บทที่ 5

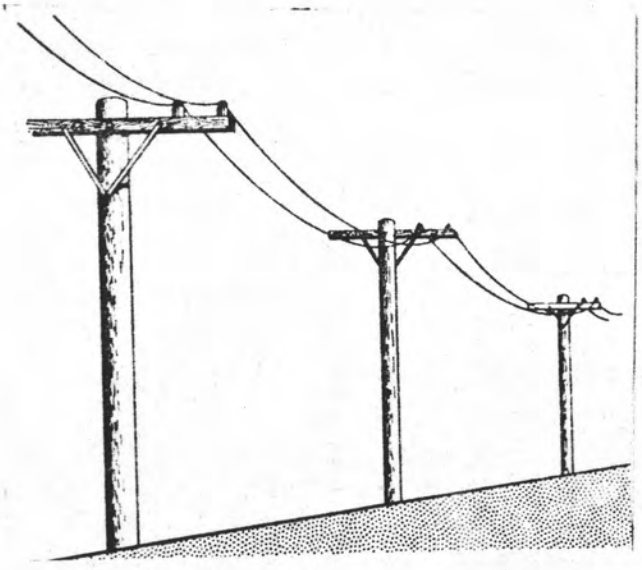
การพิจารณาสายโทรศัพท์ที่ใช้และการคำนวณหาพารามิเตอร์ของสาย

5.1 แบบของสายโทรศัพท์ที่ใช้ในราชการทหาร

ในทางราชการทหารจะจำแนกสายโทรศัพท์ที่ใช้งานในการติดตั้งโทรศัพท์ เป็นสายเปิด (OPEN WIRE LINES) สายเคเบิ้ล (CABLES) และสายสนาม (FIELD-WIRES) จะได้กล่าวดังต่อไปนี้

5.1.1 สายเปิด

สายเปิดเป็นสายที่ไม่มีฉนวนหุ้มเดินขนานกันบนลูกถ้วยที่ติดอยู่บนไม้กางเขนของเสาโทรศัพท์ ดูรูป 5.1



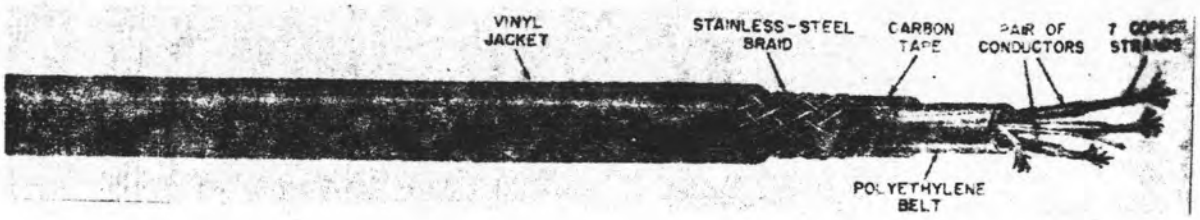
รูปที่ 5.1 สายเปิด

สายอาจจะทำด้วยทองแดงรีดแข็ง (HARD DRAWN COPPER) เหล็กกล้า (STEEL) ทองแดงเคลือบเหล็กชุบสังกะสี (COPPER GALVANIZED STEEL) หรือเหล็ก สายทั้งสองเส้นวางห่างกันมาตรฐาน 8 นิ้ว เมื่อวางมากกว่า 2 คู่ ไปบนเสาเดียวกันปกติจะให้สายห่างกัน 10 หรือ 12 นิ้ว ขึ้นอยู่กับขนาดของกางเขนที่ใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของสายอยู่ในย่าน 80 mils ถึง 165 mils

5.1.2 สายเคเบิ้ล

สายเคเบิ้ลหมายถึงสายที่ประกอบด้วยคู่สาย 2 คู่ หรือมากกว่า ลวดตัวนำภายในเคเบิ้ล มีฉนวนหุ้ม และตีเกลียวกันเป็นคู่ แต่ละคู่สายตีเกลียวกันแล้วหุ้มด้วยฉนวนอีกชั้น ในทางทหารใช้เคเบิ้ลแบบต่าง ๆ ดังนี้

