

บทที่ 2

กำลังไฟฟ้าสูญเสีย

2.1 บทนำ [1-3]

ในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าไม่ว่าจะส่งผ่านระบบที่มีการออกแบบมาดีขนาดไหนก็ตาม ก็ไม่ทำให้สามารถส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไปยังจุดโหลดได้ 100 % เต็ม จะต้องมีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าเกิดขึ้นเสมอในส่วนต่างๆ ของระบบ

การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายซึ่งเป็นผู้มีหน้าที่จำหน่ายพลังงานให้แก่ผู้ใช้ไฟจะใช้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียเป็นเกณฑ์ชี้วัดตัวหนึ่งในการวัดประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วพลังงานไฟฟ้าสูญเสียนี้จะแสดงค่าในรูปแบบของร้อยละของพลังงานไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจากแหล่งกำเนิด เช่น ถ้าระบบว่ามีพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย 10 % เกิดขึ้นในระบบ แสดงว่าจะมีพลังงานไฟฟ้าเพียง 90 % เท่านั้นที่ถูกส่งไปถึงผู้ใช้งาน แสดงว่าการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะได้รายได้จากการจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าเพียงแค่ 90 % แต่การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะต้องจ่ายเงิน 100 % เสมอ ดังนั้น 10 % ที่สูญเสียไปจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียนี้จะถือว่าเป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินการอีกตัวหนึ่งของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย ซึ่งเมื่อมองในรูปของเงินแล้วการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายจะต้องสูญเสียเงินไปปีละหลายพันล้านบาท

ในปี 2547 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคซึ่งเป็นการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายได้ระบุในรายงานประจำปีว่าในปีดังกล่าวการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีพลังงานไฟฟ้าสูญเสียเกิดขึ้นระบบเป็นจำนวน 4.96 % ซึ่งในปีนั้นการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้รับซื้อไฟมารวมกับที่ผลิตเองได้เป็นจำนวน 77,962.4 ล้านหน่วย ดังนั้นในปีดังกล่าวการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะมีพลังงานไฟฟ้าสูญเสียประมาณ 3,866.935 ล้านหน่วยทำให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสูญเสียรายได้ในส่วนนี้ไปเป็นจำนวน 9,899.35 ล้านบาท (เมื่อราคาขายไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วยเท่ากับ 2.56 บาท) [4] จะเห็นได้เงินที่ต้องสูญเสียไปในแต่ละปีอันเนื่องมาจากพลังงานไฟฟ้าสูญเสียจะเป็นจำนวนเงินมหาศาล ดังนั้นจึงถือได้ว่าปัญหาเรื่องพลังงานไฟฟ้าสูญเสียเป็นปัญหาที่สำคัญมากสำหรับการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ให้คำจำกัดความสำหรับพลังงานไฟฟ้าสูญเสียว่าเป็นดัชนีที่บ่งชี้ประสิทธิภาพในการวางแผน และ พัฒนาระบบไฟฟ้า โดยเป็นการวัดอัตราการสูญเสียของพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่เกิดจากระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และให้เหตุผลที่ต้องกำหนดให้ พลังงานไฟฟ้าสูญเสียเป็นตัวชี้วัด การดำเนินงานดังนี้

- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคต้องสูญเสียเงินไปโดยเปล่าประโยชน์เป็นจำนวนเงินปีละหลายพันล้านบาทจากพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย

- ควบคุมการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคให้ตระหนักถึงความสำคัญของค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย และมีมาตรการกำกับดูแลลดค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย อันจะนำไปสู่การมีระบบไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ ทางกายภาพที่สูงขึ้นและส่งผลต่อการดำเนินงานในระยะยาวที่ยั่งยืนต่อไป

2.2 เกณฑ์พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย [3]

พลังงานไฟฟ้าสูญเสียเป็นค่าเกณฑ์วัดตัวหนึ่งที่ใช้เพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ดังนั้นกระทรวงการคลังซึ่งเป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่กำกับดูแลการดำเนินงาน ของรัฐวิสาหกิจจึงได้กำหนดค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียดังกล่าวผ่าน Thailand Rating and Information Service (TRIS) มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 โดยในปีแรกนั้นการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้รายงานค่าพลังงาน ไฟฟ้าสูญเสียไว้ที่ 5.79% จากนั้นก็ได้มีการปรับปรุงค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียโดยอ้างอิงจากค่า ดังกล่าวเป็นประจำทุกปีดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์และผลการประเมินพลังงานไฟฟ้าสูญเสียของ กฟภ.

