บทที่ 3
ระบบส่งและจ่ายกำลังไฟฟ้า
(Electrical Power Transmission and Distribution Systems)

3.1 บทนำ (Introduction)

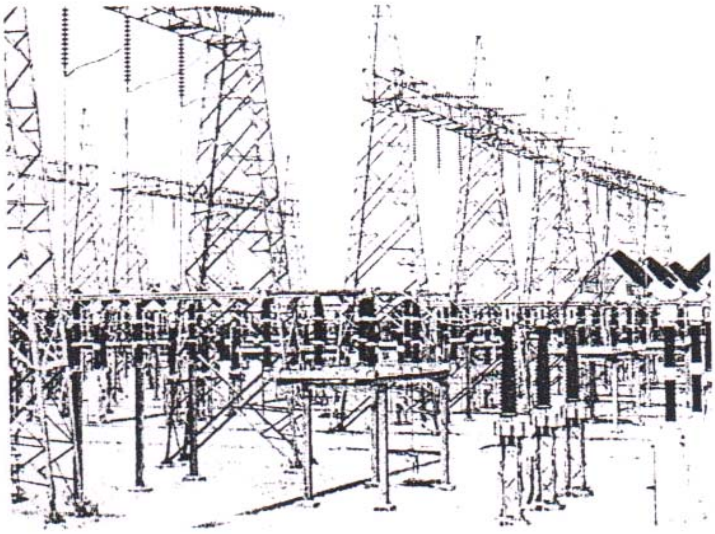
ในการผลิตกำลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ นั้นจะได้กำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าออกมาระดับหนึ่ง ๆ ตามกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าแต่ละชนิดแต่ละแห่ง แต่แหล่งผลิตกำลังไฟฟ้านั้นมักจะตั้งอยู่ห่างไกลจากแหล่งชุมชนที่ใช้ไฟฟ้า จึงต้องมีระบบซึ่งทำหน้าที่ ขนส่งพลังงานไฟฟ้า หรือเชื่อมโยงระหว่างแหล่งผลิต กับแหล่งผู้ใช้ไฟฟ้าหรือโหลดโดยใช้สายส่ง (Transmission Line) เชื่อมโยงทั้งต้องทำหน้าที่เพิ่มและลดระดับแรงดันให้เหมาะสมและเป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า อีกทั้งต้องจัดสรรให้อย่างมีระบบและรูปแบบที่เหมาะสมระบบดังกล่าวนี้คือ ระบบส่งและจ่ายไฟฟ้า (Transmission and Distribution Systems) ทั้ง 2 ระบบ ถึงแม้ว่าจะมีหน้าที่หลักคล้ายกัน แต่ในความเป็นจริงแล้วมีข้อแตกต่างกันในรายละเอียดทั้งด้านองค์ประกอบต่าง ๆ ระดับแรงดันหรือแม้แต่หน้าที่รับผิดชอบ เพื่อให้เข้าใจชัดเจนยิ่งขึ้นจึงได้แยกอธิบายรายละเอียดของแต่ละระบบไว้โดยเฉพาะในบทนี้

3.2 ระบบส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission Systems)

หมายถึง ระบบ ที่รับแรงดันไฟฟ้าจากระบบผลิตเพื่อส่งไปยังระบบจำหน่ายไฟฟ้า หรือทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างระบบผลิตกับระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้นเอง ระบบส่งกำลังไฟฟ้านั้นมีองค์ประกอบที่ซับซ้อนพอสมควร แต่พอจะสรุปเป็นส่วนประกอบหลักๆ ได้ดังนี้

3.2.1 สถานีไฟฟ้าย่อยแปลงแรงดันสูง หรือลานไกไฟฟ้า
(Step-up Substation or Switch Yard)

เป็นที่ ๆ ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมและป้องกันความผิดปกติซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างระบบผลิตกำลังไฟฟ้ากับระบบส่งกำลังไฟฟ้า มีหน้าที่หลักคือ แปลงแรงดันจากระบบผลิตให้สูงขึ้นในระดับต่าง ๆ เพื่อเข้าสู่ระบบส่งกำลังไฟฟ้าต่อไป

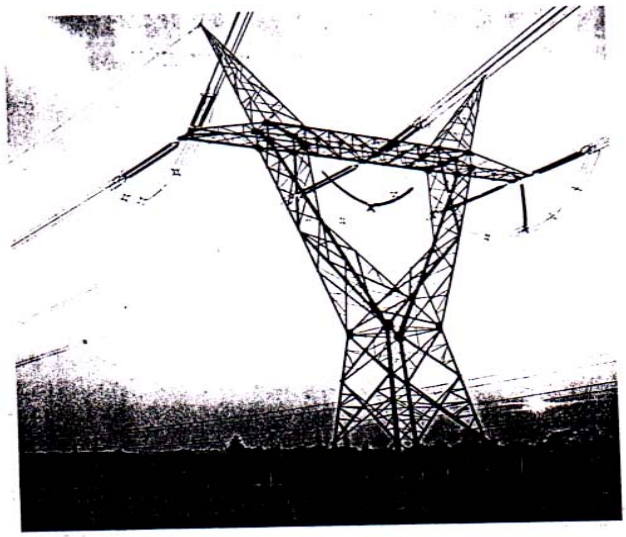


รูปที่ (3.1) สถานีไฟฟ้าย่อยแปลงแรงดันสูงหรือลานไกไฟฟ้า

(Step-up Substation or Switch Yard)

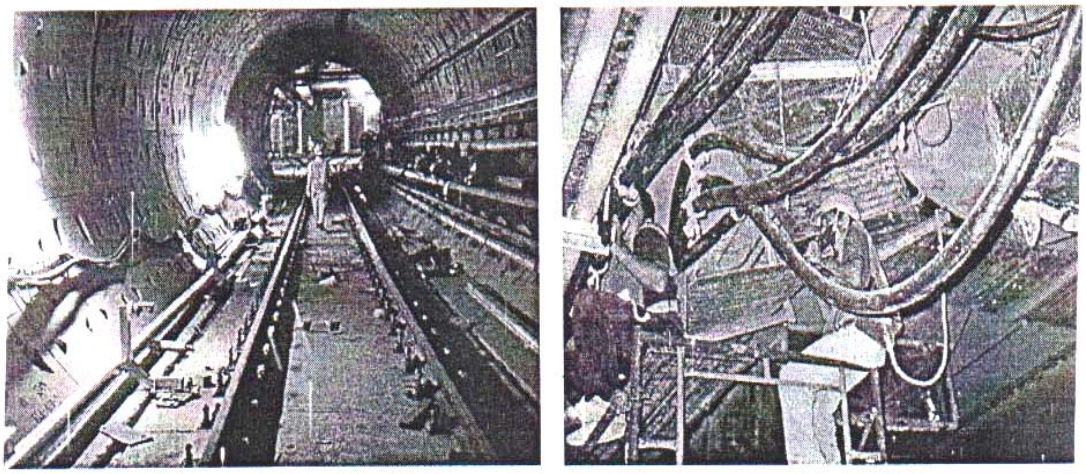
3.2.2 สายส่งกำลังไฟฟ้าหรือเรียกสั้น ๆ ว่าสายส่ง (Transmission Line)

หมายถึง ระบบที่เชื่อมโยงระหว่างระบบผลิตกับระบบจำหน่ายเข้าด้วยกันหรือมีหน้าที่ขนส่งพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไปยังศูนย์กลางการจำหน่ายที่เรียกว่าโหลดเซ็นเตอร์ (Load Center) โดยคำนึงถึงระยะทางและความประหยัด สายส่งไฟฟ้านั้นมี 2 ลักษณะ คือ สายส่งในลักษณะเหนือศีรษะ (Overhead Arial Line) ซึ่งจะมีสายเส้นเล็ก ๆ ขึงอยู่บนเสาส่งไฟฟ้าเรียกว่า “สายดินเหนือศีรษะ” (Over Head Ground Wire) ซึ่งถูกต่อตรงกับเสาโครงเหล็ก (Steel tower) สายดังกล่าวนี้มีหน้าที่ป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า



