



รูปที่ 1-1 เครื่องกำเนิดกำลังงานไฟฟ้าต่อตรงกับ Load

จากรูปที่ 1-1 จะแสดงให้เห็นว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อตรงไปยัง LOAD เราจะเห็นว่าความต้านทานของ LOAD ที่มีความสามารถในการรับรองพลังงานนั้น โดยพลังงานที่ LOAD ได้รับนั้นจะเท่ากับพลังงานที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 1-2 เครื่องกำเนิดกำลังงานไฟฟ้าต่อผ่านสายส่งกำลัง

จากรูปที่ 1-2 สมมุติว่าจำนวนพลังงานที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้จ่ายไปยัง LOAD โดยต่อผ่านสาย Transmission Line พลังงานที่ LOAD ได้รับจะน้อยกว่าพลังงานที่แหล่งจ่าย ดังนั้นสาย Transmission Line จะมีคุณลักษณะอย่างหนึ่งที่ทำให้พลังงานเกิดการสูญเสียระหว่างแหล่งจ่ายกับ LOAD พลังงานที่สูญเสียได้เกิดขึ้น ณ จุดใดจุดหนึ่ง แต่จะเกิดตลอดความยาวของสาย Transmission Line การสูญเสียดังกล่าวนี้กระจายออกไปโดยสม่ำเสมอตลอด Transmission Line นั้นเอง สาเหตุของการสูญเสียกำลังงานไฟฟ้านี้เกิดขึ้นจากลักษณะของ Transmission Line เนื่องจากตัวคงที่ของ Transmission Line (Constants of the Transmission Line) ซึ่งอาจแบ่งออกได้ดังนี้

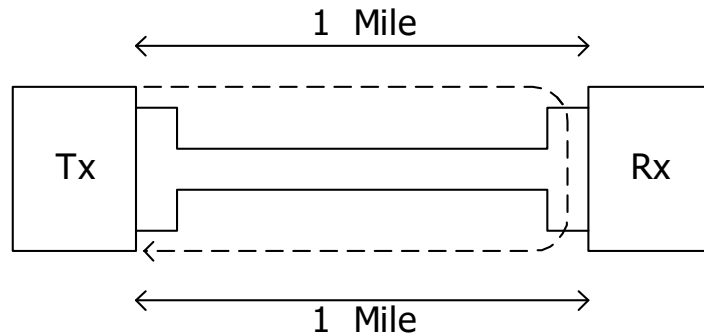
1. ตัวคงที่ที่เป็นจุด (Lumped Constants) หมายถึงการสูญเสียที่เกิดขึ้นเป็นจุด ๆ ไป เช่น ถ้าใส่ตัวต้านทาน (Resistance) เข้าไปใน Transmission Line เป็นจุด ๆ ไป จะเกิดความสูญเสียขึ้น ณ จุดต่าง ๆ นั้น ไม่สม่ำเสมอตลอด Transmission Line ซึ่งจะไม่ศึกษาในส่วนนี้

2. ตัวคงที่กระจาย (Distributed Constants) หมายถึง ตัวคงที่อันเป็นลักษณะประจำของ Transmission Line ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียกำลังงานไฟฟ้า โดยสม่ำเสมอตลอด Transmission Line การสูญเสียในลักษณะนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 อย่างคือ

1. SERIES RESISTANCE ต่อหนึ่งหน่วยความยาว
2. SERIES INDUCTANCE ต่อหนึ่งหน่วยความยาว
3. SHUNT CAPACITANCE ต่อหนึ่งหน่วยความยาว
4. SHUNT CONDUCTANCE ต่อหนึ่งหน่วยความยาว (โดยทั่วไปรู้จักกันว่า LEAKAGE)

หน่วยความยาว (Unit Length)

คำว่าหนึ่งหน่วยความยาวในที่นี้หมายถึง Transmission Line ซึ่งมีความยาว 1 Loop Mile แสดงดังรูปที่ 1-3



รูปที่ 1-3 แสดง 1 Loop Mile

จากรูปที่ 1-3 จะเห็นว่า Transmission Line หนึ่งหน่วยความยาวเท่ากับ ความยาวจริง ๆ ของ Transmission Line ตั้งแต่ต้นทางที่ส่งกำลังงานไปจนถึงปลายทางที่รับกำลังงานนั้น ๆ และกลับไปยังต้นทางอีกทีหนึ่ง นั่นแสดงว่า ความยาวในหนึ่งหน่วยความยาวของ Transmission Line แล้วจะมีความยาวจริง ๆ เท่ากับ 2 Mile นั่นเอง

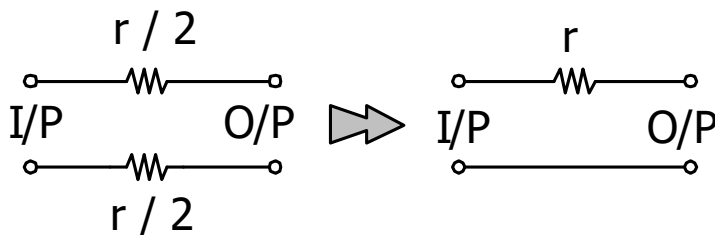
SERIES RESISTANCE ต่อหนึ่งหน่วยความยาว

คือค่าของความต้านทานของวัตถุซึ่งใช้ทำ Transmission Line ต่อหนึ่งหน่วยความยาว หรือ 2 Mile โดยใช้สัญลักษณ์ คือ r มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω) ฉะนั้น

ความต้านทานอันดับต่อหนึ่งหน่วยความยาว = $r \quad \Omega$

ดังนั้นความต้านทานของ Transmission Line แต่ละเส้น = $r/2 \quad \Omega$

แสดงดังรูปที่ 1-4



รูปที่ 1-4 วงจรความต้านทานอันดับ

จากรูปที่ 1-4 แสดง DISTRIBUTED SERIES RESISTANCE ความต้านทานรวมของ Transmission Line จะรู้ได้โดยการเอาค่าความต้านทานต่อหนึ่งหน่วยความยาวคูณด้วย ความยาว

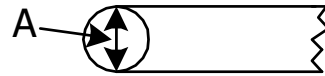
ทั้งหมด ดังนั้น ถ้าค่าความต้านทานอันดับของสายมีค่า 10 โอห์มต่อหนึ่งไมล์ และสายมีความยาว 100 ไมล์ ฉะนั้น ความต้านทานรวมทั้งหมดเท่ากับ 1000 โอห์ม ขนาด DISTRIBUTED RESISTANCE ของสาย Transmission Line ขึ้นอยู่กับขนาดของสาย และความยาว การเปลี่ยนแปลงไปของค่าความต้านทานที่ขึ้นอยู่กับความยาวเป็นผลคูณจาก Skin effects ความต้านทานจะเพิ่มขึ้นเมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางของสายลดลง

ความต้านทานต่อหนึ่งหน่วยความยาวขึ้นอยู่กับ

1. ขนาดของเส้นลวดซึ่งใช้ทำ Transmission Line

$$r \propto 1/A$$

$$A = \text{ขนาดของเส้นลวด}$$



2. ความถี่ของสัญญาณที่ส่งไปตาม Transmission Line

$$r \propto f$$

$$f = \text{ความถี่ของสัญญาณ}$$

SERIES INDUCTANCE ต่อหนึ่งหน่วยความยาว

ความเหนี่ยวนำตัวเอง (Self Induction) เป็นลักษณะประการหนึ่งของวงจร ซึ่งทำให้เกิดแรงเคลื่อนตอบโต้ (Counter Electromotive Force) ซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับการเปลี่ยนแปลงของกระแสภายในวงจร แรงเคลื่อนนี้เกิดขึ้นตลอดความยาวของ Transmission Line แสดงว่าความเหนี่ยวนำอันดับนี้มีอยู่เสมอสม่ำเสมอตลอด Transmission Line นั้น ความเหนี่ยวนำนี้ใช้สัญลักษณ์ตัว L และมีหน่วยเป็นเฮนรีต่อหนึ่งหน่วยความยาว (Henry per Loop Mile) ดังนั้น

ค่ารวมของความเหนี่ยวนำจะเท่ากับความเหนี่ยวนำต่อหนึ่งหน่วยความยาวคูณด้วยความยาวของ Transmission Line

ความเหนี่ยวนำอันดับทำให้เกิดการต่อต้านต่อกระแสไฟฟ้าของคลื่นเสียงในรูปของความต้านทานการเหนี่ยวนำ (Inductive Reactance - XL) มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

การหาค่า XL หาได้จากสมการดังนี้

$$XL = 2\pi fL \quad \text{Ohms}$$

$$f = \text{ความถี่ ซึ่งมีหน่วยเป็นไซเคิลต่อวินาที}$$

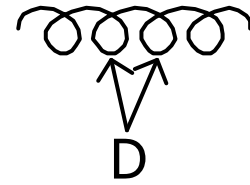
$$L = \text{ความเหนี่ยวนำมีหน่วยเป็น Henry}$$

ค่าของความเหนี่ยวนำ (L) ขึ้นอยู่กับลักษณะดังต่อไปนี้

1. ความเหนี่ยวนำ L เป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับระยะห่างของขดลวดในแต่ละรอบ

$$L \propto D$$

D = ระยะห่างของขดลวดในแต่ละรอบ



2. ความเหนี่ยวนำ L เป็นปฏิภาคกลับกับขนาดของลวดตัวนำ

$$L \propto 1/d$$

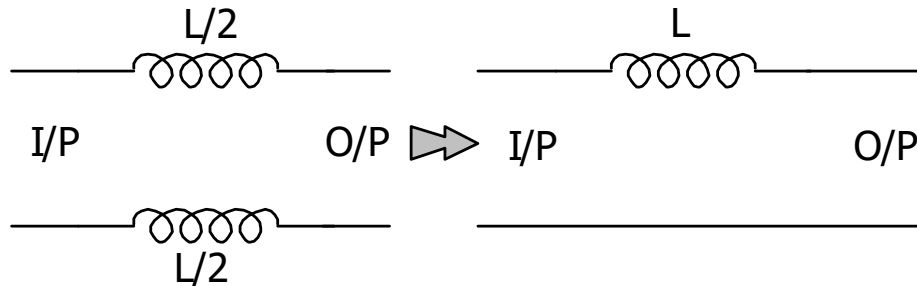
d = เส้นผ่าศูนย์กลางของลวดตัวนำ



ลวดตัวนำที่มีความยาวเท่ากัน พอจะสรุปได้ดังนี้

1. เส้นลวดที่มีขนาดเล็ก เมื่อพันเป็นความเหนี่ยวนำแล้วจะได้จำนวนรอบมากกว่า ดังนั้นค่า L จะมีค่ามาก

2. เส้นลวดที่มีขนาดใหญ่ เมื่อนำมาพันเป็นความเหนี่ยวนำแล้วจะได้จำนวนรอบน้อยกว่า ดังนั้น ค่า L จะมีค่าน้อย



รูปที่ 1-5 แสดง DISTRIBUTED SERIES INDUCTANCE

ค่า INDUCTANCE ที่เกิดขึ้นเองในวงจรทำให้เกิด COUNTER VOLTAGE บ้อนเข้าในวงจร โดยการเปลี่ยนแปลงกระแสในวงจร ในสาย TRANSMISSION LINE ขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงของ กระแส VOLTAGE ก็จะถูก INDUCED ตลอดทางสายซึ่งให้เห็นว่า SERIES INDUCTANCE เกิดขึ้นแล้ว ในวงจรของ LINE ขนาดที่เกิดขึ้นนี้ย่อมขึ้นอยู่กับขนาดของการเหนี่ยวนำในสายและความถี่ มัน จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นค่าความเหนี่ยวนำมีสัญลักษณ์ย่อว่า L มีหน่วยวัดเป็น HENRY ต่อหนึ่ง LOOP ไมล์ ค่า SERIES INDUCTANCE มีปฏิกิริยาขัดขวางการเปลี่ยนแปลง ของกระแสเสียงในรูปของ INDUCTIVE REACTANCE (X_L)

SHUNT CAPACITANCE ต่อหนึ่งหน่วยความยาว

ปฏิกิริยาซึ่งเกิดขึ้นใน Transmission Line เนื่องจากความจุนั้น จะเกิดขึ้นในลักษณะของหม้อ ตุน (Capacitor) Transmission Line สองสายจะเปรียบได้กับแผ่นความจุในหม้อตุนและมีอากาศ หรือวัสดุอื่นเป็น Dielectric ปฏิกิริยาดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นในลักษณะของความต้านทานความจุ (Capacitive Reactance = X_c) ซึ่งต่อขนานกับ Transmission Line เป็นผลให้กระแสไฟฟ้าของ คลื่นเสียงลัดวงจรกลับแหล่งกำเนิดสัญญาณ ทำให้กระแสดังกล่าวไปถึงปลายทางน้อยลง การหาค่า Capacitive Reactance จะหาได้จากสมการดังนี้

$$X_c = 1 / 2\pi f C$$

$$f = \text{ความถี่ ซึ่งมีหน่วยเป็นไซเคิลต่อวินาที}$$

$$C = \text{ความจุ มีหน่วยเป็นฟารัด (Farads)}$$

ค่า C มีค่ามาก ค่า X_c จะมีค่าน้อย ดังนั้นกระแสไหลผ่าน C ได้มาก ทำให้กระแสที่ไหลไป ยังปลายทาง จะมีค่าน้อยด้วย

แต่ถ้าค่า C มีค่าน้อย ค่า X_c จะมีค่ามาก ทำให้กระแสไหลผ่าน C ได้น้อย จะทำให้กระแสที่ ไหลไปยังปลายทางมีค่ามาก

ค่าของความจุ C ใน Transmission Line จะขึ้นอยู่กับลักษณะดังต่อไปนี้

1. ความจุ C เป็นปฏิภาคโดยตรงกับขนาดของลวดตัวนำที่ใช้ทำ Transmission Line

$$C \propto d$$

$$d = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางของลวดตัวนำ}$$



2. ความจุ C เป็นปฏิภาคกลับกับระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของลวดตัวนำทั้งสอง

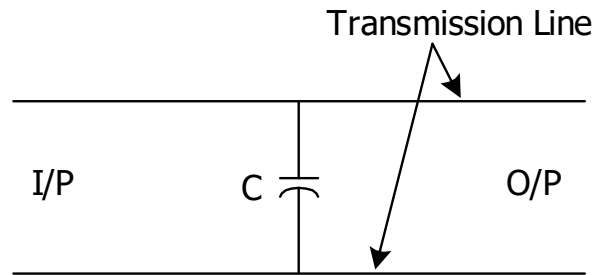
$$C \propto 1 / D$$

$$D = \text{ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของลวดตัวนำทั้งสอง}$$

3. ความจุ C เป็นปฏิภาคโดยตรงกับธรรมชาติของ Dielectric Constant ของลวดตัวนำ

$$C \propto K$$

$$K = \text{Dielectric Constant ของลวดตัวนำ}$$



รูปที่ 1-6 Shunt Capacitance

จากรูปที่ 1-6 แสดง DISTRIBUTED SHUNT CAPACITANCE ตัว CAPACITOR ประกอบด้วยแผ่นโลหะสองอันอยู่แยกกัน โดยมีสารที่มีค่าไดอิเล็กตริกอยู่ตรงกลาง เช่น อากาศหรือวัสดุอย่างอื่นที่ใช้เป็น DIELECTRIC ค่า CAPACITANCE จะมากขึ้นเมื่อขนาดของ CONDUCTOR โตขึ้น ซึ่งหมายถึงขนาดของแผ่น PLATE ใน CAPACITOR นั้นเอง และค่า CAPACITANCE จะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่น PLATE ลดลง ในสาย TRANSMISSION LINE ก็ประกอบด้วยโลหะตัวนำสองอันแยกจากกันด้วย DIELECTRIC ด้วยเหตุผลนี้ค่า CAPACITANCE จะเกิดการกระจายทั่วไปตลอดทางสาย อย่างไรก็ตาม พื้นที่ของสายตัวนำในสาย TRANSMISSION LINE มีขนาดเล็กกว่าแผ่น PLATE ในตัว CAPACITOR และระยะห่างระหว่างคู่สายก็มากกว่า ดังนั้นค่า DISTRIBUTED CAPACITANCE ของสาย TRANSMISSION LINE จึงมีค่าน้อยกว่า ค่านี้เรียกว่า SHUNT CAPACITANCE ค่าของมัน พิจารณาต่อหนึ่งหน่วยความยาว ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของสาย ระยะห่างระหว่างสายและประเภทของ DIELECTRIC ค่าจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของสายตัวนำเพิ่มขึ้น และเมื่อระยะห่างระหว่างคู่สายลดลง และเมื่อค่าความเป็น DIELECTRIC เพิ่มขึ้น DISTRIBUTED CAPACITANCE มีสัญลักษณ์ย่อว่า C มีหน่วยเป็น FARAD ต่อหนึ่ง LOOP ไมล์ ที่ต้องจำไว้คือว่า DISTRIBUTED CAPACITANCE ทำให้ CAPACITIVE REACTANCE (X_c) เกิดขึ้นตลอดทางสาย TRANSMISSION LINE ซึ่งมีผลต่อกระแสของเสียงคร่อม LINE ซึ่งจะเป็นเหตุให้กระแสผ่านไปยัง LOAD น้อยลง

