

## บทที่ 3

### เทคนิคการถ่ายโอนโหลดสำหรับการไหลกำลังไฟฟ้า

#### 3.1 บทนำ

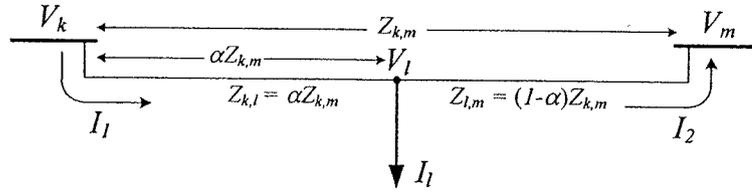
เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงเทคนิคการถ่ายโอนโหลดในระบบไฟฟ้า ประกอบด้วยแบบจำลองโหลด 3 ประเภท คือ แบบจำลองโหลดกระแสไฟฟ้า โหลดอิมพีแดนซ์ และโหลดกำลังไฟฟ้าเพื่อใช้ในการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าในสถานะคงตัว ลำดับต่อมาได้นำเสนอการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีเกาส์-ไซเดลและวิธีนิวตัน-ราฟส์ร่วมกับเทคนิคการถ่ายโอน โหลด เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคที่นำเสนอกับวิธีมาตรฐาน และกล่าวถึงเทคนิคการถ่ายโอนอุปกรณ์ชดเชยแบบขนานในสถานะคงตัว 3 ชนิด คือ ตัวเก็บประจุ SVC และ D-STATCOM

#### 3.2 เทคนิคการถ่ายโอนโหลด (load transfer technique)

ในปัจจุบันระบบไฟฟ้ากำลังมีความซับซ้อนสูง เนื่องจากการต่อเชื่อมโหลดและการติดตั้งอุปกรณ์ชดเชยกำลังไฟฟ้าในบางกรณีเป็นการเพิ่มบัสใหม่ให้ระบบ ทำให้สมการการไหลของกำลังไฟฟ้าและตัวแปรที่เกี่ยวข้องเพิ่มขึ้นตามจำนวนอุปกรณ์ที่ถูกติดตั้ง การคำนวณผลเฉลยของการไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีนี้มีความยุ่งยาก ทั้งต่อผู้ควบคุมระบบ และปัญหาเรื่องการลู่เข้า แบบจำลองโหลดที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าโดยทั่วไปมี 3 ชนิด คือ แบบจำลองโหลดกระแสไฟฟ้า อิมพีแดนซ์ และกำลังไฟฟ้า เทคนิคการถ่ายโอนโหลดมีหลักการดังนี้

##### 3.2.1 แบบจำลองโหลดกระแสไฟฟ้า (current load model)

พิจารณาระบบไฟฟ้ากำลังในรูปที่ 3.1 เป็นระบบไฟฟ้ากำลัง 3 บัส โดยที่ บัส  $l$  อยู่ระหว่างบัส  $k$  และบัส  $m$  ซึ่งเป็นบัสเสริมที่เกิดจากการต่อเชื่อมโหลดกระแสไฟฟ้าเข้าในระบบ การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในสถานะนี้จะมีตัวแปรเพิ่มเข้ามาอีกหลายตัวแปรและความยุ่งยากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าสามารถทำได้ง่ายขึ้นถ้าบัสเสริม  $l$  ในระบบถูกกำจัดออกไป ในหัวข้อนี้จะนำเสนอเทคนิคการถ่ายโอนโหลดที่บัสเสริมให้ไปอยู่ที่บัสข้างเคียงโดยมีหลักการดังนี้