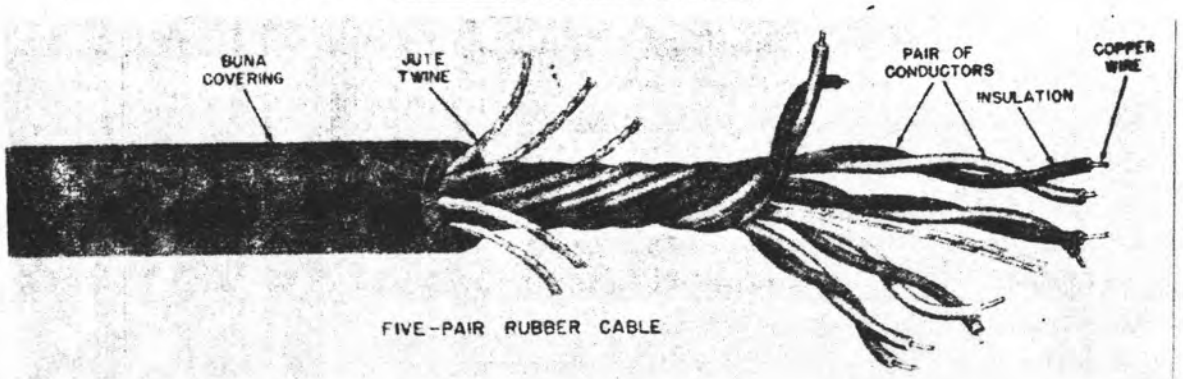
5.1.2.1 SPIRAL FOUR CABLE



รูปที่ 5.2 SPIRAL FOUR CABLE

รูป 5.2 เป็นเคเบิ้ลแบบ SPIRAL FOUR CABLE ภายในมีตัวนำ 4 กลุ่ม ตัวนำแต่ละกลุ่มประกอบด้วยลวดทองแดง 7 เส้น หุ้มด้วยฉนวนชนิด POLYETHYLENE ถัดจากตัวนำทั้ง 4 กลุ่มหุ้มด้วยฉนวนเรียกว่า "POLYETHYLENE BELT" ต่อมาพันด้วย CARBON TAPE แล้วพันด้วย STAINLESS STEEL BRAID ชั้นสุดท้ายหุ้มด้วย VINYL JACKET

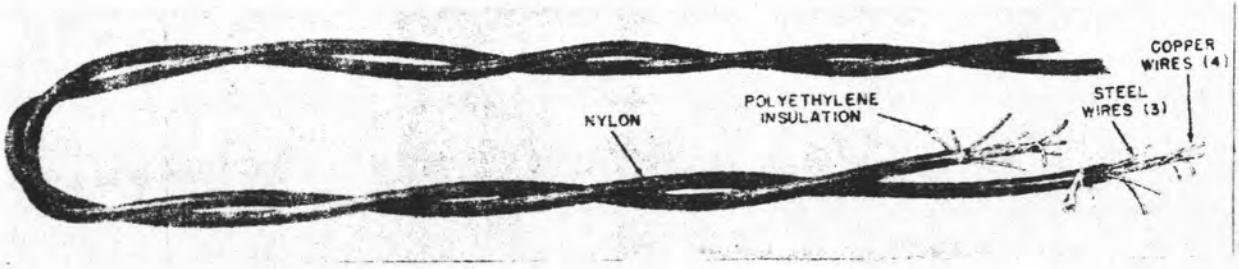
5.1.2.2 FIVE PAIR RUBBER CABLE



รูปที่ 5.3 FIVE PAIR RUBBER CABLE

ดูจากรูป 5.3 สังเกตุเห็นว่าภายในมีลวดตัวนำ 10 เส้น จัดไว้เป็น 5 คู่สาย ตัวนำแต่ละเส้นทำด้วยดีบุกผสมทองแดงแข็ง (TINNED SOLID COPPER) หุ้มด้วยฉนวนยาง ฉนวนของสายตัวนำแต่ละเส้นในคู่สายเป็นสีขาว อีกเส้นหนึ่งเป็นโค๊ดสี (COLOR CODED) เช่นสีแดง, เหลือง, เขียว, น้ำเงิน และดำ ชั้นนอกสุดหุ้มด้วยยางสังเคราะห์

5.1.3 <u>สายสนาม</u> สายโทรศัพท์สนามเป็นสาย 1 คู่ สายทั้งสองเส้นตีเกลียวไปด้วยกัน ทางทหารใช้สายโทรศัพท์สนามในกรณีติดตั้งโทรศัพท์ฉุกเฉินใช้เป็นการชั่วคราวเท่านั้น สายที่ใช้เป็นแบบ W-110-B , WD-14/TT และ WD-1/TT เป็นต้น



รูปที่ 5.4 สายสนามแบบ WD-1/TT

จากรูป 5.4 เป็นสายโทรศัพท์สนามที่ทางราชการทหารใช้มากที่สุดสายตัวนำแต่ละเส้นประกอบด้วยลวดตัวนำ 7 เส้น เป็นสายลวดทองแดง 4 เส้น ลวดเหล็กกล้า 3 เส้น สายแต่ละเส้นหุ้มด้วยฉนวน POLYETHYLENE ชั้นนอกสุดหุ้มด้วยในลอนด์ (NYLON)

5.2 <u>คุณสมบัติทางไฟฟ้าของสายโทรศัพท์</u>

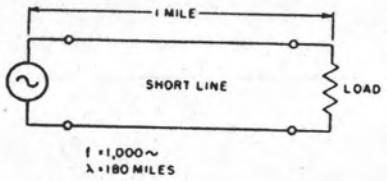
คุณสมบัติที่สำคัญของสายโทรศัพท์พิจารณาได้จากคุณสมบัติในตัวของมันคือ พิจารณาความยาวทางไฟฟ้า (ELECTRICAL LENGTH) ความยาวทางไฟฟ้าแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของสายโทรศัพท์ และความยาวคลื่นสัญญาณที่ส่งไปตามสายความยาวของคลื่นไฟฟ้าหาได้จากความเร็วของคลื่นที่เดินทางไปตามสายตัวนำหารด้วยความถี่ของสัญญาณ หรือ

$$\text{WAVE LENGTH} = \frac{\text{VELOCITY}}{\text{FREQUENCY}} \qquad (5.1)$$

ความเร็วของการแพร่กระจายคลื่นที่ 1,000 Hz ต่อวินาที ส่งผ่านสายเปิดด้วยความเร็ว 176,000 ไมล์ ถึง 180,000 ไมล์ต่อวินาที และส่งผ่านสายเคเบิ้ลในขณะที่ไม่มีโหลดอยู่ในย่านความเร็ว 47,600 ไมล์ ถึง 65,300 ไมล์ต่อวินาที แบ่งตามการใช้งานได้ดังนี้

