



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



เรื่อง ส่วนประกอบของระบบส่งจ่ายไฟฟ้า

สายส่งไฟฟ้าแรงสูงจะเป็นอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าแรงสูงจากจุดส่งไปยังจุดรับ โดยเป็นการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้า (Power plant) ไปยังศูนย์กลางการจ่ายโหลด (load-center) ซึ่งระบบสายส่งไฟฟ้าที่ติดตั้งจะถูกออกแบบให้สามารถทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ พลังงานไฟฟ้าสูญเสียต่ำ และสามารถรองรับโหลดภาระที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งพิกัดการใช้กำลังและค่าตัวประกอบกำลัง ดังนั้นในการออกแบบระบบสายส่งที่ติดตั้งจะต้องเปรียบเทียบและผสมผสานในการที่จะพิจารณาสิ่งที่ขัดแย้งกัน ระหว่างการประหยัด กับการปลอดภัยของระบบ ซึ่งตรงข้ามกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคนิคการควบคุมค่าโวลต์เตจเรกิวเลชั่น ซึ่งเกิดจากผลของแรงดันไฟฟ้าตก ระหว่างจุดส่งกับจุดรับเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณา รวมไปถึงเรื่องเสถียรภาพของระบบ (system stability) และความน่าเชื่อถือของระบบ (system reliability)

ระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงที่ใช้กันอยู่พอที่จะจำแนกออกตามคุณสมบัติ และลักษณะการใช้งานภายนอก ได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. สายส่งไฟฟ้าแรงสูงพาดเสาเหนือดิน (Overhead Transmission Lines) เป็นสายส่งไฟฟ้าเดินลอยในอากาศ ดังนั้น สายตัวนำจะเป็นสายเปลือยไม่มีฉนวนหุ้มและมีน้ำหนักเบา ติดตั้งอยู่กับเสาส่งไฟฟ้า (tower) โดยมีฉนวนลูกถ้วย (Insulator) เป็นตัวเกาะยึดการพาดวางสาย ดังนั้นระยะห่างระหว่างสายและความสูงของเสา จะถูกกำหนดโดย ค่าความคงทนฉนวนของอากาศ (dielectric strength)

2. สายส่งไฟฟ้าแรงสูงใต้ดิน (Underground Cable) เป็นสายส่งไฟฟ้าที่ใช้ตัวนำที่มีฉนวนหุ้มซึ่งได้รับการออกแบบเป็นพิเศษ ทำการวางสายส่งไว้ใต้พื้นดินในช่องขุด (trench dug) ที่สร้างเตรียมไว้ซึ่งอาจจะก่อรูปโดยใช้คอนกรีตหรืออาจวางสายส่งไว้ในคูที่ขุดไว้โดยตรง หรือทำการร้อยท่อ (conduit) หรือวางบนรางเดินสาย แล้วทำการกลบทับสายส่งโดยใช้เทคนิคกรรมวิธีต่าง ๆ ดังนั้น เทคนิคของการออกแบบฉนวนที่หุ้มสายเคเบิล จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าประเภทนี้

จะเห็นได้ว่า จากคุณสมบัติของระบบสายส่งทั้งสองประเภทนี้มีความแตกต่างกันอย่างมาก ทั้งในแง่คุณสมบัติตัวนำลักษณะการฉนวนและรูปแบบโครงสร้างการใช้งาน และการควบคุม รวมถึงวิธีการคำนวณเพื่อคุณสมบัติภาคไฟฟ้าของระบบ ซึ่งจะกล่าวถึงอย่างละเอียดต่อไป โดยในบทนี้จะพูดถึงคุณสมบัติ และลักษณะ โครงสร้างของระบบสายส่งพาดเสาเหนือดินที่เดินลอยในอากาศเป็นสำคัญ



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



อย่างไรก็ดีคำว่า “ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (transmission system)” จะมีความหมายโดยรวมถึงอุปกรณ์ทุกประเภทที่ใช้งานในการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าด้วย ตั้งแต่อุปกรณ์ทางด้านจุดผลิตพลังงานไฟฟ้า (generating-end) สายส่งสวิตช์ยาร์ด (switchyard lines), หรือ สายส่งแรงสูง (transmission lines) , สถานีลับเปลี่ยนแรงดัน (switching stations), อุปกรณ์ที่ปลายด้านรับ (receiving-end) จนไปถึงวงจรสายส่งย่อย (sub-transmission circuit), และสายจำหน่ายหลัก (distribution circuits)

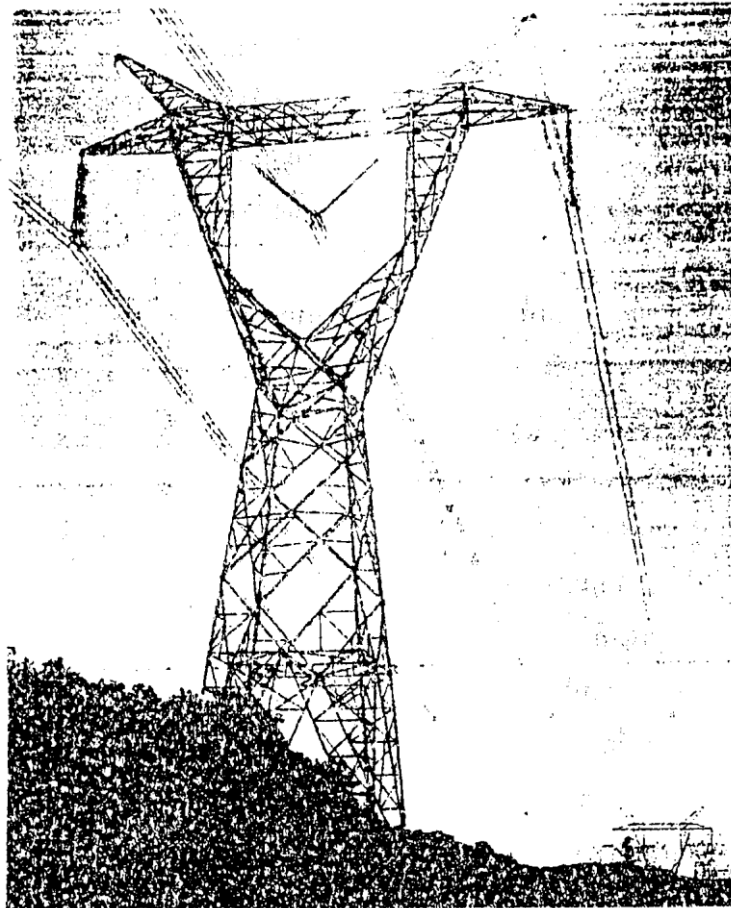
สายส่งไฟฟ้าแรงสูงพาดเสาเหนือดิน

(HIGH-VOLTAGE OVERHEAD TRANSMISSION LINES)

สายส่งไฟฟ้าแรงสูงที่พาดเสาลอยในอากาศเหนือพื้นดิน เป็นระบบสายส่งที่พบเห็นและใช้กันอยู่เป็นจำนวนมากในปัจจุบัน ซึ่งเทคนิควิธีการเลือกการวางสายบนเสาส่ง ลักษณะของสายตัวนำ และลักษณะของเสาส่ง ที่ขึ้นอยู่กับพิกัดกำลังไฟฟ้าที่ต้องการส่งจ่าย ระดับแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย และสภาวะแวดล้อมของสถานที่ที่พาดสายไปเป็นสำคัญ นอกจากนั้นยังต้องคำนึงถึงสภาวะดินฟ้าอากาศ, ความดัน และอุณหภูมิใช้งานของสถานที่นั้น ๆ เพื่อจะได้ออกแบบให้สามารถรับแรงทางกล (mechanical loading) ได้เหมาะสม สิ่งที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงอย่างมาก ก็คือการเกิด ปรากฏการณ์โคโรนา (corona phenomena) บนสายส่งแรงสูง และผลกระทบที่ตามมาของโคโรนา (corona effect) ซึ่งจะเป็นตัวก่อให้เกิด กำลังไฟฟ้าสูญเสียส่วนหนึ่งของระบบสายส่ง เรียกว่า กำลังไฟฟ้าสูญเสียโคโรนา (corona loss) และยังต้องคำนึงถึง ค่ากระแสอัดประจุ (charging current) ซึ่งขึ้นอยู่กับ ค่าความจุไฟฟ้า (capacitance) ของสมมุติฐานทางไฟฟ้าของระบบสายส่ง และจะต้องควบคุมไม่ให้มากเกินไป เหนือสิ่งอื่นใดทั้งหมดนั้นระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าที่ดีจะต้องมีขีดความสามารถเพียงพอ ที่จะส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าตามความต้องการของผู้ใช้ ต้องมีความมั่นคงน่าเชื่อถือ ต่อการรักษาความต่อเนื่องในการจ่ายโดยไม่ผิดพลาด และสามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าและความถี่ให้คงที่แน่นอน นอกจากนั้นจะต้องมีความแข็งแรงทางกลที่ดีพอที่จะไม่ทำให้ระบบส่งจ่ายพลังงานเกิดการผิดพลาดหรือต้องหยุดไป เนื่องจากการพังของ โครงสร้างทางกล



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



รูปที่ 1-1 สายส่งไฟฟ้าแรงสูงพาดเสาเหนือดิน 3 เฟส, 50 Hz, 500 kV,

วงจรเดี่ยว ตัวนำควบ

(A single-circuit, bundled-conductor, 50 Hz, 500 kV,

3-phase, overhead transmission lines)

สายส่งระยะไกล (Long transmission lines) จะเป็นระบบสายส่งที่ใช้ส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตที่อยู่ไกลมาก ๆ จากแหล่งใช้งาน ซึ่งมักจะเป็นระบบสายส่งที่ต่อมาจาก “สถานีผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ (hydro electric power station)” มายังศูนย์กลางจ่ายโหลด อันเนื่องมาจากแหล่งน้ำที่ใช้เป็นต้นกำเนิดหรือเขื่อนมักจะอยู่ห่างไกลจากชุมชน และแหล่งอุตสาหกรรมโดยทั่วไป ส่วนสายส่งระยะปานกลางหรือระยะใกล้ (Medium-Length and Short transmission lines) จะเป็นระบบสายส่งเพื่อการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจาก



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



“สถานีผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบใช้ความร้อน (thermal station)” หรือ “สถานีผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบนิวเคลียร์ (Nuclear power station)” ไปยังศูนย์กลางจ่ายโหลด ซึ่งมักจะมีความยาวของสายส่งสั้นกว่าเมื่อเทียบกับสายส่งจากสถานีไฟฟ้าพลังน้ำ

อย่างไรก็ตามระบบไฟฟ้ากำลังที่ดีจะต้องมีการต่อเชื่อมโยงกัน (interconnected) ของระบบสายส่งตามสถานีไฟฟ้ากำลัง (power station) เพื่อที่จะทำให้สามารถเบี่ยงถ่ายกำลังไฟฟ้าจากระบบหนึ่งไปยังระบบอื่น ๆ ซึ่งกันและกันได้ ในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าของโหลดสูงสุด (peak load) หรือขณะที่มีการเกิดการผิดปกติขึ้นในระบบสายส่งช่วยใด ๆ ก็ตาม

การศึกษาวิเคราะห์เพื่อการวางแผนออกแบบระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าแรงสูงเหนือดินนั้น มีข้อที่ควรคำนึงถึงเป็นปัจจัยสำคัญ คือ

1. ระดับแรงดันไฟฟ้าใช้งาน
2. ชนิดและขนาดของสายตัวนำ
3. การควบคุมแรงดันไฟฟ้าและเรกทิวเลชัน
4. การสูญเสียจากผลของโคโรน่า
5. อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดและความแน่นอนของระบบไฟฟ้า
6. ระบบป้องกัน
7. ระบบกราวด์
8. เทคนิคการฉนวน
9. การทนแรงทางกล
10. โครงสร้างของเสาส่งแรงสูง

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการวางแผนระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าอีกหลายด้าน อาทิ เช่น ด้านการประหยัด ค่านิยมของท้องถิ่น เทคนิคการใช้งาน เป็นต้น



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



ระดับแรงดันไฟฟ้าของสายส่งแรงสูง

(VOLTAGE LEVEL OF HIGH-VOLTAGE TRANSMISSION LINES)

