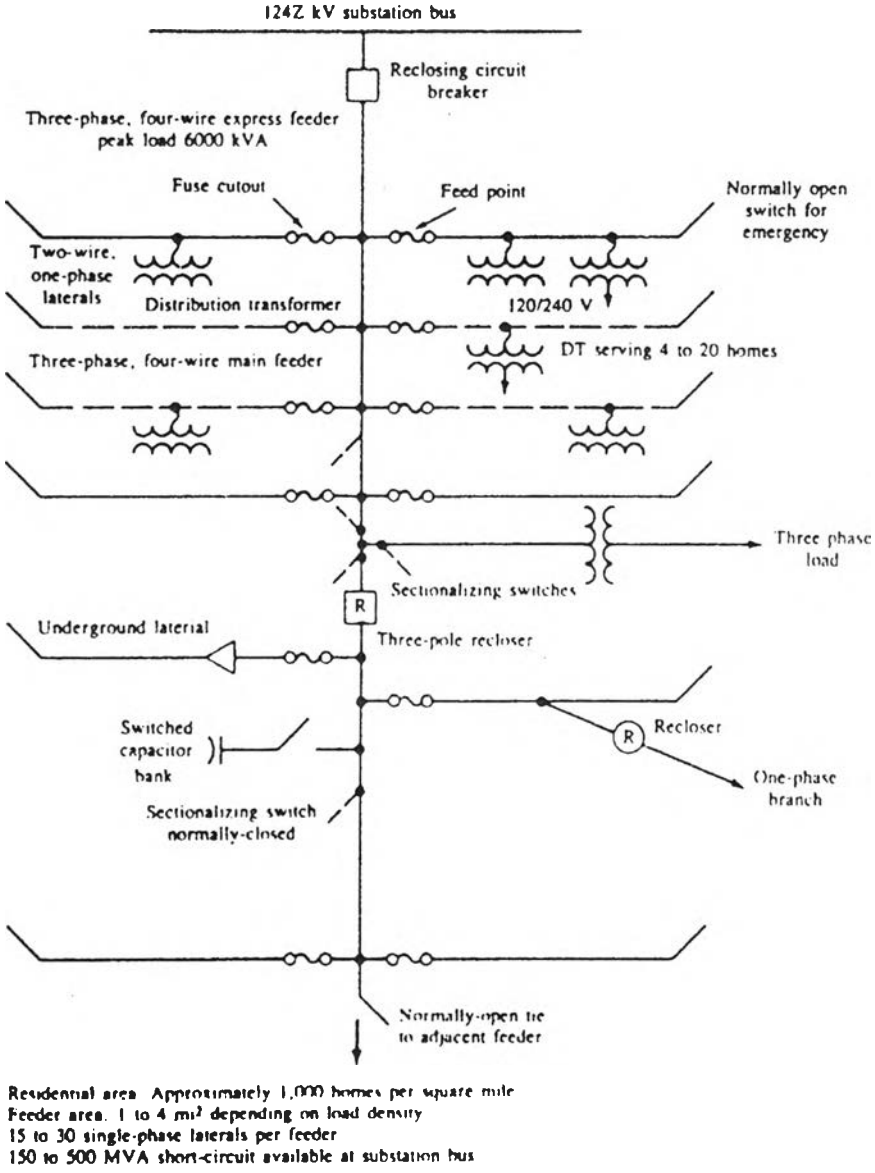
บทที่ 2
ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้า ซึ่งทำการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้า จากระบบไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า โดยระบบส่งย่อย (Subtransmission System) ทำการส่งพลังงานจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ (Bulk Power Source) มายังสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยของระบบจำหน่าย (Distribution Substation) ซึ่งสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยจะมีอุปกรณ์หลายประเภทต่อเชื่อมอยู่ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า ตัวคุมค่าแรงดัน (Voltage Regulator) และสวิตช์เกียร์ เป็นต้น หน้าที่ของสถานีไฟฟ้าย่อยนี้ คือ ลดระดับแรงดันจากระดับแรงดันของระบบส่งย่อย (Subtransmission System) มาเป็นระดับแรงดันของระบบจำหน่ายหลักหรือระบบจำหน่ายปฐมภูมิ (Primary System)