รูปที่ (3.2) แสดงสายส่งไฟฟ้าในลักษณะเหนือศีรษะ

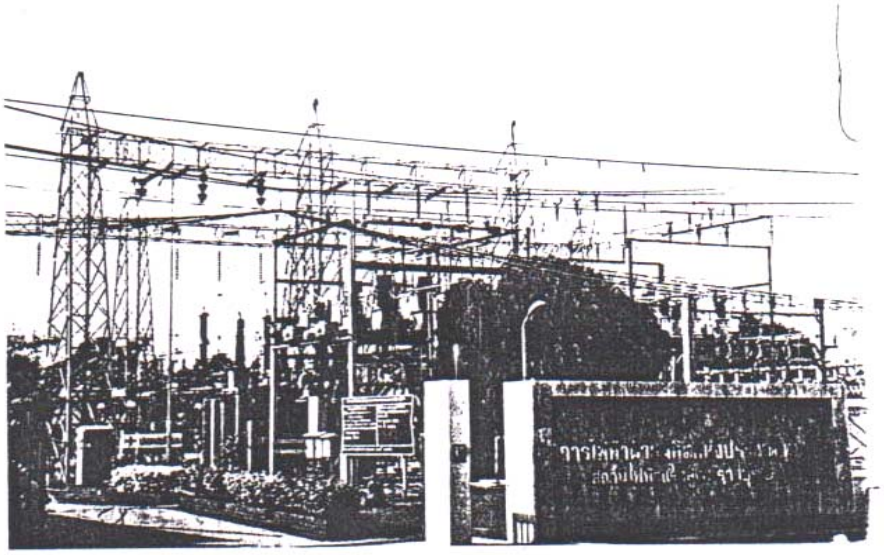
สายส่งไฟฟ้าอีกลักษณะหนึ่งนั้นคือใช้สายเคเบิลใต้ดิน (Under Ground Cable) หรือการติดตั้งสายเคเบิลในอุโมงค์เป็นที่นิยมใช้ในต่างประเทศ โดยเฉพาะในระบบโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ มักจะให้มีอุโมงค์สายเคเบิลอยู่ที่ชั้นใต้ดินของโรงงานซึ่งสายส่งในลักษณะนี้มีความซับซ้อนที่ต้องศึกษารายละเอียดโดยเฉพาะในเรื่องของ "Under Ground Cable" โดยตรง



รูปที่ (3.3) แสดงสายเคเบิลในอุโมงค์ใต้ดิน

3.2.3 สถานีไฟฟ้าย่อยต้นทาง (Primary Substation or Bulk Power Substation)

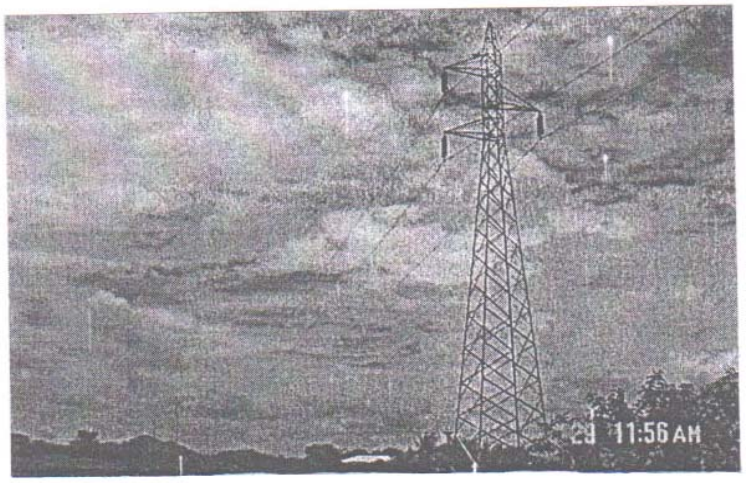
เป็นสถานีที่มีหน้าที่แปลงระดับแรงดันไฟฟ้าจากระบบสายส่งแรงสูงให้มีระดับแรงดันต่ำลง เพื่อส่งไปยังสถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่าย (Secondary Substation) โดยใช้สายส่งไฟฟ้าย่อย (Subtransmission Line) ต่อไป



รูปที่ (3.4) แสดงสถานีไฟฟ้าย่อยต้นทาง (Primary Substation)

3.2.4 สายส่งไฟฟ้าย่อย (Subtransmission Line)

เป็นสายส่งที่เชื่อมโยงระหว่าง สถานีไฟฟ้าย่อยต้นทาง (Primary Substation) กับสถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่าย (Secondary Substation)



รูปที่ (3.5) แสดงสายส่งไฟฟ้าย่อย (Subtransmission Line)

3.3 ระดับแรงดันของระบบส่งกำลังไฟฟ้า

ระดับแรงดันของระบบส่งกำลังไฟฟ้าที่รับมาจากลานไกไฟฟ้าของระบบผลิตนั้นจะอยู่ในช่วง 115Kv – 1,500Kv โดยทั่ว ๆ ไปเรียกว่าไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage) ซึ่งสามารถจำแนกชนิดของไฟฟ้าแรงสูงได้ตามระดับของแรงดันไฟฟ้าได้ดังนี้

3.3.1 แรงดันสูงมาตรฐาน (Standard-High Voltage) ใช้อักษรย่อ (H.V) จะมีระดับแรงดันอยู่ในช่วง 115Kv – 230Kv

3.3.2 แรงดันสูงเอ็กซ์ตรา (Extra-High Voltage) ใช้อักษรย่อ (E.H.V) จะมีระดับแรงดันอยู่ในช่วง 345Kv – 765Kv

3.3.3 แรงดันสูงอัลตร้า (Ultra-High Voltage) ใช้อักษรย่อ (U.H.V) จะมีระดับแรงดันอยู่ในช่วง 1,000Kv – 1,500Kv

หมายเหตุ จากการศึกษาเกี่ยวกับระดับแรงดันของสายส่งไฟฟ้า (Transmission Line) และสายส่งไฟฟ้าย่อย (Subtransmission Line) จะเห็นว่าการแยกประเภทของสายมิได้ขึ้นอยู่กับระดับแรงดันใช้งานเป็นสำคัญ แต่ขึ้นอยู่กับการทำหน้าที่ของสายส่ง และระยะทางที่ส่งมากกว่า ดังนั้นจึงพบว่าสายที่ใช้กับแรงดันระดับเดียวกันอาจเป็นได้ทั้งสายส่งไฟฟ้าและสายส่งไฟฟ้าย่อย แต่โดยทั่ว ๆ ไประดับแรงดันของสายส่งไฟฟ้าย่อยที่ถือเป็นมาตรฐานสากล จะอยู่ในช่วง 33Kv – 138Kv ในขณะที่แรงดันของระบบสายส่งแรงสูงที่ใช้งานในประเทศไทยจะอยู่ในช่วง 69 – 500Kv

การจะส่งกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันต่างๆ นั้นสิ่งสำคัญที่สุดที่จะเป็นตัวกำหนดก็คือระยะทางในการส่งกำลังไฟฟ้าความเหมาะสมระหว่าง แรงดันไฟฟ้าในระบบส่งกำลังไฟฟ้ากับระยะทางแสดงไว้ในตาราง (3.1)

ตารางที่ (3.1) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับระยะทางในระบบส่งกำลังไฟฟ้า

แรงดันไฟฟ้า (Kv)	**ระยะทาง (Km)**
33 – 44	32 – 50
44 – 66	50 – 80
66 – 88	80 – 120
88 – 110	120 – 160
110 – 132	160 – 240
132 – 154	240 – 400
154 – 220	400 – 480

นอกจากนั้นเพื่อประโยชน์ในการออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ให้ใช้งานได้ในระบบไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอ ขีดจำกัดของแรงดันไฟฟ้า ได้ถูกกำหนดไว้เป็นมาตราฐาน (ของอเมริกา) ดังนี้

ตารางที่ (3.2) ขีดจำกัดของแรงดันไฟฟ้าในระบบส่งกำลังไฟฟ้าตามมาตรฐานอเมริกา

ระดับแรงดัน (Kv)		แรงดันสูงสุด (Kv)	แรงดันต่ำสุด (Kv)
46	(H.V)	48.3	-
69		72.5	60
115		123	100
138		145	-
161		169	-
230		245	200
380 – 400	(E.H.V)	420	-
500		525	-
700-750		765	-
765		800	-
1100	(U.H.V)	1200	-

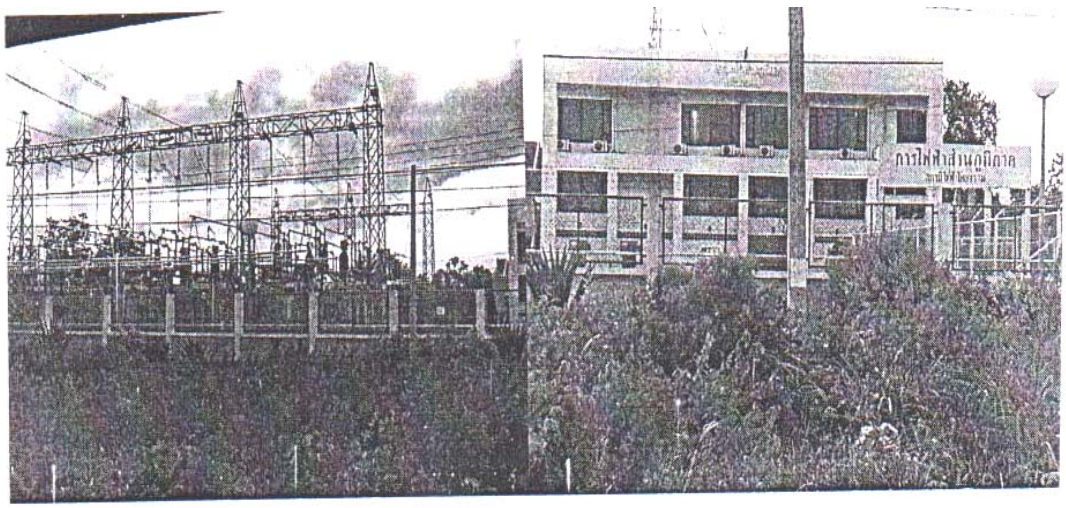
หมายเหตุ ระดับแรงดันในระบบส่งกำลังไฟฟ้าในประเทศไทยในปัจจุบัน (69Kv, 115Kv, 230Kv, 500Kv) ซึ่งยังไม่เกิน 500Kv (ระดับ E.H.V) ส่วนกลุ่มประเทศในแถบยุโรปยังไม่เกิน 400Kv (ระดับ E.H.V เช่นกัน) แต่กลุ่มประเทศในแถบอเมริกาจะมีถึง 1,100Kv (ระดับ U.H.V)