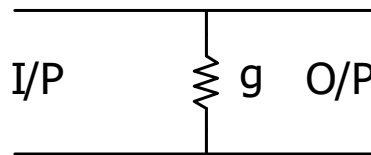
4. SHUNT CONDUCTANCE ต่อหนึ่งหน่วยความยาว

เนื่องจาก Dielectric หรือฉนวนซึ่งแยกหรือหุ้มห่อ Transmission Line นั้น ไม่อาจจะป้องกันการรั่วไหล (Leak) ของกระแสไฟฟ้าคลื่นเสียงระหว่างคู่สาย Transmission Line ได้อย่างสมบูรณ์ ฉะนั้นจึงมีกระแสบางส่วนรั่วไหลกลับระหว่างคู่สายเสียก่อนที่จะถึงปลายทาง เป็นผลให้กระแสไฟฟ้า

ได้รับ ฅ ปลายทางน้อยลง ความนำ (g) ในการส่งกำลังแสดงด้วยความต้านทานต่อขนานกับ Transmission Line มีหน่วยวัดเป็น Semen

$$g = 1 / r \text{ Semen}$$

ความนำขนานนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของ Dielectric ในกรณีที่เป็นสายโงง หรือฉนวนที่หุ้มหรือห่อ Transmission Line ในกรณีที่เป็นเคเบิล นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและลักษณะความชื้นของอากาศอีกด้วย



รูปที่ 1-7 แสดง DISTRIBUTED SHUNT CONDUCTANCE

จากรูปที่ 1-7 เนื่องจากคุณสมบัติของ DIELECTRIC ระหว่างสองตัวนำในสาย TRANSMISSION LINE ไม่ได้เป็นฉนวนที่สมบูรณ์อย่างแท้จริง ฉะนั้นจะมีการ LEAKAGE ระหว่างสองตัวนำนั้น ซึ่งจะเกิดคุณสมบัตินี้เกิดขึ้นตลอดทางสาย ในกรณีที่ TRANSMISSION LINE เป็นสายโงง (OPEN WIRE LINE) เราจะรู้ว่าตัว DIELECTRIC ระหว่างสายทั้งสองคือ อากาศซึ่งอากาศเกือบจะเป็นฉนวนที่แท้จริง เมื่ออากาศข้างนอกค่อนข้างแห้งแต่จะมีค่า CONDUCTANCE มากเมื่ออากาศชื้นขึ้น ส่วนใหญ่ค่า CONDUCTANCE จึงขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ เราเรียก SHUNT CONDUCTANCE หรือ LEAKAGE มีสัญลักษณ์ย่อว่า g มีหน่วยเป็นโอห์มต่อหนึ่ง LOOP ไมล์ ผลของ g ที่คร่อมกระแสเสียงจะเป็นเหตุให้พลังงานไปถึง LOAD ที่ปลายทางน้อยลง

บทที่ 2 โทรศัพท์เบื้องต้นและชุมสายเบื้องต้น

วิวัฒนาการโทรศัพท์

ในสมัยโบราณ การติดต่อสื่อสารทางไกลระหว่างมนุษย์ด้วยกันนั้น จะใช้วิธีการง่าย ๆ อาศัยธรรมชาติหรือเลียนแบบธรรมชาติเป็นหลัก เช่น การใช้ควัน เสียง แสง หรือใช้นกพิราบนำสาร เป็นต้น การสื่อสารที่ใช้สื่อดังกล่าวนี้จะไม่ค่อยได้ผลเท่าใดนัก เนื่องจากไม่สามารถให้รายละเอียดข่าวสารได้มาก หรือแม้จะให้รายละเอียดได้มาก แต่ก็ไม่ค่อยจะปลอดภัยเท่าใดนัก

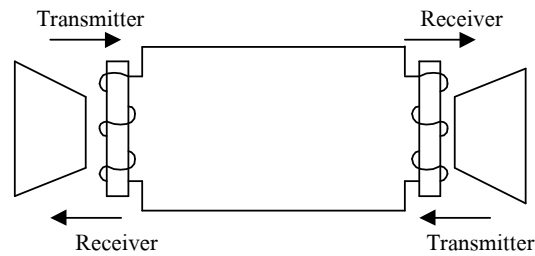
ในปัจจุบันซึ่งเป็นยุคโลกาภิวัตน์ เป็นยุคแห่งความเจริญทางด้านเทคโนโลยี มนุษย์ได้นำเอาเทคโนโลยีที่มี อยู่มาประยุกต์ใช้กับระบบสื่อสาร ทำให้การติดต่อสื่อสารในปัจจุบันมีประสิทธิภาพสูงมาก ทั้งความสะดวกสบาย รวดเร็วและถูกต้อง ชัดเจน แน่นนอน

ระบบสื่อสารที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันนี้มีหลายชนิด เช่น วิทยุสื่อสาร (Radio Communication) โทรเลข (Telegraphy) โทรพิมพ์ (Telex) โทรศัพท์ (Telephone) โทรสาร (Facsimile) หรือวิทยุติดตามตัว (Pager) เป็นต้น แต่ระบบสื่อสารที่ได้รับความนิยมมากที่สุดทั่วโลกก็คือ โทรศัพท์ เพราะโทรศัพท์สามารถสนทนาโต้ตอบกันได้ทันที รวดเร็วทันต่อเหตุการณ์ ซึ่งระบบอื่น ๆ ทำไม่ได้ โทรศัพท์จึงได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก และในโลกของการสื่อสารปัจจุบัน โทรศัพท์ก็เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงความเจริญรุ่งเรืองของประเทศต่าง ๆ ด้วย มีคำกล่าวหรือข้อกำหนดเกี่ยวกับการพัฒนาประเทศอยู่ว่า ประเทศใดที่มีจำนวนเลขหมายโทรศัพท์ในประเทศ 40 เลขหมายต่อประชากร 100 คน ถือว่าประเทศนั้นมีความเจริญแล้ว หรือเป็นประเทศที่พัฒนาแล้ว และประเทศใด ที่มีเลขหมายโทรศัพท์ 10 เลขหมายขึ้นไปต่อประชากร 100 คน ถือว่าประเทศนั้นเป็นประเทศที่กำลังได้รับการ พัฒนาอย่างก้าวกระโดด จะเห็นได้ว่าประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก ให้ความสำคัญกับกิจการโทรศัพท์เป็นอย่างมาก

สำหรับประเทศไทย คำว่า โทรศัพท์ ได้เริ่มรู้จักกันตั้งแต่รัชการที่ 5 ซึ่งโทรศัพท์ตรงกับภาษากรีก คำว่า Telephone โดย Tele แปลว่า ทางไกล และ Phone แปลว่า การสนทนา เมื่อรวมแปลรวมกันแล้วก็หมายถึง การ สนทนากันในระยะทางไกล ๆ หรือการส่งเสียงจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่งได้ตามต้องการ

ประวัติทั่ว ๆ ไปของโทรศัพท์

โทรศัพท์ได้ถูกคิดค้นและประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกที่ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยนักประดิษฐ์ชื่อดัง ALEXANDER GRAHAM BELL ซึ่งหลักการโทรศัพท์ของ BELL มีลักษณะดังแสดงในรูป



รูปที่ 2-1 แสดงหลักการโทรศัพท์ของ BELL

หลักการของโทรศัพท์ที่ Alexander ประดิษฐ์ขึ้นก็คือจะมี Transmitter และ Receiver ซึ่งมีโครงสร้างเหมือนลำโพงในปัจจุบัน กล่าวคือ มีแผ่น Diaphragm ติดอยู่กับขดลวด ซึ่งวางอยู่ใกล้ ๆ แม่เหล็ก ถาวร เมื่อมีเสียงมากระทบแผ่น Diaphragm ก็จะทำให้ขดลวดสั่นหรือเคลื่อนที่ติดสนามแม่เหล็ก เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นมาในขดลวด กระแสไฟฟ้านี้ จะวิ่งตามสายไฟถึง Receiver ซึ่ง Receiver ก็มีโครงสร้างเหมือนกับ Transmitter เมื่อกระแสไฟฟ้ามาถึงก็จะเข้าไปในขดลวด เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่มานี้ เป็น AC มีการเปลี่ยนแปลงขั้วบวกและลบตลอดเวลา ก็จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ ขดลวดของ Receiver สนามแม่เหล็กนี้จะไปผลักหรือดูดกับสนามแม่เหล็กถาวรของ Receiver แต่เนื่องจากแม่เหล็กถาวรที่ Receive นั้น ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ขดลวดและแผ่น Diaphragm ซึ่งเป็นฝ่ายถูกผลักหรือดูดให้เคลื่อนที่ การที่ Diaphragm เคลื่อนที่ จึงเป็นการตีอากาศตามจังหวะของกระแสไฟฟ้าที่ส่งมา นั่นคือ เกิดเป็นคลื่นเสียงขึ้นมาในอากาศ ทำให้ผู้รับได้ยิน

แต่อย่างไรก็ตาม กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจาก Transmitter นี้มีขนาดเล็กมาก ถ้าหากใช้สายส่งยาวมาก จะ ไม่สามารถได้ยินผู้ส่งได้ วิธีการของ ALEXANDER GRAHAM BELL จึงไม่ประสบความสำเร็จเท่าใดนัก แต่ก็ยังเป็นเครื่องต้นแบบให้มีการพัฒนาต่อมา

ในปี พ.ศ.2420 THOMAS ALWA EDISON ได้ประดิษฐ์ Transmitter ขึ้นมาใหม่ให้สามารถส่งได้ไกล ขึ้นกว่าเดิม ซึ่ง Transmitter ที่ Edison ประดิษฐ์ขึ้นมา มีชื่อว่า Carbon Transmitter

การติดต่อทางโทรศัพท์ในระยะเริ่มต้นนั้นไม่ค่อยมากนัก จำนวนของเครื่องโทรศัพท์มีจำนวนน้อย และเมื่อมีการพัฒนาระบบโทรศัพท์ให้เจริญขึ้น และการใช้โทรศัพท์ก็มีจำนวนมากขึ้น จำนวนสายก็ย่อมมากขึ้นด้วย ซึ่งเป็นการใช้สายที่เปลือง ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดสาย จึงได้พัฒนาการเรียกโทรศัพท์โดยผ่านชุมสายขึ้น โดยโทรศัพท์แต่ละเครื่องจะต่อไปยังชุมสายโทรศัพท์ ซึ่งที่ชุมสายโทรศัพท์

ก็จะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อการสนทนาของเครื่องโทรศัพท์ โดยเมื่อผู้ใช้โทรศัพท์ยกหูขึ้นใช้งาน ชุมสายโทรศัพท์ก็จะทราบได้ทันทีว่าโทรศัพท์เครื่องนั้นมีความต้องการในการใช้โทรศัพท์เกิดขึ้นแล้ว ทางชุมสายโทรศัพท์ ก็จะเตรียมพร้อมที่จะทำงาน ตามความต้องการของผู้ใช้โทรศัพท์ได้ทันที

ระบบโทรศัพท์ (TELEPHONE SYSTEM)

โทรศัพท์หลายสถานีหรือหลายเครื่อง ถ้าต้องการจะติดต่อให้ได้กันหมดทุกเครื่อง โดยไม่ต้องอาศัย เครื่องสลับสาย จะต้องวางสายติดต่อกับสถานี หรือทุกเครื่องจึงทำให้สิ้นเปลืองสายโทรศัพท์ เป็นอย่างมาก ถ้าจะประหยัดสายที่ใช้ในการติดต่อกันทางโทรศัพท์ หลายสถานี หรือหลายเครื่องให้ติดต่อกันได้จะต้อง อาศัยเครื่องสลับสายเข้ามาใช้

TELEPHONE CENTRAL OFFICE คือที่ตั้งของศูนย์สลับสายสวิตชิงดีไวท์ (SWITCHING DEVICE) รวมทั้งเครื่องมือประกอบต่าง ๆ

TELEPHONE SYSTEM กับ CENTRAL OFFICE แห่งหนึ่งย่อมประกอบด้วย จำนวน เครื่องโทรศัพท์ ที่วางสายเข้า CENTRAL OFFICE ดังนั้นโทรศัพท์ 2 เครื่องใด ๆ ในระบบโทรศัพท์ จะสามารถติดต่อ ภายในพุดจากกันได้ ระบบโทรศัพท์เช่นนี้สามารถจะใช้ติดต่อได้เพียง 2 - 3 สถานี หรืออาจมากกว่านี้ก็ได้ ระบบโทรศัพท์นี้รวมไปถึงสถานีโทรศัพท์แต่ละสถานีและอุปกรณ์ภายนอก อาคารเพื่อที่เชื่อมต่อแต่ละสถานีโทรศัพท์

TELEPHONE EXCHANGE คือ ระบบโทรศัพท์ซึ่งจัดให้มีการสื่อสารในพื้นที่ได้โดยเฉพาะใน ค่ายทหาร ในพื้นที่เมือง หมู่บ้านหรือเมืองใหญ่ อาจมี CENTRAL OFFICE มากกว่าก็ได้สุด แล้วแต่ การบริการโทรศัพท์ จะกว้างขวาง

ตามปกติแล้ว EXCHANGE หนึ่ง ย่อมประกอบด้วย โทรศัพท์เป็นร้อย ๆ เครื่อง และเครื่องมือ ประกอบอื่น ๆ ที่ทางสายเชื่อมต่อระหว่าง CENTRAL OFFICE กับ TELEPHONE เรียกว่า **ทางสายทรวงค์ TRUNK LINE...**

การแบ่งระบบโทรศัพท์สามารถแบ่งออกได้ 3 ระบบ ดังต่อไปนี้

1. **ระบบโลคัลแบตเตอรี่ (LOCAL BATTERY)** กำเนิดกำลังงานทางไฟฟ้าที่จ่ายให้ปากพุด และเครื่องเรียกรวมอยู่ในชุดของเครื่องโทรศัพท์ ณ แต่ละสถานีโทรศัพท์ ซึ่งแบตเตอรี่ที่บรรจุภายใน เครื่องโทรศัพท์จะจ่ายกระแสไฟให้แก่วงจรปากพุดและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ที่หมุนด้วยมือ จ่ายกระแสให้กระดิ่ง คู่สถานีทำงานหรือไปทำให้ DROP SIGNALS ที่เครื่องสลับสาย CENTRAL OFFICE ทำงานแต่เพียงสังเกตด้วยว่าระบบ LOCAL BATTERY มิได้อยู่เฉพาะแต่ที่โทรศัพท์ที่เครื่อง

สลัปลายก็ยังมีอยู่และที่สถานี CENTRAL OFFICE เครื่องสลัปลายมี DROP SIGNALS เป็นเครื่องแสดงให้รู้ว่ามีคนเรียกเข้ามา

2. ระบบ COMMON BATTERY แหล่งกำเนิดกำลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ปากพูด และ เครื่องเรียกอยู่ ที่ CENTRAL OFFICE กล่าวคือ บรรดาสถานีโทรศัพท์ทุกสถานีได้กำลังงาน ในการส่งและการเรียกจาก แหล่งกำเนิดไฟฟ้าแห่งเดียวซึ่งอยู่ที่ CENTRAL OFFICE และแหล่งกำลังงาน อันสำคัญ เช่น เครื่องกำเนิด ไฟฟ้าและแบตเตอรี่ประเภทที่สองขนาดใหญ่ ณ CENTRAL OFFICE ที่เครื่องสลัปลายเครื่องกล ทำให้ กระดิ่งดัง จ่ายกระแสไปยังชุดโทรศัพท์ต่าง ๆ ไม่มีแบตเตอรี่ที่ เครื่องโทรศัพท์ และเครื่องเรียกของเครื่อง สลัปลายของ COMMON BATTERY เป็น SIGNAL LAMP ซึ่งจะเกิดขึ้นเองโดยอัตโนมัติเมื่อตัวปากพูด หูฟังของชุดเครื่องโทรศัพท์ถูกยกออกมาวาง ซึ่งไม่เหมือน DROP SIGNAL ของเครื่องสลัปลายของ LOCAL BATTERY ระบบ LOCAL BATTERY สามารถติดต่อกันได้กับระบบ COMMON BATTERY คือ สถานีโทรศัพท์หนึ่งที่ตั้งอยู่กับ LOCAL BATTERY CENTRAL OFFICE ย่อมจะพูดจากันได้ กับอีกสถานีโทรศัพท์หนึ่งที่ตั้งอยู่กับ COMMON BATTERY CENTRAL OFFICE