เมื่อมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าพิกัดสูง ๆ ที่ระยะทางไกล ๆ ระดับแรงดันไฟฟ้าของสายส่งที่ใช้ก็จะต้องเพิ่มสูงขึ้น แต่ระดับแรงดันไฟฟ้าแรงสูงที่จะใช้จะต้องคำนึงถึงเรื่องของความประหยัดเหมาะสมและราคาของอุปกรณ์ประกอบของระบบสายส่งด้วยเช่นกัน อาทิเช่น หม้อแปลงไฟฟ้า, เซอร์คิตเบรกเกอร์, ฉนวนลูกถ้วย, เสาส่ง เป็นต้น และราคาโดยรวมเหล่านี้ของระบบจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก เมื่อใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 230 kV ขึ้นไป ดังนั้นในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าที่มากขึ้นนั้นจะต้องตรวจสอบเช็คเสียก่อนว่าสามารถใช้แรงดันไฟฟ้าระดับต่ำได้หรือไม่ ก่อนที่จะเลือกใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้น

พิกัดแรงดันไฟฟ้ามาตรฐานที่ใช้กันอยู่ในประเทศไทย เมื่อเทียบกับระยะทางสายส่งจะเป็น

- สายส่งระยะใกล้ 11 kV , 22 kV, 24 kV , 33 kV
- สายส่งระยะปานกลาง 69 kV , 115 kV
- สายส่งระยะไกล 230 kV, 500 kV

ตารางที่ 1.1 ระดับแรงดันไฟฟ้า กับ พิกัดกำลังไฟฟ้า- ความยาวของระบบสายส่ง

Line-to-Line voltage kV	Line Loading kW.km
11	24×10^3
33	200×10^3
69	600×10^3
115	11×10^6
230	90×10^6



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



ตารางที่ 1.2 ระดับแรงดันไฟฟ้ากับความยาวสายส่ง

Line-to-Line voltage kV	Length of line in km	
	Minimum	Maximum
69	40	120
115	50	140
230	100	300
500	250	

นอกจากจะต้องเลือกระดับแรงดันไฟฟ้าแล้วจะต้องให้สัมพันธ์กับขนาดของสายตัวนำที่เหมาะสม ซึ่งจะต้องคำนึงถึง เพอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสียของสาย รวมไปถึง โวลต์เตจเรกกิวเลชันของสาย เปรียบเทียบระหว่าง ปลายด้านรับกับด้านส่ง ทั้งกำลังไฟฟ้าที่ต้องส่งผ่าน และระยะทางของสายส่งจะเป็นตัว กำหนดการเลือกใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมของระบบสายส่งนั้น ๆ ตารางที่ 1.1 เป็นตารางประมาณ การอย่างคร่าว ๆ สำหรับความสัมพันธ์ของระดับแรงดันไฟฟ้ากับพิกัดกำลังไฟฟ้าส่งผ่านและความยาวสาย ที่เหมาะสม ซึ่งพอจะเป็นแนวทางในการเริ่มต้นออกแบบระบบ ก่อนจะวิเคราะห์อย่างละเอียดต่อไปเพื่อการ ตัดสินใจ

สำหรับระดับแรงดันไฟฟ้า 11 kV และ 33 kV นั้นส่วนใหญ่จะใช้กับสายระยะทางสั้นมาก ส่วน ระดับแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่านั้นจะใช้กับระยะทางของสายส่งที่ไกลขึ้น ตารางที่ 1.2 เป็นตารางแสดงการ เลือกใช้ระดับแรงดันไฟฟ้ากับระยะทาง ซึ่งจะเป็นแนวทางของการเริ่มต้นออกแบบ

ในการวิเคราะห์เพื่อเลือกออกแบบระบบสายส่งจริง ๆ นั้น ยังจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบอื่นเข้า ร่วมในการพิจารณาด้วย อาทิเช่น ชนิดของสายตัวนำ ข้อจำกัดของกำลังไฟฟ้าสูญเสียเรกกิวเลชัน ระยะห่าง ระหว่างสาย เป็นต้น นอกจากคุณสมบัติทางด้านไฟฟ้าแล้ว ยังจะต้องคำนึงถึงทางด้านราคาของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบซึ่งในการออกแบบระบบสายส่งที่ดีจะต้องทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างสองหรือสาม ระดับแรงดันที่ สองหรือสามขนาดสายตัวนำ เป็นต้น เพื่อให้ได้ระบบสายส่งที่เหมาะสมที่สุดกับสถานที่นั้น ๆ



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



ชนิดและขนาดของสายตัวนำ

(TYPE OF CONDUCTORS AND CONDUCTOR SIZE)

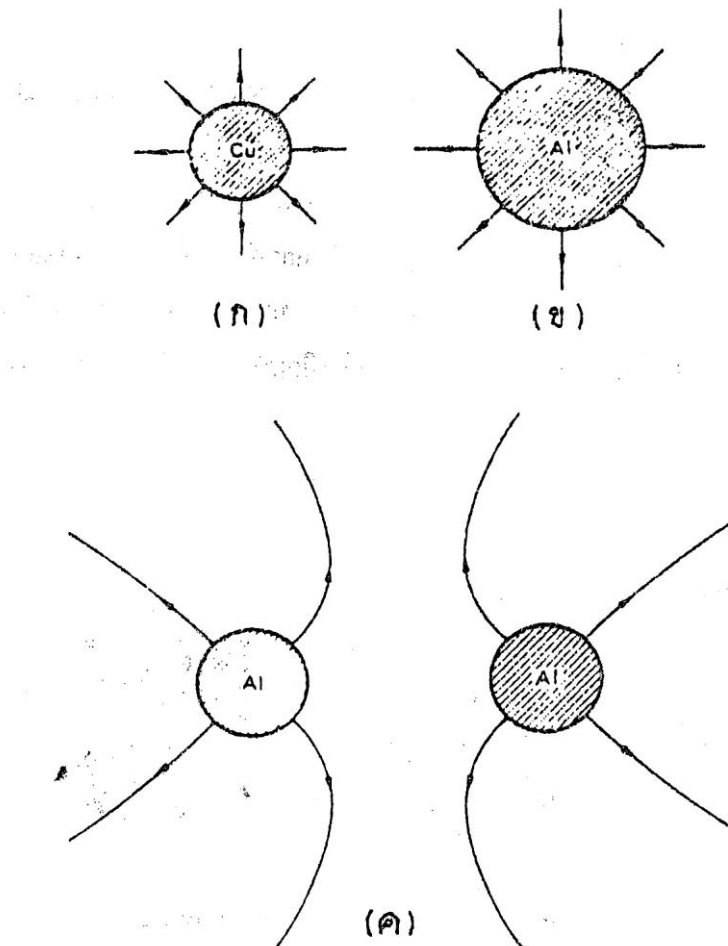
สายตัวนำในระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำ (ไม่เกิน 33 kV) ในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าระยะใกล้ๆ โดยทั่วๆ ไปแล้วจะพบเห็นสายตัวนำที่เป็น ทองแดง (copper) เป็นตัวนำหลักที่ใช้กันอยู่เนื่องจากทองแดงมีคุณสมบัติการนำไฟฟ้า (conductivity) ที่ดีและราคาที่ไม่แพงจนเกินไปนัก แต่ถึงแม้ทองแดงจะมีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่ดีกว่า อลูมิเนียม (aluminum) ประมาณสองเท่าก็ตาม จะพบว่าในระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงภาคเสาเหนือดิน ที่มีพิกัดแรงดันไฟฟ้าส่งจ่ายสูงๆ ระยะทางไกลๆ นั้น จะใช้สายอลูมิเนียมแบบเปลือย (aluminum conductor) เป็นสายตัวนำที่ใช้ภาคอยู่บนเสาส่ง ถึงแม้ว่าอลูมิเนียมจะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงกว่าทองแดง แต่เมื่อสายส่งเป็นสายเปลือยไม่มีฉนวนหุ้ม ดังนั้นเมื่อเทียบกับที่ค่าความต้านทานสายส่งค่าเดียวกันแล้วสายส่งอลูมิเนียมก็จะมีน้ำหนักเบาและราคาถูกกว่าทองแดงตามที่ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 1.3 ซึ่งจะมีผลต่อโครงสร้างของเสาส่ง นอกจากนั้นที่สำคัญก็คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของสายส่งอลูมิเนียมก็จะมีขนาดใหญ่กว่าของตัวนำทองแดงมากด้วย ผลที่ได้เห็นได้ชัดก็คือ เมื่อสายส่งตัวนำอลูมิเนียมมีขนาดโตกว่าจะเป็นผลทำให้ ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า (electric field intensity) รอบผิวตัวนำจะลดน้อยลง ที่พิกัดแรงดันไฟฟ้าส่งจ่ายเดียวกัน ดังนั้นจะ ลดทอนการเกิดโคโรน่า ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งของการสูญเสียกำลังไฟฟ้าของระบบ และยังก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารโทรคมนาคม ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วสายส่งไฟฟ้าแรงสูงชนิดภาคเสาจึงจะต้องมีน้ำหนักเบาและมีขนาดโต

ตารางที่ 1.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของทองแดงกับอลูมิเนียม

คุณสมบัติเชิงเปรียบเทียบ	ทองแดง	อลูมิเนียม
อัตราส่วนความนำไฟฟ้า (พื้นที่หน้าตัดเท่ากัน)	1.0	0.60
อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด (ความต้านทานเท่ากัน)	1.0	1.66
อัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลาง (ความต้านทานเท่ากัน)	1.0	1.29
อัตราส่วนน้ำหนัก (พื้นที่หน้าตัดเท่ากัน)	1.0	0.30
อัตราส่วนน้ำหนัก (ความต้านทานเท่ากัน)	1.0	0.50



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



รูปที่ 1-2 ลักษณะสนามไฟฟ้ารอบตัวนำที่มีลักษณะแตกต่างกันสามชนิด

เมื่อพิจารณาผลของสนามไฟฟ้า (electric field) จากชนิดและลักษณะของสายตัวนำสามแบบที่แตกต่างกัน
คือ

- (ก) สายตัวนำทองแดงเดี่ยว(single copper conductor)
- (ข) สายตัวนำอลูมิเนียมเดี่ยว(single aluminium conductor)
- (ค) สายตัวนำอลูมิเนียมแบบควบ(“bundled” aluminium conductor)



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



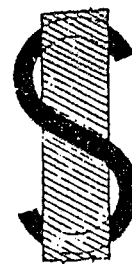
จะเห็นได้จาก รูปที่ 1-2 เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบสายตัวนำทั้งสามชนิด ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าเดียวกันจะพบว่าค่าความเข้มสนามไฟฟ้า (electric field intensity ; E) ของตัวนำที่โตขึ้นจะมีค่าน้อยลง นั่นคือค่า E จะลดลงตามรูป (ก) --> (ข) --> (ค) ผลจากการที่ค่าความเข้มสนามไฟฟ้ามี่ค่าต่ำจะทำให้โอกาสการเกิดขบวนการไอออไนซ์ (ionization) ที่จะกระตุ้นการแตกตัวของอากาศรอบ ๆ สายตัวนำกระทำ ได้ยากส่งผลให้อากาศเกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้า เนื่องจากปรากฏการณ์โคโรนาก็จะลดน้อยลง โดยเฉพาะในระบบสายส่งแรงสูงมาก ๆ ตั้งแต่ 230 kV ขึ้นไป ระบบสายส่งในแต่ละเฟสจะเป็นระบบสายส่งวงจรวบ (bundled) แทบทั้งสิ้น

1 สายไฟฟ้าอลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย (ALUMINIUM STRANDED CONDUCTORS)

สายตัวนำโดยทั่ว ๆ ไปอาจจะเป็นสายเดี่ยวตันเส้นเดียว (single stand; solid) หรือประกอบด้วยตัวนำหลายเส้นมาบิดเกลียวรวมกันร่วมศูนย์กลางเดียวกัน เรียกว่า สายตีเกลียว (stranded conductors) โดยตัวนำที่เป็นเส้นเดี่ยวจะมีลักษณะแข็ง (solid) บางครั้งจะเรียกตัวนำเดี่ยวแบบนี้ว่า สาย (wire) ในขณะที่สายตีเกลียวที่ประกอบด้วยตัวนำหลายเส้นบิดเกลียวรวมกัน เรียกว่า เคเบิล(cable)



การตีเกลียวทางขวา



การตีเกลียวทางซ้าย

รูปที่ 1-3 ทิศทางการตีเกลียว



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



“สายตีเกลียวเปลือย” หมายถึง สายไฟฟ้าที่เอาสายตันเปลือย 7-91 เส้นย่อยมาตีเกลียวเข้าด้วยกัน รวมเป็นสายเส้นเดียวและไม่มีฉนวนหุ้ม สายตันแต่ละเส้นในสายตีเกลียว เรียกว่าสายประกอบ มาจัดเรียง ซ้อนเป็นวงกลม โดยสายตันย่อยจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากัน มาตีเกลียวร่วมศูนย์กลางเดียวกันถ้า ประกอบด้วยชั้นของการตีเกลียวมากกว่าหนึ่งชั้น ชั้นถัดไปต้องตีเกลียวสวนทางกัน และชั้นนอกสุดต้องมี ทิศทางตีเกลียวทางขวา และลวดนำอลูมิเนียมย่อยที่จะนำมาตีเกลียวนั้น จะต้องเป็นตัวนำรีดแข็ง (hard-drawn conductors)