ปี พ.ศ.	เกณฑ์ระดับปกติของ TRIS	ผลที่ กฟภ. รายงาน สนผ.
2544	5.79	5.78
2545	5.78	5.77
2546	5.77	5.50
2547	5.50	4.96
2548	4.96	-

พลังงานไฟฟ้าสูญเสียตามตารางที่ 2.1 ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้รายงานต่อสำนักงาน คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (สนพ.) นั้น จะคำนวณโดยการนำเอาหน่วยพลังงาน ไฟฟ้าที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาครับซื้อมาจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตรวมกับหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่การ ไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสามารถผลิตได้เองหักออกด้วยหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคขาย ให้แก่ผู้ใช้ไฟและหน่วยพลังงานไฟฟ้าสาธารณะ ซึ่งการคิดในลักษณะนี้จะทำให้เกิดความ คลาดเคลื่อนขึ้น และพลังงานไฟฟ้าที่คิดมาได้ก็จะประกอบด้วยพลังงานสูญเสียทางด้านเทคนิค และพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่ไม่ใช่ทางเทคนิค

2.3 ประเภทของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย [1-3]

เนื่องจากระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคส่วนใหญ่เป็นระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมุ่งเน้นถึงกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า

ส่วนภูมิภาคเท่านั้น ซึ่งตามปกติแล้วกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ

1) กำลังไฟฟ้าสูญเสียทางเทคนิค (Technical losses) เป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เป็นผลเกี่ยวเนื่องกับความร้อนที่เกิดในขดลวด หรือสายตัวนำ หรือส่วนที่เกิดจากการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ทั้งนี้รวมถึงกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากการต่อเชื่อมอุปกรณ์ ฉนวนไฟฟ้า การเกิดโคโรน่าหรือการปล่อยประจุบางส่วน (Partial discharge) ในระบบไฟฟ้าด้วย

2) กำลังสูญเสียที่ไม่ใช่ทางเทคนิค (Non - technical losses) เป็นกำลังสูญเสียที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าที่ไม่ถูกต้อง ความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์วัดปริมาณไฟฟ้า หรือติดตั้งมิเตอร์วัดไฟฟ้าไม่ครบถ้วน ตลอดจนการจดหน่วยการใช้ไฟฟ้าและการเรียกเก็บเงินลูกค้าได้ไม่ครบถ้วน และการลักลอบใช้ไฟฟ้า เป็นต้น

ในการวางแผนเพื่อลดค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียจะต้องดำเนินการควบคู่กันไปทั้ง 2 แบบ คือต้องพยายามลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ไม่ใช่ทางเทคนิคโดยการควบคุมไม่ให้มีความผิดพลาดจากอุปกรณ์วัดปริมาณไฟฟ้า และต้องพยายามไม่ให้เกิดการลักลอบใช้ไฟ ส่วนการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียทางเทคนิคจะต้องมีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับระบบ

2.4 กำลังไฟฟ้าสูญเสียทางด้านเทคนิคในระบบจำหน่าย [1-3]

กำลังไฟฟ้าสูญเสียทางเทคนิคเป็นกำลังไฟฟ้าที่เกิดมาจากประเภท ขนาด และการจัดวางของส่วนประกอบของระบบไฟฟ้า (Network Topology, τ) ขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้า (V) และปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่จุดต่างๆ (D) ซึ่งจะสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าสูญเสีย กับพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ดังนี้

$$P_{\text{losses}} = f(V, D, \tau) \quad (2.1)$$

เมื่อ P_{losses} คือกำลังไฟฟ้าสูญเสียทางด้านเทคนิค (W)

เมื่อสามารถหาค่ากำลังงานไฟฟ้าสูญเสียจากสมการที่ 2.1 ได้แล้วก็จะสามารถทำการคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในช่วงเวลาที่เรากำลังต้องการได้ตามสมการที่ 2.2

$$E_{\text{losses}} = \int_{T_0}^T P_{\text{losses}}(t) dt \quad (2.2)$$

เมื่อ E_{losses} คือพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย (Wh)

$P_{\text{losses}}(t)$ คือกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (W)

T_0 คือเวลาที่เริ่มทำการศึกษา

T คือเวลาที่สิ้นสุดการศึกษา

ซึ่งโดยทั่วไปแล้วกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าจะแยกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) Fix Losses เป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของโหลด กำลังไฟฟ้าสูญเสียแบบนี้จะไม่เป็นไปตามสมการ I^2R โดยชนิดของกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่สำคัญแบบนี้คือ กำลังไฟฟ้าในแกนเหล็ก (core losses) ของหม้อแปลงระบบจำหน่าย