ระบบจำหน่ายหลักนี้จะประกอบด้วยสายป้อนหลัก (Primary Feeder) ซึ่งทำการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากทางด้านแรงดันต่ำของสถานีไฟฟ้าย่อย ไปยังศูนย์กลางโหลด (Load Center) โดยสายป้อนหลักจะถูกแยกออกเป็นสายป้อนย่อย (Sub Feeder) 3 เฟส และสายแยก (Lateral) 1 เฟส เพื่อที่จะจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าตามบริเวณต่าง ๆ ต่อไป

เนื่องจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเน้นไปที่การกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าในส่วนตั้งแต่สายป้อนหลักลงไปซึ่งสายป้อนหลักนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ มากมายหลายประเภท ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดง Single-Line Diagram ของ Primary Distribution Feeder

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าสายป้อนหลักส่วนมากมีลักษณะเป็น 3 เฟส ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยจะมีสายแยก และสายป้อนย่อยต่อออกจากสายป้อนหลักในทิศทางต่าง ๆ ณ จุดที่สายป้อนย่อยแยกออกจากสายป้อนหลักนี้จะมีฟิวส์ต่ออยู่ด้วยซึ่งฟิวส์นี้ทำหน้าที่เป็นระบบป้องกัน เมื่อ

เกิดความผิดพร่องขึ้นบริเวณสายป้อนย่อย ฟิวส์จะละลาย เพื่อตัดวงจรสายป้อนย่อยออกจากสายป้อนหลัก การทำงานของฟิวส์นี้ช่วยป้องกันให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ของสายป้อนหลัก ซึ่งจะส่งผลกระทบให้ไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง นอกจากนี้ จะเห็นได้ว่า มีอุปกรณ์ปิดวงจรซ้ำที่เรียกว่า Recloser ติดตั้งอยู่บนสายป้อนหลักด้วยโดยอุปกรณ์ปิดวงจรซ้ำนี้จะทำการ Coordinate กับฟิวส์ และเซอร์กิตเบรกเกอร์ เพื่อทำการปิดวงจรซ้ำในกรณีที่เกิดความผิดพร่องขึ้น

ถ้าหากความผิดพร่องแบบกึ่งถาวรเกิดบนสายป้อนย่อย อุปกรณ์ตัวนี้จะต้องเปิดวงจรก่อนที่ฟิวส์จะละลาย แล้วทำการปิดวงจรอีกครั้ง ตามเวลาที่ตั้งไว้ ถ้าความผิดพร่องยังคงอยู่ ก็จะทำการเปิดวงจรอีกครั้ง แล้วปิดวงจรอีกครั้ง อุปกรณ์ปิดวงจรซ้ำนี้จะทำงานเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ ตามจำนวนครั้ง (Shot) ที่ตั้งไว้ หากความผิดพร่องยังไม่หายไป อุปกรณ์ปิดวงจรจะทำการเปิดวงจรถาวรทำให้เกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง แต่จะไม่มากเท่ากรณีเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ต้นทางของสายป้อนหลักทำการเปิดวงจร

สำหรับการส่งจ่ายพลังงานจากสายป้อนหลักสู่ผู้ใช้ สายป้อนหลักจะส่งผ่านสายพาดในอากาศหรือ สายเคเบิลใต้ดิน ซึ่งมีข้อดี และข้อเสียต่าง ๆ กัน คือ กรณีสายเคเบิลใต้ดินโอกาสที่จะเกิดความผิดพร่อง เนื่องจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า กิ่งไม้ สัตว์ มีน้อยมาก แต่หากเกิดความผิดพร่องขึ้น ความผิดพร่องส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นนั้นจะเป็นแบบถาวร ซึ่งการซ่อมบำรุงจะทำได้ยากและการลงทุนค่อนข้างสูง สำหรับสายพาดในอากาศ แม้จะเสี่ยงต่อการเกิดความผิดพร่องมากกว่า แต่การลงทุนจะต่ำกว่า การซ่อมบำรุงจะง่าย และใช้เวลาน้อยกว่าสายเคเบิลใต้ดิน