3. ระบบ COMMON BATTERY SIGNALING ใช้การติดต่อกันระหว่างเครื่องโทรศัพท์ต่าง ๆ โดยอัตโนมัติ ซึ่งมีเครื่องติดต่อทางกล อันควบคุมโดย การทำงานของ DIAL บนชุดเครื่องโทรศัพท์ที่เรียก และการติดต่อกันไม่ต้องอาศัยคนทำงานเลย

หมายเหตุ ตามปกติโทรศัพท์สนามของทหารเป็นระบบทำงานด้วยคนอาจเป็น LOCAL BATTERY AND COMMON BATTERY ก็ได้ ซึ่งโทรศัพท์สนาม LOCAL BATTERY ของทหารใช้การวางสายสนาม หรือสายเคเบิลอย่างรวดเร็ว และใช้เครื่องมือของ CENTRAL OFFICE ที่ยกไปมาได้รวดเร็วกับโทรศัพท์สนาม COMMON BATTERY ของทหารส่วนมากใช้กับผู้ใช้โทรศัพท์เป็นจำนวนมากภายในพื้นที่คับแคบ

การแบ่งประเภทของโทรศัพท์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

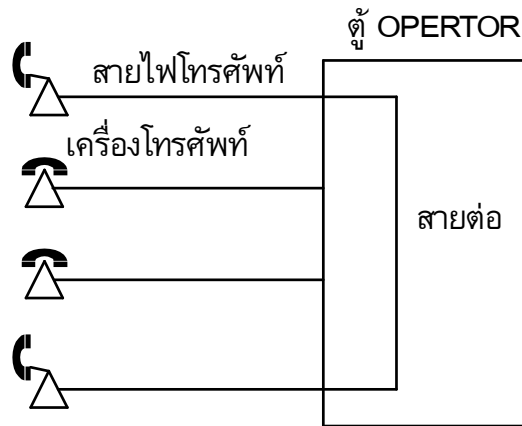
1. โทรศัพท์กำลังงานเสียง (SOUND POWER TELEPHONE)
2. โทรศัพท์กำลังงานไฟฟ้า (ELECTRICAL POWER TELEPHONE)
 - แบ่งออกได้เป็น 3 ระบบ คือ
 - LOCAL BATTERY
 - COMMON BATTERY
 - COMMON BATTERY SIGNALLING

ระบบชุมสายชนิดต่างๆ

1. ชุมสายระบบ MANUAL

1.1 ชุมสายโทรศัพท์ที่ระบบใช้พนักงานต่อสาย (MANUAL)

เมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น จำนวนที่ต้องมีระบบการติดต่อสื่อสารเพื่อให้ทำการต่อผู้ใช้โทรศัพท์เข้ากับผู้ใช้อีกคนหนึ่งที่ต้องการพูดหรือติดต่อด้วย ดังรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 แสดงชุมสายระบบใช้พนักงานตัดต่อสาย

การใช้พนักงานเป็นผู้ทำการต่อผู้ใช้โทรศัพท์ (MANUAL) นั้นเป็นชุมสายโทรศัพท์ EXCHANGE ระบบแรกที่ถูกผลิตขึ้น ในชุมสายระบบนี้ผู้ใช้โทรศัพท์ไม่สามารถที่จะทำการติดต่อได้เอง ต้องให้พนักงาน เป็นผู้ต่อสายให้ โดยเสียบสายต่อระหว่างผู้ใช้คนนั้นกับผู้ที่ต้องการจะติดต่อด้วย

2. ระบบชุมสายอัตโนมัติ

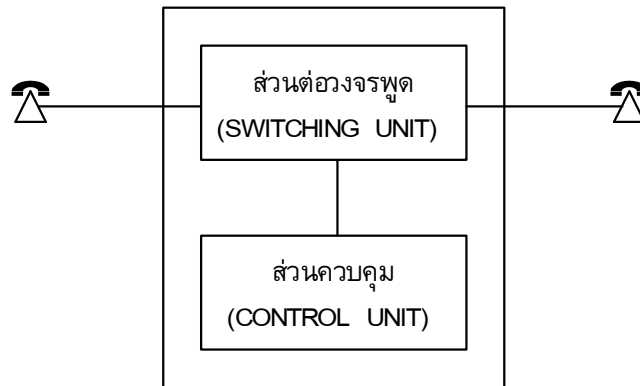
ต่อมาชุมสายโทรศัพท์ได้พัฒนาเป็นระบบอัตโนมัติ โดยการหมุนเลขหมายจากเครื่องผู้เช่าเอง

2.1 ชุมสายโทรศัพท์ระบบ STEP-BY-STEP

เป็นชุมสายอัตโนมัติระบบแรกที่ถูกผลิตขึ้นมาใช้ เมื่อผู้เช่าหมุนเลขหมาย เครื่องชุมสายจะรับเลขหมาย แต่ละตัวมาดำเนินการต่อเข้ากับผู้ที่ถูกเรียกในระบบนี้การติดต่อจะใช้กลไกเป็นตัวทำงาน และใช้สัญญาณไฟฟ้า เป็นตัวควบคุมอีกที่เรียกว่าระบบ ELECTRO-MECHANICAL ชุมสายชนิดนี้ใช้งานได้ดี และในปัจจุบันชุมสาย ชนิดนี้ยังมีใช้อยู่ในบางประเทศ

2.2 ชุมสายระบบ CROSS BAR

ชุมสายโทรศัพท์ระบบ STEP-BY-STEP เมื่อใช้เป็นเวลานานจะมีข้อเสียที่เกิดการสึกหรองง่ายเนื่องจาก มีระบบกลไกมากมาย จึงได้มีการพัฒนามาเป็นระบบ CROSSBAR ซึ่งมีข้อดีหลายประการ เมื่อเทียบกับระบบเดิม เช่น มีส่วนที่เป็นกลไกน้อยลง ทำงานได้รวดเร็วและถูกต้อง แม่นยำ ราคา ต้นทุนต่ำลง แต่ก็ยังทำงานในลักษณะ ระบบกลไกอยู่ แต่มีโครงสร้างในการทำงานที่แตกต่างออกไปจากเดิม กล่าวคือมีส่วนควบคุม ทำหน้าที่ ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ส่วนต่อวงจรพูด (SWITCHING UNIT) ส่วนควบคุมเป็นศูนย์กลาง ในการทำงานรับเลขหมายและนำมาวิเคราะห์แล้วส่งสัญญาณไปควบคุมส่วนต่อวงจรพูดให้ดำเนินการต่อผู้เข้าทั้งสองฝ่ายเข้าด้วยกัน รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างของชุมสายชนิดนี้ อุปกรณ์ส่วนใหญ่ทั้งหมดของชุมสายจะประกอบด้วยรีเลย์ (RELAY) และ CROSSBAR-SWITCH



รูปที่ 2-3 แสดงโครงสร้างของชุมสาย CROSSBAR

ชุมสายระบบ CROSSBAR เป็นชุมสายที่ดีและเป็นที่นิยมใช้กันมาก ปัจจุบันยังมีการใช้งานกันอยู่อย่าง แพร่หลายทั้งในและนอกประเทศ

การพัฒนาชุมสาย CROSSBAR ได้กระทำกันเรื่อยมา ประกอบกับมีการสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ขึ้นมาในระยะแรก คือสิ่งที่เรียกว่าหลอดวิทยุ ได้มีการนำมาใช้ในชุมสายชนิดนี้ปรากฏว่าได้ผลดีมาก คือมีการทำงานได้รวดเร็วขึ้น มีความแน่นอนและมีความรวดเร็วสูงขึ้นอีก โดยเริ่มใช้ในส่วนของการควบคุม ต่อมาได้มีการพัฒนาสารจำพวกกึ่งตัวนำขึ้น ซึ่งมีความสามารถในการทำงานเหมือนกับหลอดวิทยุ แต่มีประสิทธิภาพดีกว่าและมีขนาดเล็กกว่า ใช้กำลังไฟน้อย จึงทำให้ชุมสาย CROSSBAR มีขนาดเล็กลง การดูแลรักษาได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ดีในส่วนวงจรพูด (SWITCHING UNIT)

ยังคงใช้อุปกรณ์จำพวกกลไกอยู่เช่นเดิม เพียงแต่มีการพัฒนาให้มีขนาดเล็กลงเท่านั้น จึงกล่าวได้ว่า ชุมสายระบบ CROSSBAR ยังเป็นชุมสายชนิด ELECTRO-MECHANICAL อยู่ ยังไม่ได้เป็นชนิด อิเล็กทรอนิกส์ล้วนๆ หรือเรียกกันว่า ALL SOLID STATE นั่นคือ ไม่มีส่วนใดของระบบที่เป็นกลไก หรือมีการเคลื่อนไหวเลย

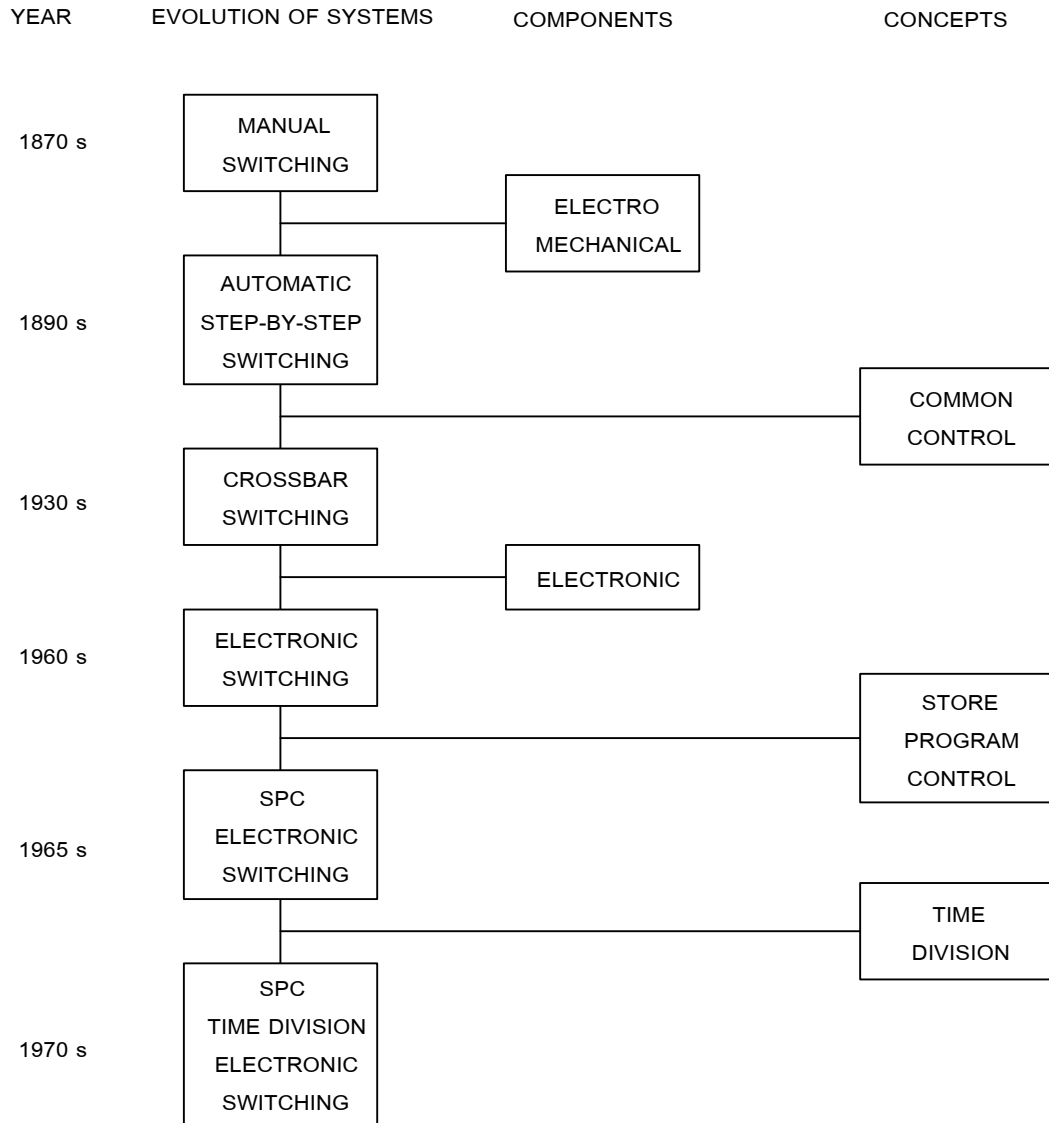
2.3 ชุมสายระบบ STORED PROGRAM CONTROL (SPC)

ในปัจจุบันความก้าวหน้าในการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านสารกึ่งตัวนำได้ประสบผลสำเร็จ มาก ซึ่งจะสามารถที่จะย่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มากมาย ให้เล็กลงได้โดยมีการทำงานและ ประสิทธิภาพที่เหมือนเดิม หรือดีกว่าเดิมซึ่งเรียกอุปกรณ์ชนิดนี้ว่าวงจรรวม (INTEGRATED CIRCUIT) หรือ เรียกย่อ ๆ ว่า IC ผู้ผลิตชุมสายโทรศัพท์ได้นำอุปกรณ์เหล่านี้มาออกแบบวงจรควบคุม การทำงาน ของชุมสายรวมทั้งเทคโนโลยี ที่เรียกว่า DIGITAL เข้ามาทำให้ระบบชุมสายโทรศัพท์มี ความทันสมัย และมีประสิทธิภาพสูงขึ้น นอกเหนือจากการพูดโทรศัพท์ธรรมดาแล้วยังสามารถที่จะส่ง สัญญาณภาพให้เห็นกันได้อีก

การนำระบบควบคุมซึ่งเป็นเครื่อง COMPUTER มาเป็นหัวใจในการทำงานทำให้สามารถ ทำงานได้ อย่างรวดเร็วแน่นอน ลำดับขั้นตอนในการทำงาน (PROGRAM) จะถูกนำมาเก็บบันทึกใน หน่วยความจำ (MEMORY) ดังนั้นชุมสายระบบนี้จึงเรียกว่า STORED PROGRAM CONTROL (SPC) ข้อดีเมื่อเทียบกับชุมสาย ระบบ CROSSBAR แล้วมีมากพอที่จะทำให้ผู้ผลิตชุมสายหันมาผลิตชุมสาย ชนิด SPC และช่วยกันพัฒนาได้ดียิ่งขึ้น ไปอีก ข้อได้เปรียบของชุมสายชนิดคือ

- ง่ายในการเพิ่มเติมหรือเปลี่ยนแปลงหน้าที่การทำงานของเครื่องชุมสาย
- สามารถทำงานเป็นได้ทั้งชุมสายท้องถิ่น (LOCAL EXCHANGE) และชุมสายต่อผ่าน (TRANSIT EXCHANGE หรือ TOLL OFFICE)
- สามารถมีบริการพิเศษ (FACILITIES) ต่างๆ ให้แก่ผู้เช่าหลายอย่างมากขึ้น
- มีระบบการควบคุมดูแลและวิเคราะห์หาสาเหตุเสียได้ดีขึ้น
- ประหยัดเงินในการสร้างวงจรควบคุมที่มีขนาดเล็กลง
- ทำให้ระบบควบคุม (CONTROL SYSTEM) ทำงานได้รวดเร็วมาก
- ง่ายในการเปลี่ยนแปลงและพัฒนา NUMBERING PLAN และระบบการคิดเงิน (CHARGING SYSTEM)
- ทำให้ขนาดของเครื่องชุมสายเล็กลง

ข้อเสียของชุมสาย SPC ก็คือต้องการอุณหภูมิและความชื้นตามที่กำหนด เพราะฉะนั้นระบบ AIR CONDITION จะต้องมี และผู้ที่ซ่อมบำรุงจะต้องศึกษาและมีความสามารถดีพอ