3.4 ระบบจ่ายหรือจำหน่ายกำลังไฟฟ้า (Distribution Systems)

หมายถึง ระบบที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างระบบส่งกำลังไฟฟ้ากับแหล่งผู้ใช้ไฟฟ้า หรือโหลด (Load) โดยรับแรงดันที่ถูกลดให้ต่ำ จนมีความเหมาะสมที่จะบริการให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้ามีส่วนประกอบหลัก ๆ ดังนี้

3.4.1 สถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่าย (Secondary Substation) มีหน้าที่รับแรงดันไฟฟ้าจากสายส่งย่อย (Subtransmission Line) เพื่อแปลงระดับแรงดันให้ต่ำลง แล้วส่งไปยัง สายจำหน่ายแรงสูง (Primary Distribution Line) ต่อไป สถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่ายนี้จะมีความสำคัญรองลงมาจากสถานีไฟฟ้าย่อยต้นทาง (เพราะรับและส่งพลังงานน้อยกว่า) แต่ที่สำคัญคือต้องทำหน้าที่เป็นจุดเชื่อมโยงของสายส่งไฟฟ้าย่อย ที่ส่งมาจากสถานีไฟฟ้าย่อยต้นทางหลาย ๆ แห่ง จึงต้องมีการจัดวงจรตามความสำคัญของสถานีเพื่อส่งพลังงานต่อไปยังสายจำหน่ายแรงสูง

หมายเหตุ ถ้าเป็นระบบอุตสาหกรรมขนาดใหญ่จะสร้างสถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่ายนี้ไว้ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยรับแรงดันไฟฟ้าจากสายส่งไฟฟ้าย่อย (Subtransmission Line) ของระบบส่งกำลังไฟฟ้า

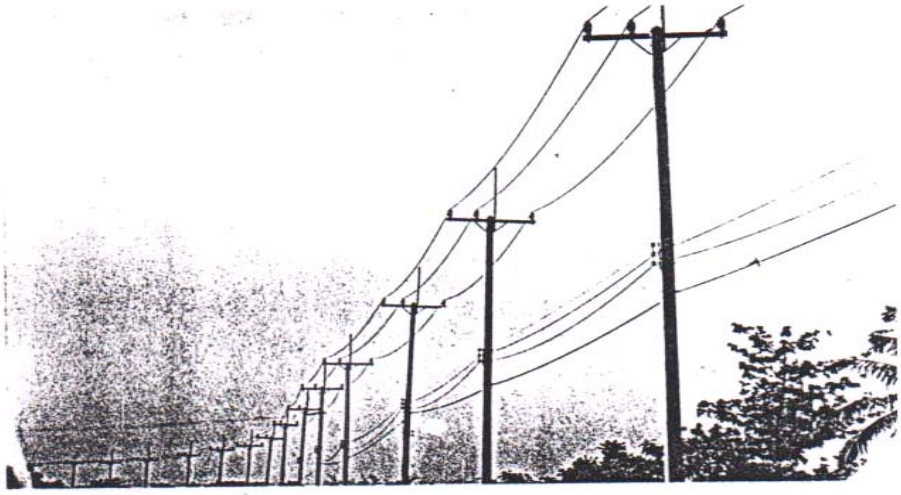


รูปที่ (3.6) แสดงสถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่าย (Secondary Substation)

3.4.2 สายจำหน่ายแรงสูง (Primary Distribution Line) หรือสายป้อนปฐมภูมิ (Primary Feeder) หรือสายป้อนแรงสูง (High tension Feeder) มีหน้าที่รับแรงดันจากสถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่าย (Seconday Substation) เพื่อส่งเข้าหม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformer) เพื่อแปลงให้เป็นแรงดันต่ำ สู่ผู้ใช้หรือโหลดต่อไป โดยระดับแรงดันบนสายจำหน่ายแรงสูงนี้ ที่รับมาจากสถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่ายมีหลายระดับ สำหรับในประเทศไทยมีค่าอยู่ในช่วง 11Kv – 33Kv โดยจำแนกเป็น

- การไฟฟ้านครหลวง ใช้ระดับแรงดัน 12Kv และ 24Kv
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ใช้ระดับแรงดัน 11Kv; 22Kv และ 33Kv

สายจำหน่ายแรงสูงนี้ จะพบเห็นเดินอยู่รอบ ๆ ตัวเมือง และสามารถจำหน่ายให้กับระบบอุตสาหกรรมขนาดกลางได้



รูปที่ (3.7) แสดงสายจำหน่ายแรงสูงหรือสายป้อน

รูปแบบหรือวงจรของสายจำหน่ายแรงสูง การเดินสายจำหน่ายแรงสูงไปยังแหล่งผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีลักษณะการใช้โหลดหรือความหนาแน่นของผู้ใช้แตกต่างกันนั้นต้องจัดรูปแบบให้เหมาะสมกับจุดประสงค์ของการใช้ ซึ่งจำแนกออกเป็น วงจรแบบต่าง ๆ ดังนี้

(1) แบบเรเดียล (Radial Systems)

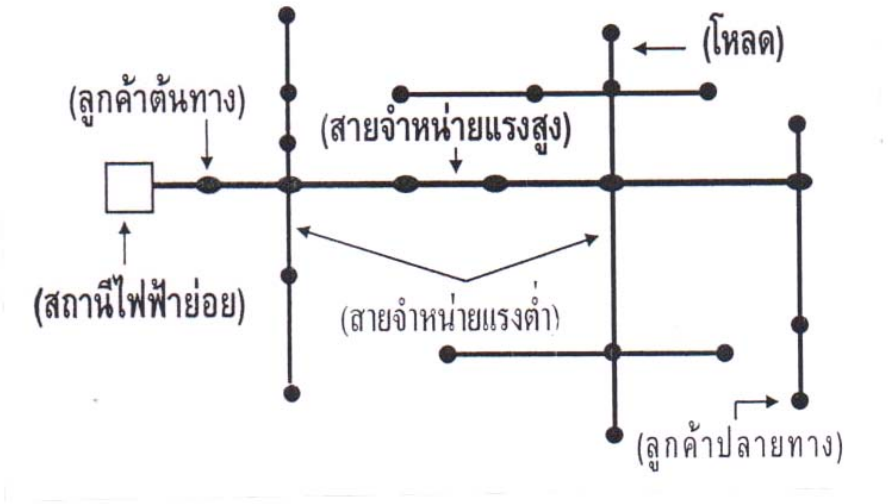
- เรเดียลทรี-ไทพ์ (Radial Tree-type)
- โหลดเซ็นต์เตอร์เรเดียล (Load-center Radial or Feeder – and – main)

(2) แบบวงแหวน (Loop or Ring Systems)

(3) แบบเครือข่ายหรือร่างแห (Mesh network or Grid Systems)

แต่ละแบบมีลักษณะเด่น และความเหมาะสมในการใช้ต่างกันดังรายละเอียดต่อไปนี้

แบบเรเดียลทรี –ไทพ์ (Radial Tree-type)



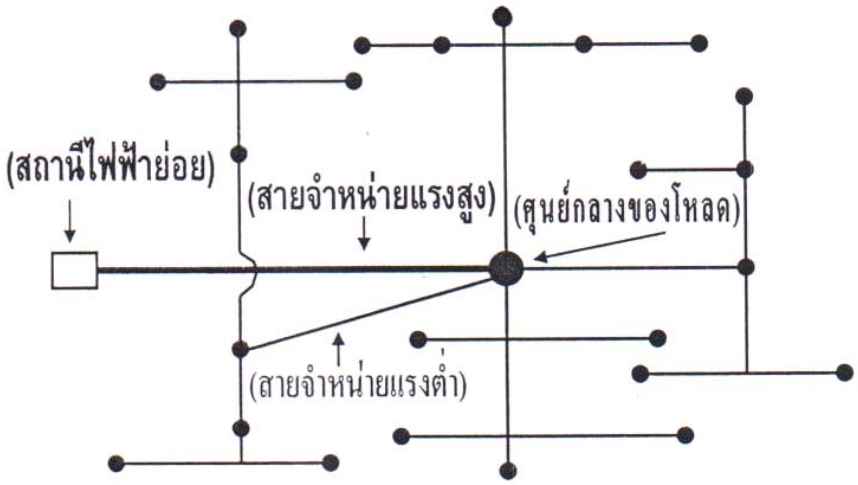
รูปที่ (3.8) แสดงรูปแบบของสายจำหน่ายแรงสูงแบบเรเดียลทรี-ไทพ์ (Radial Tree-type)