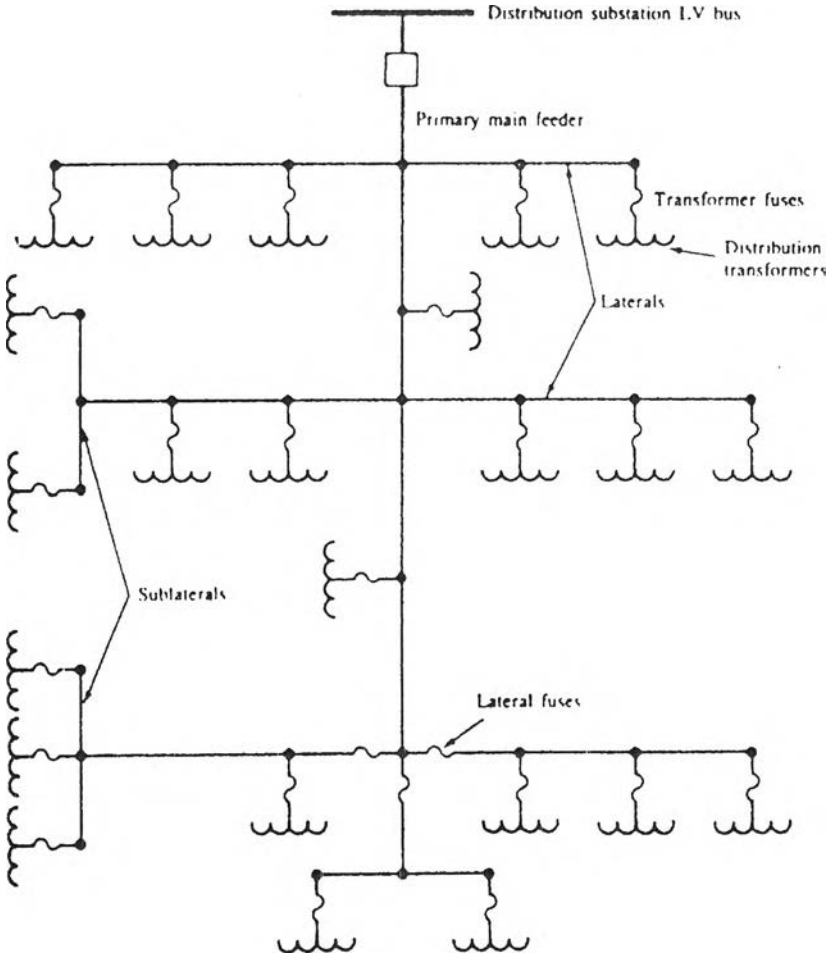
ในการเลือกขนาดของสายป้อนหลัก จะต้องพิจารณาจากตัวแปรต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ [3]

1. ธรรมชาติของโหลดที่ต่ออยู่
2. ความหนาแน่นของโหลดในบริเวณที่ทำการจ่ายไฟฟ้า
3. อัตราการขยายของโหลด
4. ขนาดความจุของสายป้อนที่ต้องการเพื่อใช้ในยามฉุกเฉิน
5. ต้นทุนและประเภทของการต่อวงจรที่ใช้
6. การออกแบบและขนาดความจุของสถานีไฟฟ้าย่อยที่จ่ายไฟฟ้า
7. ประเภทของตัวควบคุมแรงดันที่เลือกใช้
8. คุณภาพของระบบไฟฟ้าที่ต้องการ
9. ความต่อเนื่องของการจ่ายไฟฟ้า

นอกจากนี้ระบบแรงดัน ณ จุดต่าง ๆ ของสายป้อน สามารถปรับปรุงได้โดยการต่อชุดตัวเก็บประจุ (Capacitor Bank) ขนานกับวงจรในจุดที่ใกล้กับโหลดที่ต้องการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าให้มากที่สุด โดยขนาดพิกัดของตัวเก็บประจุต้องเลือกอย่างระมัดระวัง ซึ่งต้องพิจารณาจากแรงดันเกินเมื่อโหลดลดต่ำลง และภาวะทรานเซียนต์ต่าง ๆ ด้วย