รูปที่ 3.1 บัส  $l$  ที่มีโหลดกระแสไฟฟ้าต่อเชื่อมอยู่

จากรูปที่ 3.1 วิเคราะห์โดยใช้ KVL และ KCL จะได้ว่า

$$\text{Loop } I_1: V_k - V_l = Z_{k,l} I_1 \quad (3-1)$$

$$\text{Loop } I_2: V_l - V_m = Z_{l,m} I_2 \quad (3-2)$$

นำสมการที่ (3-1) บวกกับสมการที่ (3-2) จะได้

$$V_k - V_m = Z_{k,l} I_1 + Z_{l,m} I_2 \quad (3-3)$$

โดยที่  $I_1 = I_2 + I_l$  และ  $I_2 = I_1 - I_l$

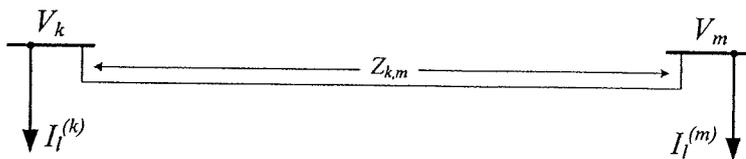
กำจัด  $I_2$  โดยการแทนค่า  $I_2 = I_1 - I_l$  ในสมการที่ (3-3) จะได้ว่า

$$I_1 = \left( \frac{Z_{l,m}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) I_l + \left( \frac{V_k - V_m}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) \quad (3-4)$$

กำจัด  $I_l$  โดยการแทนค่า  $I_l = I_2 + I_1$  ในสมการที่ (3-3) จะได้ว่า

$$I_2 = - \left( \frac{Z_{k,l}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) I_1 + \left( \frac{V_k - V_m}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) \quad (3-5)$$

แบบจำลองการย้ายโหลดกระแสไฟฟ้าที่บัสเสริม  $l$  ใด ๆ ในรูปที่ 3.1 ไปยังบัสข้างเคียง สามารถเขียนแทนได้ด้วยวงจรสมมูลในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แบบจำลองการย้ายโหลดกระแสไฟฟ้าจากบัส  $l$  มายังบัสข้างเคียง  $k$  และ  $m$

จากรูปที่ 3.2 โดยใช้เทคนิคการถ่ายโอนโหลด จะได้ว่า

$$I_l^{(k)} = \left( \frac{Z_{l,m}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) I_l \quad (3-6)$$

$$I_l^{(m)} = \left( \frac{Z_{k,l}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) I_l \quad (3-7)$$

การหาแรงดันที่บัส  $l$  หาได้ดังนี้  
จากสมการที่ (3-1) จะได้ว่า

$$I_1 = \frac{V_k - V_l}{Z_{k,l}} \quad (3-8)$$

แทนค่า  $I_2 = I_1 - I_l$  ลงในสมการที่ (3-2) และจัดรูปสมการ จะได้

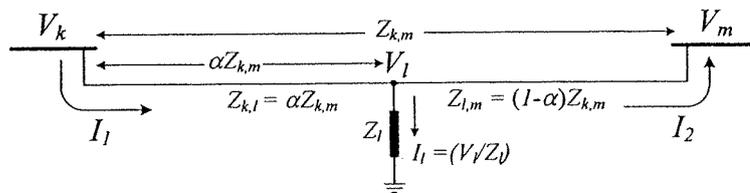
$$I_1 = \frac{V_l - V_m}{Z_{l,m}} + I_l \quad (3-9)$$

แทนค่า  $I_l$  จากสมการที่ (3-9) ลงในสมการที่ (3-8) จะได้

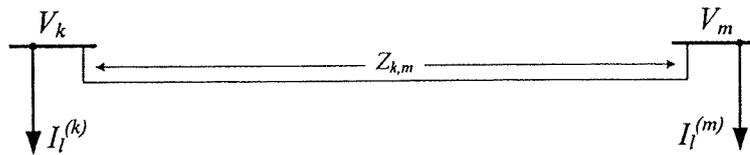
$$V_l = \left( \frac{Z_{l,m}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) V_k + \left( \frac{Z_{k,l}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) V_m - \left( \frac{Z_{k,l} Z_{l,m}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) I_l \quad (3-10)$$