รูปที่ 1-3 แสดงทิศทางการตีเกลียวของตัวนำย่อย โดยแบ่งเป็น

(ก) การตีเกลียวทางขวา หมายถึง ลวดมีลักษณะการหมุนคล้ายรูปอักษร Z ต่อแกนกลางเมื่อให้ ตัวนำอยู่ในแนวยืน

(ข) การตีเกลียวทางซ้าย หมายถึง ลวดมีลักษณะการหมุนคล้ายรูปอักษร S ต่อแกนกลางเมื่อให้ ตัวนำอยู่ในแนวยืน

โดยมีข้อกำหนดของลักษณะความยาวการตีเกลียวเป็น

อัตราส่วนการตีเกลียว (lay ration) หมายถึง อัตราส่วนของความยาวตามแนวแกน ของ การเวียนทรงกระบอก (helix) ครบหนึ่งรอบ ของลวดเส้นใดเส้นหนึ่งของสายไฟฟ้า ต่อค่าเฉลี่ยของ เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของวงที่เวียนครบ 1 รอบ

ในปัจจุบันนี้ระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงพาดเสาเหนือดินจะใช้สายส่งตัวนำที่เป็นสายอลูมิเนียมตี เกลียวเปลือยเป็นส่วนใหญ่ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ตามลักษณะโครงสร้าง และองค์ประกอบ ของตัวนำ โดย

1. **สายตัวนำอลูมิเนียมล้วน** : AAC (All Aluminium Conductors) เป็นสายตัวนำตีเกลียวเปลือยที่ ประกอบด้วยเส้นลวดอลูมิเนียมรีดแข็ง (hard-drawn aluminium) ล้วน ๆ ที่มีขนาดเท่ากันและคุณสมบัติ เหมือนกันมาพันตีเกลียวเป็นชั้น ๆ โดยมีจำนวนเส้นลวดตั้งแต่ 7 เส้นขึ้นไป สายตีเกลียวเปลือยประเภทนี้จะ รับแรงดึงได้ต่ำมากจึงไม่สามารถดึงสายให้มีระยะห่างระหว่างช่วงเสายาวมาก ๆ ได้

2. **สายตัวนำอลูมิเนียมผสม** : AAAC (All Aluminium Alloy Conductors) เป็นสายตีเกลียวเปลือย ที่ประกอบด้วยเส้นลวดอลูมิเนียมที่ผสมกับสารอื่น โดยเป็น อลูมิเนียม 99% แมกนีเซียม 0.5% และซิลิกอน 0.5% ซึ่งอลูมิเนียมผสมนี้จะมีน้ำหนักและสามารถรับแรงดึงได้สูงกว่าสายอลูมิเนียมล้วน จึงสามารถดึง สายชนิดนี้ด้วยระยะห่างช่วงเสาที่ยาวขึ้น แต่สายอลูมิเนียมผสมจะมีราคาแพงและมีค่าความต้านทานไฟฟ้า สูงกว่าสายอลูมิเนียมล้วน จึงไม่ค่อยนิยมใช้สาย AAAC กันมากนักเว้นแต่สถานที่ที่จำเป็น เช่น บริเวณ ชายทะเล เป็นต้น



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



3. สายตัวนำอลูมิเนียมแกนเหล็ก : ACSR (Aluminium Conductors Steel Reinforced) เป็นสายตัวนำตีเกลียวเปลือย ที่ประกอบด้วยลวดอลูมิเนียมรีดแข็งมากกว่า 7 เส้น ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากันมาตีเกลียว โดยมีสายแกนเหล็กอยู่ตรงกลาง สายเหล็กที่ใส่ไว้จะช่วยทำให้สามารถรับแรงดึงได้สูงขึ้นไปมากกว่า AAC ประมาณ 2 เท่า ทำให้สามารถใช้ระยะห่างระหว่างเสาได้ยาวมาก ๆ จึงนิยมใช้สาย ACSR กับเสาส่งโครงเหล็กพิกัดแรงดันไฟฟ้าสูง ๆ แต่ไม่นิยมนำไปใช้กับบริเวณใกล้ชายทะเลเนื่องจากไอของเกลือจะทำให้เกิดการผุกร่อนและอายุการใช้งานจะสั้นลง

4. สายอลูมิเนียมแกนโลหะผสม : ACAR (Aluminum Conductors Alloy Reinforced) เป็นสายตัวนำตีเกลียวเปลือยคล้าย ACSR แต่แกนกลางจะเปลี่ยนจากเหล็กเป็นโลหะผสม เพื่อให้ทนการกัดกร่อนของไอเกลือได้มาก แต่ความสามารถในการรับแรงดึงก็จะน้อยกว่าสาย ACSR และมีราคาแพงกว่า

2 จำนวนลวดตัวนำตีเกลียว (NUMBER OF STRANDS)

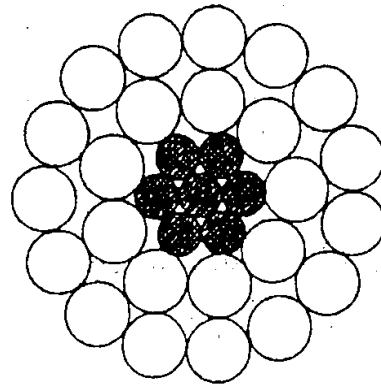
ถ้าขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดตัวนำย่อยมีขนาดเท่ากันทุกเส้นเราพอจะบอกจำนวนเส้นย่อย (strands) ที่มาตีเกลียวประกอบรวมกันของสายเคเบิลได้จากจำนวนชั้น (layer) ของตัวนำ โดย

$$\text{จำนวนเส้นลวดของสายตีเกลียว} = 3n^2 - 3n + 1 \quad (1.1)$$

เมื่อ n : เป็นจำนวนชั้นของสายตีเกลียวตรงกลางเคเบิลมีลวดตัวนำย่อยเพียงเส้นเดียว

ดังนั้น จำนวนเส้นลวดตัวนำย่อยที่มาพันตีเกลียวกันในแต่ละสายเคเบิล โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำย่อยเท่า ๆ กัน จะเป็นสายเคเบิลที่ประกอบด้วย 7, 19, 37, 61, 91....เส้น

แต่สำหรับสาย ACSR และ ACAR แล้ว ไม่สามารถคำนวณหาจำนวนเส้นลวดตัวนำย่อยที่มาพันตีเกลียวกันในแต่ละสายเคเบิลโดยใช้สมการดังกล่าวได้ เนื่องจากเส้นลวดข้างในมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เท่ากันทั้งหมด โดยที่เส้นลวดที่เป็นแกนกลางจะมีขนาดเล็กกว่าเส้นลวดตัวนำย่อยอลูมิเนียม ดังตัวอย่างในรูปที่ 1-4 ซึ่งเป็นตัวอย่างของสายเคเบิลแบบ ACSR ที่ประกอบด้วย 7 steel strands และ 24 aluminium strands ซึ่งเรียกสายเคเบิลแบบนี้ว่าเป็นสายเคเบิลแบบ ACSR 24 A1/7 หรือ 24/7 ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากตาราง A.1 ในภาคผนวก สำหรับสาย ACSR มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไป



รูปที่ 1-4 ภาพตัดขวางของเคเบิลแบบ ACSR

7 steel stands, 24 aluminium strands

3 ขนาดของตัวนำ (CONDUCTOR SIZE)

ในเรื่องขนาดของสายตัวนำนั้น เราจะเรียกเป็น เบอร์สายตามมาตรฐานสากลที่ใช้กัน เป็นมาตรฐาน AWG : American Wire Gauge โดยจะเริ่มตั้งแต่ขนาดตัวนำเล็กที่สุดเบอร์ 40 จนถึงขนาดสายตัวนำใหญ่สุดเบอร์ 0000 หรือ 4/0 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเลขหมายเบอร์ค่ามากขนาดตัวนำจะเล็กลงในขณะที่เบอร์ค่าน้อยลงจะมีขนาดตัวนำใหญ่ขึ้น ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1.4

เนื่องจากในแถบประเทศยุโรปและอเมริกา นิยมใช้หน่วยวัดความยาวเป็นฟุต ดังนั้นขนาดพื้นที่หน้าตัดของตัวนำ จะใช้หน่วย circular mil (cmil) โดยที่

$$\begin{aligned} 1 \text{ linear mil} &= 0.001 \text{ inch} = 0.0254 \text{ millimeter} \\ \text{และ } 1 \text{ circular mil} &= \text{พื้นที่วงกลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางยาว 1 linear mil} \\ &= \frac{\pi}{4} D^2 && (1.2) \\ &= \frac{\pi}{4} \times (1 \text{ linear mil})^2 \\ &= \frac{\pi}{4} \times (10^{-3})^2 = 0.7854 \times 10^{-6} \quad (\text{inch})^2 \end{aligned}$$



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



นั่นคือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของตัวนำจะกำหนดไว้ในหน่วย circular mil ตามมาตรฐาน AWG ซึ่ง 1 mil จะมีค่าเท่ากับ 1×10^{-3} นิ้ว ดังนั้นเมื่อต้องการหาพื้นที่หน้าตัดในหน่วย (นิ้ว)² จะมีค่าเท่ากับพื้นที่หน้าตัดในหน่วย circular mil คูณกับ 0.7854×10^{-6} หรือ

$$\text{พื้นที่หน้าตัดในหน่วย ตร. นิ้ว} = (\text{พื้นที่หน้าตัดในหน่วย cmil}) \times 0.7854 \times 10^{-6} \quad (1.3)$$

หน่วยที่ใหญ่ขึ้นไปของ cmil ก็คือ kcmil และ MCM โดย

$$1 \text{ MCM} = 10^3 \text{ kcmil} = 10^6 \text{ cmil}$$

เช่นพื้นที่หน้าตัด 250 kcmil จะเท่ากับ 250,000 cmil เป็นต้น

โดยทั่วไปแล้ว เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 1.4 จะเห็นได้ว่าเมื่อขนาดสายที่โตกว่าเบอร์ 2 AWG จะเป็นสายตัวนำตีเกลียว (stranded)

ส่วนในระบบ SI units ใช้หน่วยวัดความยาวเป็นเมตร ดังนั้นขนาดพื้นที่หน้าตัดของตัวนำจะเป็นหน่วย เมตร² (ตร.ม.) หรือ มม.² (ตร.มม.)

ดังนั้น ถ้าให้ A : เป็นพื้นที่หน้าตัดของสายตัวนำ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างสองระบบนี้ เมื่อ 1 นิ้ว = 25.4 มม. โดย

$$A(\text{mm})^2 = 5.067 \times 10^{-4} \times A(\text{cmil}) \quad (1.4)$$

หรือ

$$A(\text{cmil}) = 1973.525 \times A(\text{mm})^2 \quad (1.5)$$



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



ตารางที่ 1.4 ขนาดตัวนำมาตรฐาน (Standard Conductor Sizes)

Size (AWG or kcmil)	(Circular mils)	Number of wires	Solid or Stranded
18	1,620	1	Solid
16	2,580	1	Solid
14	4,110	1	Solid
12	6,530	1	Solid
10	10,380	1	Solid
8	16,510	1	Solid
7	20,820	1	Solid
6	26,250	1	Solid
6	26,250	3	Stranded
5	33,100	3	Stranded
5	33,100	1	Solid
4	41,740	1	Solid
4	41,740	3	Stranded
3	52,630	3	Stranded
3	52,630	7	Stranded
3	52,630	1	Solid
2	66,370	1	Solid
2	66,370	3	Stranded
2	66,370	7	Stranded
1	83,690	3	Stranded
1	83,690	7	Stranded
0 (or 1/0)	105,500	7	Stranded
00 (or 2/0)	133,100	7	Stranded
000 (or 3/0)	167,800	7	Stranded
000 (or 3/0)	167,800	12	Stranded
0000 (or 4/0)	211,600	17	Stranded
0000 (or 4/0)	211,600	12	Stranded
0000 (or 4/0)	211,600	19	Stranded
250	250,000	12	Stranded
250	250,000	19	Stranded
300	300,000	12	Stranded
300	300,000	19	Stranded
350	350,000	12	Stranded
350	350,000	19	Stranded
400	400,000	19	Stranded
450	450,000	19	Stranded
500	500,000	19	Stranded
500	500,000	37	Stranded
600	600,000	37	Stranded
700	700,000	37	Stranded
750	750,000	37	Stranded
800	800,000	37	Stranded
900	900,000	37	Stranded
1,000	1,000,000	37	Stranded