รูปที่ 2-4 ระบบโทรศัพท์ระบบโทรศัพท์แสดงการพัฒนาของเครื่องชุมสายโทรศัพท์ระบบต่างๆ

วิวัฒนาการโทรศัพท์ในประเทศไทย

ตำนานไปรษณีย์โทรเลขสยาม พ.ศ. 2429 - 2468 ได้บันทึกเรื่องราวเกี่ยวกับโทรศัพท์ในประเทศไทยไว้ว่า ประเทศไทยได้นำเอาโทรศัพท์มาใช้ในประเทศเป็นครั้งแรก เมื่อ พ.ศ. 2424 ตรงกับรัชการที่ 5 แห่งกรุงรัตน โกสินทร์ โดยกรมกลาโหม ซึ่งเป็นกระทรวงกลาโหมในปัจจุบัน ได้สั่งเข้ามาใช้ในกิจการเพื่อความมั่นคงของชาติ โดยติดตั้งที่กรมอู่ทหารเรือกรุงเทพฯ 1 เครื่อง และบ่อมยามปากน้ำ

เจ้าพระยา จังหวัดสมุทรปราการอีก 1 เครื่อง รวม 2 เครื่อง เพื่อจะได้แจ้งข่าวเรือเข้าออกในแม่น้ำเจ้าพระยาให้กรุงเทพฯ ทราบ

เมื่อครั้งที่คนไทยเริ่มรู้จักใช้โทรเลขโทรศัพท์นั้น มีปรากฏใน "บันทึกจดหมายเหตุสยามสมัย" ว่า "มิสเตอร์ อาลาบาสเตอร์ เป็นธูระ เซอร์เวแล สอนพวกข้าราชการให้เรียนรู้วิชาสายโทรเลข สายเตลิโฟน ได้รู้ข่าวทางไกลแต่ทุกแห่งพิภพ ด้วยอาศัยตาของที่สายโทรเลขเขียนมาและได้รู้ข่าวแต่ไกลอาศัยหูได้ยินคำที่เขา พูดมาตามสายเตลิโฟนด้วย" มิสเตอร์อาลาบาสเตอร์ ผู้นี้เป็นชาวอังกฤษ เข้ามารับราชการในแผ่นดินสยามเมื่อ พ.ศ. 2415 จนกระทั่งสิ้นชีวิต เมื่อ พ.ศ. 2425

ในระยะแรกการใช้โทรศัพท์เป็นลักษณะการติดต่อ 2 จุด หรือเพียง 2 คน ต่อมามีความต้องการที่จะใช้โทรศัพท์มากขึ้น จึงทำให้มีการพัฒนาระบบโทรศัพท์ขึ้นมา ทำให้ผู้ใช้โทรศัพท์สามารถที่จะมีจำนวนมากขึ้นและจะเลือกติดต่อพูดกับคนใดคนหนึ่งได้

พ.ศ. 2429 กิจการโทรศัพท์ได้เจริญรุ่งเรืองขึ้น จำนวนเลขหมายและบุคลากรก็เพิ่มมากขึ้น ยุ่งยาก แก่การบริหารงานของกรมกลาโหม ดังนั้น จึงได้โอนกิจการโทรศัพท์ให้ไปอยู่ในการดูแลและดำเนินการของ กรมไปรษณีย์โทรเลข และได้ขยายกิจการออกไปโดยเปิดโอกาสให้ประชาชนได้เช่าใช้เครื่องโทรศัพท์ภายในเขต กรุงเทพฯ และธนบุรี นับเป็นประวัติศาสตร์ครั้งแรกของประเทศไทย ที่ประชาชนได้มีโอกาสใช้เครื่องโทรศัพท์ เป็นเครื่องมือสื่อสารในการติดต่อ เครื่องโทรศัพท์ที่ใช้ในระยะเริ่มแรกนั้นเป็นเครื่องระบบ Magneto หรือระบบ Local Battery โดยมีผู้เช่าทั้งสิ้น 61 ราย ระยะทางของสายยาวประมาณ 86 กิโลเมตร

เครื่องโทรศัพท์ที่ใช้ในระบบ Magneto นั้น เป็นเครื่องโทรศัพท์แบบไม่มีหน้าปัด ที่เครื่องโทรศัพท์จะมีแบตเตอรี่ต่ออยู่ เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าให้ในขณะที่สนทนากัน ส่วนทางด้านสัญญาณ (Signaling) นั้น เมื่อผู้เรียก ต้องการเรียกไปยังพนักงานโทรศัพท์กลางก็ต้องหมุน Magneto ที่ติดอยู่กับเครื่องโทรศัพท์ จึงจะมีสัญญาณเกิดขึ้น ที่ตู้สลับสาย (Switchboard) และเมื่อเลิกการสนทนากันแล้ว ผู้เรียกก็ต้องหมุน Magneto อีกครั้งเพื่อให้เกิดสัญญาณ ขึ้นที่ตู้สลับสาย ซึ่งเป็นการแจ้งพนักงานโทรศัพท์กลางว่าได้เลิกสนทนากันแล้ว ระบบโทรศัพท์แบบนี้ได้ใช้งาน ติดต่อกันกันมาเป็นเวลา 20 ปีเศษเลยทีเดียว

พ.ศ. 2450 ความเจริญก้าวหน้าในด้านกิจการโทรศัพท์ได้มีการประดิษฐ์โทรศัพท์ระบบแบตเตอรี่ร่วม (Common Battery Telephone System) ขึ้น แต่ก็ยังคงเป็นระบบที่ใช้พนักงานต่อ (Manual Telephone System) โทรศัพท์ระบบแบตเตอรี่ร่วมนี้ มีลักษณะการใช้งานที่สะดวกกว่าระบบ Magneto มาก ดังนั้นทางกรมไปรษณีย์ โทรเลขจึงได้สั่งซื้อตู้สลับสายโทรศัพท์ระบบแบตเตอรี่ร่วม มา

ใช้งานแทนโทรศัพท์ระบบ Magneto เครื่องโทรศัพท์ที่ใช้ก็ยังคงไม่มีหน้าปัดเหมือนเดิม เมื่อผู้เรียกต้องการเรียกไปยังเลขหมายใด ๆ ก็ให้ยกปากพหูฟัง (Handset) ของเครื่องโทรศัพท์ขึ้น จะทำให้เกิดสัญญาณขึ้นที่ตู้สลับสาย พนักงานโทรศัพท์กลางก็จะต่อ เลขหมายที่ต้องการให้ โทรศัพท์ระบบแบบเตอรี่ย่อมได้ถูกติดตั้งที่ตำบลวัดเลียบเป็นแห่งแรก ต่อมาเนื่องจาก สถานที่คับแคบไม่เหมาะสม จึงได้ย้ายสถานที่ทำการโทรศัพท์กลางออกมาตั้งที่ถนนจักรเพชร

พ.ศ. 2465 กิจการโทรศัพท์ได้เจริญก้าวหน้าและแพร่หลายยิ่งขึ้น ผู้เช่าโทรศัพท์ได้เพิ่มจำนวนขึ้นถึง 1,422 เลขหมาย โดยที่จำนวนผู้เช่าได้ขยายตัวมากขึ้น

พ.ศ. 2470 ได้มีการติดตั้งตู้สลับสายโทรศัพท์ขนาด 900 เลขหมาย ขึ้นที่ตำบลบางรัก ในบริเวณที่ทำการ ไปรษณีย์กลาง เพื่อแบ่งจำนวนผู้เช่าเขตตอนใต้ของกรุงเทพฯ มาเช่าที่ตู้สลับสายแห่งนี้ และได้วางสายเคเบิล โทรศัพท์ใต้ดินเชื่อมโยงระหว่างตู้สลับสายโทรศัพท์เพื่อให้สามารถติดต่อถึงกันได้สะดวกขึ้น

พ.ศ. 2471 กิจการโทรศัพท์ได้แพร่หลายออกไปทั่วกรุงเทพฯ และยังสามารถใช้โทรศัพท์ติดต่อกับต่าง จังหวัดได้ เช่น สมุทรปราการ นนทบุรี และนครปฐม ได้อีกด้วย

พ.ศ. 2479 กรมไปรษณีย์โทรเลขได้สั่งซื้อชุมสายโทรศัพท์ ระบบ Step by Step ซึ่งเป็นระบบอัตโนมัติ สามารถหมุนเลขหมายถึงกันได้โดยตรง โดยไม่ผ่าน Operator เหมือนระบบ Local Battery และ Central Battery โดยได้ซื้อจากบริษัท General Electric แห่งประเทศอังกฤษ สำหรับติดตั้งที่ทำการโทรศัพท์กลางวัดเลียบ และบางรัก โดยชุมสายที่วัดเลียบจำนวน 2,300 เลขหมาย และที่ชุมสายบางรักจำนวน 1,200 เลขหมาย โดยได้ ทำการเปิดให้ใช้บริการแก่ประชาชนเมื่อ 2480

พ.ศ. 2480 ได้เปิดให้บริการแก่ประชาชน ซึ่งหลังจากที่เปิดใช้ชุมสายโทรศัพท์อัตโนมัติแล้วปรากฏว่า เป็นที่นิยมของประชาชนเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ จึงได้มีการจัดซื้อชุมสายเพิ่มขึ้นอีกจำนวน 2 แห่ง คือที่ชุมสาย โทรศัพท์สามเสน และชุมสายโทรศัพท์เพลินจิต

พ.ศ. 2497 เนื่องจากกิจการโทรศัพท์ได้เจริญก้าวหน้ามาก ประชาชนนิยมใช้แพร่หลายไปทั่วประเทศ กิจการใหญ่โตขึ้นมาก ทำให้การบริหารงานลำบากมากขึ้น เพราะกรมไปรษณีย์โทรเลขต้องดูแลเรื่องอื่น ๆ อีกมาก ดังนั้นเมื่อวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2497 จึงได้มีพระบรมราชโองการโปรดเกล้าฯ ให้ตราพระราชบัญญัติจัดตั้ง องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทยขึ้น โดยแยกกองช่างโทรศัพท์ กรมไปรษณีย์โทรเลขมาตั้งเป็นองค์การโทรศัพท์ แห่งประเทศไทย มีฐานะเป็นรัฐวิสาหกิจ สังกัดกระทรวงคมนาคม มาจนถึงปัจจุบัน องค์การโทรศัพท์หลังจากที่ได้รับการจัดตั้งขึ้นแล้ว ก็ได้รับโอนงานกิจการโทรศัพท์ทั้งหมดมาดูแล

พ.ศ. 2517 องค์การโทรศัพท์ได้สั่งซื้อชุมสายโทรศัพท์ ระบบ Cross Bar มาใช้งาน ระบบ Cross Bar เป็น ระบบอัตโนมัติ เหมือน Step By Step แต่ทันสมัยกว่าทำงานได้เร็วกว่า มีวงจรถูกได้มากกว่า และขนาดเล็กกว่า

พ.ศ. 2526 องค์การโทรศัพท์ได้นำระบบชุมสาย SPC (Storage Program Control) มาใช้งาน ระบบ SPC เป็นระบบที่ควบคุมการทำงานด้วย Computer ทำงานได้เร็วมาก ขนาดเล็ก กินไฟน้อย และยังให้บริการเสริม ด้านอื่น ๆ ได้อีกด้วย

ในปัจจุบันชุมสายโทรศัพท์ที่ติดตั้งใหม่ ๆ จะเป็นระบบ SPC ทั้งหมด ระบบอื่น ๆ เลิกผลิตแล้ว ประเทศไทยได้สั่งซื้อชุมสายระบบ SPC ที่เป็น Digital มาใช้งาน ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากกว่า ระบบ Analog ที่ได้ สั่งเข้ามาในระยะแรก ๆ

บทที่ 3 การสื่อสารโทรคมนาคม

ระบบสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง

กล่าวทั่วไป

การติดต่อสื่อสารเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งสำหรับมนุษย์ และมีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ประการคือ มีแหล่งข่าวสาร สื่อรับส่งข่าวสารและตัวรับข่าวสาร มนุษย์ได้พยายามค้นคว้าหาสื่อที่สามารถรับส่งข่าวสารได้อย่างมีประสิทธิภาพมาตลอดการส่งสัญญาณควันหรือเสียงกลองในสมัยโบราณยอมเป็นหลักฐานยืนยันว่ามนุษย์รู้จักนำเอาแสงและเสียงมาใช้เป็นสื่อรับส่งข่าวสารนานแล้ว สื่อรับส่งข่าวสารได้ถูกพัฒนาขึ้นมาตามลำดับ ในปัจจุบันนอกจากสายทองแดงและคลื่นวิทยุแล้ว เส้นใยแก้วนำแสง นับเป็นสื่อรับส่งที่ถูกนำมาใช้งานกิจการโทรคมนาคมและกิจการด้านอื่น ๆ อย่างกว้างขวาง ทั้งนี้ เนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสงมีข้อดีเหนือสื่อรับส่งอื่น ๆ หลายประการคือ ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ราคาถูก และที่สำคัญความจุและประสิทธิภาพในการรับส่งสัญญาณสูง อย่างไรก็ตาม การนำเส้นใยแก้วนำแสงมาใช้งานยังคงต้องอาศัยเครื่องมือทดสอบ และการฝึกอบรมทางเทคนิคใหม่ ๆ เพิ่มเติม

หลักการเบื้องต้นของระบบสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง

ระบบเส้นใยแก้วนำแสงมีองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ประการ ดังแสดงในรูปที่ 3-1 คือ

1. ตัวกำเนิดแสง (Electrical-Optical Converter)
2. เส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber)
3. ตัวรับแสง (Optical-Electrical Converter)

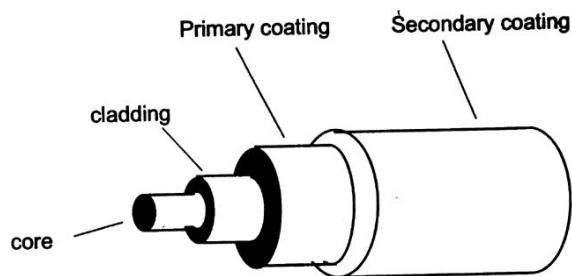


รูปที่ 3-1 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง

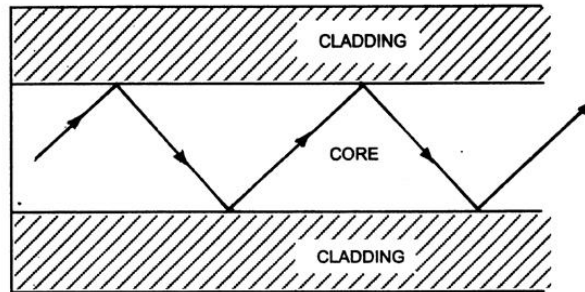
หลักการเบื้องต้นของระบบคือ ทางด้านส่ง ส่งข่าวสารในรูปของสัญญาณไฟฟ้าจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปสัญญาณแสงโดยอุปกรณ์ Electrical-to-Optical-Converter ซึ่งอยู่ภายในเครื่องส่ง หลังจากนั้นสัญญาณแสงจะถูกส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสง และอาศัยหลักการเคลื่อนที่ของแสงภายในเส้นใยแสง แสงจะเคลื่อนที่จากปลายด้านหนึ่งไปถึงปลายอีกด้านหนึ่งได้ และที่ปลายทางด้านรับนี้เอง สัญญาณแสงจะถูกแปลงกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิมโดยอาศัยอุปกรณ์ Optical-Electrical Converter อย่างไรก็ตามเส้นใยแก้วนำแสงคล้ายกับสื่อรับส่งประเภทอื่น ๆ คือ คุณสมบัติของเส้นใยที่จะทำให้เกิดความเพี้ยน (distortion) ขึ้นกับสัญญาณ ถึงแม้จะไม่มากเมื่อเทียบกับสายทองแดง ดังนั้น ในระบบที่มีระยะทางในการรับส่งไกลอาจจะต้องมีสถานีทวนสัญญาณ (Optical Repeater) เป็นระยะ ๆ นอกจากองค์ประกอบพื้นฐานทั้ง 3 ประการแล้ว ในระบบเส้นใยแก้วนำแสงยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ อีก เช่น Optical connector และ splices เพื่อเป็นแนวทาง ในการนำระบบเส้นใยแก้วนำแสงไปประยุกต์ใช้งานในกิจการด้านต่างๆ เราควรมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับองค์ประกอบพื้นฐานทั้ง 3 ชนิด พอสมควร ดังนั้น จึงขอกล่าวถึงองค์ประกอบทั้ง 3 ของระบบเส้นใยแก้วนำแสง อันได้แก่ เส้นใยแก้วนำแสง ตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสง พอสังเขป