5.2.1 <u>สายสั้น</u>

สายสั้น คือสายที่มีความยาวสั้นกว่าความยาวคลื่นของสัญญาณที่ส่งพิจารณารูป 5.5 แสดงถึงสายที่มี ELECTRICALLY SHORT



รูปที่ 5.5 แสดงวงจรไฟฟ้าของสายสั้น

การคำนวณความยาวของคลื่นสัญญาณที่ส่งที่มีความยาวครบวงรอบ (LOOP) 1 ไมล์ สัญญาณที่ส่งมีความถี่ 1,000 Hz ความเร็วในการส่ง 180,000 ไมล์ต่อวินาที ความยาวคลื่นหาได้จากสมการ (5.1)

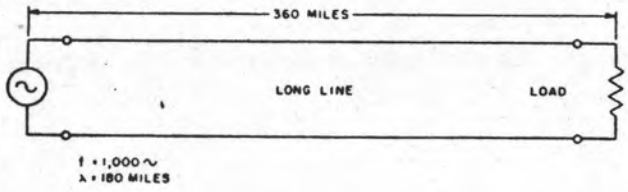
$$\lambda = \frac{180,000}{1,000}$$

ความยาวคลื่น = 180 ไมล์

หรืออาจจะกล่าวได้ว่าสายยาว 1 ไมล์ มีความยาวคลื่นทางไฟฟ้าเท่ากับ 1/180 ในทำนองเดียวกัน สายยาว 1 ไมล์ ความเร็วในการแพร่กระจายคลื่น 60,000 ไมล์ต่อวินาที มีความยาวคลื่นทางไฟฟ้าเท่ากับ 1/ 60 จากการพิจารณาแล้วจะเห็นว่าสายที่มีความยาว 1 ไมล์ ในการส่งสัญญาณครั้งหลังคลื่นจะกระจายผ่านสายตัวนำช้ากว่าสามเท่าของการส่งสัญญาณครั้งแรก ดังนั้นความยาวคลื่นทางไฟฟ้าคือการเปลี่ยนเฟส (PHASE) ต่อหนึ่งหน่วยความยาว จากการเปรียบเทียบความยาวคลื่นทางไฟฟ้าเป็นแนวทางที่จะนำไปคิดการสูญเสียในสาย (ATTENUATION) ต่อหนึ่งหน่วยความยาว ซึ่งจะได้กล่าวต่อไปในท้ายบท

5.2.2 สายยาว

สายยาว คือสายที่มีความยาวเท่ากันหรือยาวกว่าความยาวคลื่นสัญญาณส่งพิจารณารูป 5.6 แสดงวงจรทางไฟฟ้าของสายยาวขนาด 360 ไมล์ สัญญาณที่ส่งมีความถี่ 1000 Hz ความยาวคลื่น 180 ไมล์ ในขณะที่



รูปที่ 5.6 แสดงวงจรทางไฟฟ้าของสายยาว

คลื่นเดินทางไปตามสายมีทั้งแรงดันคลื่นและกระแสคลื่นในชั่วขณะหนึ่งภายใต้สภาพนี้สายเส้นเดียวกันอาจจะเป็นได้ทั้งสายสั้นหรือสายยาว ดังตัวอย่างต่อไปนี้พิจารณารูป 5.5 เมื่อสัญญาณมีความถี่ 200,000 Hz คำนวณหาความยาวคลื่นได้จากสมการ (5.1) ได้ความยาวคลื่น 5.9 ไมล์ คุณสมบัติเป็นสายยาว พิจารณารูป 5.6 สัญญาณส่งมีความถี่ 60 Hz คำนวณหาความยาวคลื่นได้จากสมการ (5.1) ความยาวคลื่นเท่ากับ 3,000 ไมล์ คุณสมบัติเป็นสายสั้น

5.3 ค่าพารามิเตอร์ของสาย

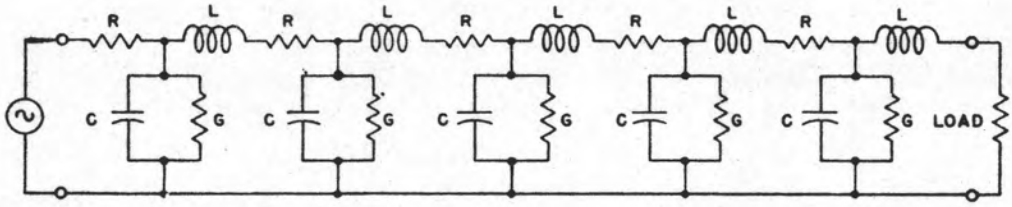
สายที่ใช้งานจะประกอบไปด้วยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

- ค่าคงที่ (CONSTANT)
- ค่าความต้านทานรวมอนุกรม (COMPRISE SERIES RESISISTANCE)
- ค่าความเหนี่ยวนำทางอนุกรม L (SERIES INDUCTANCE)
- ค่า SHUNT LEAKAGE CONDUCTANCE G