จากรูปจะเห็นได้ว่ารูปแบบหรือวงจรของสายจำหน่ายแรงสูงแบบเรเดียลทรี-ไทพ์นี้ จะประกอบด้วยสายจำหน่ายแรงสูง (Primary Distribution Line) หรือสายป้อนปฐมภูมิ (Primary Feeder) ที่เดินตรงจากสถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่าย (Secondary Substation) แล้วแยกเป็นสายจำหน่ายแรงต่ำ (Secondary Distribution Line) ออกไปตามถนนหรือสถานที่ต่าง ๆ ซึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า บรานซ์เซอร์กิต (Branch Circuit) ต่าง ๆ (มีลักษณะเหมือนต้นไม้ที่แยกเป็นกิ่งก้านสาขา) อาจเป็นแบบเฟสเดียว หรือ 3 เฟสก็ได้ แต่จะต้องจัดแบ่งโหลด ที่สายเมนต์จะจ่ายไฟฟ้าออกไป ให้แต่ละเฟส มีโหลดที่สมดุลย์ (Balanced Load)

ในการจ่ายไฟฟ้าไปได้มากน้อยเท่าใดนั้น หากไม่ถูกจำกัดในเรื่องอุณหภูมิของสายไฟฟ้าจะสูงเกินไปแล้ว ก็ต้องพิจารณาเรื่องของแรงดันไฟฟ้า ณ จุดที่ใกล้สถานีไฟฟ้าที่สุด (โหลดที่ต้นทาง) กับจุดที่อยู่ไกลจากสถานีไฟฟ้าที่สุดหรือปลายสาย (โหลดที่ปลายทาง) โดยทั้ง 2 จุดดังกล่าว จะต้องมีระดับแรงดันไม่ต่างกันมาก

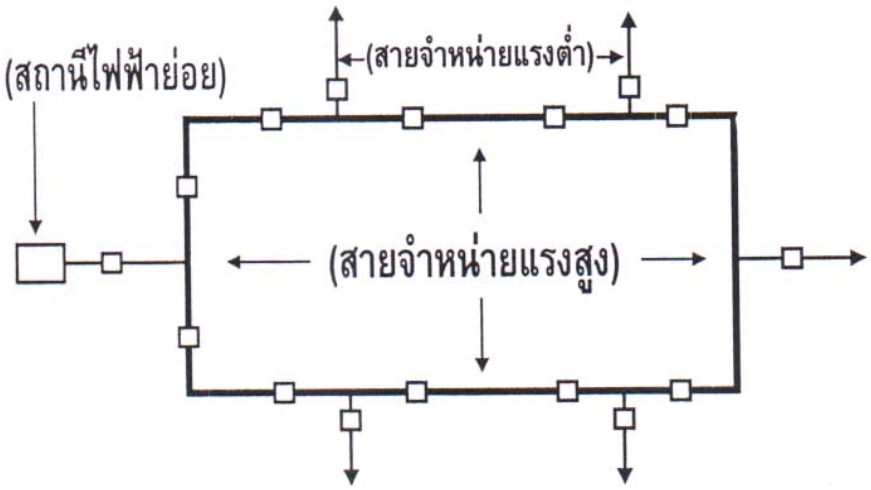
แบบโหลดเซ็นเตอร์เรเดียล (Load-center Radial or Feeder-and-main)

สายจำหน่ายแบบนี้ แตกต่างจากแบบแรกตรงที่มีสายเมนต์เดินตรงจากสถานีไฟฟ้าย่อยหรือโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก (ดีเซล) ไปยังศูนย์กลางการใช้ไฟฟ้า (Load Center) ซึ่งการจ่ายไฟฟ้าในลักษณะนี้เหมาะที่จะใช้ในเมืองใหญ่ ๆ หรือบริเวณที่มีการใช้ไฟฟ้าหนาแน่น (มี Load-density มาก)



รูปที่ (3.9) แสดงสายจำหน่ายแรงสูงแบบโหลดเซ็นเตอร์เรเดียล

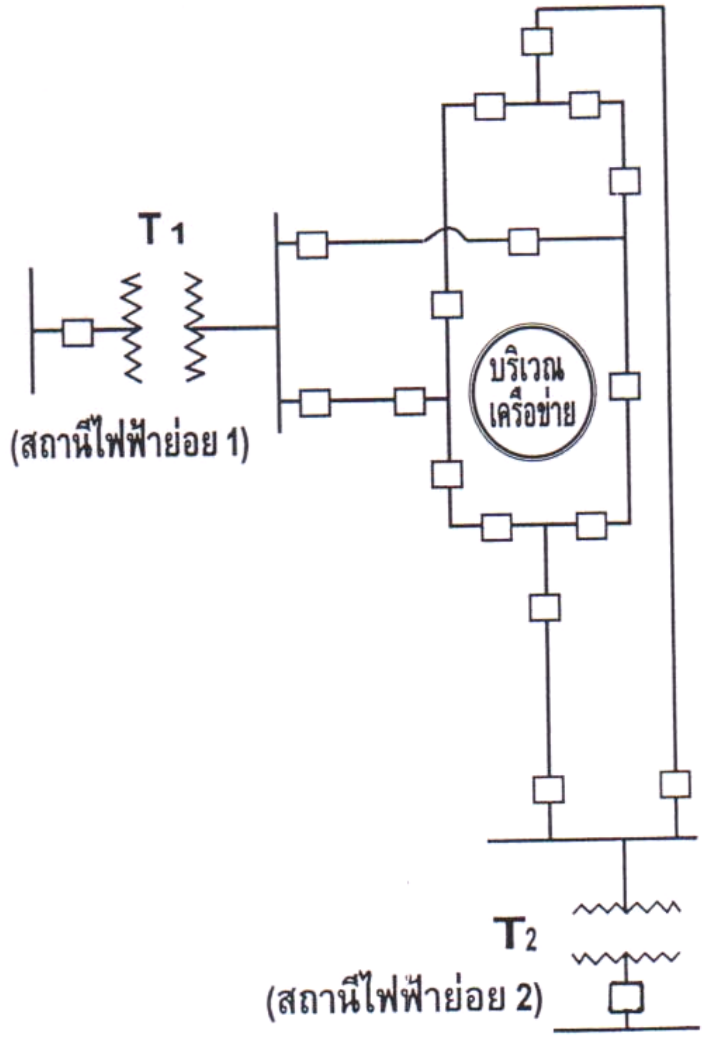
แบบวงแหวน (Loop or Ring Systems)



รูปที่ (3.10) แสดงสายจำหน่ายแรงสูงแบบวงแหวน

สายจำหน่ายแรงสูงแบบวงแหวนนี้ ตามรูปจะเห็นได้ว่ามีการเดินสายจำหน่ายแรงสูง (Primary Distribution Line) หรือสายป้อนปฐมภูมิ (Primary Feeder) ไว้รอบ ๆ บริเวณที่มีการใช้ไฟฟ้าอย่างหนาแน่น ในลักษณะวนกลับมาบรรจบที่เดิมการลงทุนก่อสร้างจะสูงมาก นิยมใช้กับบริเวณที่มีการใช้ไฟฟ้าอย่างหนาแน่น มีโหลดมาก ๆ เช่นบริเวณนิคมอุตสาหกรรม เพื่อต้องการให้มีเหตุไฟฟ้าขัดข้อง (ดับ) น้อยที่สุด หรือต้องการความมีเสถียรภาพในการจ่ายไฟฟ้าสูง ๆ นั่นเอง

แบบเครือข่ายหรือร่างแห (Mesh network or Grid Systems)