1. **เส้นใยแก้วนำแสง** (Optical Fiber) โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง เส้นใยแก้วนำแสงมีลักษณะเป็นเส้นใยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 125 ไมโครเมตร (μm) ตัวเส้นใยทำจากแก้ว 2 ชั้น และแสงสามารถเคลื่อนที่จากปลายด้านหนึ่งไปถึงปลายอีกด้านหนึ่งของเส้นใยได้ แกนชั้นในของเส้นใยทำจากแก้วเรียกว่า "CORE" core จะถูกห่อหุ้มอีกชั้นหนึ่งด้วยแก้วเรียกว่า "CLADDING" แก้วที่ใช้ทำ core และ cladding จะมีค่าดัชนีหักเหของแสง (refractive index) แตกต่างกันเล็กน้อย โดยทั่วไปดัชนีหักเหของ core จะมากกว่า ดัชนีหักเหของ Cladding เสมอและ นอกจาก core และ cladding ที่ทำจากแก้วแล้ว เส้นใยแก้วนำแสงจะถูกห่อหุ้มด้วย primary และ secondary coating และ nylon เพื่อป้องกันเส้นใยจากการขีดข่วน ดังแสดงในรูปที่ 3-2

รูปที่ 3-2 โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง

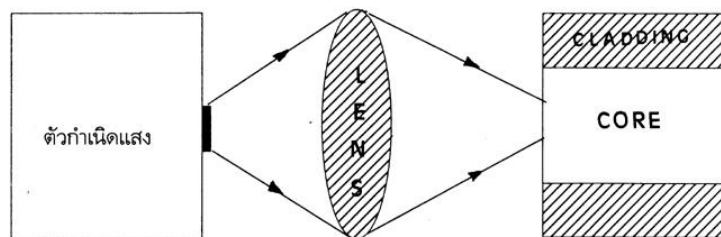


การเคลื่อนที่ของแสงภายในเส้นใย แสงมีลักษณะเป็นทั้งคลื่น และอนุภาค ในลักษณะของคลื่น แสงเดินทางเป็นเส้นตรง และสามารถเคลื่อนที่ในสุญญากาศได้ด้วยความเร็วคงที่ 3×10^8 m/s



รูปที่ 3-3 การเคลื่อนที่ของแสงภายใน core

เนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสงมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ core เล็กมาก และการเคลื่อนที่ของแสงจะจำกัดอยู่ภายใน core เท่านั้น ดังนั้นเส้นใยแก้วนำแสงจะสามารถรับแสงจากแหล่งกำเนิดได้ในปริมาณที่จำกัด สำหรับเส้นใยบางชนิดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง Core เล็ก และ Acceptance Angle แคบอาจจะต้องใช้ LENS หรือเทคนิคอื่น ๆ ช่วยในการ Coupling แสงจากแหล่งกำเนิดแสงเข้าไปในเส้นใยดังแสดงในรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-4 Source-To-Fiber Coupling

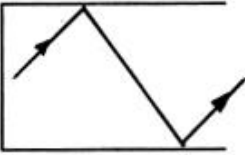
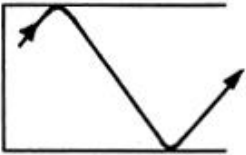
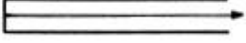
2. ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง

เส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้ในกิจการโทรคมนาคมมี 3 ประเภท คือ

- 2.1 Multimode step index Fiber
- 2.2 Multimode graded index Fiber
- 2.3 Single mode Fiber

การเคลื่อนที่ของแสงไปตามเส้นใย สามารถอธิบายได้ในเทอมของกลุ่มคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เรียกว่า "Modes" ทฤษฎีเกี่ยวกับ mode นั้น มีความซับซ้อนมาก อย่างไรก็ตาม ทฤษฎีนี้มีความสัมพันธ์กับผู้ใช้บ่อยมาก ดังนั้น เพื่อถ่ายทอดความเข้าใจเราอาจนึกถึง Modes ในลักษณะของเส้นทางเดินของแสง (Physical Path) ภายในเส้นใย Mode ไม่ได้หมายถึงความถี่, ความยาวคลื่น หรือ Information Signals เราเรียกเส้นใยแสงที่มีทางเดินของแสงภายใน Core ได้หลายเส้นทางว่า "Multimode Fiber" และเรียกเส้นใยแสงชนิดที่มีทางเดินของแสงทางเดียวว่า "Single Mode Fiber"

คำว่า "step-index" และ "graded-index" แสดงให้เห็นค่าดัชนีหักเหที่รอยต่อระหว่าง core กับ cladding ของเส้นใยที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใด (step-index) และเปลี่ยนแปลงทีละน้อย (graded-index) ตามลำดับ

ทางเดินของแสงภายใน core			
ตัวกำเนิดแสง	LASER หรือ LED	LASER หรือ LED	LASER
BBANDWIDTH	< 200 MHz ₂ km	200 MHz ₂ ถึง GHz ₂ km	> 3 GHz ₂ km
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง core	50 μm	50 μm	5-8 μm

รูปที่ 3-5 เปรียบเทียบระหว่างเส้นใยแสงทั้ง 3 ชนิด

3. การสูญเสียในเส้นใยแก้วนำแสง

มีสาเหตุสำคัญ 3 ประการคือ

- ❖ Absorption loss
- ❖ Scattering loss
- ❖ Microbending loss

การสูญเสียในเส้นใยแก้วนำแสงจะมีค่าไม่เท่ากันที่ความยาวคลื่นต่างๆ กัน ช่วงความยาวคลื่น 850, 1300 และ 1550 นาโนเมตร การสูญเสียในเส้นใยแก้วนำแสงจะต่ำ เราเรียกช่วงความยาวคลื่นทั้งสามนี้ว่า " Optical window "

Bandwidth และ Distance

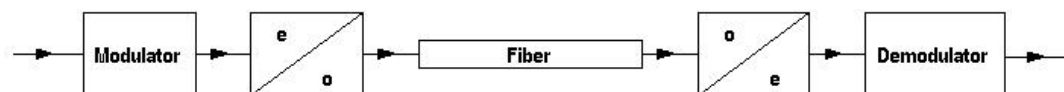
เมื่อส่งสัญญาณ Pulse ผ่านเส้นใยแก้วนำแสง คุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสงจะทำให้สัญญาณที่ส่งไปเกิดการเพี้ยน (Distortion) ตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการเพี้ยนคือ Dispersion ในใยแก้ว ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิด คือ modal dispersion และ chromatic dispersion

modal dispersion มีสาเหตุมาจากแต่ละ Mode เดินทางไปถึงปลายทางไม่พร้อมกัน เส้นใยแสงชนิด Multimode จะมี modal dispersion มาก

chromatic dispersion มีสาเหตุมาจากแสงที่มีสี หรือความยาวคลื่นต่างกันเดินทางไปถึงปลายทางไม่พร้อมกัน

4. ตัวกำเนิดแสงและตัวรับแสง

ในการส่งสัญญาณแสงเข้าไปในเส้นใยแสงจำเป็นต้องใช้ Transmitter และ Receiver ที่เหมาะสมทางต้นทางและปลายทางของเส้นใยแสงตามลำดับเพื่อเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้าและในทางกลับกัน ดังแสดงในรูปที่ 3-6



รูปที่ 3-6 ระบบสื่อสารเส้นใยแสงแบบง่าย

ทางด้านส่งสัญญาณไฟฟ้ามอดูเลททางความเข้มกับแหล่งกำเนิดแสง สัญญาณแสงจะถูกส่งเข้าไปในเส้นใยแสงและเดินทางไปถึงด้านรับที่ด้านรับนี้เองโฟโตดีเทคเตอร์ จะเปลี่ยนสัญญาณแสงกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม

5. ตัวกำเนิดแสง (light source)

ในด้านการสื่อสารอุปกรณ์ที่ให้กำเนิดพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในแถบความยาวคลื่นที่ตามองเห็นและแถบอินฟราเรด เรียกว่า "ตัวกำเนิดแสง" พลังงานที่ออกมานี้เป็นตัวพาข่าวสาร (Information

carrier) ถ้าแสงที่เกิดขึ้นมีความยาวคลื่น หรือความถี่เดียว และยังคงมี phase front สม่ำเสมอ เราเรียกแหล่งกำเนิดแสงนั้นว่า coherent source อย่างไรก็ตาม ตัวกำเนิดแสงส่วนมากจะให้กำเนิดแสงที่มีหลายความยาวคลื่นแตกต่างกัน และ phase front ไม่สม่ำเสมอ ตัวกำเนิดแสงแบบนี้เรียกว่า incoherent source

6. คุณสมบัติของตัวกำเนิดแสงที่ดี

อุปกรณ์ solid-state เช่น ทรานซิสเตอร์ จักร์ไดโอดมีรูปร่างกระทัดรัดและสามารถออกแบบให้มีกำลังงานสูง ประสิทธิภาพสูงได้ ถ้านำมาทดแทนโครงข่ายและอุปกรณ์ไฟฟ้าระบบการสื่อสารต้องดำเนินไปด้วยดีหรือดีมาก ดังนั้นคุณสมบัติของตัวกำเนิดแสงจึงมีความสำคัญมาก มีความแตกต่างกันบางอย่างในคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุด เช่น Output Intensity และความยาวคลื่นเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการสื่อสารทางแสงผ่านบรรยากาศ และเส้นใยแสงแต่ในที่นี้จะพิจารณาถึงเฉพาะคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับระบบเส้นใยแสงตัวกำเนิดแสงที่ดีควรมีคุณสมบัติพอสรุปได้ ดังนี้คือ

Output Power กำลังงานต่ำสุดที่ควรได้จากแหล่งกำเนิดแสง พิจารณาได้จากการสูญเสียของเส้นใยแสง (a) และกำลังงานต่ำสุดที่ตัวแสงสามารถตรวจรับได้ (s) เช่น $A = 45$ dB และ $S = -45$ dB กำลังงานจากแหล่งกำเนิดแสง จะต้องมากกว่า 1 mW ในทางปฏิบัติตัวกำเนิดแสงที่ดีควรสามารถให้กำเนิดแสงที่มีกำลังงานระหว่าง 10 ถึง 100 mW

7. ตัวรับแสง (Photo detector)

คุณสมบัติของตัวรับแสงที่ดีที่ปลายด้าน output ของเส้นใยแสงจะต้องมีอุปกรณ์รับแสงเพื่อแปลง information ที่บรรจุมาในสัญญาณแสง อุปกรณ์ชิ้นแรกของเครื่องรับก็คือ photo detector ซึ่งจะรับรู้กำลังงานแสงที่มากกระทบและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้า เนื่องจากสัญญาณแสงที่ออกมาจากปลายของเส้นใยแสงมีกำลังอ่อนมาก (เนื่องจากการลดทอนในเส้นใยแสง) ดังนั้น

photo detector จะต้องมีความสามารถในการทำงานสูง คุณสมบัติของตัวรับแสงที่เหมาะสมกับระบบเส้นใยแสงคือ

7.1 มีการตอบสนอง (response) หรือการรับรู้ (sensitivity) ส่งต่อแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ใช้งาน

7.2 มี noise ต่ำ

7.3 มี bandwidth เพียงพอสำหรับ data rate สูง ๆ

7.4 ไม่ควรแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิ

7.5 มีขนาดเหมาะสมกับเส้นใยแสง

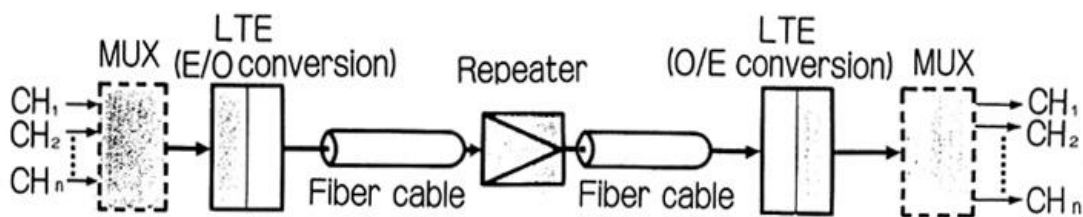
7.6 มีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์อื่น ๆ

7.7 อายุการใช้งานยาวนาน

อุปกรณ์ Photodetector มีหลายชนิด เช่น Photomultipliers based photoconductors , phototransistors และ photodiodes แต่อย่างไรก็ตาม ตัวรับแสงเหล่านี้บางตัวมีคุณสมบัติไม่เป็นไปตามต้องการ photomultiplier ประกอบด้วย photocathode และ electron multiplier รวมอยู่ในหลอดสูญญากาศ มีอัตราการขยายสูง และ noise ต่ำ แต่มีขนาดใหญ่ต้องการแรงดันไฟฟ้าสูงจึงไม่เหมาะสมกับระบบเส้นใยแสง สำหรับ photodetector ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ photodiode เป็นตัวรับแสงที่เหมาะสมกับระบบเส้นใยแสงเพราะมีขนาดเล็ก วัสดุที่ใช้เหมาะสมมีความไวสูง และการตอบสนองเร็ว photodiodes ที่ใช้งานมี 2 ชนิดคือ

1. PIN diode
2. APD (avalanche photodiode)

8. โครงสร้างของระบบสื่อสารเคเบิลใยแก้วนำแสง



MUX : Multiplex equipment
 LTE : Line Terminal Equipment
 E : Electronic
 O : Optical

รูปที่ 3-7 แสดงโครงสร้างของระบบสื่อสารเคเบิลใยแก้วนำแสงซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

- Multiplex Equipment
- Optical Line Terminal Equipment
- Optical Fiber Cable

ระบบสื่อสารไมโครเวฟ (MICROWAVE)

กล่าวทั่วไป

การติดต่อสื่อสารด้วยวิทยุไมโครเวฟนั้น หมายถึงการติดต่อสื่อสารด้วยวิทยุที่มีความถี่ ตั้งแต่ 1000 MHz (1 GHz) ขึ้นไป ถึง 40 GHz (UHF 300 - 3000 MHz) คุณสมบัติของย่านความถี่ไมโครเวฟมีลักษณะคล้ายแสง ในปี ค.ศ.1940 ประเทศอังกฤษประสบความสำเร็จในการพัฒนาหลอด CAVITY MAGNETRON ซึ่งคุณสมบัติของหลอดชนิดนี้สามารถให้ POWER จำนวนมากพอในย่านความถี่ไมโครเวฟ และจากจุดนี้เองได้นำไปสู่การพัฒนา RADAR และ การติดต่อสื่อสารด้วยระบบไมโครเวฟ ไมโครเวฟ เป็นชื่อเรียกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง 1GHz-40 GHz ซึ่งจัดว่าเป็นความถี่สูงมาก

การนำมาใช้

วิทยุไมโครเวฟสามารถติดต่อได้ในระยะสายตา หรือ LINE OF SIGHT ระยะไม่เกิน 50 กม. ให้ช่องการสื่อสารจำนวนมาก และ มีความแน่นอนสูง ถ้าหากมีความจำเป็นที่จะต้องติดต่อระยะไกลๆ จะต้องมิสถานีถ่ายทอดก่อนที่จะติดตั้งจะต้องทำ PATH PROFILE ก่อน เพื่อจะได้ผลการติดต่ออย่างสมบูรณ์

ในทางทหารอาจนำมาใช้ทั้งทางยุทธศาสตร์ และทางยุทธวิธี ทางยุทธศาสตร์นั้นใช้แทนหลัก BACKBONE ส่วนทางยุทธวิธีนั้นใช้แยกช่องการสื่อสารออกจาก BACKBONE เพื่อนำไปใช้ในหน่วยตามที่ต้องการ หรือ ใช้ในการติดต่อระหว่าง กองบัญชาการกับหน่วยรองหลัก อาจวางถึงกองพล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความจำเป็น ตามปกติแล้วจะวางไม่เกินกองพล

ในการแพร่กระจาย คลื่นไมโครเวฟ นั้น จะเป็นการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุทุกๆ ไปคลื่นวิทยุที่ส่งเป็นพลังงานออกไปนั้น ประกอบด้วย สนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก คลื่นวิทยุจะเกิดสะท้อน

(REFLECTION) การหักเห (REFRACTION) และ การเบี่ยงเบน (DIFFRACTION) เหมือนแสงและความร้อน เมื่อคลื่นส่งออกไปแล้วกระทบ หรือ ผ่านเข้าไปในตัวกลาง ที่มีลักษณะแตกต่างกัน

REFLECTION คือ การสะท้อนคลื่นจากตัวกลาง (MEDIUM) ที่ต่อต้านคลื่นนั้น คลื่นจะไม่ REFLECT เป็นจุด แต่จะ REFLECT เป็นพื้นที่ที่ต้องการ สำหรับการ REFLECT นั้น ขึ้นอยู่กับความยาวของคลื่น และมุมตก (ANGLE OF INCIDENCE)