ค่าต่าง ๆ ดังที่กล่าวมานี้ขึ้นอยู่กับหน่วยความยาวปกติเป็นไมล์ พารามิเตอร์ต่าง ๆ เหล่านี้ไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับขนาดของตัวนำ, การต่อสาย และฉนวนหุ้มสาย แต่มันยังเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของสัญญาณที่ส่งและสภาพดินฟ้าอากาศอีกด้วย

5.3.1 ค่าคงที่

ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 4 ตัว ตามที่กล่าวมาแล้วข้อ 5.3 เกิดขึ้นในช่วงความยาวของสายในขณะใช้งาน เรียกว่า "DISTRIBUTED CONSTANT" "ถ้าพารามิเตอร์เกิดรวมที่จุดหนึ่งเรียกว่า" "LUMPED CONSTANT[10] พิจารณาวงจรสมบูรณ์ตามรูป 5.7



รูปที่ 5.7 แสดงวงจรสมมูลย์ของสายยาว

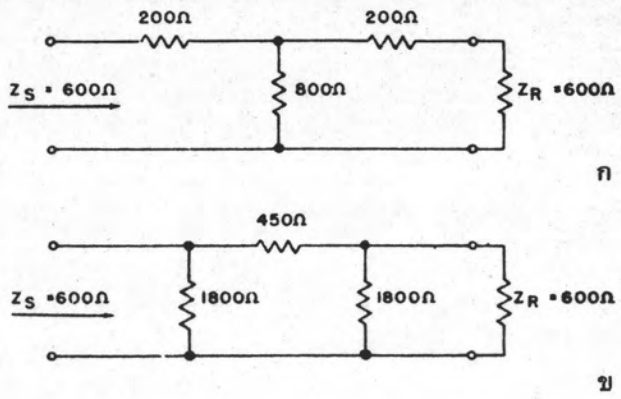
ความต้านทานอนุกรม R ความเหนี่ยวนำ L, SHUNT CAPACITANCE C และ SHUNT CONDUCTANCE G ของสายยาว 1 ไมล์ แสดงเป็นค่า LUMPED CONSTANT จากรูป 5.7 แบ่งออกเป็น 5 ส่วน สายยาว 360 ไมล์ จะได้ความยาวสายส่วนละ 72 ไมล์ จะเห็นว่าเป็นการสะดวกในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ ค่า DISTRIBUTED CONSTANT ที่ใช้เป็นปกติสายเปิดและสายเคเบิ้ลที่ไม่มีโหลดแสดงไว้ตามตาราง 1

ตาราง 1

TYPE OF LINE	SIZE OF WIRE AND SPACING	DISTRIBUTED CONSTANT PER LOOP MILE			
		R (OHMS)	L (HENRYS)	C (MICRO FARAD)	G (MICRO OHMS)
OPEN WIRE	104 mils = 8 inches	10.36	.00340	.00905	.29
	128 mils = 8 inches	6.87	.00327	.00944	.29
	165 mils = 8 inches	4.19	.00310	.00996	.29
NONLOADED CABLE	# 19 AWG	86.0	.001	.062	1.4
	# 16 AWG	42.0	.001	.062	1.4

5.4 คุณลักษณะ IMPEDANCE ของสาย

IMPEDANCE ของสายเขียนย่อ Z_0 ของวงจรตาข่าย (NETWORK) เป็นค่า LOAD IMPEDANCE ที่ทำให้ IMPEDANCE ของ INPUT TERMINAL ของวงจรตาข่ายเท่ากับ LOAD IMPEDANCE จากรูป 5.8