สายป้อนหลักระบบเรเดียล (Radial - Type Primary Feeder)

สายป้อนหลักแบบเรเดียล เป็นสายป้อนที่ไม่ซับซ้อน และมีความทนทานที่สุด ซึ่งสายป้อนส่วนใหญ่จะถูกออกแบบให้เป็นเรเดียล ดังรูปที่ 2.2

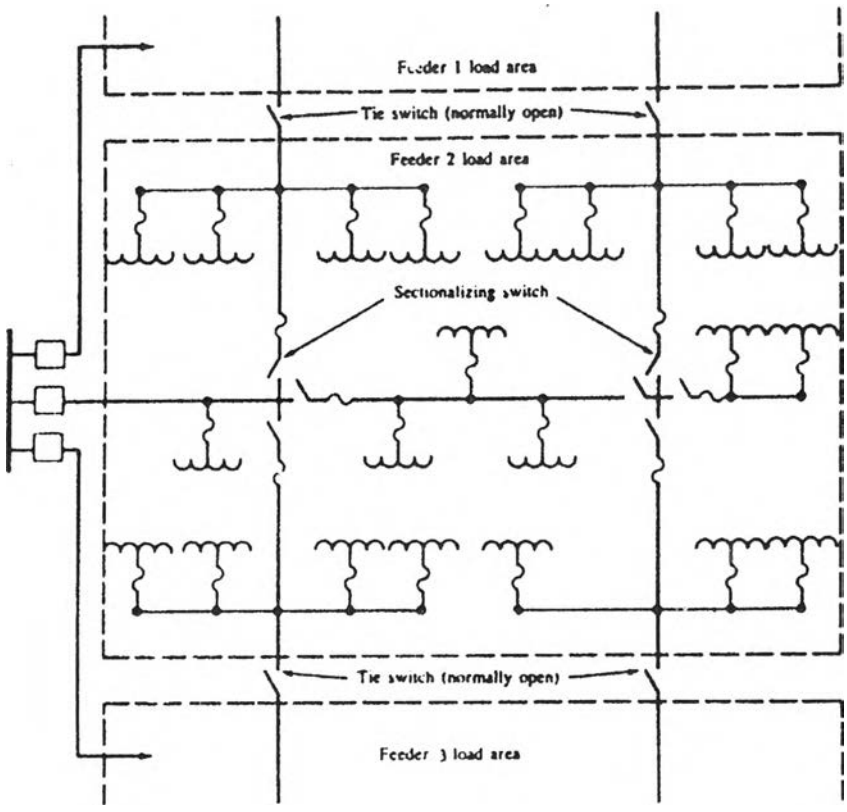


รูปที่ 2.2 แสดง Radial-Type Primary Feeder

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าสายป้อนหลักจะแยกแตกแขนงเป็นสายป้อนย่อย และสายแยกต่าง ๆ และที่จุดต่าง ๆ ของสายแยกจะมีหม้อแปลงจำหน่ายไฟอยู่ เพื่อลดระดับแรงดันให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า เนื่องจากบริเวณปลายสายแยกจะมีโหลดปริมาณน้อย เมื่อเทียบกับสายป้อนหลัก ดังนั้น ขนาดของสายจึงไม่จำเป็นที่จะต้องมีขนาดความจุเท่ากับสายป้อนหลัก แต่อย่างไรก็ตามต้องพิจารณาถึงแรงดันตกที่ปลายสายด้วยว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่