2) Variable Losses เป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลไปในส่วนที่มีความต้านทานทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในรูปของพลังงานความร้อน ซึ่งเป็นไปตามสมการ I^2R ซึ่งพลังงานสูญเสียแบบนี้จะเกิดที่ทุกส่วนของระบบ

และเมื่อเราพิจารณาถึงกำลังไฟฟ้าสูญเสียทางเทคนิคในระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้น ก็จะสามารถแยกประเภทของกำลังไฟฟ้ามาจากส่วนประกอบต่าง ๆ ซึ่งแบ่งได้เป็น 4 ส่วนสำคัญ ได้แก่

- 1) กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายป้อน
- 2) กำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงจำหน่ายไฟฟ้า
- 3) กำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากจุดต่อของอุปกรณ์
- 4) กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายแรงต่ำ

ในการวางแผนเพื่อลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายนั้น สิ่งจำเป็นสิ่งแรกที่จะต้องทำคือ การคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนประกอบของระบบจำหน่าย เราจะต้องทราบว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียทางด้านเทคนิคที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนมีค่ามากน้อยเพียงใด เพื่อที่จะได้วางแผนลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียให้ถูกต้องกับปัญหาที่เกิดขึ้น โดยวิธีการประเมินหาค่ากำลังสูญเสียนี้สามารถทำได้หลายวิธี โดยวิธีที่เป็นที่นิยมจะถูกแสดงในหัวข้อถัดไป

จากรายงานโครงการ “วิจัยเพื่อลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้า” [3] ได้ระบุว่า กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคนั้น ส่วนใหญ่เกิดมาจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายป้อนและหม้อแปลงระบบจำหน่ายเป็นส่วนใหญ่ โดยกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดในส่วนอื่นจะเกิดขึ้นน้อยมากเมื่อเทียบกับ 2 ส่วนนี้ ดังนั้นการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายแรงสูงนั้นจึงเน้นที่ทั้ง 2 ส่วนนี้ด้วย

2.5 ปัจจัยที่ผลกระทบต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายป้อน

จากสมการที่ 2.1 จะให้ได้ว่าแรงดันไฟฟ้า ขนาดของโหลด และการจัดวางระบบไฟฟ้า เป็นปัจจัยที่ผลกระทบโดยตรงกับกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงปัจจัยชนิดอื่นที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

2.5.1 การกระจายตัวของโหลดตามความยาวของสายป้อน

สายป้อนที่โหลดส่วนใหญ่อยู่ทางด้านต้นสายของสายป้อน มักจะมีสัดส่วนของกำลังไฟฟ้าสูญเสียน้อยกว่าสายป้อนที่โหลดส่วนใหญ่อยู่ทางด้านปลายสาย เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลไปสู่โหลดที่อยู่ต้นสายจะผ่านความต้านทานน้อยกว่ากระแสที่ไหลไปสู่โหลดที่อยู่ปลายสายป้อน ดังนั้นการกระจายของโหลดตามความยาวของสายป้อนจึงมีผลกระทบต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

ดังนั้นสายป้อนที่มีผู้ใช้ไฟแบบบ้านอยู่อาศัย, กิจการขนาดเล็ก, ส่วนราชการ, ศูนย์ฯ, ไฟชั่วคราว และไฟฟรี เป็นกลุ่มที่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียสูง เนื่องจากอยู่ในบริเวณห่างไกล และกระจายอยู่ทั่วประเทศ ทั้งเขตเมืองและชนบท ซึ่งส่วนใหญ่รับไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายแรงต่ำ และอยู่ไกลจากสถานีจ่ายไฟ ดังนั้นเมื่อผู้ใช้ไฟกลุ่มนี้มีการใช้ไฟเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียสูงขึ้นด้วย

ส่วนผู้ใช้ไฟที่เป็นแบบกิจการขนาดกลาง, กิจการขนาดใหญ่, กิจการเฉพาะอย่างและไฟสำรอง เป็นกลุ่มที่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียค่อนข้างต่ำ เนื่องจากอยู่ในย่านอุตสาหกรรม ใช้ไฟระบบแรงสูง และส่วนใหญ่อยู่ใกล้แหล่งจ่ายคือสถานีไฟฟ้า

2.5.2 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

โดยปกติแล้วระบบไฟฟ้าที่ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงจะมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำกว่า ระบบที่มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำเมื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าในปริมาณที่เท่ากัน เพราะระบบที่ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำจะต้องการกระแสไฟฟ้าในปริมาณที่สูงกว่า ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ซึ่งอยู่ในรูป I^2R มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