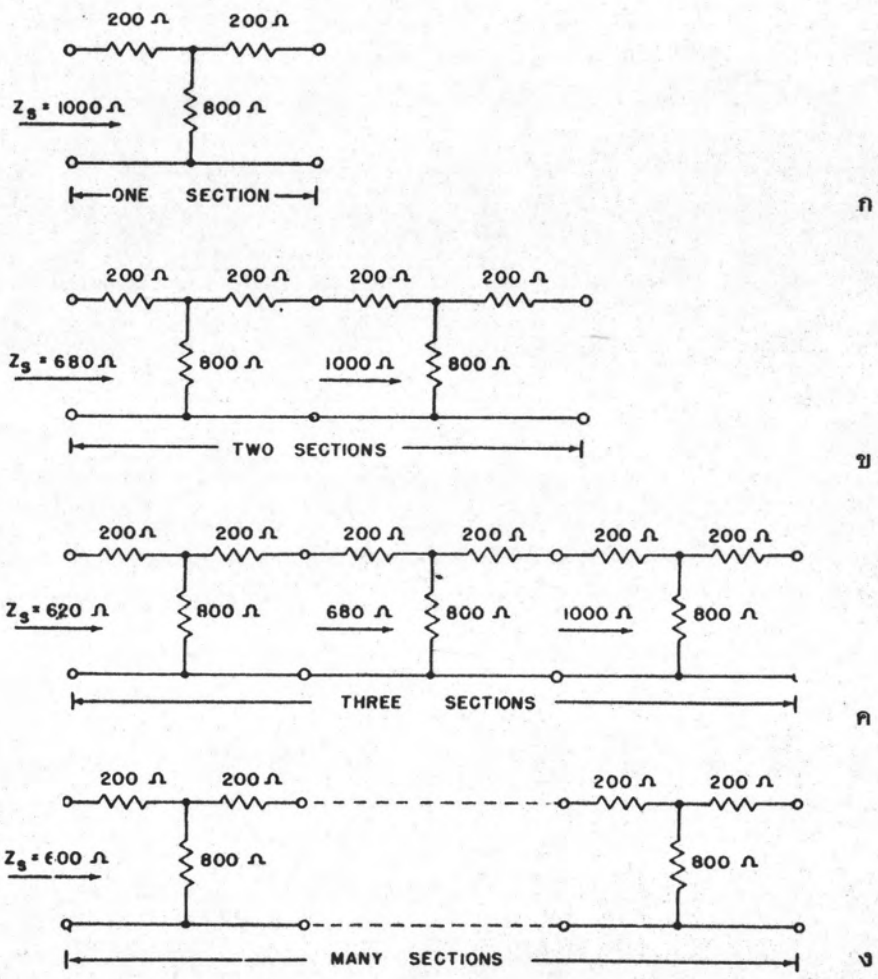


รูปที่ 5.8 TEE AND PI SECTIONS TERMINATED IN Z_0

รูป ก. เป็นแบบวงจรตาข่าย Load Impedance Z_R เท่ากับ 600 โอห์มต่ออนุกรมกับความต้านทาน 200 โอห์ม รวมเป็นความต้านทาน 800 โอห์ม รวมกับความต้านทานที่ต่อขนาน 800 โอห์ม เท่ากับ 400 โอห์ม และรวมกับความต้านทาน 200 โอห์ม ที่ต่ออนุกรมเป็น 600 โอห์ม ดังนั้นจะเห็นว่าการต่อแบบ TEE ได้ IMPEDANCE เท่ากับ 600 โอห์ม ในทำนองเดียวกันสามารถคำนวณรูป ข.ได้ IMPEDANCE เท่ากับ 600 โอห์ม เช่นกัน

5.4.1 คุณลักษณะ IMPEDANCE ของสายยาว

การคำนวณหา IMPEDANCE ของสายที่ใช้เป็นแบบสายยาวได้ดังนี้



รูปที่ 5.9 CHARACTERISTIC IMPEDANCE OF LONG LINE

จากรูป ก. เป็นวงจรเปิดมี INPUT IMPEDANCE

$$Z_S = 200 + 800$$

$$= 1000 \text{ โอห์ม}$$

พิจารณารูป ข.ที่จุดต่อความต้านทานทางขวามือ 200 โอห์ม ของวงจรส่วนที่ 2 รวมกับความต้านทาน 1000 โอห์ม เป็น INPUT ของส่วนแรกได้เท่ากับ 1200 โอห์ม นำไปรวมกับความต้านทาน 800 โอห์ม ที่ต่อขนานได้ความต้านทานรวมเท่ากับ 480 โอห์ม นำไปรวมกับความต้านทาน 200 โอห์ม ที่ต่ออนุกรมทางซ้ายมือเป็น INPUT IMPEDANCE ของส่วนที่สองเท่ากับ 680 โอห์ม ในทำนองเดียวกันสามารถคำนวณของรูป ค. ได้เท่ากับ 620 โอห์ม ยิ่งเพิ่มส่วนมากขึ้น INPUT IMPEDANCE จะลดลงทีละน้อยตามรูป ง. ได้ค่า INPUT IMPEDANCE ใกล้ค่าคงที่เท่ากับ 600 โอห์ม เป็นค่า IMPEDANCE ของสายยาว

5.4.2 การวัดค่า IMPEDANCE ของสาย

IMPEDANCE ของสายเปิดหรือสายเคเบิ้ลคำนวณได้โดยวัดค่า IMPEDANCE สองค่า คือ ค่า IMPEDANCE ที่จุดปลายส่ง วัดที่วงจรเปิดได้เป็นค่า OPEN CIRCUIT IMPEDANCE Z_{oc} กับค่า IMPEDANCE ที่จุดปลายส่งวัดที่ SHORT CIRCUIT ได้เป็นค่า SHORT CIRCUIT IMPEDANCE Z_{sc} ดังนั้นเราสามารถคำนวณหา IMPEDANCE ได้จากสูตร

$$Z_o = \sqrt{Z_{oc} Z_{sc}} \qquad (5.2)$$

ตัวอย่างในการคำนวณพิจารณาจากรูป 4 ก. ค่า Z_{oc} เท่ากับ 1,000 โอห์ม ค่า Z_{sc} หาได้จาก 200 โอห์ม ต่ออนุกรมกับความต้านทานรวมของ 200 โอห์ม ขนานกับ 800 โอห์ม ได้เท่ากับ 360 โอห์ม จากสมการ (5.2) ค่า IMPEDANCE ของสายมีค่าดังนี้