REFRACTION คือ คลื่นวิทยุจะหักเห เมื่อผ่านจากตัวกลางหนึ่ง ไปยังอีกตัวกลางหนึ่งที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความเร็วที่ผ่านมา (MEDIUM) นั้นแตกต่างกัน จึงเป็นเหตุการณ์หักเห (BENDING) การหักเหขึ้นอยู่กับ REFRACTIVE INDEX

DIFFRACTION คลื่นวิทยุเมื่อผ่านขอบของวัตถุจะเกิดการเบี่ยงเบนจากเส้นตรง หรือ LINE OF SIGHT ไปยังสถานีรับที่อยู่ต่ำกว่า หรือ อ้อมด้านข้างของวัตถุนั้น ไปยังสถานีรับ ลักษณะของคลื่นไมโครเวฟ

คลื่นไมโครเวฟ จะมีการแพร่กระจายในลักษณะเป็นเส้นตรง (LINE OF SIGHT) เคลื่อนที่ในบรรยากาศ ด้วยความเร็วเท่ากับแสงทุกประการ เช่น

- เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในบรรยากาศ
- ไม่สามารถผ่านตัวกลางทึบแสงได้ เช่น ดึก ต้นไม้ ภูเขา หรือสิ่งกีดขวางอื่น ๆ
- หักเหได้ ไม่สามารถผ่านตัวกลาง หรือบรรยากาศที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน
- สะท้อนได้ในพื้นผิวเรียบ เช่น ตัวตึก แผ่นโลหะ ผิวน้ำ หรือ พื้นผิวโลก
- เบี่ยงเบนได้ เมื่อผ่านมุมหรือขอบของตัวกลางทึบแสง แต่ผลอันนี้เกิดขึ้นได้น้อย

มากในย่านความถี่ 6 - 8 GHz

ตารางแสดงการแบ่งช่องความถี่ที่ใช้เป็นมาตรฐาน

ย่านความถี่	ชื่อเรียก
3 - 30 KHz	VERY LOW FREQUENCY (VLF)
30 - 300 KHz	LOW FREQUENCY (LF)
300 - 3000 KHz	MEDIUM FREQUENCY (MF)
3 - 30 MHz	HIGH FREQUENCY (HF)
30 - 300 MHz	VERY - HIGH FREQUENCY (VHF)
300 - 3000 MHz	ULTRA - HIGH FREQUENCY (UHF)

3 - 30	GHz	SUPER - HIGH FREQUENCY (SHF)
30 - 300	GHz	EXTREMELY - HIGH FREQUENCY (EHF)

การแบ่งช่องความถี่ในย่านไมโครเวฟ

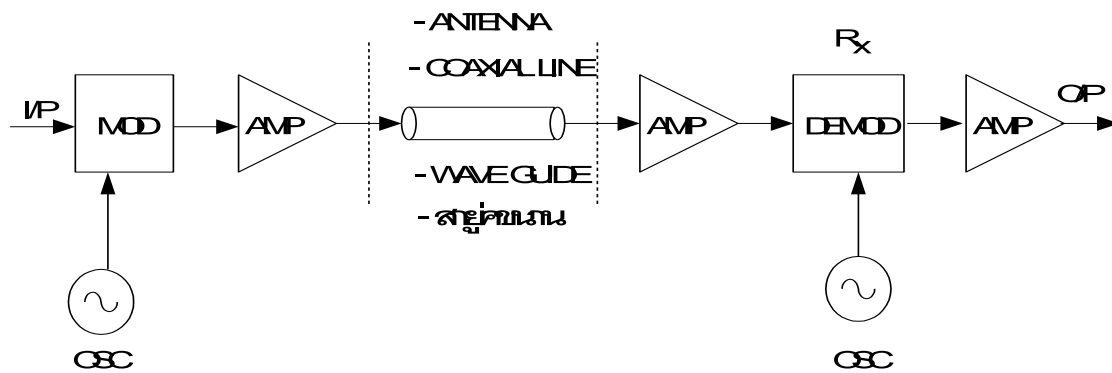
	ช่องความถี่	ชื่อเรียก	ชื่อเรียกใหม่
1 - 2	GHz	L	D
2 - 3	GHz	S	E
3 - 4	GHz	S	F
4 - 6	GHz	C	G
6 - 8	GHz	C	H
8 - 10	GHz	X	I
10 - 12.4	GHz	X	J
12.4 - 18	GHz	KU	J
18 - 20	GHz	K	J
20 - 26.5	GHz	K	K
26.5 - 40	GHz	Ka	K

ประโยชน์ของไมโครเวฟ

สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานด้านไฟฟ้า สื่อสาร และ ระบบเรดาร์ นอกจากนั้นในชีวิตประจำวัน การใช้ประโยชน์ในสังคมปัจจุบัน คือ การทำเป็นเตาไมโครเวฟที่ใช้ในการอุ่น หรือปรุงอาหาร เตาไมโครเวฟจะอาศัยการกระตุ้นให้โมเลกุลของน้ำในอาหาร เกิดการสั่นสะเทือนซึ่งจะสร้างความร้อนขึ้นทำให้อาหารสุกได้ ข้อดีของการให้ความร้อนแบบนี้คือ ความร้อนจะเกิดขึ้นภายในเนื้อของอาหาร ซึ่งจะต่างจากการให้ความร้อนโดยการนำความร้อน หรือการพาความร้อนทั่วไป ลักษณะพิเศษนี้ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ในทางการแพทย์ได้ ในการวิเคราะห์ตัวอย่างแร่ธาตุ และสารประกอบต่าง ๆ ดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่แตกต่างกัน

ระบบสื่อสารที่ใช้คลื่นไมโครเวฟ

ในระบบสื่อสารที่ใช้คลื่นไมโครเวฟนั้น เราจำเป็นต้องมีส่วนประกอบต่าง ๆ คือ เครื่องส่งตัวกลาง นำสัญญาณ, และเครื่องรับ



รูปที่ 3-8 แสดง ระบบการสื่อสารที่ใช้คลื่นไมโครเวฟ

ประเภทและการใช้งานของสายนำสัญญาณ

สายนำสัญญาณสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ด้วยกันคือ

1. สายนำสัญญาณคู่ขนาน
2. สายนำสัญญาณโคแอกเชียล (COAXIAL)
3. ท่อนำคลื่นหรือเวฟไกด์ (WAVE GUIDE)
4. สตริปไลน์และไมโครสตริป (STRIP LINES & MICROSTRIP)

สายนำสัญญาณแบบคู่ขนาน (อาจเรียกว่าสายนำสัญญาณแบบสมดุลย์) ถูกจำกัดการใช้งานเนื่องจากสูญเสีย ในการแพร่กระจายคลื่น จึงใช้งานเฉพาะความถี่ต่ำๆ ในช่วงต้นของสเปกตรัมความถี่ ย่านไมโครเวฟเท่านั้น สายโคแอกเชียล สามารถลดปัญหาการสูญเสีย เนื่องจากการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งเกิดขึ้นในสายนำสัญญาณคู่ขนานได้ โดยใช้การshieldด้วยแผ่นตัวนำล้อมรอบ (OUTER CONDUCTOR) แต่สายโคแอกเชียลก็ถูกจำกัดการใช้งาน เนื่องจากกำลังงานที่สายบางชนิดสามารถส่งผ่านไปได้ เพราะว่าเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นเข้าสู่ย่านไมโครเวฟ สัญญาณที่ผ่านสายโคแอกเชียล จะถูกลดทอนกำลังงาน จากผลของ สกินเอฟเฟคส์ (SKIN EFFECT) จากการสูญเสียกำลังงานนี้ ทำให้สายโคแอกเชียลเหมาะในงานประเภท SHORT LINE LENGTH คือ ช่วงสั้น ๆ วิธีแก้ปัญหาคือความถี่สูง ๆ เข้าในย่านไมโครเวฟ จึงนิยมใช้ท่อนำคลื่น หรือเวฟไกด์เป็นสายนำสัญญาณ สตริปไลน์ และ ไมโครสตริปนั้น ใช้ประโยชน์กันในส่วนของคุณอุปกรณ์ หรือวงจร จึงมักพบ สตริปไลน์ และ

ไมโครสตริปเป็นอุปกรณ์ขึ้นหนึ่งบนแผ่นวงจร ในงานด้านไมโครเวฟอยู่เสมอ แต่ไมโครสตริปต่างกับสตริปไลน์ ตรงที่ไม่มีคุณสมบัติในการshield ป้องกันการแพร่กระจายคลื่นออกไปรอบนอกอุปกรณ์ข้าง

เคียง แต่มีข้อดี คือ สามารถดัดแปลงติดตั้งบนแผ่นวงจรได้ง่าย ๆ สำหรับค่า CHARACTERISTIC IMPEDANCE ของสตริปไลน์, ไมโครสตริป และท่อนำคลื่นนั้นขึ้นอยู่กับโหมดการสั่นแม่เหล็กไฟฟ้า

การประกอบชุดวิทยุ ชุดวิทยุประกอบด้วย เครื่องส่ง เครื่องรับ และชุดสายอากาศ

เครื่องส่ง ปกติเครื่องส่งจะมีกำลังออกอากาศตั้งแต่ 250 มิลลิวัตต์ ถึง 10 วัตต์ หรืออาจสูงกว่านี้เล็กน้อยสัญญาณที่ออกจากเครื่องส่ง จะส่งผ่าน Transmission Line อันได้แก่ Wave Guide, Coaxial Cable หรือ Surface Wave Transmission Line (SWTL OR G Line) ไปยัง สายอากาศ ซึ่งปกติจะเป็นแบบ Parabolic Reflector เพื่อที่จะให้ ลำคลื่น (Beam) ของสัญญาณแคบและส่งตรงไปยัง สายอากาศ ของเครื่องรับ

ภาคผลิตความถี่วิทยุ (Oscillator) ใช้ทั้งแบบ Reflex Klystron Local Oscillator หรือแบบ Crystal Controlled Oscillator แบบหลังนี้ใช้ในเครื่องมือสมัยใหม่ ซึ่งส่วนใหญ่เรียกว่า แบบ Frequency Synthesizers

Modulator เป็นแบบ FM ภาค Mod และภาค Power Output จะใช้หลอด TWT (Travelling Wave Tube) หรือหลอด Klystron ที่มีกำลังต่ำ ๆ ทั้งนี้ไม่ต้องการกำลังออกอากาศมากนัก

เครื่องรับ (Receiver Equipment) เครื่องรับจะต้องไวต่อการรับสัญญาณ และมีเสียงรบกวนน้อย (Highly Sensitive, Low Noise Receiver) สัญญาณ (Input Signal) จะเข้าที่ Parabolic Antenna ผ่าน Transmission Line ผ่าน Transmission Line อาจเป็น Wave Guide, Coaxial Cable หรือ SWTL เข้าสู่ Multicavity Preselector ซึ่งจะต้องเป็นแบบ High Q Filter ให้เฉพาะความถี่ที่ต้องการเท่านั้นผ่านได้ สัญญาณจะถูกส่งต่อไปยัง Pre – Amplifier ปกติจะใช้ Cascode Amplifier หรือ Tunnel Diode Amplifier ซึ่งจะให้ Receiver noise Figure ต่ำมาก (ปกติประมาณ 6-16 dB)

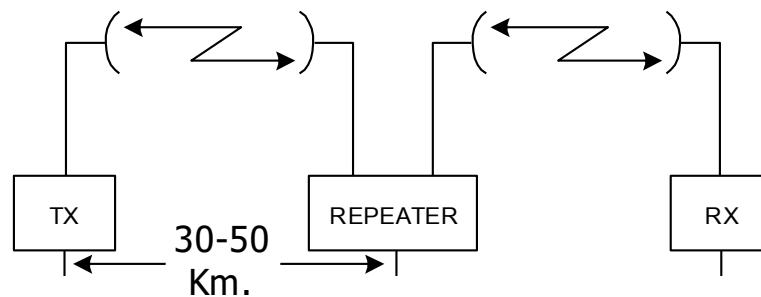
สายอากาศ (Antenna) เนื่องจากคุณสมบัติของความถี่ย่านไมโครเวฟ มีลักษณะคล้ายแสง ดังนั้น Parabolic Reflector จึงเหมาะสำหรับเป็นสายอากาศของชุดวิทยุไมโครเวฟ Parabolic Reflector ทำหน้าที่คล้ายกับแผ่นสะท้อนของไฟฉาย คือจะรวม พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ของไมโครเวฟ ให้เป็นลำ (Beam) และส่งออกไปคล้าย ๆ กับลำแสงที่ออกจากไฟฉายหรือ Spotlight การรับเข้าก็เช่นกัน เมื่อสัญญาณรับกระทบกับสายอากาศมันก็จะสะท้อนเข้ามารวมที่ จุดโฟกัส หรือ Feed Horn แสดงรูปร่างของ Parabolic Reflector ความถี่ที่ใช้และขนาดของจานสายอากาศจะเป็นตัวกำหนด Gain ของสายอากาศ

ระบบการสื่อสารย่านไมโครเวฟ (Microwave Communication System)

ระบบสื่อสารไมโครเวฟนั้นโดยปกติแล้วจะประกอบไปด้วยสถานีต้นทางและสถานีปลายทาง หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า (Terminal Station) ในระบบ FM ซึ่งจะมองเห็นกันในระดับสายตา ซึ่งเรียกว่า Line of Sight System แต่การสื่อสารระบบไมโครเวฟนั้นถูกจำกัดไว้ที่ระยะทางที่ไม่ไกลเท่าใดนัก แต่ถ้าหากต้องการเพิ่มระยะทางของการสื่อสารระบบไมโครเวฟให้ไกลออกไปนั้น เราก็สามารถทำได้โดยการเพิ่มสถานีถ่ายทอดกลางทางขึ้นมา (Repeater Station) แต่ทั้งนี้ต้องยึดระบบ Line of Sight เป็นหลัก และอีกระบบหนึ่งของการสื่อสารไมโครเวฟ คือการสื่อสารดาวเทียม ซึ่งสร้างขึ้นมาเพื่อการสื่อสารของนา ๆ ชาติ ที่ปัจจุบันนี้กำลังเป็นที่นิยมกันอย่างมาก

ระบบการส่งสัญญาณไมโครเวฟนั้น แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

- FDM
- TDM



รูปที่ 3-9 รูปแบบเบื้องต้นของการสื่อสารไมโครเวฟ

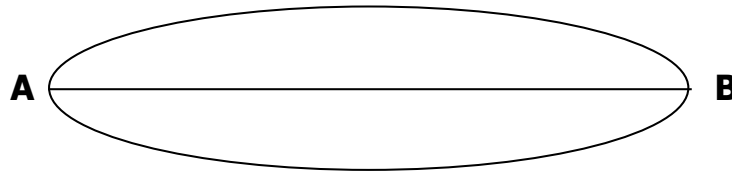
จากรูปที่ 3-9 เป็นส่วนประกอบเบื้องต้นของการสื่อสารระบบไมโครเวฟ ซึ่งเรียกว่า Multi Section Radio Relay ที่ใช้เส้นทาง Line of Sight ซึ่งประกอบไปด้วย Terminal Station 2 สถานีคือ TX Station และ RX Station และอาจจะมีสถานีถ่ายทอดกลางทาง Repeater อีกจำนวนหนึ่งซึ่งอยู่ห่างจาก Terminal Station เป็นระยะทางประมาณ 30-50 กม. เรียกว่า 1 ช่วง (HOP)

ในงานของระบบสื่อสารย่านไมโครเวฟนั้น ต้องการความเชื่อถือได้สูง เพราะข้อมูลที่เราส่งไปนั้นอาจจะรวมถึงข้อมูลที่เป็น Data ซึ่งต้องการความเชื่อถือได้ของระบบสูงมาก ดังนั้นเพื่อความแน่ใจว่าข้อมูลที่เราส่งไปนั้นจะไม่เกิดการสูญหายและข้อมูลนั้นสามารถเดินทางไปถึงสถานีปลายทางครบถ้วนสมบูรณ์ ดังนั้นเราต้องมีการประเมินค่าของการสูญเสียกำลังงาน (Power Loss) ในระบบ ซึ่งในแต่ละระบบจะมี Transmission Loss (การสูญเสียในการส่ง) สูงสุดอยู่ค่าหนึ่งที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ ซึ่ง

ถ้าหากค่า Transmission Loss มีค่ามากกว่าค่าที่ยอมให้เกิดขึ้นได้แล้ว จะมีผลทำให้คุณภาพในการสื่อสารของระบบลดลง