2.5.3 ความไม่สมดุลระหว่างเฟสในสายป้อน

โหลดที่ไม่สมดุลจะดึงกระแสไฟฟ้าผ่านสายป้อนในแต่ละเฟสแตกต่างกัน ซึ่งโดยทั่วไปหม้อแปลงที่จ่ายโหลดรวมทั้งสามเฟสเท่ากัน หากมีความไม่สมดุลระหว่างเฟสมากกว่าก็มักจะทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายป้อนมีค่าสูงกว่า

2.6 การประเมินค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย

การประเมินค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจะเป็นประโยชน์ในการวางแผนและปฏิบัติการจ่ายไฟฟ้า โดยในการประเมินค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียนั้น หากเราสามารถประเมินและแยกแยะกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นตามประเภทอุปกรณ์ออกมาได้อย่างชัดเจนก็จะทำให้ทราบได้ว่า กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบนั้นมีสาเหตุมาจากส่วนใดมากน้อยเพียงใด อันจะทำให้เราสามารถกำหนดแนวทางการลดกำลังสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ได้มีผู้ทำการศึกษาวิจัยและนำเสนอวิธีการประเมินพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไว้หลายวิธี [5-11] แต่ละวิธีก็มีความยากง่ายแตกต่างกัน และยิ่งถ้าต้องการความถูกต้องมากเท่าไร ข้อมูลที่จะต้องนำมาใช้คำนวณก็จะมีค่ามาก

ขึ้นด้วย และวิธีการก็จะมีมากขึ้นเรื่อยๆ ในหัวข้อนี้จะได้นำเสนอวิธีการประเมินค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เป็นที่นิยม 3 วิธีได้แก่

2.6.1 การประเมินจากผลต่างของหน่วยไฟฟ้าที่ซื้อและขาย [2]

วิธีการประเมินค่ากำลังหรือพลังงานไฟฟ้าสูญเสียเช่นนี้ เป็นวิธีการที่ กฟภ. ใช้อยู่ในปัจจุบัน คือ ใช้ตัวเลขจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ซื้อจาก กฟผ. รวมกับจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตเองและหักออกด้วยจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ขายให้แก่ลูกค้า รวมทั้งหักเพิ่มด้วยจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ไฟฟ้าสาธารณะ ซึ่งถือเป็นหน่วยไฟฟ้าฟรี ดังสรุปได้เป็นสมการ 2.3

$$\text{หน่วยสูญเสียในระบบ} = \text{หน่วยซื้อ} + \text{หน่วยผลิตเอง} - \text{หน่วยจำหน่าย} - \text{ไฟฟ้าฟรี} \quad (2.3)$$

วิธีการนี้เป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็ว และใช้ข้อมูลไม่มากในการคำนวณ แต่มีข้อเสียตรงที่เกิดความผิดพลาดได้ง่าย เนื่องจากรอบการจดหน่วยที่แตกต่างกัน และไม่สามารถแยกปริมาณ กำลังไฟฟ้าสูญเสียทางด้านเทคนิค และกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ไม่ใช่เทคนิคได้ และไม่สามารถแยกแยะได้ว่ากำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นมาจากส่วนประกอบใด (สายแรงสูง หม้อแปลง สายแรงต่ำ) และมีค่าเป็นปริมาณมากน้อยเพียงใด ดังนั้นหากต้องการคำตอบที่มีความถูกต้องมากขึ้นก็ต้องใช้วิธีการอื่นๆ แทน

2.6.2 การประเมินกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Losses Factor) และตัวประกอบโหลด (Load Factor)

โดยทั่วไปการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียทุกช่วงเวลาตามความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลานั้นทำได้ยาก ต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก และต้องใช้เวลาในการคำนวณสูง อีกทั้งการพยากรณ์ค่าโหลดรายชั่วโมงล่วงหน้าเป็นระยะเวลานานๆ ก็มีความไม่แน่นอนสูง ดังนั้นจึงมีการประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียตลอดช่วงเวลาที่เราต้องการผ่านค่าตัวประกอบโหลด (Load Factor)

โดยความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากับตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูญเสียจะเป็นไปตามสมการที่ 2.4 [1]

$$LSF = A(LF) + B(LF)^2 \quad (2.4)$$

เมื่อ LSF คือค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

LF คือค่าตัวประกอบโหลด

A คือค่าคงที่และมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

B คือค่าคงที่ และ $B = 1-A$

$$\text{โดย } LF = \frac{P_{\text{load,av}}}{P_{\text{load,max}}} \quad (2.5)$$

$$\text{และ } LSF = \frac{P_{\text{losses,av}}}{P_{\text{Losses,max}}} \quad (2.6)$$