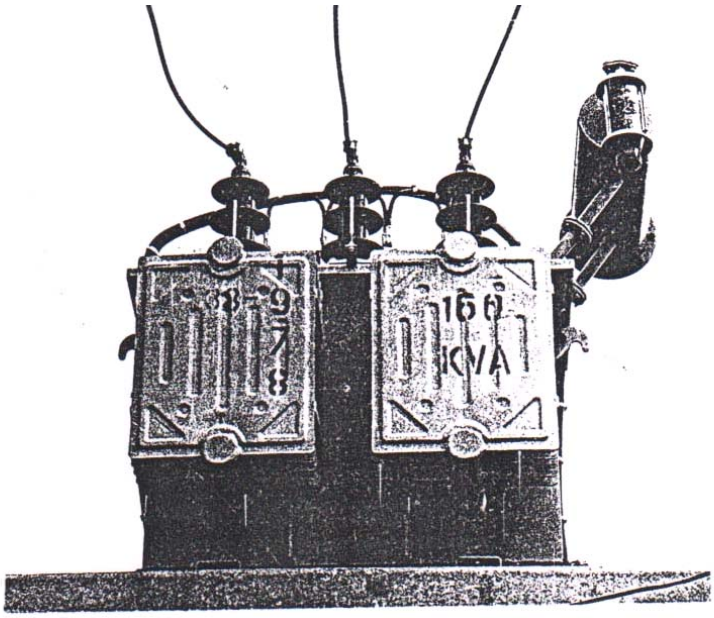


รูปที่ (3.11) แสดงสายจำหน่ายแรงสูงแบบเครือข่ายหรือร่างแห

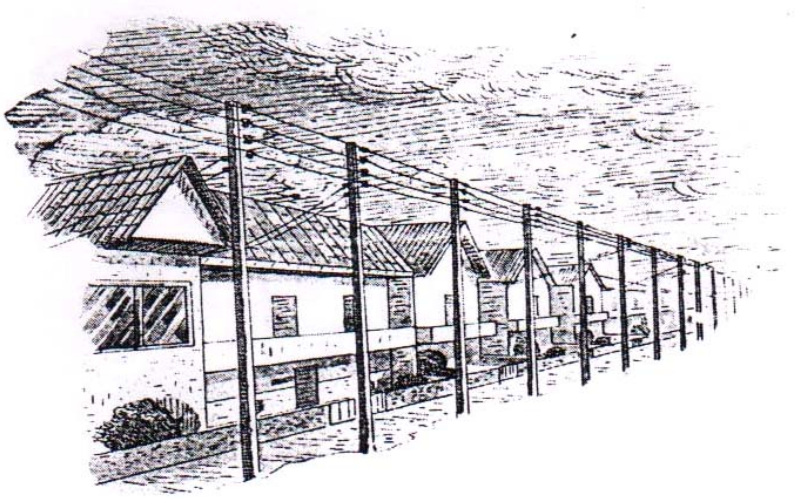
จากรูปจะเห็นว่าลักษณะของการจ่ายไฟฟ้าแบบนี้ จะมีการจ่ายไฟฟ้าออกจากสถานีไฟฟ้าย่อยมากกว่า 1 แห่ง โดยมีสายจำหน่ายแรงสูงจ่ายแรงดันไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าย่อยแต่ละแห่งไปยังศูนย์กลางการใช้ไฟฟ้าที่หนาแน่น โดยในแต่ละส่วนของสายจำหน่ายแรงสูงนั้น ๆ จะมีอุปกรณ์ตัดตอนหรืออุปกรณ์ป้องกันในระบบติดตั้งเอาไว้เพื่อป้องกันความผิดปกติ (Fault) ที่จะเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า

การจ่ายไฟฟ้าในลักษณะนี้ จะมีเสถียรภาพสูงมากระดับแรงดัน ณ จุดต่าง ๆ ก็คงที่กว่าแบบอื่น ๆ จึงเหมาะที่จะใช้กับเมืองใหญ่ ๆ ที่มีโหลดมาก ๆ และมีโรงงานอุตสาหกรรมหนาแน่น เพราะมีการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าย่อยหลาย ๆ แห่งเข้าด้วยกันจะทำให้การจ่ายไฟฟ้านั้นมีเสถียรภาพที่มั่นคงมากขึ้น

3.4.3 หม้อแปลงจำหน่าย (Distribution transformer) มักพบติดตั้งอยู่ตามเสาของสายจำหน่ายแรงสูงมีหน้าที่รับแรงดันไฟฟ้าจากสายจำหน่ายแรงสูง (11Kv, 12Kv, 22Kv, 24Kv, และ 33Kv) แล้วแปลงแรงดันให้ต่ำลง เป็นขนาด 220 โวลท์ 1 เฟส และ 380 โวลท์ 3 เฟส (สำหรับในประเทศไทย) เพื่อป้อนเข้าสายจำหน่ายแรงต่ำ (Secondary Distribution Line) ต่อไป



รูปที่ (3.12) แสดงหม้อแปลงจำหน่าย (Distribution tranformer)

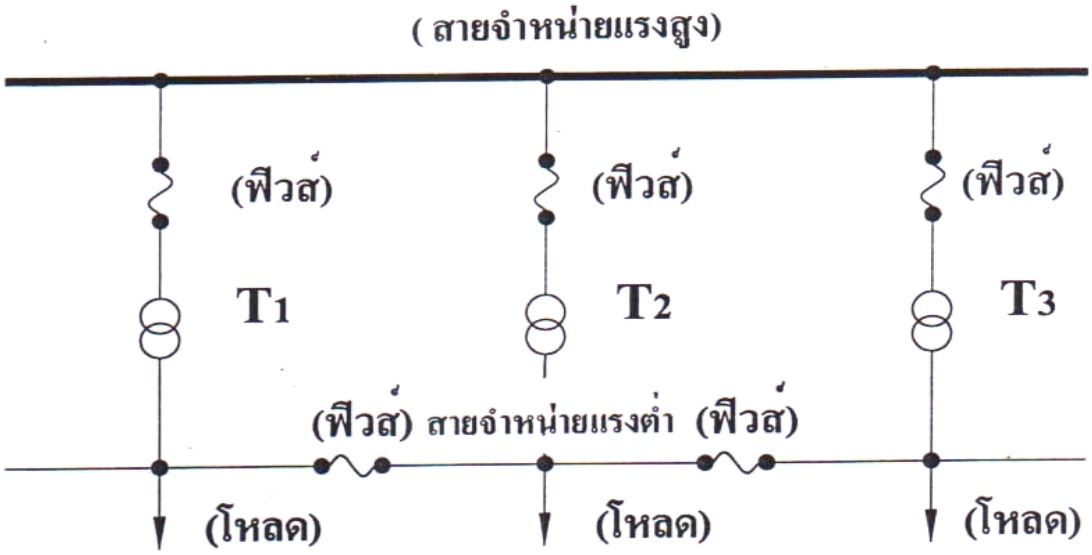


รูปที่ (3.13) แสดงสายจำหน่ายแรงต่ำ (Secondary Distribution Line)

3.4.4 สายจำหน่ายแรงต่ำ (Secondary Distribution Line)

มีหน้าที่รับไฟฟ้าแรงต่ำ (220 โวลท์ 1 เฟส หรือ 380 โวลท์ 3 เฟส) เพื่อส่งเข้าบ้านเรือนหรือโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็กต่อไปในปัจจุบันสายจำหน่ายแรงต่ำนิยมใช้ระบบ 3 เฟส 4 สาย (สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม) และระบบ 1 เฟส 2 สาย หรือ 1 เฟส 3 สาย (สำหรับจำหน่ายให้กับบ้านเรือนของผู้ใช้ไฟฟ้า)

โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว สายจำหน่ายแรงต่ำอาจต่อเข้าด้วยกันเป็นวงจรเหมือนกับสายจำหน่ายแรงสูงก็ได้ แต่ระบบมักจะเล็กกว่า นอกจากนั้นในการจ่ายไฟฟ้าแรงต่ำนี้อาจต่อหม้อแปลงไฟฟ้าหลาย ๆ ลูกขนานกัน (Transformer Banking) ซึ่งจะช่วยให้จ่ายไฟฟ้าได้มากขึ้น และลดปัญหาเรื่องแรงดันไฟฟ้าตกที่ปลายสายลงได้ หรือลดการกระพริบของไฟฟ้าเมื่อมีการสับโหลดขนาดใหญ่ หรือเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ ซึ่งจะมีกระแสไฟฟ้าสูงชั่วขณะหนึ่ง การทำในลักษณะนี้เท่ากับเป็นการเพิ่มเสถียรภาพให้กับระบบไฟฟ้าด้วย

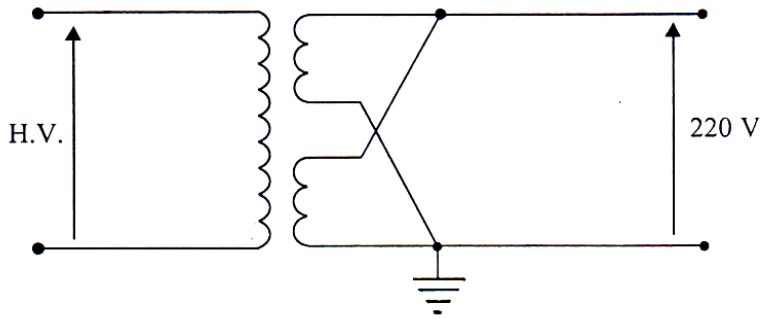


รูปที่ (3.14) แสดงการขนานหม้อแปลงในระบบจำหน่ายแรงต่ำ

แต่อย่างไรก็ดี ระบบจำหน่ายแรงต่ำในประเทศไทย ก็สามารถแบ่งออกเป็นระบบจำหน่ายเฟสเดียว (Single Phase) และระบบจำหน่าย 3 เฟส (Three Phase) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