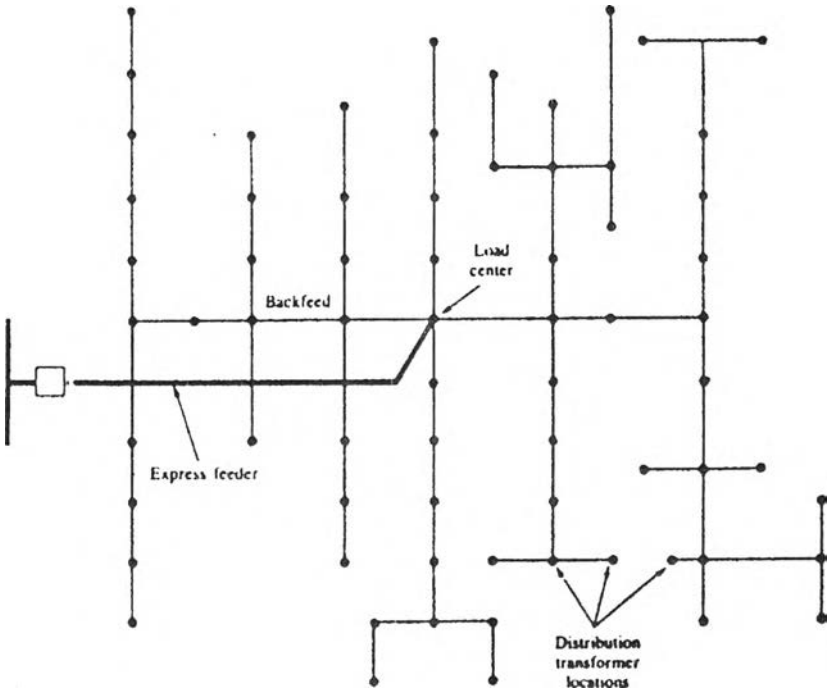
สำหรับสายป้อนหลักระบบเรเดียลนี้ มีความเชื่อถือได้ของระบบค่อนข้างต่ำ เนื่องจากถ้าหากเกิดความผิดพลาดขึ้น ณ ตำแหน่งใด ๆ บนสายป้อนหลัก จะทำให้เกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง นอกจากว่าจะสามารถแยกความผิดพร่องส่วนนั้นออกไปด้วยอุปกรณ์ตัดวงจรต่าง ๆ เช่น ฟิวส์, Sectionalizer สวิตช์ตัดตอน (Disconnecting Switch) หรือ Recloser เป็นต้น

เพื่อปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า จึงได้ทำการเพิ่มสวิตช์เชื่อม (Tie - Switch) ลงในวงจร ดังรูปที่ 2.3