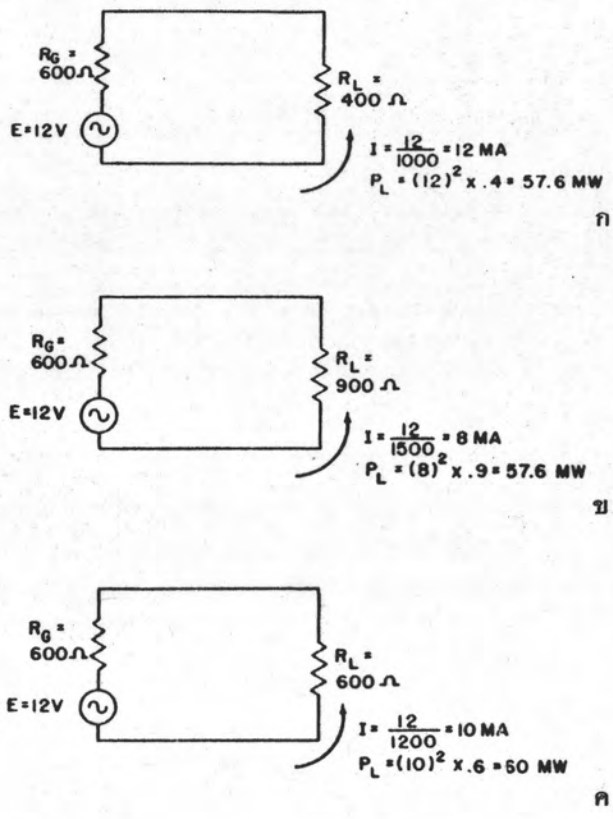
$$Z_o = \sqrt{1,000 \times 360}$$

IMPEDANCE ของสาย = 600 โอห์ม

5.5 การส่งกำลังไปตามสายไทรศัพท์

เพราะว่าการส่งสัญญาณไปตามสายอาจจะเกิดการสูญเสียกำลังสัญญาณไปบ้าง สิ่งสำคัญในการติดต่อสื่อสารทางด้านไทรศัพท์จำเป็นต้องออกแบบสายไทรศัพท์ให้ส่งกำลังของสัญญาณได้มากที่สุดจากเครื่องส่ง (ปากพูด) ถึงเครื่องรับ (หูฟัง)

5.5.1 การส่งกำลังสัญญาณให้ได้มากที่สุด



รูปที่ 5.10 การส่งกำลังของสัญญาณให้ได้มากที่สุด เมื่อโหลดเปลี่ยนแปลง

จากรูป 5.10 ในการส่งกำลังของสัญญาณให้ได้มากที่สุดจากแหล่งกำเนิดถึงโหลดพิจารณาได้ดังนี้

- รูป 5.10 ก. แหล่งกำเนิดกำลัง 12 โวลท์ มีความต้านทานภายใน R_G เท่ากับ 600 โอห์ม ต่ออยู่กับโหลด R_L 400 โอห์ม หากระแส I ได้จากกฎโอห์ม คือ 12/1,000 เท่ากับ 12 ma กำลังที่ส่งไปถึงโหลดหาได้จาก I^2R_L เมื่อกระแสมีค่าเป็น ma R_L เป็นกิโลโอห์ม กำลัง P ได้เป็น mw จะได้กำลังที่โหลด คือ $(12)^2 \times 0.4 = 57.6$ mw

- รูป 5.10 ข. โหลดเปลี่ยนเป็น 900 โอห์ม กระแส I คือ 12/1,500 เท่ากับ 8 ma กำลังที่ส่งไปถึงโหลดคือ $(8)^2 \times 0.9 = 57.6$ mw เหมือนกับรูป 5.10 ก.

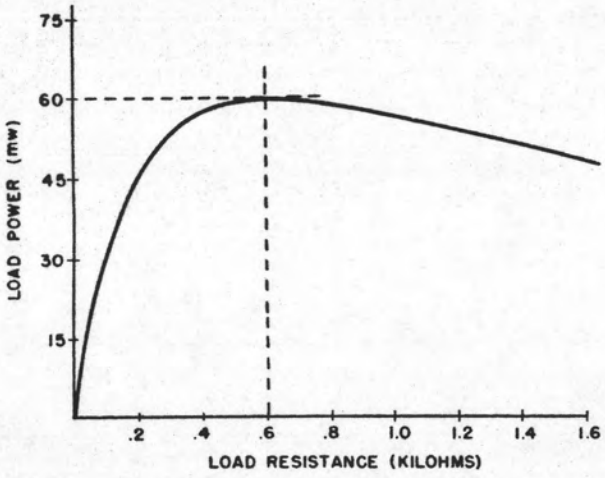
- รูป 5.10 ค. โหลดเปลี่ยนเป็น 600 โอห์ม กระแส I คือ 12/1,200 เท่ากับ 10 ma กำลังที่ส่งไปยังโหลดคือ $(10)^2$ x 0.6 เท่ากับ 60 mw เป็นค่าที่มากกว่ากำลังที่โหลดของรูป 5.10 ก. และ 5.10 ข.

- ถ้าความต้านทานของโหลดเปลี่ยนไปมากกว่าและต่ำกว่า 600 โอห์ม วิธีการคำนวณหากำลังที่จ่ายไปให้โหลดก็เหมือนเดิมจะได้ผลลัพธ์ในการคำนวณดังตาราง 2

ตาราง 2

LOAD RESISTANCE RL (KILOHMS)	LOAD CURRENT (ma)	LOAD POWER (mw)
0.0	20.0	0
.1	17.14	29.5
.2	15.0	45.0
.3	13.33	53.5
.4	12.0	57.6
.5	10.9	59.5
.6	10.0	60.6 (MAX)
.7	9.25	59.8
.8	8.6	59.0
.9	8.0	57.6
1.0	7.5	56.2
1.1	7.08	55.0
1.2	6.67	53.3
1.3	6.32	52.3
1.4	6.00	50.4
1.5	5.71	48.9
1.6	5.45	47.7