Transmission Loss นี้เป็นผลมาจากองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น การสะท้อนกลับของคลื่น (Reflection) การจางหาย (Fading) การหักเหของคลื่นในชั้นบรรยากาศ (Refraction) และการสะท้อนไปมาของคลื่นตามผิวโลก (Diffraction)

หลักการเบื้องต้นในการประเมินค่าของการสูญเสียในการส่งคลื่นวิทยุผ่านไมโครเวฟคือการสูญเสียที่คาดว่าจะเกิดที่ Free Space (บริเวณที่ไม่มีวัตถุอะไรที่จะดูดหรือสะท้อนกำลังของวิทยุเลย) ใน First Fresnel Zone คือ บริเวณที่อยู่ภายในผิวโค้งวงมิดที่ระยะทางของคลื่นจากจุด A ไปยังจุด B ที่ผ่านจุดต่าง ๆ บนผิวโค้งและมีความยาวเกินกว่าเส้นตรง AB อยู่ $\lambda/2$ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “เฟรเนลโซนอันดับที่ 1”



รูปที่ 3-10 ใน First Fresnel Zone

การสื่อสารไมโครเวฟที่แน่นอนนั้นจำเป็นต้องมีที่ว่าง ซึ่งไม่มีอะไรมาขัดขวางในแนวการมองเห็นระหว่าง 2 สถานี (TX กับ RX หรือ Terminal กับ Repeater) นอกจากนี้แล้วต้องมีที่ว่างสำหรับใน First Fresnel Zone ถ้าหากว่าอยู่ภายใต้สภาพที่กล่าวมาแล้ว สัญญาณจะมีกำลังเกือบจะเท่ากับค่าของกำลังงานใน Free Space ยกเว้นกรณีที่อาจจะมีผลมาจากการสะท้อนจากพื้นดิน และผลจากชั้นบรรยากาศในการใช้งาน การสื่อสารไมโครเวฟแบบ Line of Sight ที่ใช้งานกันจริง ๆ นั้น สัญญาณจะมีค่าน้อยกว่าค่าของสัญญาณใน Free Space เพราะว่าได้รับผลการกระทบจากหลาย ๆ อย่าง เช่น Atmosphere Antenna Diffraction และ Obstruction Loss ซึ่งสาเหตุเหล่านี้เกิดขึ้นนอกเหนือจากการอ่อนกำลังของสัญญาณใน Free Space ทั้งสิ้น

และส่วนที่เรี่ยบของผิวน้ำ ก็สามารถสะท้อนสัญญาณอันดับที่ 2 (Second Signal) ไปยังสายอากาศของเครื่องรับได้ และถ้าหากสัญญาณอันดับที่ 2 นี้ เดินทางไปถึงสายอากาศของเครื่องรับแบบต่างเฟสกับ Direct Signal จะทำให้เกิดการหักล้างกันของสัญญาณทั้งสองนั้นคือระดับของสัญญาณที่รับได้จะต่ำลงไป

การสื่อสารดาวเทียม

ประวัติการสื่อสารผ่านดาวเทียม

ประเทศรัสเซียเป็นประเทศแรกที่สามารถส่งดาวเทียมดวงแรกของโลกขึ้นโคจรในอากาศเมื่อ 4 ต.ค.02 ดาวเทียมดวงแรกชื่อ SPUTNIK หลังจากประสบผลสำเร็จในการส่งดาวเทียมดวงนี้แล้ว ก็ได้มีดาวเทียมอีกมากมายถูกส่งขึ้นไปในอวกาศเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ กัน เช่น การสื่อสารย่านอวกาศ ,สภาวะของโลก การพัฒนาของดาวเทียมนั้นก็ได้เริ่มต้นเมื่อมีการส่งดาวเทียมดวงแรกขึ้นสู่วงโคจร แต่เริ่มจากการวิวัฒนาการของเทคโนโลยีหลายสาขา เช่น การพัฒนาของจรวด และอุปกรณ์การสื่อสารรวมถึงความรู้อื่นๆ อีกมากมาย

ญี่ปุ่น และสหรัฐฯ มีการถ่ายทอดการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกทาง TV. ผ่านดาวเทียม SYNCOM 3 ซึ่งลอยอยู่กับที่ ในปี พ.ศ.2507

องค์การ INTELSAT ส่งดาวเทียมโทรคมนาคมเพื่อการพาณิชย์ดวงแรก คือ EARLYBIRD หรือ INTELSAT 1 เหนือมหาสมุทรแอตแลนติก เพื่อติดต่อระหว่างยุโรปกับสหรัฐอเมริกา โดยมี ฝรั่งเศส, อิตาลี, อังกฤษ ผลัดกันทำงานติดต่อกับสหรัฐอเมริกา เมื่อวันที่ 6 เมษายน 2508 ในช่วงนั้น เมื่อ 20 ธันวาคม 2507 ได้มีการประชุมชั่วคราวของประเทศต่างๆ เพื่อก่อตั้งองค์การสื่อสารดาวเทียมเพื่อการพาณิชย์โลกโดยไม่กีดกันเชื้อชาติ ภาษา หรือลัทธิของประเทศผู้ให้บริการ ในขั้นต้นที่ประชุมมีการตั้งชื่อหน่วยงานนี้ว่า GLOBAL INTERIM COMMERCIAL COMMUNICATION ต่อมาในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2508 ได้เปลี่ยนชื่อใหม่ว่าองค์การดาวเทียมเพื่อกิจการโทรคมนาคมระหว่างประเทศ INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION SATTLELITE ORGANIZATION มีชื่อย่อว่า INTELSAT ประเทศไทยเป็นสมาชิกขององค์การ INTELSAT ในอันดับที่ 49 เมื่อปี พ.ศ.2509

เมื่อวันที่ 26 ต.ค. 2509 องค์การ INTELSAT ส่งดาวเทียม INTELSAT II สู่วงโคจร

ประเทศไทยเปิดการติดต่อสื่อสารดาวเทียมเหนือมหาสมุทรแปซิฟิกกับสหรัฐอเมริกาทางด้าน ฮาวายเมื่อวันที่ 1 เม.ย.2510

เมื่อวันที่ 11 ธ.ค. 2511 องค์การ INTELSAT ส่งดาวเทียม INTELSAT III ขึ้นสู่วงโคจร ประเทศไทยติดต่อดาวเทียม INTELSAT III F-4 ทางด้านมหาสมุทรแปซิฟิก และดาวเทียม TELSAT III F-3 เหนือมหาสมุทรอินเดีย เมื่อวันที่ 1 เม.ย.2513

หลังจากนั้นประเทศไทยก็ใช้ดาวเทียมของ INTELSAT มาตลอด ปัจจุบันนี้ประเทศไทยยังใช้ดาวเทียมอื่น ๆ อีกมากมาย เช่น PALAPA ของประเทศอินโดนีเซีย, ดาวเทียม ASIASAT ของ

ประเทศฮ่องกง และเมื่อปี พ.ศ.2536 ประเทศไทยมีดาวเทียมเป็นของตนเองดวงแรกชื่อว่าดาวเทียมไทยคม

การสื่อสารผ่านดาวเทียมเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการสื่อสารโทรคมนาคมเมื่อนักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบดาวเทียมและสามารถส่งดาวเทียมเข้าสู่วงโคจรเพื่อทดลองใช้ในการสื่อสารเป็นผลสำเร็จในปี ค.ศ.1958 เมื่อ ATHUR C CLACK นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ เสนอแนวความคิดง่าย ๆ ที่จะนำเอาสถานีถ่ายทอดสัญญาณวิทยุไปลอยอยู่ในท้องฟ้า และรับสัญญาณวิทยุจากสถานีภาคพื้นดินในปี ค.ศ.1945 ซึ่งต่อมา แนวความคิดนี้ได้นำไปสู่วงโคจรที่สำคัญต่อการสื่อสารผ่านดาวเทียมในปัจจุบัน นั่นคือวงโคจรค้างฟ้า (GEOSTATIONARY ORBIT)

ระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมนั้นสามารถแบ่งองค์ประกอบออกเป็น ๒ ส่วนที่สำคัญได้แก่

๑. ภาคอวกาศ (SPACE SEGMENT)

๒. ภาคพื้นดิน (GROUND SEGMENT)

การทำงานร่วมกันขององค์ประกอบทั้งสองระบบดังกล่าว จะสามารถทำให้การติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียมสามารถสื่อสารกันได้เป็นผลสำเร็จโดยภาคอวกาศ (SPACE SEGMENT) จะหมายถึงดาวเทียม ซึ่งจะถูกส่งขึ้นไปอยู่บนวงโคจรในอวกาศตามตำแหน่งที่ต้องการ ในตัวดาวเทียมมีส่วนสำคัญในการติดต่อที่ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณสื่อสารกับภาคพื้นดิน ได้แก่ TRANSPONDER ซึ่งเป็นส่วนที่สร้างพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในอุปกรณ์สื่อสารบนดาวเทียมและระบบควบคุมให้ดาวเทียมสามารถโคจรอยู่ในอวกาศในตำแหน่งที่ต้องการและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจนกว่าจะหมดอายุใช้งาน นอกจากนี้ยังรวมถึงสถานีควบคุมการทำงานของดาวเทียมภาคพื้นดิน หรือที่เรียกว่า TELEMETRY TRACKING AND COMMAND FACILITY TT&C ด้วย ส่วนภาคพื้นดิน (GROUND SEGMENT) ก็จะหมายถึงส่วนของสถานีรับ - ส่งภาคพื้นดิน ที่ใช้สำหรับติดต่อสื่อสารกับดาวเทียมและผู้ใช้งานโดยทั่วไป สถานีดาวเทียมภาคพื้นดินมีวิธีการ หรือเทคนิคในการใช้ช่องสัญญาณดาวเทียมหลายรูปแบบ เช่น FDMA (FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS) ,TDMA (TIME DIVISION MULTIPLE ACCESS) , CDMA (CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS) เป็นต้น จากเทคนิคดังกล่าวจึงมีการสร้างระบบการใช้งานสื่อสารผ่านดาวเทียม เป็นเครือข่ายขึ้นเพื่อให้ผู้ใช้งานจำนวนมากใช้งานช่องสัญญาณร่วมกันได้ เช่น ระบบ VSAT NETWORK ที่ถูกนำไปใช้งานในระบบสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เป็นต้น

การสื่อสารผ่านดาวเทียมถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากมาย เช่น การสื่อสารโทรคมนาคมระหว่างประเทศและภายในประเทศ การสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์ การติดต่อสื่อสารภายในเครือข่าย

ขององค์กรธุรกิจ การถ่ายทอดสัญญาณวิทยุโทรทัศน์และการศึกษาระยะไกล เป็นต้น ซึ่งความสามารถของการสื่อสารผ่านดาวเทียม ในปัจจุบันได้รับการพัฒนา ให้รองรับเทคโนโลยีในด้านต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง เช่น การพัฒนาให้สามารถรองรับเทคโนโลยีเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในระบบ LAN

(LOCAL AREA NETWORK) หรือระบบ WAN (WIDE AREA NETWORK) การพัฒนาให้ใช้งานกับระบบการสื่อสารแบบเคลื่อนที่ (MOBILE COMMUNICATIONS) ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ระบบ INMARSAT ที่ทำให้สามารถติดต่อสื่อสารไปยังที่ต่าง ๆ ได้จากยานพาหนะในระหว่างเคลื่อนที่ เช่น จากเรือเดินสมุทรจากอากาศยานขณะที่เดินทางในอากาศ เป็นต้น

ในอนาคตการสื่อสารผ่านดาวเทียมจะได้รับการพัฒนาอย่างไม่หยุดนิ่งเพื่อให้การสื่อสารผ่านดาวเทียมสามารถใช้กับการสื่อสารระหว่างบุคคลกับบุคคล (PERSONAL COMMUNICATION) ทำให้มนุษย์สามารถ ติดต่อสื่อสารกันได้ทุกมุมโลกอย่างไร้ขอบเขตจำกัด เช่น ระบบดาวเทียม LOW EARTH ORBIT ที่ได้รับการพัฒนามาใช้งานกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น ซึ่งมีโครงการหลายโครงการเริ่มมีแผนการดำเนินงานอย่างจริงจังแล้ว เช่น ระบบ INMARSAT – P ระบบ IRIDIUM เป็นต้น เนื้อหาของหนังสือชุดนี้ได้รวบรวมเทคโนโลยีการสื่อสารผ่านดาวเทียมในส่วนต่าง ๆ และการนำระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ตลอดจนแนวโน้มของการสื่อสารผ่านดาวเทียมในอนาคต เพื่อให้ผู้อ่านมีความรู้ความเข้าใจในการสื่อสารผ่านดาวเทียม และทราบถึงประโยชน์ของการสื่อสารผ่านดาวเทียมตามสมควร

ระบบดาวเทียม

ดาวเทียมที่มนุษย์ส่งขึ้นไปโคจรเหนือผิวดิน ขณะนี้เป็นจำนวนมากอยู่ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดาวเทียมที่ส่งขึ้นไปโคจรเหนือผิวโลกนี้ แบ่งออกเป็น ๓ แบบ

1. ดาวเทียมแบบโคจรตามขั้วขั้ว

เป็นดาวเทียมรุ่นแรก ๆ ที่มนุษย์ส่งขึ้นไปเหนือผิวโลก สมัยนั้นเป็นระบบการส่งและการควบคุมยังไม่ดีเท่าที่ควร ดาวเทียมแบบนี้แต่ละดวงมีวงโคจรของตัวเองแตกต่างจากดวงอื่น ๆ ระดับความสูงแต่ละดวงจะแตกต่างกันเป็นดาวเทียมที่บังคับวงโคจรและระดับความสูงไม่ได้

2. ดาวเทียมแบบเฟส

เป็นดาวเทียมที่มีแนวทางโคจรแตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ที่จะให้ดาวเทียมโคจรผ่านตำแหน่งไหน เช่น โคจรตามแนวเส้นศูนย์สูตร โคจรเอียงเป็นมุม 30 องศา กับเส้นศูนย์สูตรโคจรผ่านขั้วโลก เป็นต้น ดาวเทียมแบบนี้เป็นระบบดาวเทียมที่สามารถบังคับเส้นทางการโคจรได้เช่น ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรดาวเทียมทำการจารกรรม เป็นต้น

3. ดาวเทียมแบบโคจรอยู่กับที่

เป็นดาวเทียมเพื่อใช้การสื่อสาร โดยส่งขึ้นไปให้มีระดับความสูง ประมาณ 35,860 ก.ม. โคจรตามแนวเส้นศูนย์สูตรไปทางทิศตะวันออก มีความเร็วในการโคจรรอบโลกครบ 1 รอบ เท่ากับที่โลกหมุนรอบตัวเอง 1 รอบ ดังนั้นเมื่อสังเกตดูดาวเทียมจากพื้นโลก ณ จุดใดจุดหนึ่งจึงดูเหมือนว่าดาวเทียมลอยนิ่งอยู่กับที่ ดาวเทียมแบบนี้ใช้เพื่อการสื่อสาร ถ้ามีดาวเทียมเพียง 3 ดวง ณ ตำแหน่งเหนือมหาสมุทรแอตแลนติก มหาสมุทรแปซิฟิก และมหาสมุทรอินเดียก็สามารถถ่ายทอดสัญญาณระบบการสื่อสารครอบคลุมได้ทั่วโลก แต่ในทางปฏิบัติแล้วจะต้องมีดาวเทียมสำรองไว้อีกแห่งละ 1 ดวง ดังนั้นจะต้องส่งดาวเทียมขึ้นไปอยู่เหนือมหาสมุทรแอตแลนติกอาจมี 3 - 4 ดวง เพราะข่ายการสื่อสารมีมาก

อายุการใช้งานของดาวเทียมปกติแล้วขึ้นอยู่กับ

1. เชื้อเพลิงที่บรรจุอยู่ในดาวเทียมเพื่อการควบคุมตำแหน่ง
2. แผง SOLAR CELL ที่เป็นตัวจ่ายไปให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ในตัวดาวเทียม
3. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในดาวเทียม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง TRAVELING WAVE TURE(TWT) ที่ใช้เป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณ