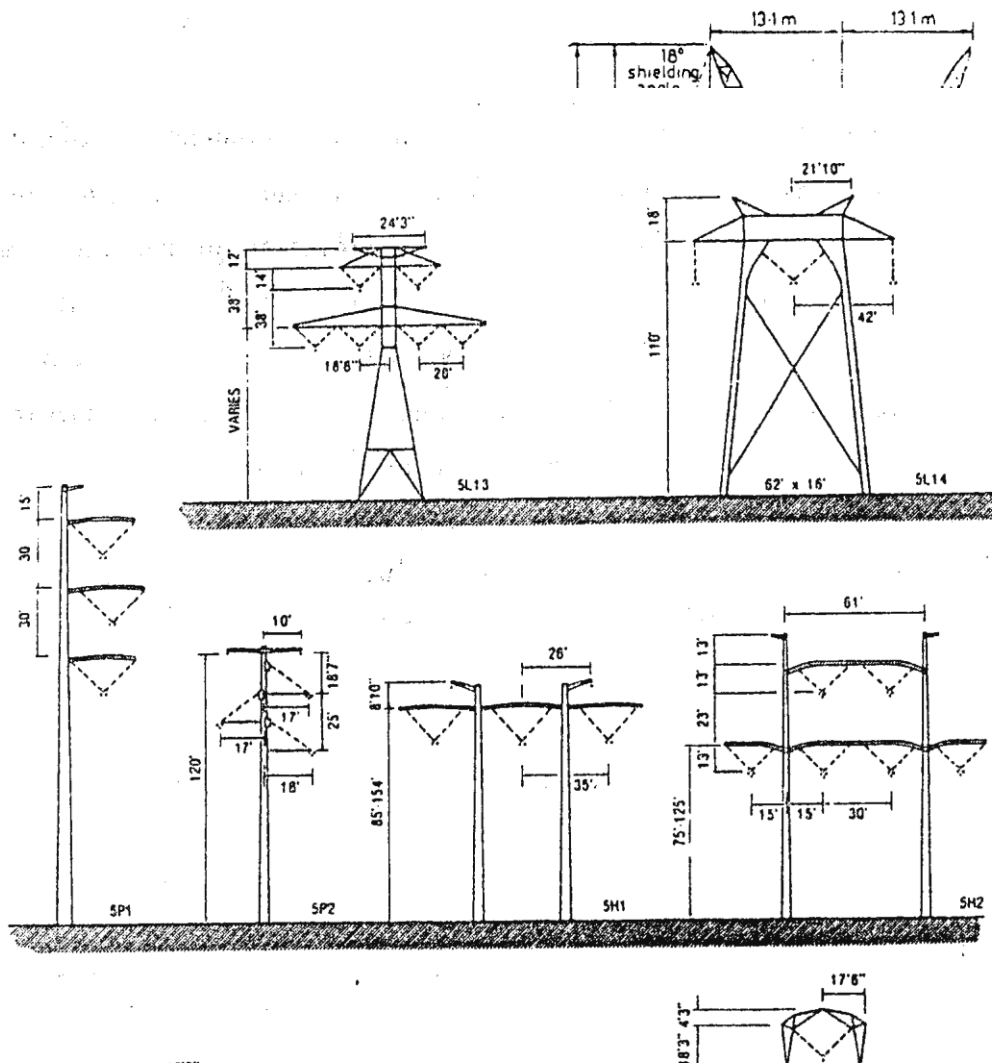


ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



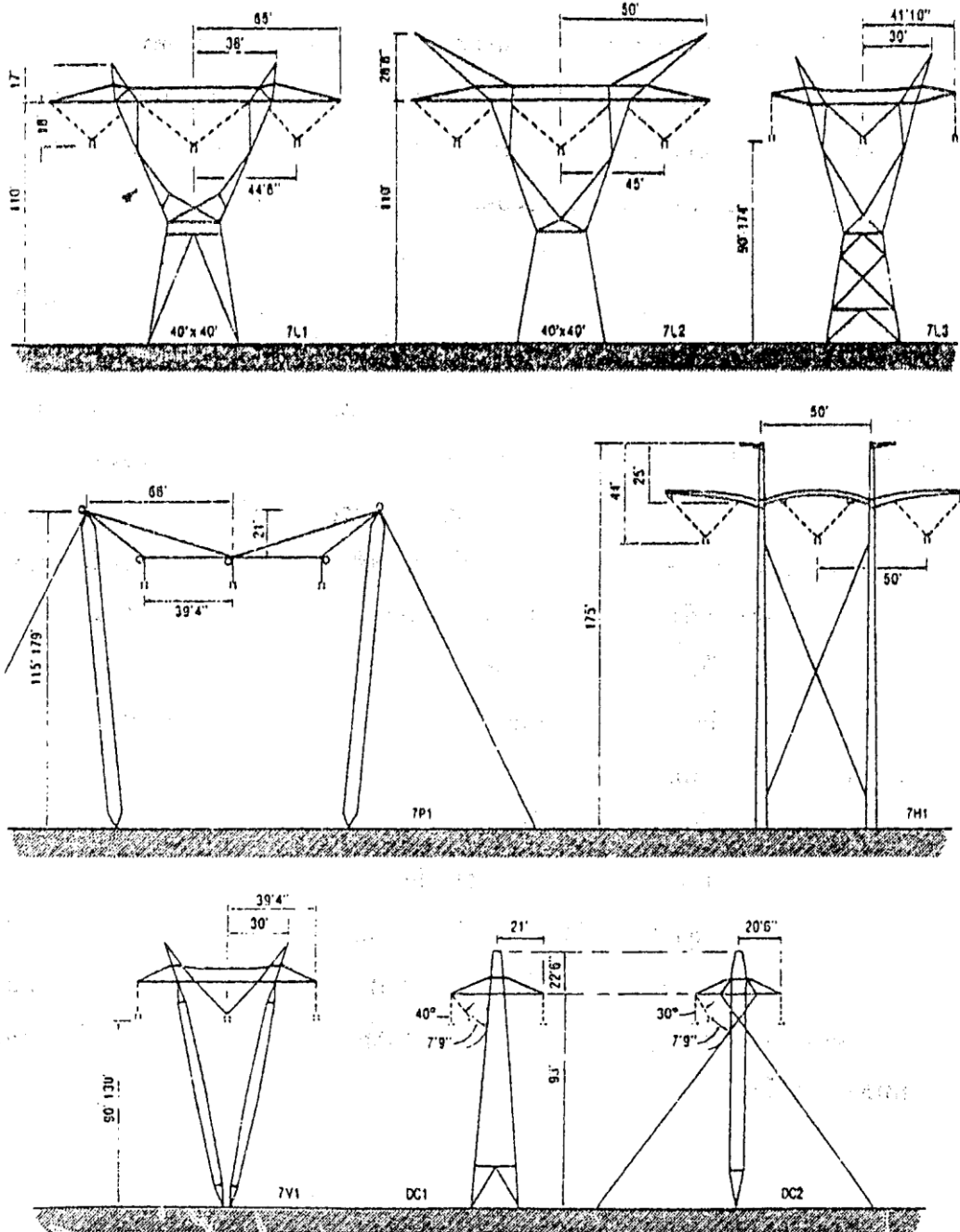
เสาส่ง (TOWERS)

เสาส่งไฟฟ้าแรงสูงในระบบสายส่งไฟฟ้าเหนือดินนั้น ในอดีตมักจะสร้างด้วยไม้ หรือเป็นเสาคอนกรีต ในระดับแรงดันและพิกัดกำลังไฟฟ้าไม่สูงมากนัก โดยมีระยะทางส่งจ่ายไม่ไกลเกินไป แต่ในปัจจุบันมักจะมี โครงสร้างที่ทำด้วยเหล็ก และยึดสายส่งด้วยลูกถ้วยฉนวนแบบแขวน (suspension insulators) เป็นหลัก เนื่องจากระบบสายส่งมีระยะทางไกลมากขึ้นและมีพิกัดแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าส่งจ่ายสูง โดยที่ในระดับไฟแรงต่ำในปัจจุบันอาจใช้เสาคอนกรีตก็ได้ ซึ่งลักษณะการวางสายส่งอาจจะเป็นระบบสายวงจรเดี่ยว (single-circuit lines) หรืออาจเป็น ระบบสายส่งวงจรคู่(double – circuit lines) ดังนั้นในแต่ละแบบของระบบสายส่ง และระดับแรงดันไฟฟ้าของสายจะทำให้ลักษณะ โครงสร้างของเสาส่งจะต้องเปลี่ยนแปลงไปให้เหมาะสม ระยะห่างระหว่างสายอาจอยู่ในแนวตั้ง (vertical) หรือวางสายห่างกันในแนวนอน (horizontal) ก็ได้ แต่ในระบบสายส่งแรงสูงที่มีระดับแรงดันไม่สูงมากนัก อาจออกแบบให้วางอยู่ในรูปแบบสามเหลี่ยมระหว่างห่างเท่า แบบเดลต้า (delta) ก็ได้





ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



Typical dc structures (DC1 and DC2) and 735-800-kv ac designs

รูปที่ 1-7 ลักษณะโครงสร้างของเสาส่งไฟฟ้ากระแสตรง (DC1 และ DC2)

และเสาส่งไฟฟ้ากระแสสลับ 735-800 kv



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



ลักษณะทางกลของสายส่งไฟฟ้า

(MECHANICAL OF TRANSMISSION LINE)

ระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงเหนือดินจะต้องคำนึงถึงแรงทางกลที่จะเกิดขึ้น ทั้งจากน้ำหนักตัวสายเอง หรือสภาวะแวดล้อมอื่น ๆ ด้วย เช่น แรงลม ฝน เป็นต้น ซึ่งจะกระทำต่อสายตัวนำและเสาส่งอันอาจทำให้เกิดการพังทลายของเสา หรือสถานตัวนำอาจขาดได้ ดังนั้นในการออกแบบการทนแรงทางกลทั่ว ๆ ไปจะมีค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยประมาณ 2.0-2.5 เท่า

คุณสมบัติที่สำคัญบางประการหนึ่งในการออกแบบและก่อสร้างสายส่งไฟฟ้า คือ ความสัมพันธ์ระหว่าง ความหย่อนตัวของสายและแรงดึงในสาย (sag and tension) ของสายส่งไฟฟ้านั้น ๆ การชิงสายไฟฟ้าชนิดเหนือศีรษะในระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้นจะต้องคำนึงถึง แรงดึง (tension) และระยะหย่อน (sag) ของสายส่งว่าเหมาะสมกับขนาดของสายเพียงใด ในสภาวะปกติ แรงดึงและระยะหย่อนของสายมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักของสาย และระยะช่วงเสา (span) แต่ถ้าอุณหภูมิของสายเปลี่ยนแปลง หรือมีแรงอื่นกระทำบนเสาไฟฟ้า เช่น น้ำฝน ลูกเห็บ หิมะ หรือลมพัด จะทำให้แรงดึง และระยะหย่อนของสายเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ยึดสายไฟฟ้า จะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับแรงดังกล่าวได้ ดังนั้นการชิงสายไฟฟ้าให้ตึงมาหรือน้อยเท่าไรนั้น จะต้องพิจารณาประกอบกับสภาวะอุณหภูมิแวดล้อม ที่เป็นหลักการใหญ่ ๆ ก่อน คือ

ก. สภาวะที่อากาศหนาวมากที่สุด เมื่อมีอุณหภูมิต่ำ สายส่งไฟฟ้าจะหดตัวสั้นลง เป็นผลทำให้แรงดึงในสายไฟฟ้าจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแรงดึงนี้จะต้องไม่มากจนเกินไป จนอาจเกิดอันตราย หรือทำให้สายไฟฟ้าขาดได้ เมื่อเกิดเหตุผิดปกติหรือเมื่อเกิด การแกว่ง (Vibration) ขึ้นในสายส่งไฟฟ้า

ข. สภาวะที่อากาศร้อนจัด และหรือ เมื่อมีการส่งไฟฟ้าผ่านสายส่งเป็นจำนวนมาก จะทำให้อุณหภูมิของสายไฟฟ้าสูงขึ้น สายไฟฟ้าจะยืดตัวออก และมีความหย่อนตัวมาก ซึ่งอาจไม่เป็นการปลอดภัย เพราะสายไฟฟ้าจะหย่อนลงมาใกล้พื้นดินมากเกินไป เป็นผลให้มีค่าระยะห่างปลอดภัย (clearance) สูงจากพื้นดินน้อยกว่ามาตรฐานกำหนด ดังนั้น จึงต้องมีการพิจารณาว่าจะยอมให้มี ระยะหย่อน ได้มากที่สุดเท่าไรด้วย