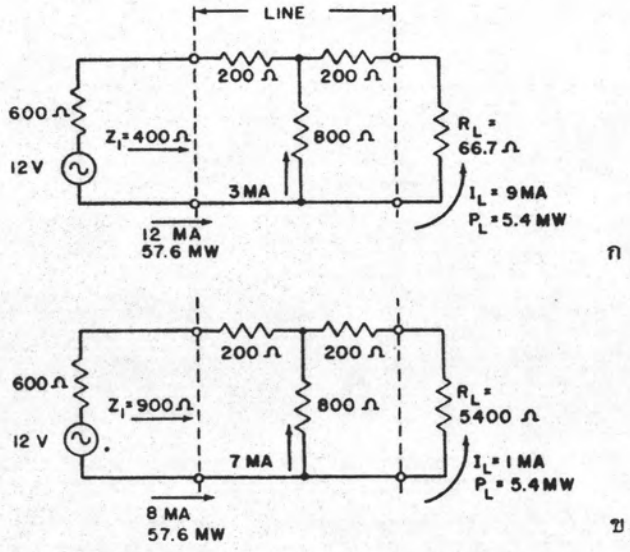
จากข้อมูลที่ได้นี้นำมา Plot กราฟได้ดังรูป 5.11

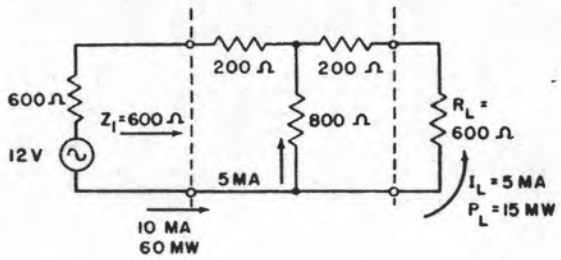


รูปที่ 5.11 VARIATION OF POWER TRANSFER

พิจารณาจากรูป 5.11 จุดตัดยอดสุดในกราฟของกำลังที่โหลดและความต้านทานที่โหลด กำลังสูงสุดส่งจาก เครื่องกำ เนิดไปยังโหลด เมื่อความต้านทานของโหลดมีค่า เท่ากับความต้านทาน ของ เครื่องกำ เนิดไฟ ก็คือได้กำลังสูงสุดในการส่ง

5.6 <u>การใช้งานในการส่งกำลังของสัญญาณให้ได้มากที่สุดไปตามสาย</u>





รูปที่ 5.12 POWER TRANSFER FROM TRANSMISSION LINE TO LOAD

พิจารณาจากรูป 5.12 แสดงการใช้งานในการส่งกำลังของสัญญาณให้ได้มากที่สุดไปตามสายโทรศัพท์ เป็นวงจรอย่างง่ายสมมุติแทนด้วยการต่อวงจรแบบ TEE ประกอบด้วยความต้านทานอย่างเดียว ในการคำนวณหากระแสและกำลังได้ตามต่อไปนี้

- รูป 5.12 ก แสดงถึงสายโทรศัพท์ต่ออยู่กับโหลดมีความต้านทาน 66.7 โอห์ม ใช้วิธีการคำนวณความต้านทานของสายที่ INPUT TERMINAL ตามข้อ 5.4 ได้ค่าเท่ากับ 400 โอห์ม, (Z_I) จากตารางที่ 2 ได้กระแสและกำลังในความต้านทาน 400 โอห์ม ที่ต่ออยู่กับแหล่งกำเนิด 12 โวลท์ ความต้านทานภายใน 600 โอห์มต่ออนุกรมอยู่มีค่าเท่ากับ 12 ma และ 57.6 mw ตามลำดับ ค่าต่าง ๆ ของกระแส และกำลังตามรูป ก ที่ INPUT TERMINALS ของวงจรคำนวณได้โดยกฎการแบ่งกระแสในวงจรขนานกระแสที่สาย 12 ma แยกผ่านความต้านทาน 800 โอห์ม ที่ต่อขนานได้เท่ากับ 3 ma ที่เหลือผ่านความต้านทานโหลดค่า 66.7 โอห์ม เท่ากับ 9 ma คำนวณหาค่ากำลังที่ส่งไปยังโหลดได้เท่ากับ 5.4 mw

- จากรูป 5.12 ข ความต้านทานของโหลดเปลี่ยนเป็น 5,400 โอห์ม ความต้านทานที่ INPUT TERMINAL คำนวณหาได้ตามข้อ 5.4 เท่ากับ 900 โอห์ม ดูจากตารางที่ 2 จะได้กระแสในสายส่ง 8 ma กำลังของสัญญาณส่งที่ INPUT TERMINAL 57.6 mw ในทำนองเดียวกันคำนวณกระแสที่ไหลผ่านความต้านทาน 800 โอห์ม ได้ 7 ma เหลือกระแสที่โหลด 1 ma กำลังที่โหลดได้รับ 5.4 mw

- รูป 5.12 ค สายต่อกับความต้านทาน 600 โอห์ม ฉะนั้น INPUT RESISTANCE ของสายเท่ากับ 600 โอห์ม ดูตารางที่ 2 กระแสที่สายและกำลังที่ส่งไปยัง INPUT TERMINAL มีค่า 10 ma และ 60 mw ตามลำดับกระแสผ่านความต้านทาน 800 โอห์มเท่ากับ 5 ma เพราะว่า