### 3.2.2 แบบจำลองโหลดอิมพีแดนซ์ (impedance load model)

พิจารณาระบบไฟฟ้ากำลังในรูปที่ 3.3 เป็นระบบไฟฟ้ากำลัง 3 บัส โดยที่ บัส  $l$  เป็น บัสเสริมที่เกิดจากการต่อเชื่อม โหลดอิมพีแดนซ์เข้าในระบบ โดยใช้การวิเคราะห์เช่นเดียวกับ แบบจำลองโหลดกระแสไฟฟ้า สำหรับแบบจำลองการย้ายโหลดอิมพีแดนซ์ที่บัสเสริม  $l$  ใด ๆ ใน รูปที่ 3.3 ไปยังบัสข้างเคียง สามารถเขียนแทนได้ด้วยวงจรสมมูลในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 บัส  $l$  ที่มีโหลดอิมพีแดนซ์ต่อเชื่อมอยู่



รูปที่ 3.4 แบบจำลองการย้ายโหลดอิมพีแดนซ์จากบัส  $l$  มายังบัสข้างเคียง  $k$  และ  $m$

แทนค่า  $I_l = (V_l / Z_l)$  ลงในสมการที่ (3-6) และ (3-7) จะได้

$$I_l^{(k)} = \left( \frac{Z_{l,m}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) \left( \frac{V_l}{Z_l} \right) \quad (3-11)$$

$$I_l^{(m)} = \left( \frac{Z_{k,l}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) \left( \frac{V_l}{Z_l} \right) \quad (3-12)$$

แรงดันที่บัส  $l$  หาได้โดยการแทนค่า  $I_l = (V_l / Z_l)$  ลงในสมการที่ (3-10) จะได้ว่า

$$V_l = \left( \frac{Z_{l,m}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) V_k + \left( \frac{Z_{k,l}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) V_m - \left( \frac{Z_{k,l} Z_{l,m}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) \left( \frac{V_l}{Z_l} \right)$$

จัดรูปสมการ จะได้

$$V_l = \left( \frac{Z_{l,m} Z_l}{Z_{k,m} Z_l + Z_{k,l} Z_{l,m}} \right) V_k + \left( \frac{Z_{k,l} Z_l}{Z_{k,m} Z_l + Z_{k,l} Z_{l,m}} \right) V_m \quad (3-13)$$

แทนค่า  $V_l$  จากสมการที่ (3-13) ลงในสมการที่ (3-11) และจัดรูปสมการ จะได้

$$I_l^{(k)} = \left( \frac{Z_{l,m}}{Z_T} \right) (Z_{l,m} V_k + Z_{k,l} V_m) \quad (3-14)$$

โดยที่  $Z_T = Z_{k,m}^2 Z_l + Z_{k,m} Z_{k,l} Z_{l,m}$

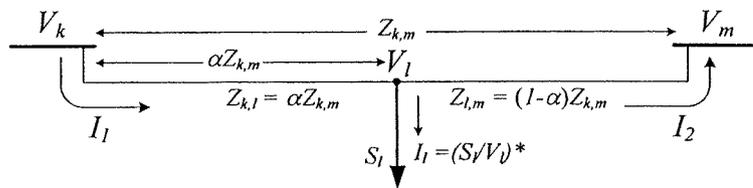
ในทำนองเดียวกัน สำหรับ  $I_l^{(m)}$  จะได้

$$I_l^{(m)} = \left( \frac{Z_{k,l}}{Z_T} \right) (Z_{l,m} V_k + Z_{k,l} V_m) \quad (3-15)$$

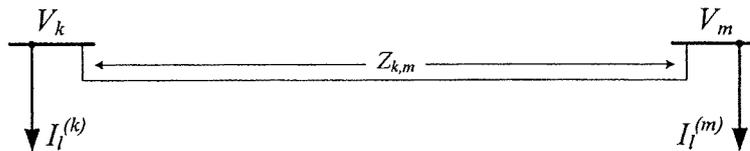
สมการที่ (3-11) และ (3-12) เป็นสมการสำหรับใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลข ส่วนสมการที่ (3-14) และ (3-15) เป็นสมการที่ได้จากการแทนค่าโดยตรง