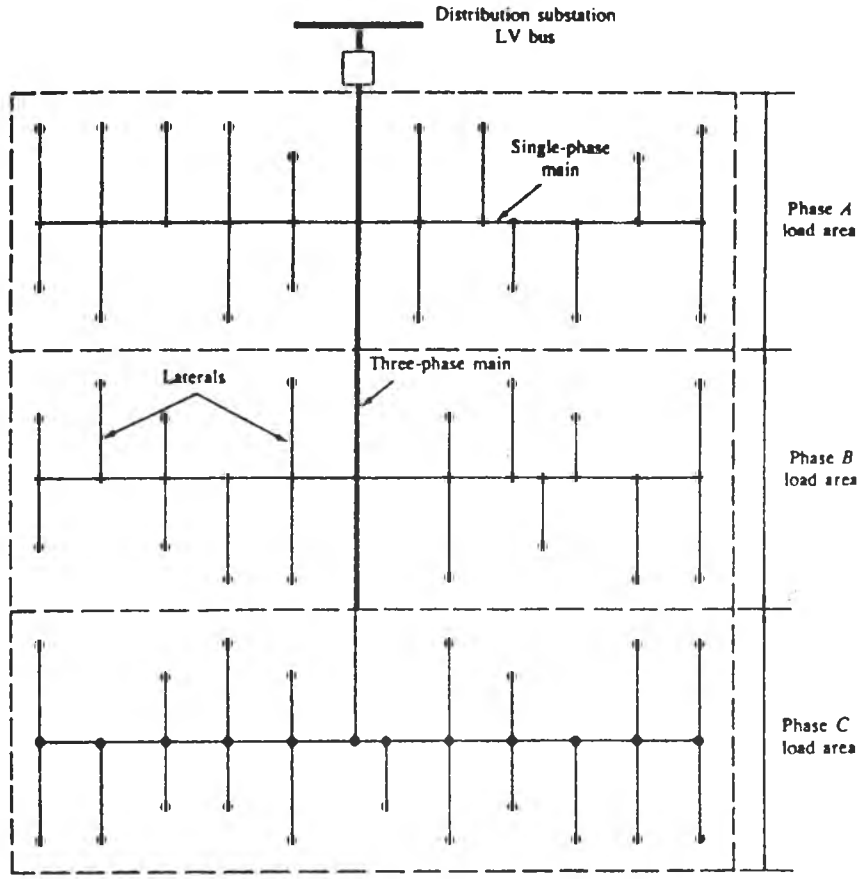
รูปที่ 2.3 แสดงการต่อเชื่อม Tie-Switch ในวงจรระบบจำหน่ายไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.3 พบว่าสายป้อนหลักแบบเรเดียลได้ถูกปรับปรุงโดยการติดตั้งสวิตช์ต่อเชื่อมและสวิตช์แยกวงจร (Sectionalizing Switch) เพื่อช่วยให้การกู้ระบบไฟฟ้ากลับคืนให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยเมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้น ณ ตำแหน่งใด ๆ สายป้อนหลักจะทำการแยกส่วนของความผิดพร่องนั้นด้วยอุปกรณ์ตัดวงจร จากนั้นจะทำการกู้ระบบคืนโดยปิดวงจรสวิตช์เชื่อม ซึ่งต่ออยู่กับสายป้อนข้างเดียวเพื่อรับไฟฟ้า นอกจากนั้นยังมีสายป้อนหลักแบบเรเดียลระบบอื่น ๆ อีก ดังรูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 แสดง Radial-Type Primary Feeder ที่มี Express Feeder และ Backfeed

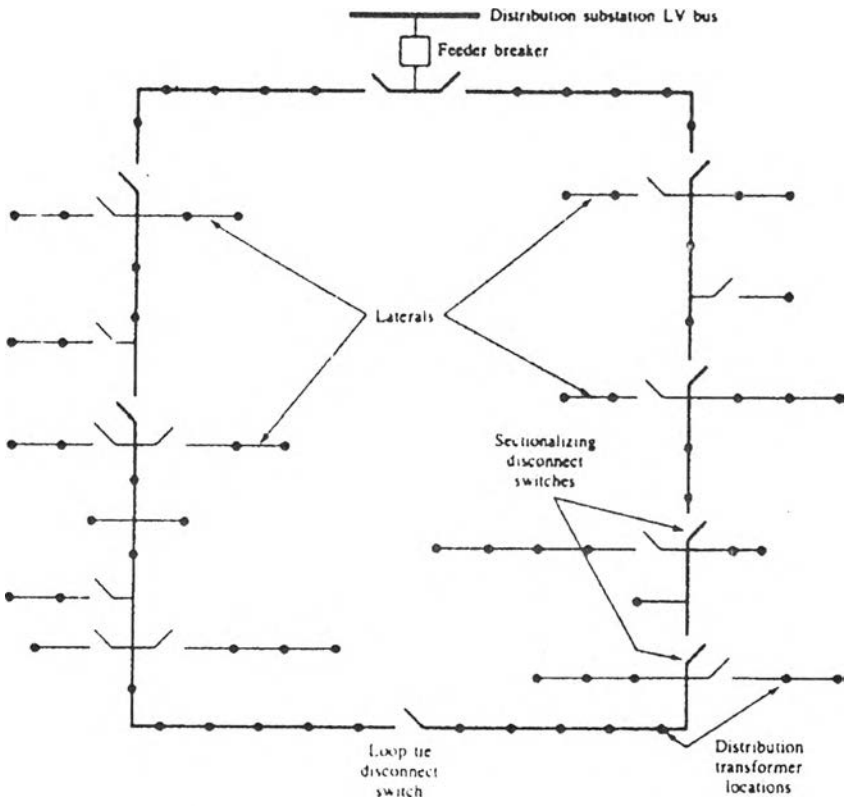
จากรูปที่ 2.4 เป็นสายป้อนหลักแบบเรเดียลที่มี Express Feeder และ Backfeed โดย Express Feeder เป็นสายป้อนที่ต่อออกจากบัสด้านแรงดันต่ำของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยไปยังจุดศูนย์กลางโหลดโดยตรง และ Express Feeder นี้ จะไม่มีการต่อแยกเป็นสายป้อนย่อย หรือสายแยกอื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตามจะมีการต่อสายป้อนย่อย แยกออกจากจุดศูนย์กลางโหลดไปในทิศทางต่าง ๆ โดยมีส่วนหนึ่งเดินสายย้อนกลับมายังสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย (Backfeed)