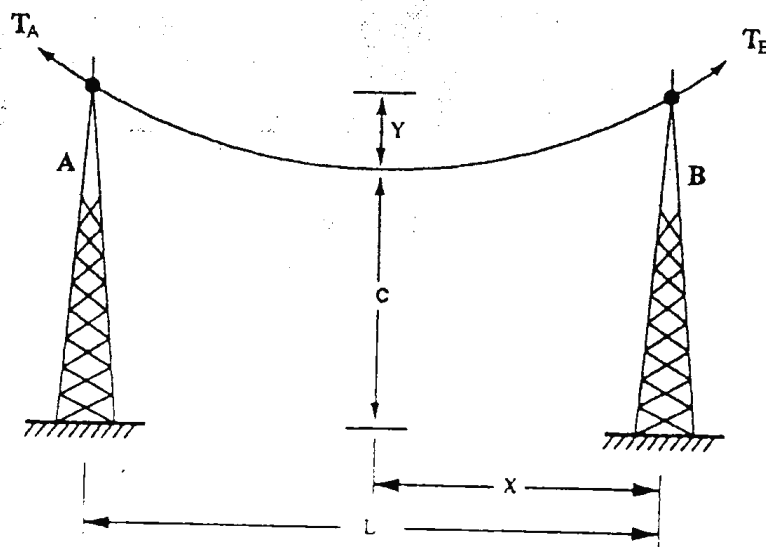


1.6.1 ระยะห่าง, ระยะหย่อน และแรงตึง (SPAN, SAG AND TENSION)

ระยะห่างระหว่างช่วงเสา (span), L หมายถึง ระยะห่างระหว่างช่วงของการปักเสาส่ง ซึ่งค่าระยะห่างนี้จะถูกกำหนดโดยค่าระดับแรงดันไฟฟ้าและขนาดของสายตัวนำที่ใช้

ระยะหย่อน (sag), Y หมายถึง ระยะที่สายตัวนำหย่อนตกลงมาจากระดับปกติเมื่อตั้งอยู่ระหว่างเสาส่งทั้งสอง ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำหนักของสายและระยะห่างระหว่างเสา ค่านี้จะมีผลต่อการวิเคราะห์ เพื่อรักษา ระยะห่างปลอดภัยต่ำสุด, C (minimum clearance) ระหว่างจุดต่ำสุดของสายตัวนำกับพื้นดินที่ปลอดภัย

แรงตึง (tension), T หมายถึง แรงตึงระหว่างสายกับเสาเนื่องจากตัวสายกระทำกับจุดยื่นและเสาส่ง เมื่อระยะห่างระหว่างช่วงเสา เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่าระยะหย่อนของสาย จะมากขึ้นด้วย แต่จะต้องรักษาค่า ระยะห่างปลอดภัยต่ำสุดเอาไว้ให้ได้ ดังแสดงในรูปที่ 1-8 ดังนั้นระยะความสูงของเสาส่งจึงต้องเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจะทำให้ระบบมีราคาแพงขึ้น จะเห็นว่า ระยะที่เหมาะสมระหว่างช่วงเสาส่งจึงขึ้นอยู่กับขนาดของสายตัวนำ ซึ่งตารางที่ 1.5 แสดงระยะห่างระหว่างเสาโดยประมาณเริ่มต้นในการพิจารณาเพื่อการวิเคราะห์ ก่อนการตัดสินใจออกแบบระบบ



รูปที่ 1-8 ลักษณะทางกลของสายส่ง



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



ตารางที่ 1.5 ระยะห่างระหว่างช่วงเสาส่ง (span)

Voltage (kV)	Span (m.)
11	100
33	100
69	200
115	250
230	300

1.6.2 ระยะห่างปลอดภัยจากพื้น (CLEARANCE FROM GROUND)

ในการวางระบบสายส่งนั้นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงมากที่สุดคือ ต้องพยายามรักษาค่าระยะความปลอดภัย (clearance) จากจุดต่ำสุดของสายตัวนำเทียบกับกราวด์ เพื่อความปลอดภัยของชีวิตและทรัพย์สิน โดยที่ค่าระยะห่างนี้จะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขของระดับแรงดันไฟฟ้าของสายส่ง ซึ่งค่าโดยประมาณการในการยึดถือก็คือ $6\text{m} + 0.01\text{ m ต่อ kV}$ ที่เพิ่มขึ้น ระยะห่างความปลอดภัยต่ำสุดประมาณ 6 m. จะใช้กับสายในระดับแรงดันต่ำ ในขณะที่เมื่อใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าของสายสูงขึ้นค่านี้ก็ต้องเพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 1.6 ซึ่งเป็นค่าระยะห่างปลอดภัยต่ำที่สุด (minimum clearance) ของสายระดับแรงดันต่าง ๆ ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป

ตารางที่ 1.6 ระยะห่างปลอดภัยต่ำสุด (minimum clearance)

Voltage	Minimum clearance From ground (m)
ระดับแรงดันต่ำ (น้อยกว่า 650 V_{dc} หรือ 380 V_{ac}) น้อยกว่า 69 kV	5.8
ระหว่าง 69 kV-115kV	6.0
มากกว่า 115 kV	6.4
	7.0



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



ดังนั้น ในขณะที่ทำการวางสายส่งอีกระหว่างเสาทั้งสอง ในขณะที่ทำการดึงสายส่งที่เรียกว่า ขบวนการ stringing จะต้องระมัดระวังถึงระยะความปลอดภัยเหล่านี้ และต้องเพื่อโอกาสการขยายตัวห้อยน มากขึ้นของสายส่ง เนื่องจากอุณหภูมิและผลของแรงลมด้วย

ระยะห่างระหว่างสายตัวนำ (SPACINGS OF CONDUCTOR)

ระยะห่างระหว่างสายตัวนำบนเสาส่งจะขึ้นอยู่กับระดับแรงดัน ไฟฟ้าที่ใช้ของสายส่ง และระยะห่าง ระหว่างช่วงเสา ซึ่งสายตัวนำจะต้องไม่มีโอกาสแตะถึงกันไม่ว่าจะเกิดจากการห้อยนของสาย หรือการแกว่ง เนื่องจากผลของแรงลมหรืออุณหภูมิ นอกจากนั้นแล้วยังต้องคำนึงถึงวิธีการป้องกันจากผลของแรงดัน ไฟฟ้า สูงเกินจากฟ้าผ่าที่เหนี่ยวนำเข้ามาในสายส่ง (lighting surges) ซึ่งในการหาค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของสาย ส่งจะเห็นได้ว่า ค่าความเหนี่ยวนำ และค่ารีแอ็คแตนซ์ ของสาย จะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างสายส่งอีกด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมใน การวางระยะห่างของสายตัวนำบนเสาส่ง และต้องคำนึงถึงทางด้าน การประหยัด และเรื่องราคาของระบบ ระบบอีกด้วย

ตารางที่ 1.7 พิกัดแรงดันไฟฟ้าระยะห่างสมมูลของสายส่ง

Line-to-Line voltage kV	Equivalent Spacing m.
11	1
33	1.3
69	2.7
116	5.1
230	10.2

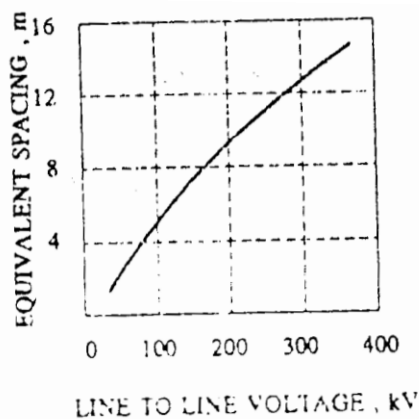
รูปที่ 1-12 ระยะห่างระหว่างสายตัวนำกับแรงดันไฟฟ้า



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



การวางระยะห่างของสายส่งตัวนำ อาจะวางอยู่ในแนวยืน (vertical) หรือในแนวนอนตามขวาง(horizontal) หรืออาจเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า (equilateral triangular) หรือรูปสามเหลี่ยมระยะห่างไม่เท่ากันก็ได้ (nonsymmetrical) ขึ้นอยู่กับสภาพความเหมาะสมของแต่ละระบบ อย่างไรก็ตาม ค่าระยะห่าง



สมมูลโดยประมาณ (approximate equivalent spacing) ของสายส่ง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1.7 เพื่อเป็นแนวทางเริ่มต้นในการออกแบบก่อนที่จะวิเคราะห์เพื่อหาค่าระยะห่างจริงที่เหมาะสมของระบบต่อไป

รูปที่ 1-12 เป็นรูปที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าระยะห่างสมมูลของสายตัวนำเทียบกับแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายของระบบ โดยประมาณ

ในระบบสายส่งที่ใช้แรงดันไฟฟ้าสูงมาก ๆ ตั้งแต่ 230 kV ขึ้นไปจะพบว่าสายตัวนำที่ใช้ในแต่ละเฟสมักจะเป็น สายส่งตัวนำควบ (bundled conductor) อาจะประกอบด้วยกลุ่มสายประมาณ 2, 3 หรือ 4 เส้นตัวนำย่อยต่อเฟส แทนที่จะเป็นสายตัวนำเดี่ยวใหญ่ ๆ และถ้าต้องส่งจ่ายพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงมาก อาจะต้องใช้ สายส่งตัวนำควบวงจรคู่ (bundled-conductor, double -circuits) เพื่อขนานกันช่วยจ่ายโหลด ระยะห่างระหว่างตัวนำย่อยเหล่านี้ ก็จำเป็นที่จะต้องคำนวณหา เพื่อสามารถกำหนดค่ารีแอคแตน และผลของโคโรน่า



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



สายดิน (OVERHEAD GROUND WIRES)

สำหรับเสาส่งไฟฟ้าแรงสูงที่มีโครงสร้างทำด้วยเหล็ก (steel-tower) เราจะทำการป้องกันสายจากผลของฟ้าผ่า ด้วยการใส่สายดิน (ground wires) เป็นตัวป้องกัน โดยการใช้สายดินพาดอยู่บนส่งยอดของเสา และอยู่เหนือกว่าสายส่งกำลังไฟฟ้า และทำการต่อลงดิน (earth) ที่ฐานรากของเสาส่งทุกต้น เนื่องจากผลของคลื่นไฟฟ้าเดินทาง (travelling wave) ของฟ้าผ่าจะเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้าสถิตถ้า C_1 เป็นค่าคาร์ปาซิแตนซ์ระหว่างก้อนเมฆกับสายส่ง และ C_2 เป็นค่าคาร์ปาซิแตนซ์ระหว่างสายกับดิน ดังนั้นค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะเป็น $C_1/(C_1 + C_2)$ คูณกับค่าแรงดันไฟฟ้าของก้อนเมฆ เมื่อเราทำการวางสายดินไว้เหนือสายตัวนำจะทำให้ค่า C_2 นี้มีค่าเพิ่มขึ้น เป็นผลให้สามารถลดค่าแรงไฟฟ้าเหนี่ยวนำของสายส่งจากผลของฟ้าผ่าลงมาได้

นอกจากนั้น สายดินยังทำหน้าที่ในการป้องกันผลของการที่ฟ้าผ่าลงมาที่ระบบสายส่งโดยซึ่งสายดินจะต้องมีค่าความต้านทานต่ำมาก ๆ ซึ่งประกอบไปด้วยสองส่วน คือ ความต้านทานของดิน กับความต้านทานของเสาส่ง ดังนั้นที่ฐานรากของเสาส่ง (tower-footing) จะต้องมีการต่อลงดินและจากการวิเคราะห์พบว่าความต้านทานนี้ประมาณ 10Ω เมื่อวัดระหว่างสายดินกับดินที่ฐานรากเสาส่ง เรียกว่า ค่า tower-footing impedance

ดังนั้นสายดิน ที่ใช้กันทั่วไปจะเป็นสายตัวนำทองแดงที่เชื่อมประสานกัน (copper weld) สายตีเกลียวชนิด (copper weld) สายตีเกลียวชนิด GI (stranded GI wires) สำหรับการวางระยะห่างของสายส่งไปตามแนว (vertical arrangement) อาจจะใช้สายดินเพียงเส้นเดียว แต่ถ้าเป็นกรณีของการวางระยะห่างของสายไปตามแนวนานพื้น (horizontal) บนเสาส่งจำเป็นจะต้องมีสายดินสองเส้นวางพาดอยู่บนจุดสูงสุดเสา และเพื่อให้การป้องกันได้ผลดี พบว่าตัวนำของสายดินควรจะถูกวางเป็นรูปกรวยที่ทำมุมประมาณระหว่างตัวนำที่ห้อยแขวนโดยลูกถ้วยฉนวน

ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า (INSULATORS)