การส่งดาวเทียมเข้าสู่วงโคจรสามารถกระทำได้ ๒ วิธีด้วยกันคือ

1. ส่งโดยจรวด
2. ส่งโดยใช้ยานขนส่งอวกาศ

ดาวเทียมขณะเข้าสู่วงโคจร หรือเมื่ออยู่ในวงโคจรแล้วจะต้องอยู่ในความควบคุมดูแลของสถานีติดตาม และบังคับควบคุมดาวเทียมตลอดเวลา สถานีติดตามและควบคุมดาวเทียม TT&C (TELEMETRY TRACKING AND COMMAND) จะกระจายอยู่ตามภูมิภาคต่าง ๆ ของโลก สถานีเหล่านี้จะต้องควบคุมดูแลให้ดาวเทียมอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องและส่งข้อมูลของดาวเทียมไปให้สถานีภาคพื้นดินต่าง ๆ ทราบล่วงหน้า ถ้าดาวเทียมเคลื่อนที่ผิดตำแหน่งมากเกินไป สถานีติดตาม และบังคับควบคุมดาวเทียมจะส่งสัญญาณไปบังคับให้ดาวเทียมทุกท่อนจรวดเชื้อเพลิงท่อใดท่อหนึ่งเป็นระยะเวลาอันสั้น ๆ เพื่อนำเอาดาวเทียมกลับมาอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องต่อไป

โครงสร้างของระบบดาวเทียม ประกอบด้วย

1. ดาวเทียมค้างฟ้า (GEDSTATIONARY SATTLELITE) โดยปกติจะมี 2 ดวงดวงหนึ่งใช้อีกดวงหนึ่งไว้สำรอง มีอายุการใช้งานประมาณ 7 - 15 ปี

2. สถานีควบคุมดาวเทียมให้อยู่ในวงโคจรที่ถูกต้อง (STATION KEEPING, MASTER CONTROL STATION)
3. ชั้นบรรยากาศ (FREE SPACE)
4. สถานีภาคพื้นดินชนิดต่างๆ (EARTH STATION)
5. การเชื่อมโยง (LINKS) ต่างๆ ระหว่างสถานีภาคพื้นดินกับผู้ใช้บริการ (USERES) เช่น ชุมสายโทรศัพท์, สถานีโทรทัศน์ เป็นต้น
6. การเชื่อมต่อกับเครือข่ายการสื่อสารภาคพื้นดิน (TERRESTRIAL NETWORK) เมื่อทำการติดตั้งสถานีภาคพื้นดินขึ้นเมื่อใดก็ตามภายในพื้นที่ครอบคลุม (CONVERGENCE AREA) แล้วก็สามารถจะเชื่อมต่อกับเครือข่ายการสื่อสารภาคพื้นดินทั้งหมดได้ทันที

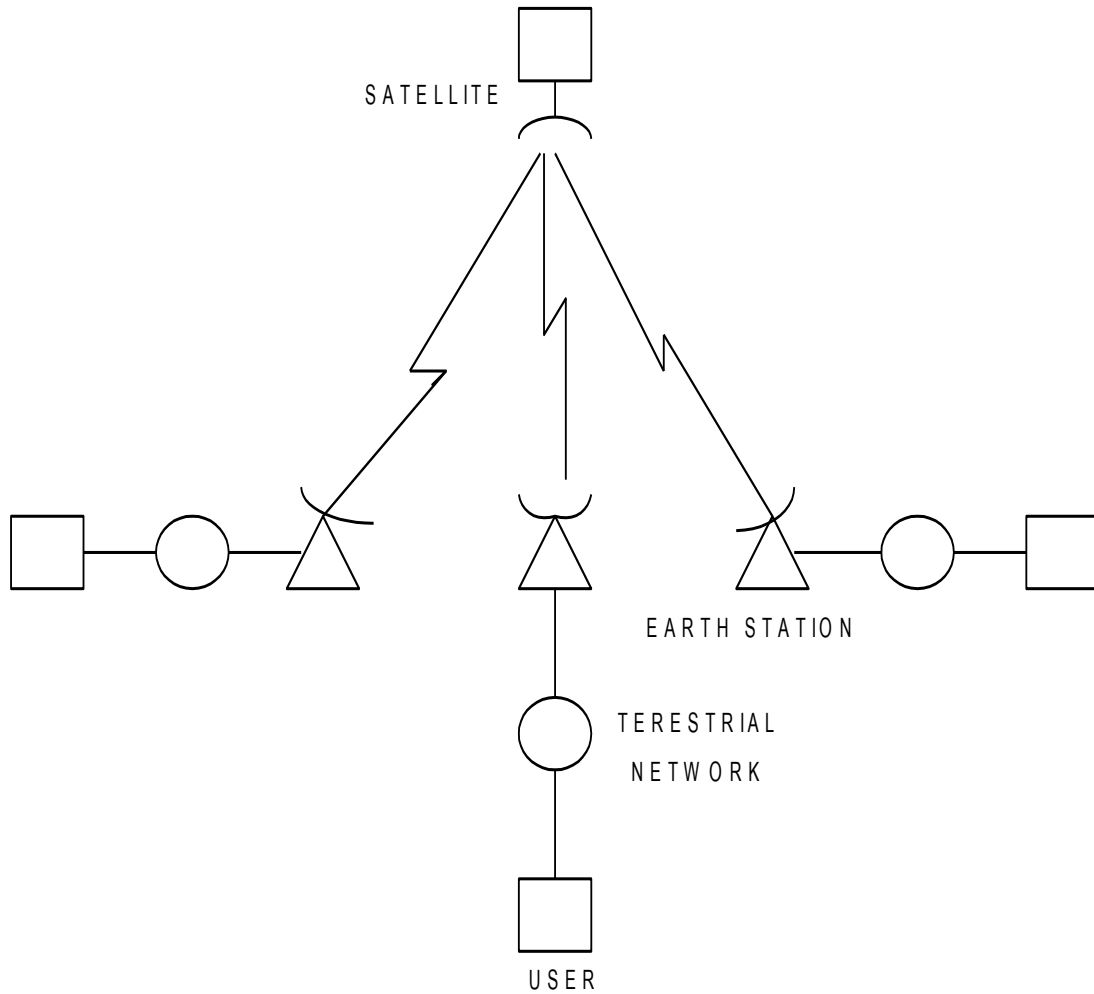
บริการหลักที่จัดให้มีขึ้นโดยการใช้การสื่อสารภายในประเทศคือ

1. การสื่อสารของระบบโทรศัพท์ แบบจุดต่อจุดเพื่อใช้ทดแทนเครือข่ายการสื่อสารที่มีอยู่
2. การสื่อสารแบบจุดหนึ่งถึงหลายๆ จุด (POINT TO MULTIPPOINT TRANSMISSION)
3. การสื่อสารแบบเครือข่ายมีการสื่อสารไม่มากนัก (THIN ROUTE) โดยใช้เครือข่ายเชื่อมโยงไปหาที่ใดแต่เดียว เช่น ในหุบเขาหรือหมู่เกาะ
4. การสื่อสารข้อมูล ซึ่งอาจเป็นแบบจุดถึงจุดหรือจุดถึงหลายจุด
5. การบริการพิเศษ ได้แก่ การประชุมเห็นหน้ากัน (VIDEO CONFERENCE) โทรทัศน์เพื่อการศึกษา, วิทยุมือถือ, วิทยุติดในรถยนต์ หรือในเรือ
6. การแพร่ภาพทางโทรทัศน์ (TV BOARDCAST)

ระบบสื่อสารดาวเทียม (SATELITE SYSTEM)

ระบบการสื่อสารดาวเทียมมีส่วนประกอบพื้นฐานคือ ดาวเทียมที่ลอยอยู่ในอวกาศ ซึ่งดาวเทียมนี้จะทำการสื่อสารเชื่อมโยงกับสถานีภาคพื้นดิน ดังแสดงในรูปที่ 3-11 โดยผู้ใช้ทำการส่งสัญญาณเบสแบนด์ (BASE BAND) สัญญาณนี้จะถูกส่งไปยังสถานีภาคพื้นดิน โดยเครือข่ายการสื่อสารภาคพื้นดิน (TERRESTRIAL NETWORK) ซึ่งอาจจะเป็นสายโทรศัพท์หรือสายสัญญาณที่สร้างขึ้นมาสำหรับการนี้โดยเฉพาะ เมื่อมาถึงสถานีภาคพื้นดินสัญญาณก็จะถูกมอดดูเลท (MODULATE) และขยาย จากนั้นจึงส่งออกไปยังดาวเทียม ดาวเทียมนั้นเมื่อรับสัญญาณแล้วก็จะทำการกรองเอาสัญญาณเฉพาะในช่วงความถี่ที่ต้องการแล้วทำการขยายสัญญาณ และส่งกลับลงมายังพื้นโลกอีกครั้ง สถานีภาคพื้นดินที่ทำการรับสัญญาณจากดาวเทียมก็จะทำการใน

กระบวนการที่ย้อนกลับกับตอนที่ส่งไปยังดาวเทียมคือการทำการขยายสัญญาณที่รับมาแล้วทำการดีมอดูเลต (DEMODULATE) กลับไปเป็นสัญญาณเบสแบนด์ (BASE BAND) และส่งต่อไปยังผู้ใช้โดยผ่านทางเครือข่ายการสื่อสารภาคพื้นดิน (TERRESTRIAL NETWORK)



รูปที่ 3-11 แสดงองค์ประกอบการศึกษาการสื่อสารดาวเทียมพื้นฐาน

การสื่อสารดาวเทียม

ในปัจจุบัน ดาวเทียมสื่อสารทางธุรกิจทั่วไป จะมีขอบเขตการใช้งานขนาดของแบนด์วิดท์ (BANDWIDTH) ของสัญญาณขาขึ้นและขาลง ประมาณ 500 MHz แถบความถี่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือในย่าน C-BAND, 6/4 GHz โดยจะมี 2 แบบคือ สัญญาณขาขึ้นและสัญญาณขาลง ในปัจจุบันนี้มีการใช้งานมากขึ้นทั่วโลก ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาคลื่นรบกวนกันได้ ดังนั้นจึงได้เริ่มมี

การใช้งานในย่านความถี่ KU-BAND, 14/12 GHz ขึ้นอีก ซึ่งในย่านความถี่แบบ KU-BAND นี้ มีข้อเสียเปรียบด้านสัญญาณคือปัญหาการลดทอนสัญญาณเนื่องจากฝน (RAIN INDUCED ATTENUATION) นอกจากนั้นในปัจจุบันมีการนำความถี่ในย่าน 30/20 GHz มาใช้งานกันบ้างแล้ว แต่ไม่แพร่หลายเพราะเนื่องจากมีราคาแพงมาก

ประเทศไทยกับการใช้ดาวเทียม

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้ดาวเทียมสื่อสารในกิจการโทรคมนาคมอย่างมาก ประเทศไทยเข้าเป็นสมาชิกขององค์การ INTELSAT ในปี พ.ศ.2509 และเริ่มมีการใช้การสื่อสารผ่านดาวเทียมในปี พ.ศ.2510 โดยใช้สถานีภาคพื้นดินแบบเคลื่อนที่ ในปี พ.ศ.2511 ได้มีก่อสร้างสถานีภาคพื้นดินขึ้นที่ อ.ศรีราชา จว.ชลบุรี โดยใช้บริการผ่านดาวเทียม INTELSAT ปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้ดาวเทียม INTELSAT, PALAPA และ ASIASAT การใช้ดาวเทียมเหล่านี้จะใช้ในกิจการทั้งของราชการและเอกชน

ดาวเทียมไทยคม

ในปี พ.ศ.2533 รัฐบาลโดยกระทรวงคมนาคมได้ให้บริษัทชินวัตร แซทเทลไลท์ จำกัด เป็นผู้รับสัมปทานในโครงการสื่อสารดาวเทียมแห่งชาติ ดวงแรกของไทย โครงการนี้ตัวดาวเทียมและอุปกรณ์ต่าง ๆ จะเป็นสมบัติของกระทรวงคมนาคม ต่อมาพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าพระราชทานชื่อดาวเทียมสื่อสารดวงแรกของไทยนี้ว่า "ไทยคม" ซึ่งมาจากคำว่า ไทยคม (นาคคม) (THAICOM)

ดาวเทียมไทยคม 1 เป็นดาวเทียมรุ่น HS376 โดยบริษัท HUGESH AIRCRAFT ของสหรัฐอเมริกา ประกอบด้วยวงจรวางดาวเทียม 12 TRANSPONDER ใช้ความถี่ C-BAND จำนวนดวงละ 10 TRANSPONDER และความถี่ย่าน KU-BAND จำนวนดวงละ 2 TRANSPONDER สามารถให้พื้นที่บริการ (FOOTPRINT) ครอบคลุมประเทศไทยและทุกประเทศในแถบอินโดจีนจนถึงเกาหลี ญี่ปุ่น และแถบชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกของจีน ปลายปี พ.ศ.2536 ดาวเทียมไทยคม 1 ถูกจัดส่งโดยบริษัท ARICERPACE แห่งฝรั่งเศส ขึ้นสู่อวกาศเหนือเส้นศูนย์สูตรที่ระดับความสูง 35,768 กม. หลังจากถูกส่งเข้าสู่วงโคจรเรียบร้อยแล้ว ดาวเทียมไทยคม1 จะพร้อมให้บริการได้ในราวต้นปี 2537 และไทยคม 2 จะถูกส่งขึ้นในราวปี 2538 ซึ่งดาวเทียมทั้งสองจะอยู่ ณ ORBIT SLOT ที่ 101 และ 78.5 องศาตะวันออก ดาวเทียมทั้งสองดวงจะทำหน้าที่สำรองซึ่งกันและกัน ดาวเทียมไทยคมจะมีศูนย์ติดต่อ ณ ที่ทำการของกรมไปรษณีย์โทรเลขจว.นนทบุรี

ดาวเทียมไทยคม จะช่วยพัฒนาความเจริญก้าวหน้าทางด้านกิจการสื่อสารโทรคมนาคมในด้านต่าง ๆ คือ

- ด้านโทรทัศน์
- ด้านวิทยุกระจายเสียง
- ด้านโทรศัพท์ เพื่อเชื่อมโยงเครือข่ายโทรศัพท์ทุกภูมิภาค
- ด้านสื่อสารข้อมูล สามารถเชื่อมโยงเครือข่ายข้อมูลคอมพิวเตอร์
- บริการใหม่ VIDEO CONFERENCEING การประชุมร่วมกันโดยสามารถเห็นทั้งภาพเคลื่อนไหว

ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า

- ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอน (SILICON) บนพื้นผิวทรงกระบอกรอบตัวดาวเทียม
- อายุการใช้งานกำหนดไว้ต่ำสุดประมาณ 13 ปี

ดาวเทียม PALAPA

เป็นดาวเทียมของประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งใช้สำหรับบริการสื่อสารต่าง ๆ ทั้งในประเทศอินโดนีเซีย และแก่เพื่อนบ้านอื่น ๆ ในแถบภูมิภาคประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งรวมทั้งประเทศไทยด้วย สำหรับปัจจุบันนี้ TRANSPONDER ของ PALAPA แต่ละดวงมี TRANSPONDER ทั้งหมด 24 TRANSPONDER โดยทำงานในแบบ POLARIZATION ชนิด VERTICAL และ HORIZONTAL อย่างละ 12 TRANSPONDER

ตำแหน่งวงโคจร ดาวเทียม PALAPA แต่ละดวงมีตำแหน่งวงโคจรดังนี้

1. PALAPA-B1 ที่ตำแหน่ง 118 องศาตะวันออก
 2. PALAPA-B2P ที่ตำแหน่ง 113 องศาตะวันออก
 3. PALAPA-B2R ที่ตำแหน่ง 108 องศาตะวันออก
- TRANSPONDER มีการใช้งานความถี่ในย่าน C-BAND

ดาวเทียม ASIASAT

ดาวเทียม ASIASAT เป็นดาวเทียมของประเทศฮ่องกง มีตำแหน่งวงโคจรที่ 105.5 องศาตะวันออก ทำงานอยู่ในย่านความถี่ C-BAND มี TRANSPONDER ใช้งานทั้งหมด 24 TRANSPONDER โดยบริการสื่อสารแก่ประเทศในภูมิภาคนี้ โดยแบ่งออกเป็น ๒ เขตใหญ่ๆ คือ

1. NORTHERN AREA แบ่งได้ 12 TRANSPONDER
2. SOUTHERN AREA แบ่งได้ 12 TRANSPONDER

โดยสัญญาณขาขึ้นของ SOUTHERN AREA และขาลงของ NORTHERN AREA จะเป็น POLARIZATION แบบ HORIZONTAL ส่วนสัญญาณขาลงของ SOUTHERN AREA และขาขึ้นของ NORTHERN AREA เป็น POLARIZATION แบบ VERTICAL

ดาวเทียม INTELSAT

ทำงานอยู่ในย่านความถี่ C-BAND และ KU-BAND มี TRANSPONDER ใช้งาน 12 TRANSPONDER