รูปที่ 2.5 แสดง Radial-Type Primary Feeder ที่มีการแยกเฟสจ่ายโหลด

สำหรับรูปที่ 2.5 จะเป็นสายป้อนหลักแบบเรเดียลที่ทำการแยกเฟสเพื่อจ่ายโหลด โดยมีจุดมุ่งหมายให้โหลดสมดุลที่สุด แต่ในประเทศไทยจะพบสองแบบแรกเป็นส่วนใหญ่

ในกรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องการความเชื่อถือได้สูง ระบบจำหน่ายไฟฟ้าอาจถูกออกแบบให้สายป้อนหลักต่อเชื่อมกันเป็นลูป (Loop) ดังรูปที่ 2.6



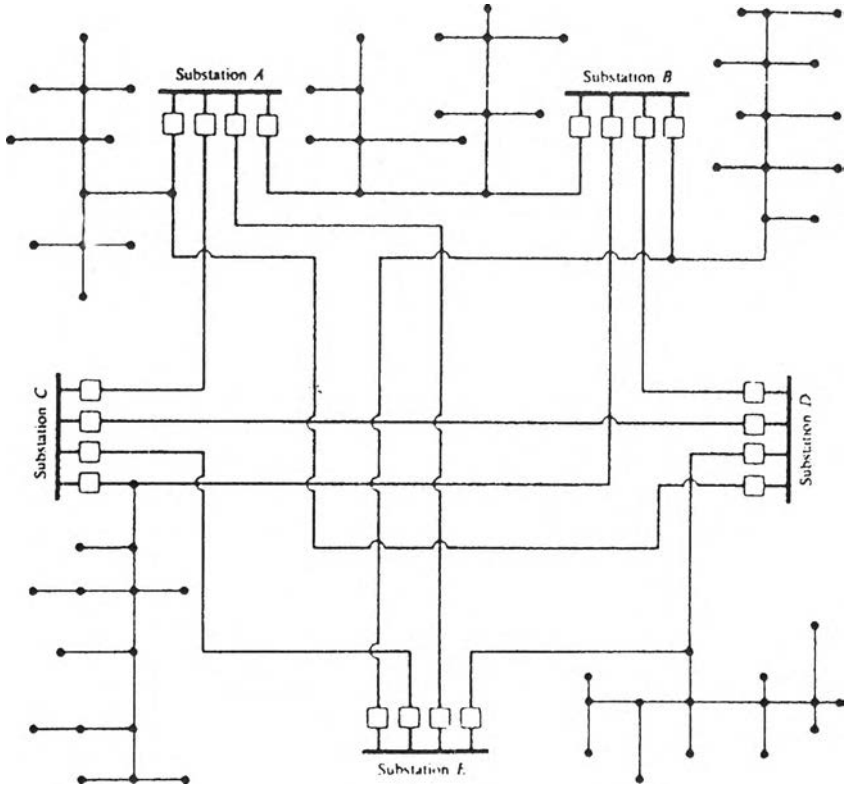
รูปที่ 2.6 แสดง Loop-Type Primary Feeder