เมื่อ $P_{\text{losses,av}}$ คือกำลังไฟฟ้าสูญเสียเฉลี่ย (W)

$P_{\text{losses,max}}$ คือกำลังไฟฟ้าสูญเสียสูงสุด (W)

$P_{\text{load,av}}$ คือกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (W)

$P_{\text{load,max}}$ คือกำลังไฟฟ้าสูงสุด (W)

จากการศึกษาของ Buller และ Woodrow [13] จะพบว่าโดยทั่วไปแล้วในระบบจำหน่ายจะมีค่าคงที่ A และ B ในสมการที่ 2.4 เท่ากับ 0.3 และ 0.7 ตามลำดับ ดังนั้นจะได้สมการที่ใช้งานทั่วไปสำหรับระบบจำหน่ายคือ

$$LSF = 0.3(LF) + 0.7(LF)^2 \quad (2.7)$$

จากสมการที่ 2.4 – 2.7 ทำให้เราสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียเฉลี่ยได้ ดังนั้นเราก็จะสามารถหาค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในช่วงเวลาหนึ่งได้จากสมการที่ 2.8

$$E_{\text{losses}} = P_{\text{losses,av}} \times T \quad (2.8)$$

เมื่อ E_{losses} คือพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย (kWh)

T คือเวลาที่กำลังศึกษา

แต่วิธีการดังกล่าวเป็นการประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียอย่างคร่าวๆ เท่านั้น ซึ่งค่าที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง และค่าคงที่ A และ B ก็จะมีค่าเฉพาะตัวสำหรับแต่ละระบบ ดังนั้นหากต้องการทราบค่าที่มีความเหมาะสมสำหรับระบบใดระบบหนึ่งแล้วก็ต้องมีการเก็บรวบรวมค่าเพื่อหาค่าคงที่ดังกล่าวอีกครั้งหนึ่ง

2.6.3 การประเมินจากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (Load Flow) [14-17]

การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าหรือการวิเคราะห์โหลดโพล์เป็นการศึกษาค่าต่างๆ ของระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะคงตัว (Steady state) ซึ่งมีความสำคัญมากในการวางแผนก่อสร้างและขยายระบบไฟฟ้ากำลัง และยังเป็นประโยชน์ในการศึกษาการทำงานของระบบที่ดีที่สุดในสถานะต่างๆ ของระบบ โดยการจำลองการทำงานของระบบและให้ระบบดำเนินการผลิตและจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่โหลดที่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์โหลดโพล์คือขนาดและมุม

ของแรงดันในแต่ละบัส ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลอยู่ในแต่ละสายของระบบ และค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละส่วนของระบบ

โดยทั่วไปแล้วระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะมีลักษณะที่แตกต่างจากระบบส่งของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตดังนี้

- มีลักษณะเป็นเรเดียลเป็นส่วนใหญ่
- อัตราส่วนระหว่างค่า R/X ของสายป้อนสูง
- มีค่าความไม่สมดุลของโหลดในแต่ละเฟสสูงกว่าระบบส่ง

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นการวิเคราะห์โหลดโวลท์ทำให้เราสามารถทราบค่าต่างที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียก็เป็นค่าหนึ่งที่สำคัญที่สามารถหาได้โดยการวิเคราะห์โหลดโวลท์ โดยรายละเอียดในการการวิเคราะห์โหลดโวลท์สามเฟสจะได้นำเสนอโดยแบ่งเป็นหัวข้อดังนี้