อุปกรณ์ประกอบที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในระบบสายส่งก็คือ ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า ซึ่งเป็นอุปกรณ์จับยึดสายที่พาดในอากาศ และเป็นฉนวนกั้นระหว่างสายเปลือยกับเสาส่งที่เปรียบเสมือนสายดิน

ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าในระบบสายส่งพาดเสาเหนือดินนั้น ทำหน้าที่เป็นฉนวนแยกออกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างสายส่งตัวนำเปลือยกับโครงเหล็กส่วนแขนของเสาส่ง และเป็นตัวยึดสายส่งให้มั่นคงอยู่บน



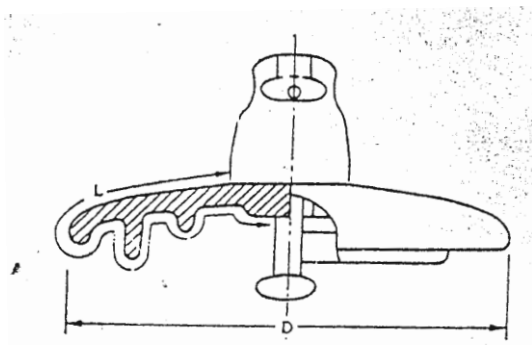
ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



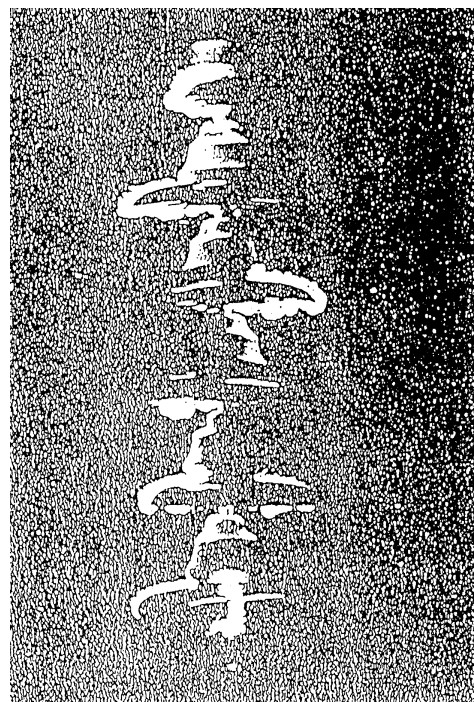
เสาส่งได้ ดังนั้น ตัวลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าจะต้องสามารถทนทานต่อแรงกระทำทางกลซึ่งเกิดจากน้ำหนักของสายส่ง, แรงดึง และผลจากแรงลมที่กระทบสายส่ง นอกจากนี้ตัวลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าจะต้องสามารถทนต่อแรงกระทำทางไฟฟ้าในทุก ๆ สภาพของอากาศได้ ทั้งทางด้านเบรกดาวน์โดยตรง และเบรกดาวน์ที่ผิว หรือการวาบไฟบนผิว (flashover) ดังแสดงในรูปที่ 1-14 เป็นภาพแสดงลักษณะการวาบไฟบนผิบนพวงลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าแบบแขวน

โดยทั่วไปแล้วลูกถ้วยแรงสูงจะออกแบบให้มีการเคลือบผิวให้มีความมันเพื่อช่วยกำจัดฝุ่นละอองหรือสิ่งสกปรกต่าง ๆ บนผิวออกไปได้ด้วยวิธีทางธรรมชาติเช่น แรงลม และฝน จะพบว่าลักษณะของลูกถ้วยแรงสูงนั้นจะทำการเป็นครีบก้นหลายชั้น การออกแบบให้เป็นครีบก้นก็เพื่อเพิ่มระยะทางรั่ว L (leakage distance) ของผิวลูกถ้วยให้ยาวขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1-13 เพื่อช่วยลดการเกิดการวาบไฟตามผิวที่เกิดบนลูกถ้วยให้น้อยลง

ลูกถ้วยที่ดีต้องมีความแข็งแรงทั้งทางด้านทางกลและทางไฟฟ้า โดยมีค่ากระแสรั่วไหลน้อยมากขณะใช้งาน ค่าระยะรั่ว (leakage distance) ของระบบ จะทำการวัดตั้งแต่จุดที่ยึดสายตัวนำไปยังจุดที่ยึดลูกถ้วย โดยการวัดไปตามผิวของลูกถ้วยระหว่างสองจุดนั้น



รูปที่ 1-13 แสดงระยะทางรั่วของลูกถ้วย

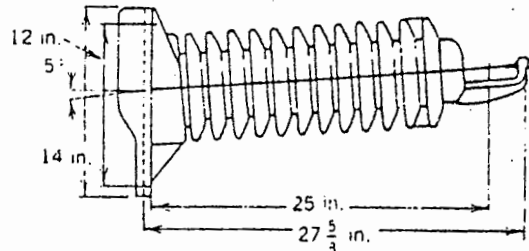


รูปที่ 1-14 พวงลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าแบบแขวน

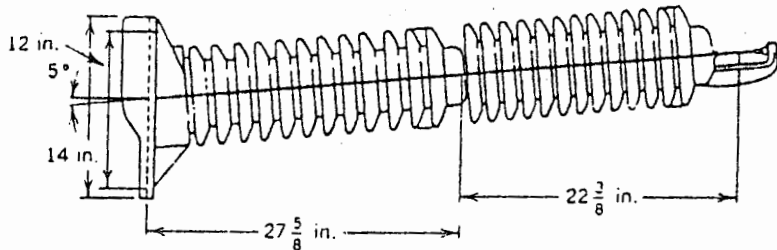
แสดงสถานะภายใต้การทดสอบการวาบไฟตามผิวด้วยแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า

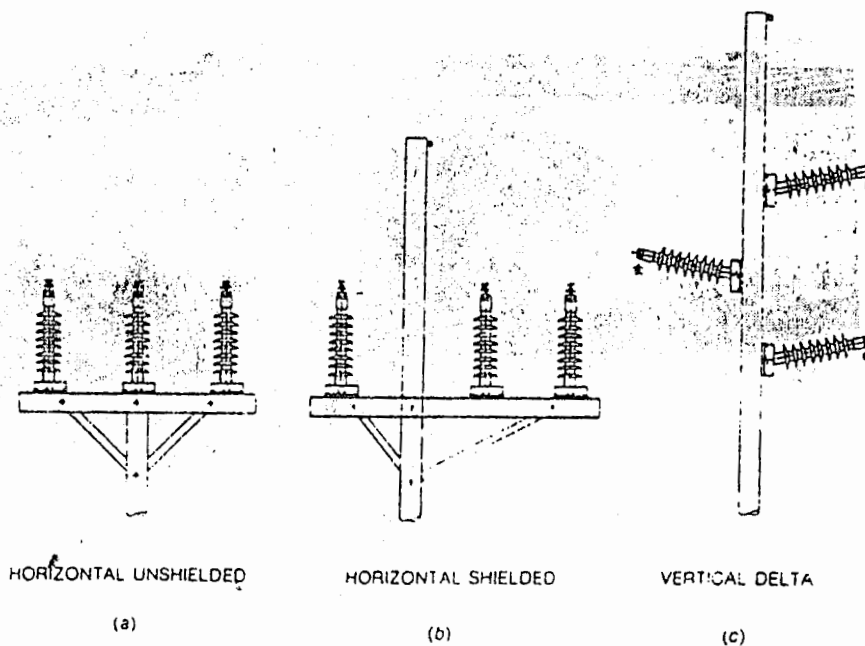


(a)



(b)

Typical (side) post-type porcelain insulators used in: (a) 69 kV;
(b) 138 kV.



HORIZONTAL UNSHIELDED

HORIZONTAL SHIELDED

VERTICAL DELTA

(a)

(b)

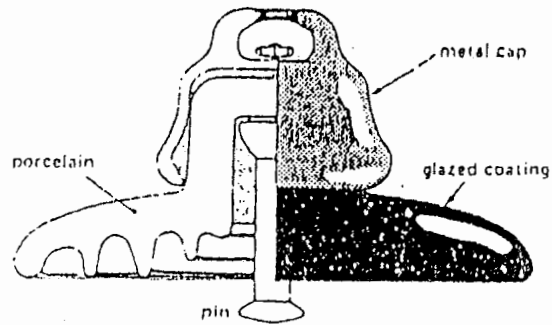
(c)

Typical compact configurations

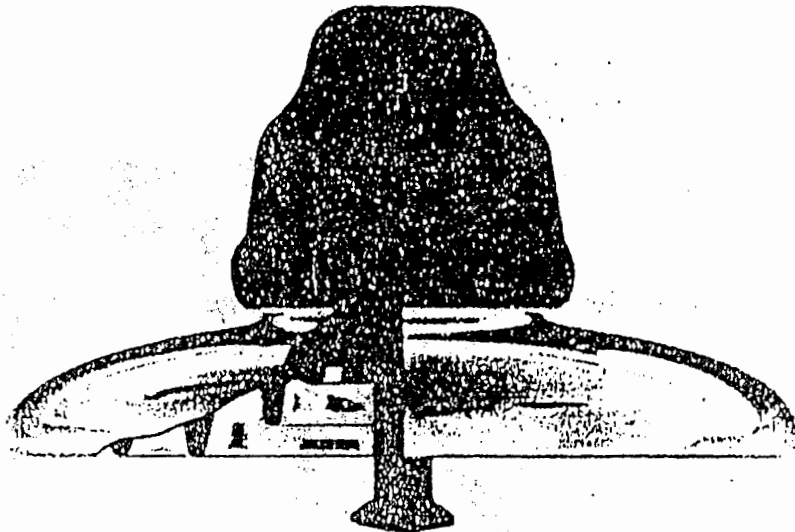
รูปที่ 1-16 ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าชนิดเสาและลักษณะการใช้งาน
(post-type insulators and typical compact configurations)



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



Sectional view of a suspension insulator. Diameter: 254 mm; BIL: 125 kV, 60 Hz flashover voltage, under wet conditions: 50 kV (Canadian Ohio Brass Co. Ltd.)

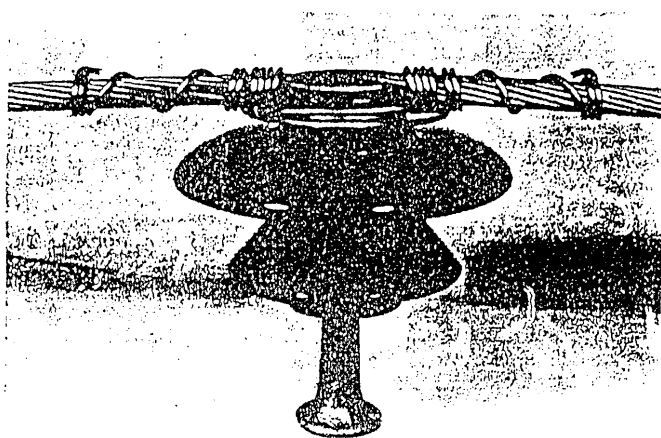
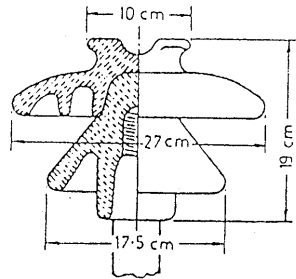


Typical suspension- or strain-type porcelain insulator disk. (Courtesy of Ohio Brass Company.)