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่า สายป้อนหลักถูกต่อเชื่อมจากบัสต้นทาง โดยเดินสายผ่านบริเวณของผู้ใช้ไฟฟ้า และสุดท้ายเดินสายย้อนกลับมาที่บัสอีกครั้งหนึ่ง สายป้อนหลักแบบรูปนี้จะมีสวิตช์ตัดตอนติดตั้งอยู่ตามสาย โดยสวิตช์นี้อาจเป็น Disconnecting Switch หรือ Circuit Breaker ขึ้นอยู่กับสภาวะของโหลด บางสวิตช์อาจเปิดวงจร บางสวิตช์อาจปิดวงจร ขึ้นอยู่กับลักษณะของวงจรไฟฟ้าที่ทำการจ่ายไฟอยู่ในขณะนั้น ที่สำคัญจะมีสวิตช์ต่อเชื่อม (Loop-Tie Disconnecting Switch or Loop-Tie Circuit Breaker) อยู่ระหว่าง 2 ฟากของลูป โดยปกติสายป้อนแบบนี้ จะใช้ตัวนำขนาดเท่ากันตลอดทั้งลูป โดยต้องคิดความจุเพื่อให้จ่ายไฟฟ้าพอตลอดทั้งลูป นั่นคือระบบนี้จะมีลักษณะเป็นสายป้อน 2 ชุด ต่อขนานกันจากต้นทาง โดยมีสวิตช์ต่อเชื่อมเปิดวงจรไว้ ณ ปลายสาย

เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้น ณ ส่วนใดส่วนหนึ่งของสายป้อนเซอร์กิตเบรกเกอร์ต้นทาง จะทำการเปิดวงจร และจะเปิดวงจรอยู่เช่นนั้น จนกว่าความผิดพร่องจะถูกแยกออกจากระบบทั้ง 2 ทิศทาง

เมื่อความผิดพร่องถูกแยกออกไป เซอร์กิตเบรกเกอร์ จะทำการปิดวงจรอีกครั้ง และโหลดด้านปลายสายจะได้รับไฟผ่านสวิตช์ต่อเชื่อม ซึ่งจะทำการปิดวงจร หากเป็นไปได้สายป้อนทั้ง 2 ชุดนี้ ควรแยกจากกันโดยมีเซอร์กิตเบรกเกอร์, บัส, หม้อแปลงของตนเอง เพื่อความเชื่อถือได้ที่สูงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นกับความคุ้มค่าในการลงทุนด้วย

นอกจากนี้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าบางระบบ อาจต่อเชื่อมกันเป็นโครงข่าย (Network) ทำให้เกิดความเชื่อถือได้สูงสุด ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ต่อแบบ Primary Network

จากรูปจะเห็นได้ว่า สายป้อนจะถูกต่อเชื่อมโยงกันระหว่างสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยต่าง ๆ และสายป้อนหลักซึ่งต่อแบบเรเดียลจะต่อแยกจากสายป้อนที่เชื่อมโยงกันนี้อีกต่อหนึ่ง โดยสายป้อนเหล่านี้จะมีเซอร์กิตเบรคเกอร์ต่ออยู่ด้านหัวท้ายของสายเพื่อให้เกิดผลกระทบกับโหลดน้อยที่สุด เมื่อเกิดความผิดพร่องบนสายป้อน

ระบบโครงข่ายนี้จะทำการจ่ายพลังงานไฟฟ้าแก่โหลดจากหลายทิศทาง ข้อดีของระบบโครงข่ายนี้คือ พลังงานสูญเสียในระบบต่ำกว่าแบบเรเดียล และมีความเชื่อถือได้สูงกว่าแบบเรเดียลมาก ขณะเดียวกันก็มีข้อเสีย คือ ยากต่อการออกแบบ ควบคุมและมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการต่อสายวงจรแบบเรเดียลหรือแบบลูป

เนื่องจากขอบเขตของวิทยานิพนธ์ เน้นการพิจารณาการกู้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีลักษณะแบบเรเดียล และมีสวิตช์ต่อเชื่อมติดตั้งอยู่ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของสายป้อนหลัก ดังนั้นจึงจะพิจารณาเฉพาะกรณีของสายป้อนหลักแบบเรเดียล เท่านั้น