2.6.3.1 ชนิดของบัส

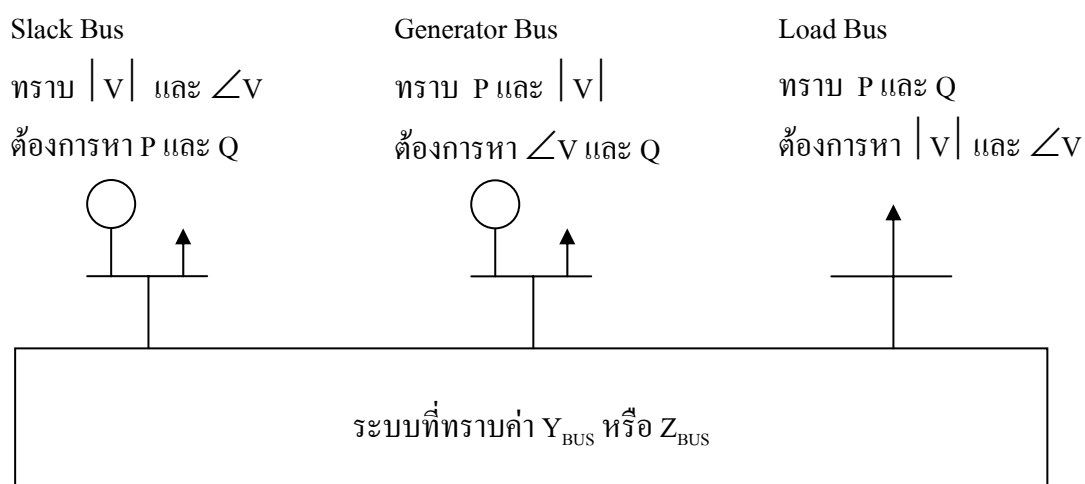
ชนิดของบัสในระบบไฟฟ้าเพื่อวิเคราะห์โหลดโวลท์แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท โดยบัสแต่ละประเภทมีรายละเอียดดังนี้

1) แสลคบัส (Slack Bus) บางครั้งเรียกว่าสวิงบัส (Swing Bus) หรือบัสอนันต์ (Infinite Bus) หรือบัสอ้างอิง (Reference Bus) บัสชนิดนี้มีขนาดแรงดันคงที่ มุมคงที่และโดยทั่วไปกำหนดให้บัสนี้เป็นมุมศูนย์โดยจะใช้บัสนี้เป็นบัสอ้างอิง บัสนี้จะถือว่าเป็นแหล่งกำเนิดขนาดใหญ่ที่สามารถให้กำลังไฟฟ้าออกมาตามต้องการได้โดยขนาดแรงดัน ($|V|$) และความถี่ไม่เปลี่ยนแปลง พารามิเตอร์ที่กำหนดค่าคงที่สำหรับบัสนี้คือขนาดของแรงดันและมุมของแรงดันไฟฟ้า ($\angle V$) ส่วน P และ Q จะหาได้จากการศึกษาโหลดโวลท์

2) บัสเครื่องกำเนิด (Generator Bus) บัสชนิดนี้จะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่ หรือเป็นบัสที่มีทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลดต่ออยู่ ขนาดแรงดันไฟฟ้าบัสมีค่าคงที่ และกำลังไฟฟ้าจริงมีค่าคงที่ นอกจากนี้บางครั้งกำหนดบัสชนิดนี้ให้มีกำลังไฟฟ้าจริง (P) และกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Q) คงที่ ในกรณีนี้เราเรียกว่า PQ Bus ถ้าบัสเป็นชนิด PV Bus พารามิเตอร์ที่ต้องการหาค่าจากการวิเคราะห์โหลดโวลท์คือ Q และมุมของแรงดัน แต่ถ้าบัสเป็น PQ Bus พารามิเตอร์ที่ต้องการหาจากการวิเคราะห์โหลดโวลท์คือ ขนาดของแรงดัน และมุมของแรงดัน

3) บัสโหลด (Load Bus) เป็นบัสที่มีโหลดต่ออยู่ซึ่งทราบค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ หรือบางครั้งก็เรียกว่า PQ Bus ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการหาหาคือขนาดของแรงดัน และมุมของแรงดัน

รูปที่ 2.1 เป็นระบบไฟฟ้าใดๆ ที่มีบัสต่างๆ ของระบบต่ออยู่ และแต่ละบัสจะมีค่าพารามิเตอร์ 4 ค่า คือ P, Q, $|V|$ และ $\angle V$



รูปที่ 2.1 ระบบไฟฟ้ากำลังที่มีบัสทั้ง 3 ประเภทต่ออยู่

2.6.3.2 สมการโหนดโวลต์

สมการที่ใช้ในการแก้ปัญหาโหนดโวลต์ของระบบไฟฟ้าที่สำคัญที่ใช้มี 2 สมการ คือ สมการหาแรงดันไฟฟ้า และสมการหากำลังไฟฟ้า