(1) ระบบจำหน่ายเฟสเดียว จำแนกเป็นชนิดเฟสเดียว 2 สาย(1 Ø 2W.) 220โวลท์ และชนิด เพสเดียว 3 สาย (1 Ø 3 W.) 220/440 โวลท์ ดังรูป และรายละเอียดต่อไปนี้

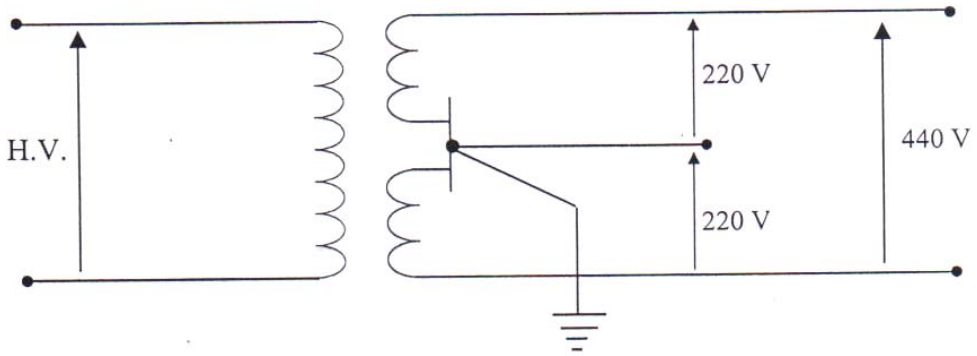
ก) ระบบเฟสเดียว 2 สาย (1 Ø 2W.) 220 โวลท์



รูปที่ (3.15) แสดงระบบจำหน่ายแรงต่ำเฟสเดียว 2 สาย 220 โวลท์

ระบบเฟสเดียว 2 สายนี้ มีการก่อสร้างใช้งานเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะเมื่อโหลดยังมีจำนวนน้อยอยู่ และส่วนมากเป็นโหลดไฟฟ้าจำพวก แสงสว่าง และมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่เรียกว่า โหลดสถิตย์ (Static Loads) ซึ่งไม่ต้องการใช้ไฟฟ้าแบบ 3 เฟส

ข) ระบบเฟสเดียว 3 สาย (1 Ø 3 W.) 220/440 โวลท์

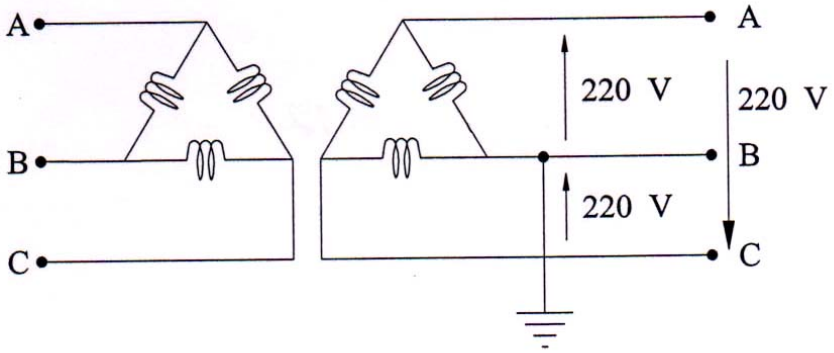


รูปที่ (3.16) แสดงระบบจำหน่ายแรงต่ำเฟสเดียว 3 สาย 220/440 โวลท์

สายจำหน่ายไฟฟ้าแบบนี้ เหมือนกับแบบเฟสเดียว 2 สาย แต่มี 2 วงจร และใช้สายไฟฟ้าร่วมกัน 1 สาย จึงทำให้มีสายทั้งหมดเพียง 3 สาย ส่วนหม้อแปลงที่ใช้เป็นแบบ เฟสเดียวด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ มีแท็ปอยู่ตรงกลาง (Ground Center Tap) แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกมาระหว่าง สายใดสายหนึ่งกับจุดแท็ปกลางนี้ จะมีค่า 220 โวลท์ ส่วนแรงดันระหว่างสาย จะมีค่าเป็น 2 เท่า คือ 440 โวลท์ จึงเรียกชื่อว่าระบบ 1 Ø 3 W. 220/440 โวลท์

(2) ระบบจำหน่าย 3 เฟส จำแนกเป็นชนิดสามเฟส 3 สาย (3 Ø 3 W.) 220 โวลท์ และชนิดสามเฟส 4 สาย (3 Ø 4 W.) 380/220 โวลท์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ก) ระบบสามเฟส 3 สาย (3 Ø 3 W.) 220 โวลท์

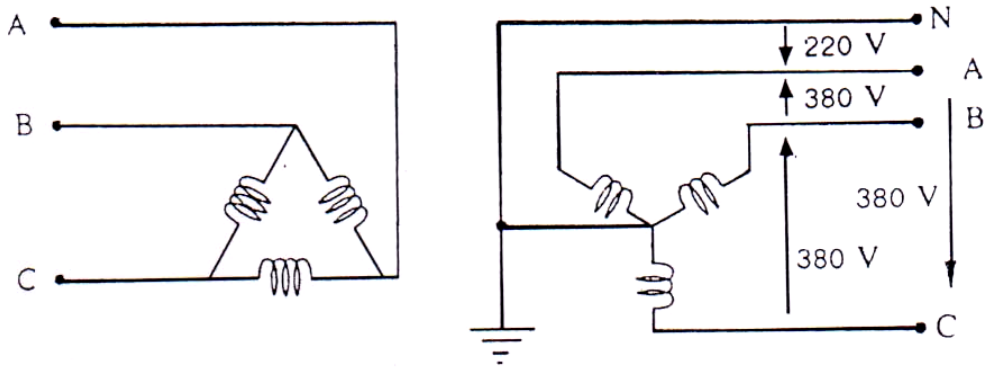


รูปที่ (3.17) แสดงระบบจำหน่ายแรงต่ำ สามเฟส 3 สาย 220 โวลท์

จะเห็นได้ว่าระบบนี้ต้องใช้หม้อแปลง 3 เฟส ทั้งทางด้านแรงดันสูง (High tension) และด้านแรงดันต่ำ (Low tension) ต่อแบบเดลต้า เมื่อพิจารณาทางด้านแรงดันต่ำสามารถทำให้เป็นระบบ 1 เฟส 220 โวลท์ได้ โดยต่อสายใดสายหนึ่งลงกราวด์หรือจะใช้เป็นระบบ 3 เฟส 3 สาย 220 โวลท์ โดยเฉพาะก็ได้

หมายเหตุ หม้อแปลงอาจใช้แบบ 1 เฟส 3 ตัว ต่อเข้าด้วยกัน (Bank) เป็นหม้อแปลง 3 เฟส ก็ได้เช่นกัน

ข) ระบบสามเฟส 4 สาย (3 Ø 4 W.) 380/220 โวลท์



รูปที่ (3.18) แสดงระบบจำหน่ายแรงต่ำสามเฟส 4 สาย 380/220 โวลท์

จะเห็นได้ว่าระบบนี้ต้องใช้หม้อแปลง 3 เฟส หรือ 1 เฟส 3 ตัว ต่อเข้าด้วยกัน (Bank) แต่ทางด้านแรงดันต่ำต่อเป็นแบบสตาร์ และสายนิวตรอน (N) ลงกราวด์ ทำให้สามารถใช้เป็นระบบสามเฟส 380 โวลท์ และระบบเฟสเดียว 220 โวลท์ก็ได้ (โดยจับสายใดสายหนึ่งกับจุดนิวตรอน) ระบบนี้เป็นที่นิยมใช้ในประเทศไทยในปัจจุบันนี้

3.5 ขีดจำกัดของแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย ได้กำหนดไว้เป็นมาตรฐาน (ของอเมริกา) ดังนี้

ตารางที่ (3.3 แสดงขีดจำกัดของแรงดันไฟฟ้าในระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าตามมาตรฐาอเมริกา

ระดับแรงดัน	แรงดันสูงสุด	แรงดันต่ำสุด
11 Kv	12 Kv	10 Kv
22 Kv	24 Kv	20 Kv
33 Kv	36 Kv	30 Kv
220 V	242 V	198 V
380 V	392 V	369 V

3.6 มาตรฐานความถี่ของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง

ความถี่มาตรฐานที่ใช้กันอยู่ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง มีเพียง 2 ระบบ คือ 50 เฮิทซ์ (Hz) และ 60 เฮิทซ์ (Hz) ซึ่งความถี่ ทั้ง 2 ค่านี้ มีข้อได้เปรียบ และเสียเปรียบพอสรุปได้ดังนี้