รูปที่ 1-17 จุกด้วยคณวนไฟฟ้าแบบแขวน
(suspension-type insulators)



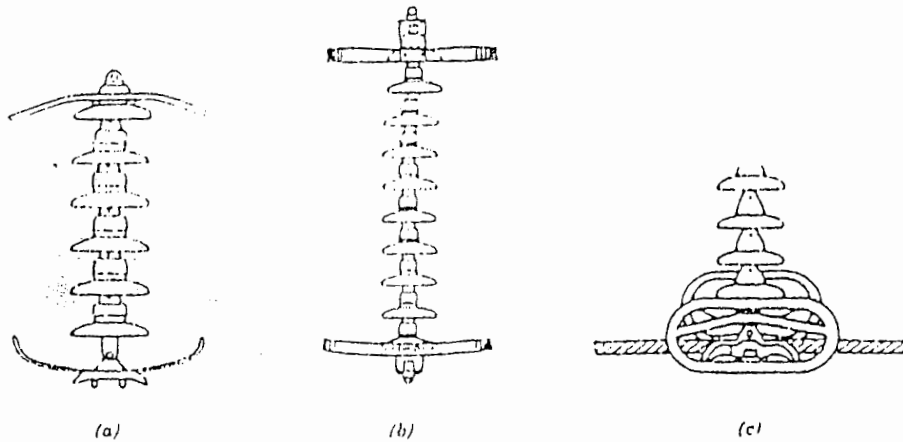
ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



รูปที่ 1-15 ชุดตัวคั่นนวนไฟฟ้าแบบก้านตรง
(pin-type insulators)

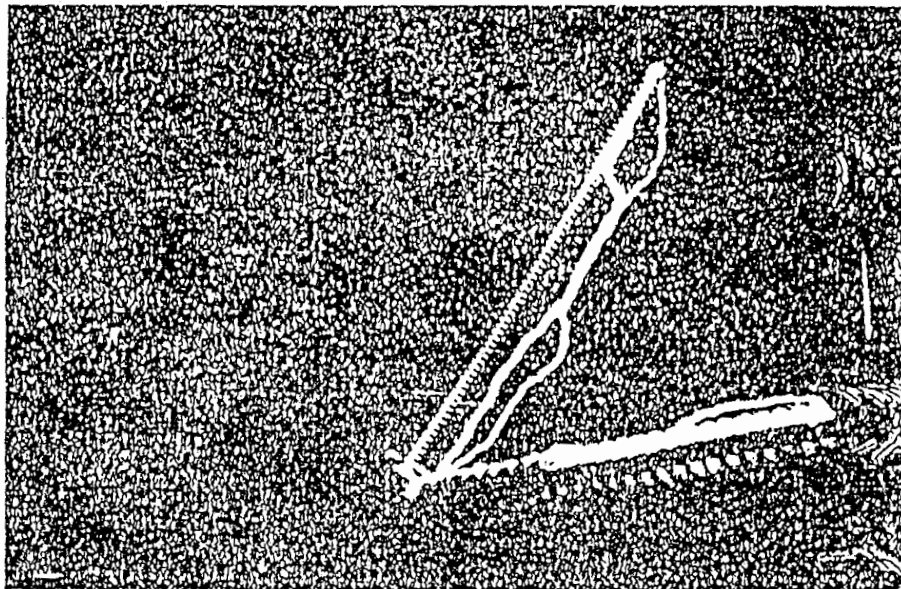


ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



Devices used to protect insulator strings: (a) suspension string with arcing horns; (b) suspension string with grading shields (or arcing rings); (c) suspension string with control ring. (Courtesy of Ohio Brass Company.)

รูปที่ 1-18 อุปกรณ์ป้องกันแรงจลน์ด้วยทางไฟฟ้า

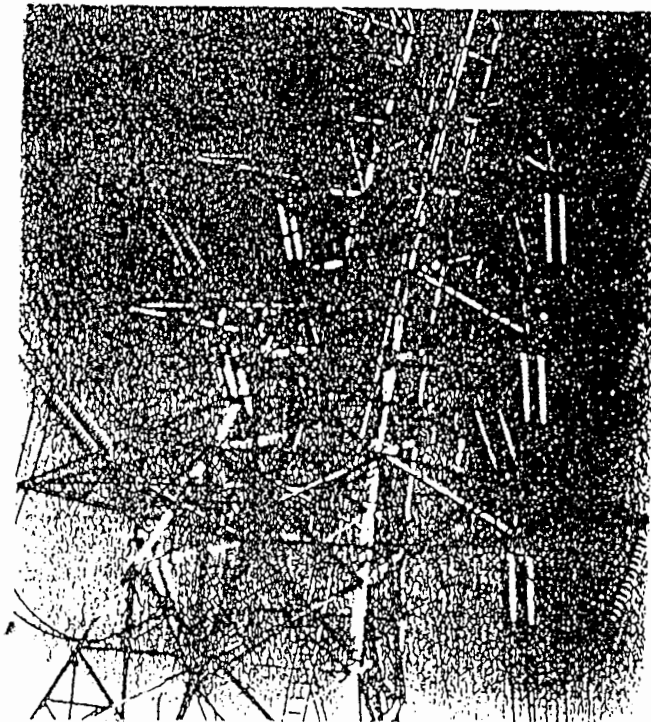
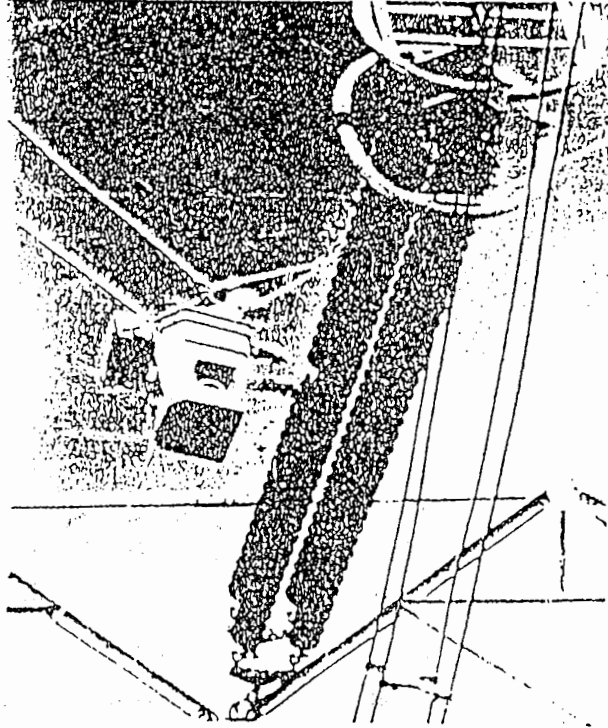


Strings of suspension insulators undergoing lightning impulse flashover test. (Courtesy of Ohio Brass Company.)

รูปที่ 1-10 การเกิดวาทไฟตามความแรงจลน์ด้วยแชนแนล



ใบความรู้
วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



รูปที่ 1-20 จุกถ้วยแขวนตึงสาย (strain-type insulators)



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



ลูกฉนวนไฟฟ้าที่ใช้กับระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงนั้น ปัจจุบันที่ใช้กันอยู่ทั่ว ๆ ไปนั้น เนื้อสารที่ใช้แบ่งออกเป็น

(1) สารผสมปอร์ซเลนแข็ง (hard porcelain) จะเห็นกันอยู่ทั่วไป มีสีน้ำตาลเข้มผิวมัน (คล้ายรูปปั้นเซรามิก) สารผสมประเภทปอร์ซเลนนี้จะมีค่าความคงทนฉนวนสูง (dielectric strength) และทนต่อแรงทางกลได้ดีอีกด้วย ไม่ค่อยมีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และที่สำคัญก็คือมีปัญหาจากกระแสรั่วไหลน้อยมาก ถ้าพยายามรักษาผิวเคลือบให้เป็นเงาอยู่เสมอ

ลูกฉนวนไฟฟ้าแบบนี้ จะเป็นสารผสมคล้ายพวกกระเบื้องเคลือบ มีส่วนผสมของดินเหนียว (china clay หรือ kaolin) 46% ผลิกแร่ 18-33 % และ หินใยแก้ว 12-30% จากอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกันไปนี้ จะทำให้มีคุณสมบัติการทนต่อแรงดันเบรกดาวน์ แรงกระทำทางกล และการทนต่อความร้อนแตกต่างกัน ลูกฉนวนไฟฟ้าจะถูกเคลือบผิวให้มีความมันด้านสีแตกต่างกัน เช่น ลูกฉนวนไฟฟ้าที่ใช้กับแรงดันไฟฟ้าต่ำและมีสีขาว และถ้าใช้กับแรงดันไฟฟ้าสูง ๆ จะมีสีน้ำตาล เป็นต้น

(2) แก้ว (glass) ในรูปร่างของลูกฉนวนแบบง่าย ๆ แล้ว ลูกฉนวนที่ทำด้วยแก้วจะมีราคาสูงกว่าทำด้วยปอร์ซเลน และยังมีค่าความต้านทานจำเพาะและค่าความคงทนฉนวนสูงกว่าอีกด้วย จุดบกพร่องง่าย ๆ ภายในเนื้อสารจะสามารถตรวจสอบได้ง่าย เป็นผลทำให้เกิดกระแสรั่วได้ จึงนิยมใช้กับระดับแรงดันที่ไม่สูงมากนัก

เราสามารถแบ่ง ชนิดของลูกฉนวนไฟฟ้า ตามลักษณะการใช้งานของระบบสายส่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. ลูกฉนวนก้านตรง (Pin-type insulators)
2. ลูกฉนวนติดเสา (Post-type insulators)
3. ลูกฉนวนแขวน (Suspension-type insulators)

1) ลูกฉนวนก้านตรง (pin-type insulators) เป็นลูกฉนวนที่พบเห็นในระบบ 33 kV ลงมา ซึ่งลูกฉนวนแต่ละลูกจะสามารถรับแรงดันไฟฟ้าได้ประมาณ 25 kV เมื่อต้องการให้รับแรงดันไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นก็สามารถทำได้โดยการต่ออนุกรมลูกฉนวนสูงขึ้นเป็น 2, 3, 4 ลูกฉนวนต่อชุด จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้กับระดับแรงดันไฟฟ้าสูงจึงทำเป็นครีมีหลายชั้น และจำนวนชั้นที่อนุกรมกันของลูกฉนวนจะลดหลั่นกันตามระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 1-15 โดยด้านบนของลูกฉนวนจะทำเป็นร่องสำหรับรองรับสาย ที่บริเวณร่องจะเคลือบสารกึ่งตัวนำที่คล้ายกับชนิดของสายตัวนำเพื่อป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสาย ไปรบกวนระบบสื่อสาร ด้านล่างของลูกฉนวนจะวางยึดอยู่กับก้านเหล็กและยึดติดกับแขนของเสาส่งในแนวตั้งยึนขึ้นเพื่อรองรับสาย



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



2) ลูกถ้วยติดเสา (post-type insulators) เป็นลูกถ้วยที่มีการพัฒนามาจาก ลูกถ้วยก้านตรงแต่มีจำนวนครีบบากกว่าจะใช้กันอยู่ในระบบจำหน่าย ระบบสายส่งรอง และระบบสายส่ง โดยการยึดติดกับตารางที่ 1.8 พิกัดแรงดันไฟฟ้ากับจำนวนลูกถ้วยแบบแขวน

Line to Line voltage kV	Suspension Insulators number
69	1 x 7
115	1 x 11
230	2 x 14
500	2 x 24

เสาส่งทั้งเสาไม้ เสาส่งปูน หรือเสาส่งเหล็ก ซึ่งสามารถยึดได้ทั้งในแนวตั้งหรือแนวระนาบ โดยส่วนใหญ่แล้วลูกถ้วยติดเสาชนิดนี้นั้นจะมีลักษณะเป็นลูกถ้วยปอร์ซเลนที่เป็นชุดชิ้นเดียวกันทั้งหมด (one-piece solid porcelain units) ดังแสดงในรูปที่ 1-16 และมักจะพบการใช้งานลูกถ้วยชนิดนี้กับบริเวณทางโค้ง หรือทางแคบ ๆ

3) ลูกถ้วยแขวน (suspension-type insulators) เป็นลูกถ้วยสำหรับไฟฟ้าแรงสูงที่สามารถนำมาต่อเรียงกันเพื่อเลือกใช้กับระบบไฟฟ้าที่พิกัดแรงดันต่าง ๆ กันได้หลายขนาด และมักจะใช้กับระดับแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่า 33 kV ขึ้นไป นอกจากนั้น จะสังเกตเห็นได้ว่า ลูกถ้วยจะมีลักษณะคล้ายแผ่นจานบาง ๆ (disc) ดังแสดงลักษณะโครงสร้างในรูปที่ 1-17 และรูป 1-18 ดังนั้นข้อดีที่เห็นได้ชัดของลูกถ้วยแบบแขวนก็คือ สามารถเพิ่มหรือลดจำนวนลูกถ้วยได้ตามระดับแรงดันไฟฟ้าของสายส่ง นอกจากนั้นการซ่อมบำรุงบางตัวที่แตกชำรุดเสียหายสามารถถอดเปลี่ยนใหม่เป็นบางตัวได้ ที่สำคัญคือชุดลูกถ้วยแบบนี้จะอยู่ในลักษณะแขวนลอย ซึ่งสามารถแกว่งได้เล็กน้อยทำให้สามารถปรับตัวในการรับสภาวะแรงดึงของสายเพียงอย่างเดียว โดยไม่ต้องคำนึงถึงแรงบิดที่เกิดขึ้นซึ่งจะมีค่าน้อย

ฉนวนลูกถ้วยแบบแขวนนี้เห็นวิธีการใช้ทั่ว ๆ ไป 2 แบบ คือ แบบแขวนลอย ซึ่งจะอยู่ในช่วงกลาง ๆ ของความยาวระบบสายส่ง แต่ที่ตามจุดโค้ง หรือปลายสุดของระบบสาย ลูกถ้วยแขวนนี้จะเรียงกันอยู่ในแนวนอน และสามารถรับแรงดึงของสายได้ เรียกลักษณะลูกถ้วยแขวนที่อยู่ในแนวนอน จุดประสงค์เพื่อดึงสายไว้ว่า Strain-type insulation ดังรูปที่ 1-20