ความต้านทาน 800 โอห์ม สองตัวต่อขนานกัน กระแสจึงแบ่งครึ่งกำลังที่โหลดได้รับคำนวณได้คือ $(5)^2 \times 0.6$ เท่ากับ 15 mw มีค่าเพียง 1/4 ของ INPUT POWER เพราะว่าเกิดการสูญเสียในสายส่ง เมื่อพิจารณาแล้วได้กำลังที่โหลดมากกว่ารูป 5.11 ก และ ข

การคำนวณค่ากำลังของสัญญาณที่ส่งไปยังความต้านทานของโหลดที่เปลี่ยนแปลงไปนอกเหนือจาก 600 โอห์มหาได้จากตารางที่ 3

ตาราง 3

RL (KILOHMS)	INPUT RESISTANCE (KILOHMS)	LINE CURRENT (ma)	LOAD CURRENT (ma)	INPUT POWER (mw)	LOAD POWER (mw)	LINE LOSS (mw)
0.0	0.36	12.5	10.0	56.1	0.0	56.1
.0667	.4	12.0	9.0	57.6	5.4	52.2
.28	.5	10.9	6.81	59.5	13.0	46.5
.6	.6	10.0	5.0	60.0	15.0 (MAX)	45.0 (MIN)
1.133	.7	9.25	3.47	59.8	13.65	46.15
2.2	.8	8.6	2.15	59.0	10.2	48.8
5.4	.9	8.0	1.0	57.6	5.4	52.2
	1.0	7.5	.0	56.2	.0	56.2

พิจารณาจากตารางที่ 3 กำลังของสัญญาณมากที่สุดที่ส่งไปยังโหลดโดยสายโทรศัพท์เมื่อสายต่ออยู่กับความต้านทานโหลด 600 โอห์ม

5.7 การสูญเสียในสายส่ง

หมายถึงการสูญเสียของกำลังที่เกิดใน NETWORK หรือสายส่ง การสูญเสียอันนี้เกิดเนื่องจากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายโดยเฉพาะแล้วจะเกิดในความต้านทานอนุกรมและค่าความเหนี่ยวนำที่ต่อขนานค่าต่าง ๆ เหล่านี้อาจจะเป็นค่า CONSTANTS DISTRIBUTED หรือค่า LAMPED หรือกำลังที่สูญเสียในสายส่ง จึงทำให้กำลังที่ OUTPUT ของสายน้อยกว่ากำลังที่ INPUT

พิจารณาจากรูป 5.10 ข้อ 5.5 และตารางที่ 2 รูป ค. กำลังที่ส่งไปในสาย 60 mw ที่โหลดได้รับ 15 mw กำลังสูญเสียไปในสายส่ง 45 mw ซึ่งสามารถคำนวณให้เห็นได้ดังนี้ พิจารณาจากรูป กระแส 10 ma ผ่านความต้านทาน 200 โอห์ม ทางซ้ายได้กำลังเกิดขึ้นที่ความต้านทาน 200 โอห์ม คือ $(10)^2$ x 0.2 เท่ากับ 20 mw กระแส 5 ma ผ่านความต้านทาน 200 โอห์ม ทางขวาได้กำลังคือ $(5)^2$ x 0.2 เท่ากับ 5 mw และกระแส 5 ma ผ่านความต้านทาน 800 โอห์ม ที่ขนานได้กำลังคือ $(5)^2$ x 0.8 เท่ากับ 20 mw ดังนั้นรวมเป็นกำลังที่สูญเสียในตัวต้านทานต่าง ๆ 45 mw ในการวัดการสูญเสียของสายจะแสดงเป็นอัตราส่วนระหว่าง INPUT POWER ต่อ OUTPUT POWER การคำนวณค่าการสูญเสียในสายเป็น DECIBEL ได้โดยใช้สูตร

$$\text{Attenuation in db} = 10 \log \frac{\text{input power}}{\text{output power}} \qquad (5.3)$$

ตัวอย่างในการคำนวณหาค่าการสูญเสียในสายส่งพิจารณาจากรูป 5.12 ค. อัตราส่วนระหว่าง INPUT POWER ต่อ OUTPUT POWER คือ 60/15 เท่ากับ 4 จากสมการ (5.3) หาค่า Attenuation เป็น decibel ได้ 10 log 4 เท่ากับ 6 db ในทำนองเดียวกันจาก ก. และ ข. รูป 5.12 อัตราส่วนระหว่าง INPUT POWER ต่อ OUTPUT POWER คือ 57.6/5.4 ได้เท่ากับ 10.67 จากสมการที่ (5.3) คำนวณค่า Attenuation คือ 10 log 10.67 เท่ากับ 10.28 db เพื่อให้สะดวกในการคำนวณการสูญเสียในสายจะใช้ตารางที่ 4 พิจารณาค่า Attenuation in db และอัตราส่วนระหว่าง INPUT POWER ต่อ OUTPUT POWER

ตาราง 4

POWER RATIO	ATTENUATION (db)
1	0
1.25	1
2	3
4	6
5	7
10	10
100	20
1,000	30
10,000	40

หรืออาจพิจารณาการสูญเสียกำลังในสายหนึ่งคู่ปกติคำนวณเป็น db ต่อวงจรครบรอบของสายในการคำนวณหาได้จากสมการดังนี้

$$\text{Attenuation} \quad \left(\frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2}\sqrt{\frac{L}{C}}\right) \begin{matrix} 8.686 \text{ db} \\ \text{per loop mile} \end{matrix} \qquad (5.4)$$