3.6.1 เกี่ยวกับความเร็วรอบในการหมุน ของเครื่องกลไฟฟ้าประเภทมอเตอร์

จากสมการ $Ns = \frac{120 f}{P}$ รอบ/นาที

เมื่อ Ns คือ ความเร็วซิงโครนัส (Sychronous Speed)

f คือ ค่าความถี่ของระบบไฟฟ้า

P คือ จำนวนคู่ขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์นั้น ๆ

จากสมการข้างบนจะเห็นได้ว่าถ้าระบบไฟฟ้ามีความถี่สูง ๆ จะทำให้มอเตอร์หมุนได้เร็วกว่าระบบที่มีความถี่ต่ำ ๆ ในขณะที่มีจำนวนขั้วเท่ากัน

3.6.2 เกี่ยวกับค่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากสมการ $e = NBA(\omega) \sin\omega t$

เมื่อ ω มีค่าเท่ากับ 2¶ f

ดังนั้นสมการของ $e = NBA(2\pi f)\sin\omega t$ โวลท์

เมื่อ N คือ จำนวนรอบของขดลวด

B คือ ความหนาแน่นของฟลั๊กแม่เหล็ก (wb/m^2)

A คือ พ.ท.หน้าตัดของขดลวดที่เป็นทางผ่านของฟลั๊กแม่เหล็ก (m^2)

ω คือ ความเร็วเชิงมุม (rad/sec)

และ e คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น (Volts)

จากสมการข้างบนจะเห็นได้ว่า ถ้าต้องการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำคงที่ค่าหนึ่ง เมื่อเลือกใช้กับระบบความถี่สูงจะสามารถลดจำนวนรอบของขดลวด (N) ให้น้อยลงได้ หรือลด พ.ท.หน้าตัดของขดลวดให้เล็กลงได้ นั่นย่อมหมายถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีขีดจำกัดของกำลังไฟฟ้าเท่า ๆ กัน ถ้าใช้กับระบบความถี่สูงกว่า จะสามารถประหยัดขดลวด หรือลดขนาดของแกนเหล็กลงได้มากกว่าระบบความถี่ที่ต่ำกว่า

3.6.3 เกี่ยวกับการเกิดแรงดันตกในสายส่ง อันเนื่องมาจาก "อินดั๊กตีฟรีแอคแต๊นซ์" (Inductive Reactance หรือ X_L และค่า "คาปาซิตีฟซัสเซ็ฟแต๊นซ์" (Capacitive Susseptance หรือ Bc) เมื่อ $X_L = 2\pi f L$ และ $Bc = 2\pi fc$ จะเห็นได้ว่าระบบไฟฟ้าที่ใช้ความถี่สูง จะทำให้ค่า X_L และ Bc นี้มากกว่าเมื่อเทียบกับระบบที่ใช้ความถี่ต่ำกว่า ค่า X_L มากจะทำให้ค่าอิมพิแด๊นซ์อนุกรม (Series Impedance หรือ $Z = R + jX_L$) มาก และ Bc มากจะทำให้ค่าแอคมิดแต็นซ์ขนาน (Shunt Admittance หรือ $Y = G + jBc$) มากซึ่งค่าทั้ง 2 ค่านี้มากล้วนส่งผลให้เกิดค่าแรงดันตก (สูญเสีย)ในสายส่งมากด้วย ดังนั้นสายส่งที่มีความถี่สูง จึงมีค่าสูญเสียในสายส่งมากกว่าสายส่งที่มีความถี่ต่ำ ซึ่งถือว่าเป็นข้อเสียเปรียบของระบบความถี่สูงที่มิอาจละเลยได้

จากข้อได้เปรียบและเสียเปรียบดังกล่าว จึงทำให้บางประเทศใช้ความถี่ทั้ง 2 ระบบ คือ 50 Hz และ 60 Hz แล้วแต่ความเหมาะสมในแต่ละช่วงของการส่งกำลังไฟฟ้าการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าที่มีความถี่ต่าง ๆ กันเข้าด้วยกันนี้จึงต้องใช้เครื่องคอนเวอร์เตอร์ (Convertor) เปลี่ยนความถี่ให้เท่ากัน หรืออาจเชื่อมโยงกันด้วยระบบไฟฟ้ากระแสตรง ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ทำได้ เช่นกัน

3.7 การเชื่อมโยงระบบไฟฟ้ากำลัง (Power System Interconnection)

ระบบไฟฟ้ากำลังที่ดีจะต้องมีการเชื่อมโยงแหล่งผลิตทั้งหมดเข้าด้วยกัน รวมทั้งเชื่อมโยงสถานีไฟฟ้าย่อยต่าง ๆ เข้าด้วยกันโดยมีจุดประสงค์ทำให้ระบบใหญ่ขึ้นเพื่อเพิ่มเสถียรภาพในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า หรือถ้าพิจารณาในแง่เศรษฐศาสตร์ จะให้ทั้งผลดีและผลเสีย พอสรุปได้ดังนี้

ผลดีของการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า

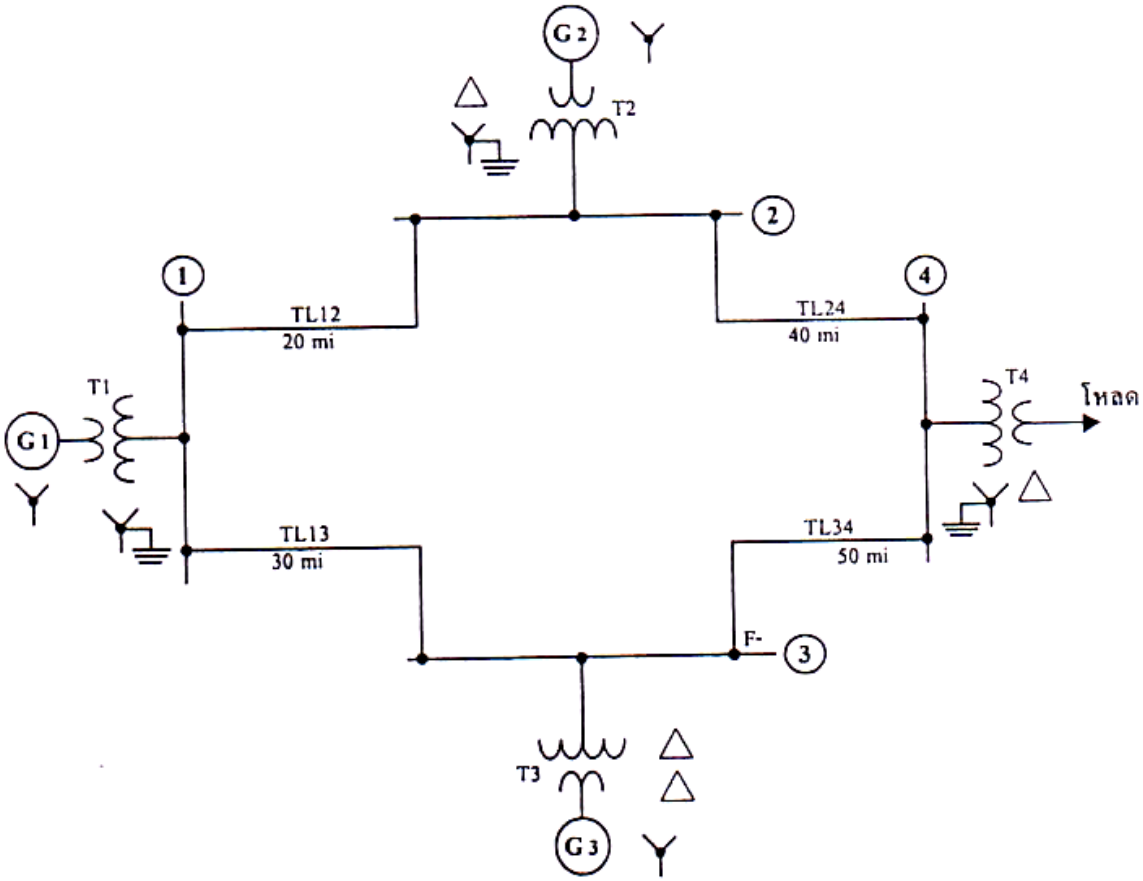
1) ทำให้เกิดความมั่นคงทางด้านระดับของแรงดันไฟฟ้า เพราะมีแหล่งผลิตเข้ามาหลายทาง

2) ทำให้เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลาย ๆ แบบ ร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพเพราะไม่ถูกจำกัดอยู่ที่ความต้องการใช้ไฟฟ้าของระบบใดระบบหนึ่ง

3) ทำให้มีทางเลือกในการสร้างแหล่งผลิต หรือโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ ๆ ชนิดต่าง ๆ เพื่อความเหมาะสมได้มากขึ้น เพราะต้นทุนในการสร้างโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ (บาทต่อกิโลวัตต์) ถูกกว่าโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก