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



รูปที่ 1-21 แสงโคโรนาบนสายส่ง

การเกิดเบรกดาวนของลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าของระบบสายส่งนั้น เรานับรวมไม่ว่าจะเป็นการเกิดการวาบไฟตามผิว (flashover) หรือ การพังทลายของสาร (puncture) ในกรณีของการเกิดการวาบไฟตามผิวนั้น ประกายไฟจะลุกลามจากสายส่งไปยังตำแหน่งดินข้ามไปตามช่องว่างอากาศบนพื้นผิวของลูกถ้วย ดังแสดงในรูปที่ 1-14 และรูปที่ 1-19 ในกรณีของการพังทลายของเนื้อสารนั้น จะเกิดขึ้นในเนื้อสารภายในของลูกถ้วยระหว่างสายตัวนำกับตำแหน่งดิน โดยส่วนใหญ่แล้วสิ่งที่เกิดขึ้นมักจะเป็นการเกิดการวาบไฟตามผิวเสียเป็นส่วนใหญ่หรือทั้งหมด

โคโรนา (CORONA)

โคโรนา เป็นชื่อของปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าแรงสูงที่เกิดขึ้นบนสายส่งตัวนำไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง การเกิดโคโรนานั้นเป็นการสูญเสียกำลังไฟฟ้าอย่างหนึ่งของระบบสายส่ง โดยกำลังไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนไปเป็น พลังงานความร้อน แสง เสียง เคมี และแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นการเกิดปรากฏการณ์โคโรนาในระบบสายส่งจะส่งผลเสียที่เห็นได้ชัดเจน 2 ประการคือ

1. สูญเสียกำลังไฟฟ้าของระบบไปโดยเปล่าประโยชน์
2. การเกิดคลื่นแทรกและรบกวนสัญญาณคลื่นวิทยุ

ปรากฏการณ์โคโรนา (CORONA PHENOMENA)

เมื่อความต่างศักย์ระหว่างสายส่งสองเส้นที่ขนานกัน มีค่ามากเพิ่มขึ้นกว่าขีดจำกัดค่าหนึ่ง จะได้ยินเสียงความถี่สูงปรากฏออกมาจากสายส่ง ซึ่งเป็นการแตกตัวของอากาศรอบผิวสายส่ง ที่เรียกว่าขบวนการแตกตัวของก๊าซ (ionization of gases) ซึ่งจะมีไอออนและกรดไนตริกเกิดออกมา เมื่อความต่างศักย์มีขนาดเพิ่มมากขึ้นไปอีก เราจะเห็นปรากฏการณ์แสงสีม่วงเรืองแสงรอบ ๆ ตัวนำสายส่งเปลือยเป็นจุด ๆ ตลอดความยาวสาย ดังแสดงในรูปที่ 1-21 แสงเรืองนี้จะปรากฏให้เห็นชัดเจนในบริเวณที่สายมีความขรุขระหรือ



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



สกปรกมาก พร้อมกันนั้นจะเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายออกไปรบกวนสัญญาณคลื่นวิทยุอีกด้วย และถ้าแรงดันมีขนาดมากขึ้นไปอีกจะเกิดการสปาร์ก (spark) หรือเกิดการวาบไฟตามผิว (flashover) ขึ้นบนพวงลูกถ้วยแขวน ทั้งหมดนี้ เรียกว่า “ปรากฏการณ์โคโรนา” ที่อาจเกิดขึ้นในระบบสายส่งตัวนำเปลือยที่พาดเสาเหนือดิน

มีคำนิยามในเรื่อง ระดับแรงดันไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปรากฏการณ์โคโรนาอยู่ 2 อย่าง คือ

- แรงดันไฟฟ้าวิกฤติแตกตัว (disruptive critical voltage) เป็นค่าระดับแรงดันไฟฟ้าวิกฤติที่สูงกว่าค่าแรก และทำให้อากาศชั้นรอบนอกออกไปของสายแตกตัวต่อไปด้วย ผลจากการที่โมเลกุลได้รับพลังงานจนเกิดการชนของอิเล็กตรอนอิสระ จะทำให้อิเล็กตรอนของโมเลกุลแตกตัวหลุดออกไป และวิ่งไปชนโมเลกุลอื่น ๆ แต่ถ้าอิเล็กตรอนบางตัวของโมเลกุลไม่สามารถแตกตัวออกไปได้ โมเลกุลนั้นก็อยู่ในสถานะที่ไม่เสถียร (metastable state) และเมื่ออิเล็กตรอนคืนกลับสู่วงโคจรในสถานะเดิม โมเลกุลก็จะปลดปล่อยพลังงานที่ได้รับคืนกลับมาในรูปพลังงานโฟตอน (photon) ที่เป็นพลังงานแสงซึ่งขบวนการนี้จะเกิดขึ้นต่อเนื่องตลอดเวลาในสถานะที่อำนวยการ ดังนั้นเราจะมองเห็นแสงเรืองรอบสายตัวนำ

ถ้าระดับแรงดันไฟฟ้ามีค่ามากกว่าระดับแรงดันไฟฟ้าวิกฤติมองเห็นนี้ขึ้นไปอีก อาจทำให้อากาศบริเวณรอบสายตัวนำแตกตัวได้หมดต่อเนื่อง เป็นผลให้อากาศบริเวณนั้นเปลี่ยนสภาพจากการเป็นฉนวนกลายเป็นตัวนำไฟฟ้าทำให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านข้ามอากาศได้ ซึ่งจะเป็นลำแสงสว่างมากที่ปรากฏบนพวงลูกถ้วย เรียกว่า การวาบไฟตามผิว นั่นเอง

วงจรสายส่ง (TRANSMISSION LINE CIRCUIT)

ในการส่งกำลังไฟฟ้าพาดเสาเหนือดินที่เดินลอยในอากาศนั้น มีรูปแบบในการจัดวงจรการส่งจ่ายหลายรูปแบบ เพื่อให้สอดคล้องกับ ระยะทาง ระดับแรงดันส่ง และพิกัดกำลังของระบบ รวมไปถึงกำลังไฟฟ้าสูญเสียโคโรนา และ เปอร์เซนต์โวลต์เตจเรกิวเลชั่น ของระบบ อีกทั้งสภาพพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ของเส้นทางการเดินสายปักเสาอีกด้วย ซึ่งทั้งหมดนี้จะมีผลเกี่ยวเนื่องกับ ลักษณะการออกแบบ โครงสร้างของเสาส่ง ขนาดและชนิดของสายตัวนำ รวมทั้ง ลักษณะและจำนวนของลูกถ้วยฉนวนที่ใช้

ดังนั้น สามารถจัดแบ่งรูปแบบของวงจรสายส่งออกได้เป็น

- สายส่งวงจรเดี่ยว
- สายส่งวงจรคู่
- สายส่งวงจรขนาน



ใบความรู้ วิชาการส่งและจ่ายไฟฟ้า



วงจรสายส่งแต่ละแบบ จะมีลักษณะโครงสร้าง และจุดมุ่งหมายการใช้งานแตกต่างกันออกไปเมื่อเอาระยะทางเดินสาย (กิโลเมตร) คูณกับจำนวนวงจร จะเป็นค่าบอกจำนวน วงจร-กิโลเมตร ของระบบสายส่งทั้งหมด ซึ่งรายละเอียดของวงจรสายส่งจะเป็น

1 สายส่งวงจรเดี่ยว (SINGLE CIRCUIT TRANSMISSION LINE)

จัดเป็นระบบสายส่งที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไป ที่มี โดยแบ่งย่อยออกได้เป็น

- สายส่งวงจรเดี่ยว , สายตัวนำเดี่ยว (single circuit, single conductor transmission line)
- สายส่งวงจรเดี่ยว, สายตัวนำคอบ (single circuit, bundle4 conductor transmission line)

จากรูปที่ 1-23 เป็นรูปแสดงสายส่ง วงจรเดี่ยว, สายตัวนำเดี่ยว, 3 เฟส, 115 kV จะเห็นได้ว่าบนเสาส่งต้นหนึ่งจะประกอบด้วยสายตัวนำ 3 เฟส ที่แต่ละเฟสมีสายตัวนำอลูมิเนียมตีเกลียวเปลือยหนึ่งเส้น เป็นสายส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า โดยพยายามวางให้ทั้ง 3 เฟส มีระยะห่างซึ่งกันและกันเท่า ๆ กันเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า

จากรูปที่ 1-24 เป็นรูปแสดงสายส่ง วงจรเดี่ยว, 4 สายตัวนำคอบ, 3 เฟส, 500 kV จะเห็นได้ว่าเสาส่งแต่ละต้นประกอบด้วยสายตัวนำ 3 เฟส โดยที่แต่ละเฟส จะมีสายตัวนำ 4 เส้น ที่วางขนานใกล้กัน และจับยึดให้มีระยะห่างเท่า ๆ กันไป ตลอดระยะทางของการเดินสาย

2 สายส่งวงจรคู่ (DOUBLE CIRCUIT TRANSMISSION LINE)

เป็นระบบสายส่ง 3 เฟส ที่มี 2 วงจร วางขนานกันอยู่บนเสาต้นเดียวกัน นิยมใช้กับระบบที่ต้องส่งจ่ายพิกัดกำลังไฟฟ้าสูง ๆ และลักษณะการวางเสา 3 เฟส มักจะวางเรียงระยะห่างกันตามแนวตั้งแบ่งออกเป็น

- สายส่งวงจรคู่, สายตัวนำเดี่ยว (double circuit, single conductor transmission line)
- สายส่งวงจรคู่, สายตัวนำคอบ (double circuit, bundle conductor transmission line)

จากรูปที่ 1- 25 เป็นรูปแสดงสายส่ง ที่มีสายส่งตัวนำ 6 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วย 2 สายตัวนำย่อยของระบบสายส่ง 3 เฟส, 500 kV. วงจรคู่ แบบสายตัวนำคอบ ซึ่งลักษณะการใช้งานวงจรสามเฟสสองวงจรวางอยู่บนเสาส่งต้นเดียวกันเช่นนี้ จะทำให้ผลทางไฟฟ้าของทั้งสองวงจรมีผลซึ่งกันและกัน ดังนั้นจะมีลักษณะการคำนวณพิเศษออกไป ซึ่งได้อธิบายไว้อย่างละเอียดในบทต่อ ๆ ไป

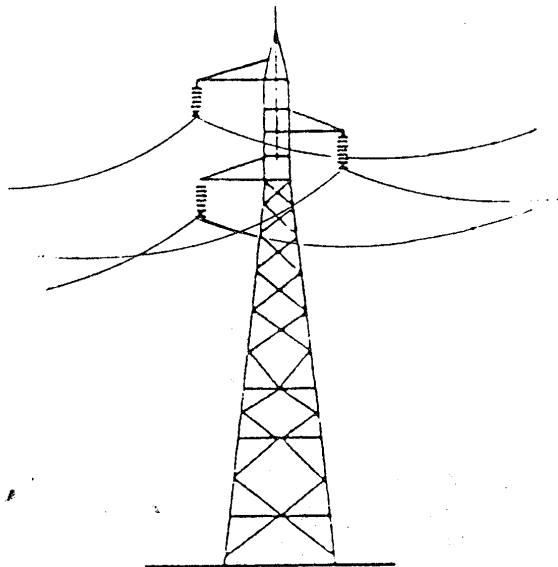


3 สายส่งวงจรขนาน (PARALLEL CIRCUIT TRANSMISSION LINES)

เป็นระบบสายส่ง ที่ประกอบด้วยวงจรสายส่ง 3 เฟส 2 ชุด วางขนานกันโดยแยกวงจรออกอิสระอยู่ บนเสาส่ง 2 ชุด ที่วางขนานห่างกัน เพื่อให้ผลทางไฟฟ้าระหว่างสายส่งทั้งสองชุดไม่รบกวนซึ่งกันและกัน โดยส่วนใหญ่แล้วจะพบว่า สายตัวนำที่ใช้จะเป็นแบบสายตัวนำควมแทบทั้งสิ้น แบ่งออกเป็น

- สายส่งวงจรขนานแบบวงจรเดี่ยว (parallel – single circuit transmission lines)
- สายส่งวงจรขนานแบบวงจรคู่ (parallel – double circuit transmission lines)

จากรูปที่ 1-26 เป็นรูปแสดงสายส่งวงจรขนาน โดย รูป (ก) เป็นการขนานของระบบสายส่งวงจรเดี่ยว และรูป(ข) เป็นการขนานของระบบสายส่งวงจรคู่



รูปที่ 1-23 สายส่ง วงจรเดี่ยว, สายตัวนำเดี่ยว, 3 เฟส, 50 Hz , 115 kV

(A single circuit , single conductor , 3 phase , 50Hz , 115 kV , transmission line)