สมการไฟฟ้ากำลังไฟฟ้าที่เข้าบัส k ใดๆ ในระบบไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับแรงดันและกระแส ตามสมการที่ (2.9)

$$S_k = V_k I_k^* \quad (2.9)$$

เมื่อ S_k คือกำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้าบัส k

V_k คือแรงดันที่บัส k

I_k คือกระแสที่ไหลเข้าบัส k

สมการแรงดันที่ไฟฟ้าที่บัส k ใดๆ สามารถหาได้โดยพิจารณาจากสมการที่ 2.9

$$S_k = P_k + jQ_k = V_k I_k^* \quad (2.10)$$

$$S_k^* = P_k - jQ_k = V_k^* I_k \quad (2.11)$$

$$I_k = \frac{P_k - jQ_k}{V_k^*} \quad (2.12)$$

และจากสมการเมตริกซ์

$$[I_{BUS}] = [Y_{BUS}][V_{BUS}] \quad (2.13)$$

สามารถเขียนสมการกระแสไฟฟ้าบัส k ใดๆ ตามสมการที่ 2.14

$$\begin{aligned} I_k &= Y_{k1} V_1 + Y_{k2} V_2 + \dots + Y_{kn} V_n \\ I_k &= \sum_{i=1}^n Y_{ki} V_i \end{aligned} \quad (2.14)$$

แทนค่า I_k ในสมการที่ 2.12 ทำให้สมการแรงดันที่บัส k ได้เท่ากับ

$$V_k = \frac{1}{Y_{kk}} \left[\frac{P_k - jQ_k}{V_k^*} - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n Y_{ki} V_i \right] \quad (2.15)$$

สมการที่ 2.9 สามารถทำให้อยู่ในเทอมของแรงดันบัสและแอดมิตแตนซ์ของระบบได้โดยแทนค่า I_k ในสมการ 2.14 ลงในสมการที่ 2.9 จะได้

$$S_k^* = P_k - jQ_k = V_k^* \sum_{i=1}^n Y_{ki} V_i \quad (2.16)$$

เนื่องจากสมการในการวิเคราะห์โหลดฟลั่วนั้นจะเป็นสมการที่ไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นในการแก้สมการเพื่อหาค่าต่างๆ นั้นจะต้องใช้วิธีการแก้สมการที่ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งมีหลายวิธีแต่วิธีที่เป็นที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหาโหลดฟล่าวในระบบไฟฟ้าได้แก่วิธีของเกาส์ (Gauss Method), วิธีของเกาส์-ไซเดล (Gauss-Seidel Method) และวิธีนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson) โดยวิธีนิวตัน-ราฟสันเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดโดยมีหลักการคือใช้วิธีการทำซ้ำ (Iterative Method) โดยเริ่มจากการสมมติค่าของคำตอบในครั้งแรกก่อน แล้วจึงคำนวณหาค่าผิดพลาด (Mismatch) เพื่อนำไปปรับเปลี่ยนค่าของคำตอบในรอบถัดไป ซึ่งเมื่อทำการแก้ปัญหาค่าโหลดของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน จะสามารถเขียนสมการโดยเทียบกับตัวแปรที่เราสนใจได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i^p \\ \Delta Q_i^p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta_i^p \\ \Delta V_i^p \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

โดยที่

$$\begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_3 \end{bmatrix} = \text{Jacobian Matrix}$$

$$\Delta P_i^p = \text{Real Power Mismatch}$$

$$\Delta Q_i^p = \text{Reactive Power Mismatch}$$

จากสมการเมื่อทราบจาโคเบียนเมตริกซ์และ Power Mismatch เราก็สามารถทำการคำนวณหาขนาดและมุมของแรงดันเพื่อนำไปคำนวณหาผลตอบแทนใหม่ ดังนี้

$$\theta^{(k+1)} = \theta^{(k)} + \Delta\theta^{(k)} \quad (2.18)$$

$$V^{(k+1)} = V^{(k)} + \Delta V^{(k)} \quad (2.19)$$

เมื่อได้ค่า θ และ V ใหม่ นำค่าดังกล่าวไปคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ทำการคำนวณซ้ำต่อไปจนกระทั่งค่ากำลังไฟฟ้าผิดพลาดที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงที่เราสามารถยอมรับได้จะอยู่ที่ประมาณ $10^{-4} - 10^{-6}$