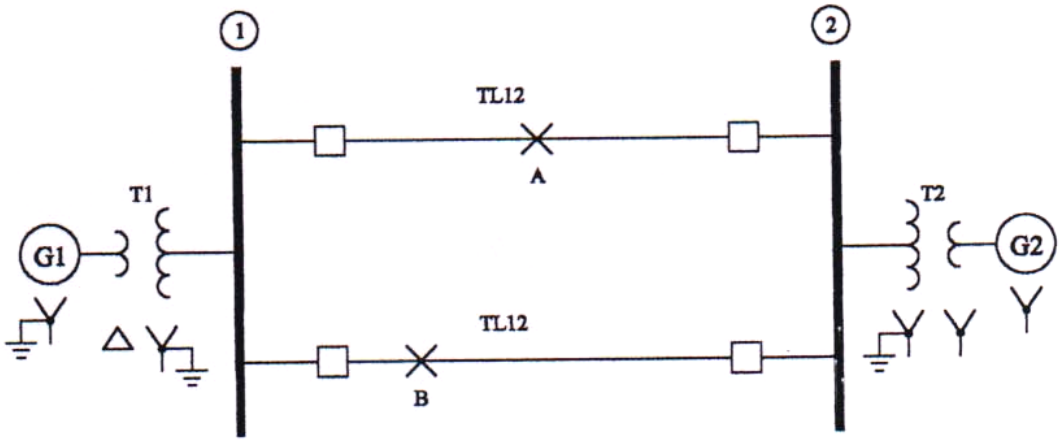
4) ทำให้ลดกำลังผลิตสำรองลงไปได้และสามารถหยุดตรวจซ่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ขัดข้องได้สะดวก โดยที่ไม่กระทบต่อการส่งจ่ายไฟฟ้าในระบบ

5) สามารถเลือกหยุดและเดิน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ได้ตามความเหมาะสม เช่น โรงไฟฟ้าพลังน้ำ อาจหยุดเดินเครื่องในฤดูฝน และให้เริ่มต้นเดินเครื่องในฤดูแล้ง เพื่อนำน้ำที่ปล่อยทิ้งออกมาจากการหมุนเทอร์ไบท์ ไปใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรในฤดูแล้ง เป็นต้น

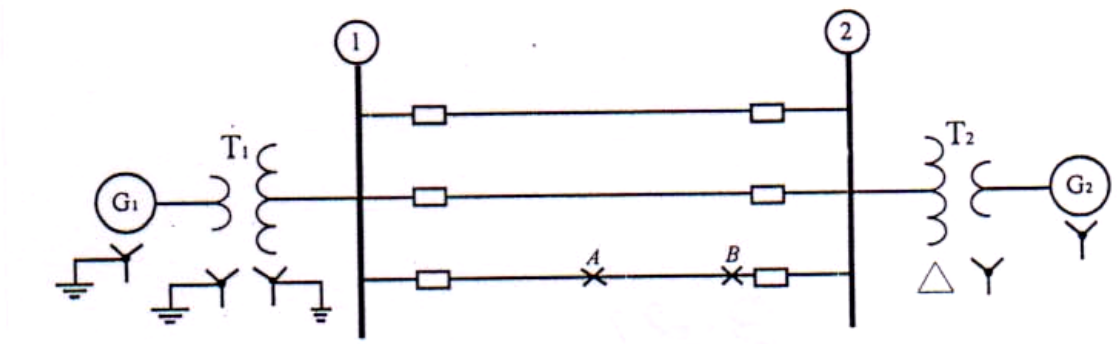


รูปที่ (3.19) ไดอะแกรมเส้นเดียวแสดงการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า 3 แหล่งผลิตเข้าด้วยกัน โดยใช้สายส่ง ชุดเดียว

ในกรณีที่แหล่งผลิตของระบบไฟฟ้า ที่จะทำการเชื่อมโยงเข้าด้วยกันนั้น มีกำลังผลิตมาก ๆ สายส่งที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงเพียงชุดเดียว ไม่เพียงพอในการรับกำลังไฟฟ้าจำนวนดังกล่าว จึงต้องใช้สายส่งแรงสูงมากกว่า 1 ชุด ในการเชื่อมโยง (Parallel Interconnections) เพื่อหลีกเลี่ยงการสร้างสายส่งแรงสูงขนาดใหญ่มากเพียงชุดเดียว ซึ่งมีต้นทุนในการก่อสร้างสูง



รูปที่ (3.20) ไดอะแกรมเส้นเดียวแสดงการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า 2 แหล่งผลิต เข้าด้วยกัน โดยใช้สายส่ง 2 ชุด



รูปที่ (3.21) ไดอะแกรมเส้นเดียวแสดงการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า 2 แหล่งผลิตเข้าด้วยกัน โดยใช้สายส่ง 3 ชุด

อย่างไรก็ดีในการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า โดยใช้สายส่งหลาย ๆ ชุดนั้นปัญหาที่พบ คือมีการถ่ายเทกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละชุดไม่เท่ากัน ทำให้เกิดมีกำลังไฟฟ้าไหลกลับทางกันได้ส่งผลให้ขีดความสามารถของสายส่งบางชุดลดลง ซึ่งกรณีดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการติดตั้ง “Phase-Shifting Transformer” เข้าในสายส่งเชื่อมโยงเพื่อทำการปรับให้เกิดความสมดุลย์ในการถ่ายเทกำลังไฟฟ้า ในสายส่งเชื่อมโยงแต่ละชุด แต่วิธีดังกล่าว ก็มีข้อเสียอยู่บ้าง เช่นต้นทุนสูงขึ้น ความสูญเสียในระบบไฟฟ้ามากขึ้น และค่าอิมพิแด๊นซ์ของสายส่งเพิ่มขึ้น ทำให้ขีดความสามารถลดลง

สรุป ผลเสียของการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า คือ เมื่อเกิดผิดปกติ (Fault) ขึ้นในระบบจะทำให้กระแสลัดวงจรมีค่าสูง ซึ่งส่งผลถึงขนาดของอุปกรณ์ป้องกันในระบบด้วย และขีดจำกัดความสามารถของสายส่งเชื่อมโยงอาจจะลดลงด้วย ทำให้ส่งกำลังไฟฟ้าผ่านสายส่งเชื่อมโยงได้น้อยกว่าความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าของสายส่งนั้น ๆ

3.8 แบบฝึกหัด บทที่ 3

1) สถานีเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่อยู่บริเวณแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเรียกว่าอะไร?
2) สายเส้นเล็ก ๆ ที่ขึงอยู่บนเสาไฟฟ้าแรงสูง เรียกว่าสายอะไร และมีไว้เพื่ออะไร?
3) สถานีไฟฟ้าย่อยต้นทางรับแรงดันจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงในระดับแรงดันเท่าใดบ้าง?
4) จงบอกระดับแรงดันของไฟฟ้าแรงสูง แบบ H.V. , E.H.V และ U.H.V?
5) จากข้อ 4 ในประเทศไทยมีระดับแรงดันที่ใช้ในระบบสายส่งแรงสูงอยู่ในประเภทใด?
6) แรงดันของสายส่งย่อย ที่ถือเป็นมาตรฐานจะมีค่าอยู่ในช่วงใด?
7) ระดับแรงดันในระบบส่งกำลังไฟฟ้า จะถูกกำหนดด้วยอะไร?
8) แรงดันในระบบส่งกำลังไฟฟ้า ในกลุ่มประเทศในยุโรปจะไม่เกินเท่าใด?
9) สถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่าย จะรับแรงดันในระดับเท่าใดบ้าง?
10) จงบอกระดับแรงดันของสายจำหน่ายแรงสูง ของ กฟน. และ กฟภ. ?
11) สายจำหน่ายแรงสูงแบบเรเดียลมีลักษณะเด่นอย่างไร?
12) สายจำหน่ายแรงสูงแบบ “Ring Systems” เหมาะกับการจำหน่ายไฟฟ้าในลักษณะงานเช่นไร?
13) สายจำหน่ายแรงสูงแบบ “Grid Systems” มีข้อดีกว่าแบบอื่นอย่างไร?
14) ในปัจจุบันระบบจำหน่ายแรงต่ำที่นิยมใช้ที่สุดในประเทศไทยคือแบบใด?
15) จงอธิบายความหมายของคำว่า “Static Loads” ?
16) สายจำหน่ายแบบ 3 เฟส 3 สาย เมื่อต้องการใช้เป็นไฟ Single phase จะต้องทำเช่นไร?
17) แรงดัน 220 โวลท์ ของระบบจำหน่ายแรงต่ำมีขีดจำกัด สูงสุดและต่ำสุดเท่าใด?
18) จงเปรียบเทียบข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของระบบความถี่ 50 Hz และ 60 Hz มาโดยสังเขป?
19) จุดประสงค์ในการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าหลาย ๆ แหล่งผลิตเข้าด้วยกันคืออะไร?
20) ข้อเสียของการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าที่เห็นชัดเจนที่สุดคืออะไร?