แต่การแก้ปัญหาโดยใช้วิธีทั้งสามด้วยการคำนวณมือจะเป็นเรื่องที่ยุ่งยากมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าระบบไฟฟ้ามีบัสเป็นจำนวนมากการคำนวณโดยใช้มือก็จะเป็นไปไม่ได้เลย ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นมาใช้ในการปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าแทนการคำนวณด้วยมือ โดยการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแรงสูงจำเป็นต้องมีการกำหนดข้อมูลโหลดที่ทุกจุดโหลด ซึ่งตำแหน่งของจุดโหลดของระบบจำหน่ายแรงสูงจะเป็นตำแหน่งเดียวกับหม้อแปลง แต่ในทางปฏิบัติเราจะไม่ทราบขนาดของโหลดที่แท้จริงในแต่ละจุดได้เนื่องจากไม่มีการวัดค่าไว้ ซึ่งเราจะทราบเฉพาะข้อมูลโหลดที่สถานีไฟฟ้าต้นทางเท่านั้น ดังนั้นโดยทั่วไปในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าจะใช้วิธีการประมาณโหลดในแต่ละจุดโดยการกระจายกำลังไฟฟ้าที่ต้นทางไปให้แต่ละจุดโหลดตามขนาดของหม้อแปลง

หลังจากการวิเคราะห์โหลดโพล์จะทำให้เราทราบกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบได้จากส่วนประกอบหลักของระบบ โดยการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียสามารถคำนวณได้จากสมการพื้นฐานคือ

$$P_{\text{losses}} = I^2 R \quad (2.20)$$

2.6.3.3 ข้อมูลในการวิเคราะห์โหลดโพล์ [14]

ข้อมูลที่ป้อนเข้าและที่ได้ออกมาจากการศึกษาโหลดโพล์จะประกอบด้วย

- 1) ข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณ แบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือข้อมูลของระบบและข้อมูลแสดงสภาพการทำงานของระบบ
 - ข้อมูลของระบบ ข้อมูลนี้จะใช้เพื่อหาด้วย Y_{BUS} หรือ Z_{BUS} ของระบบข้อมูลเหล่านี้ได้แก่ไดอะแกรมเส้นเคเบิลของระบบ, อิมพีแดนซ์และแอดมิตแตนซ์ของสาย, ขนาดเครื่อง และอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงและเครื่องกำเนิด

- ข้อมูลแสดงสภาพการทำงานจากระบบ ข้อมูลเหล่านี้ได้แก่กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่เข้าไปในระบบสำหรับบัส PQ บัส, กำลังไฟฟ้าจริงที่เข้าไปในระบบและขนาดแรงดันไฟฟ้าสำหรับ PV บัส, ขนาดแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าของแอสลคบัส

2) ข้อมูลที่ต้องการจากการศึกษาโหลดไฟฟ้า

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาโหลดไฟฟ้ามีมากมายขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการศึกษาว่าต้องการคำนวณค่าอะไรบ้าง แต่ข้อมูลที่มีความสำคัญมากที่ได้จากการศึกษาโหลดไฟฟ้าได้แก่แรงดันไฟฟ้าบัส กระแส และกำลังไฟฟ้าในสายส่ง

2.6.4 พลังงานไฟฟ้าสูญเสียในส่วนต่างๆ ของระบบไฟฟ้า [3]

จากการสำรวจและวิจัยตามโครงการ “วิจัยเพื่อลดกำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้า” โดยศูนย์วิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ทำการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ได้ทำการวิจัยหาค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียโดยวิธีติดตั้งเครื่องวัดเพื่อตรวจวัดและเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้า และออกจากสายป้อนและเปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณโดยใช้โปรแกรมโหลดไฟฟ้า เพื่อประเมินพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในส่วนต่างๆ ของระบบไฟฟ้าของ กฟภ. เทียบกับหน่วยไฟฟ้าที่ซื้อจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต (กฟผ.) สรุปได้ว่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียทางด้านเทคนิคที่เกิดในระบบของ กฟภ. จะอยู่ที่ประมาณ 3.34% โดยแยกออกเป็นส่วนต่างๆ โดยแสดงได้ตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 พลังงานสูญเสียในส่วนต่างๆ ของระบบไฟฟ้าของ กฟภ.

ระบบ	พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย (%)
ระบบส่ง	1.24
หม้อแปลงกำลังในสถานีไฟฟ้า	0.26
ระบบจำหน่ายแรงสูง	1.62
ระบบจำหน่ายแรงต่ำ	0.22

ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาเฉพาะในส่วนจากระบบจำหน่ายแรงสูงนั้น จะพบว่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียดังกล่าวจะเกิดมาจาก 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ พลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดในสายป้อนและพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากหม้อแปลงระบบจำหน่าย ซึ่งจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1.4-1.8 % ของพลังงานที่ป้อนเข้าสู่สายป้อน และปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียดังกล่าวจะแยกเป็นพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดในหม้อแปลงระบบจำหน่ายอยู่ในช่วงประมาณ 0.9-1.4 % และเป็นส่วนที่เกิดในสายป้อนอยู่ในช่วงประมาณ 0.3-0.5%