3.2.3 แบบจำลองโหลดกำลังไฟฟ้า (power load model)

พิจารณาระบบไฟฟ้ากำลังในรูปที่ 3.5 เป็นระบบไฟฟ้ากำลัง 3 บัส โดยที่ บัส  $l$  เป็น บัสเสริมที่เกิดจากการต่อเชื่อมโหลดกำลังไฟฟ้าเข้าในระบบ โดยใช้การวิเคราะห์เช่นเดียวกับแบบจำลองโหลดกระแสไฟฟ้า สำหรับแบบจำลองการย้ายโหลดกำลังไฟฟ้าที่บัสเสริม  $l$  ใด ๆ ในรูปที่ 3.5 ไปยังบัสข้างเคียง สามารถเขียนแทนได้ด้วยวงจรสมมูลในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 บัส  $l$  ที่มีโหลดกำลังไฟฟ้าต่อเชื่อมอยู่



รูปที่ 3.6 แบบจำลองการย้ายโหลดกำลังไฟฟ้าจากบัส  $l$  มายังบัสข้างเคียง  $k$  และ  $m$

แทนค่า  $I_l = (S_l / V_l)^*$  ลงในสมการที่ (3-6) และ (3-7) จะได้

$$I_l^{(k)} = \left( \frac{Z_{l,m}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) \left( \frac{S_l}{V_l} \right)^* \tag{3-16}$$

$$I_l^{(m)} = \left( \frac{Z_{k,l}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) \left( \frac{S_l}{V_l} \right)^* \tag{3-17}$$

แรงดันที่บัส  $l$  หาได้โดยการแทนค่า  $I_l = (S_l / V_l)^*$  ลงในสมการที่ (3-10) จะได้

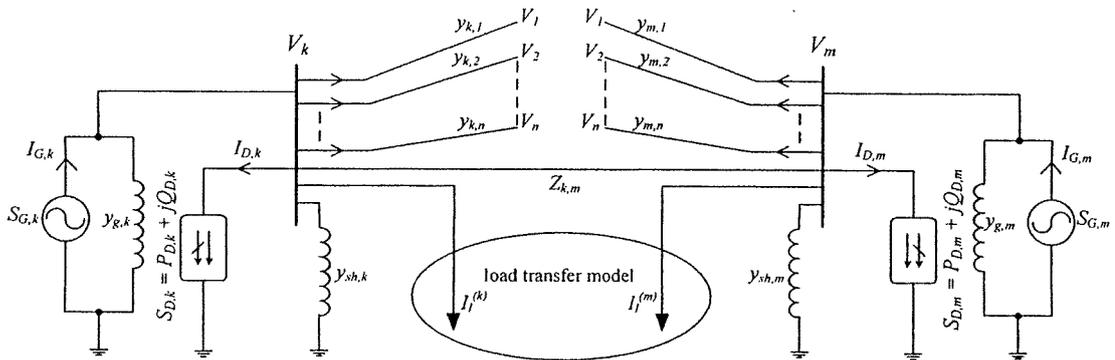
$$V_l = \left( \frac{Z_{l,m}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) V_k + \left( \frac{Z_{k,l}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) V_m - \left( \frac{Z_{k,l} Z_{l,m}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) \left( \frac{S_l}{V_l} \right)^* \quad (3-18)$$

เนื่องจากไม่สามารถจัดรูปสมการให้แยกกันได้อย่างอิสระ ดังนั้น ในการคำนวณ จะต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับแรงดันที่บัส  $l$  ใด ๆ เพื่อใช้ในการคำนวณในรอบต่อไป ดังนั้น จะได้ว่า

$$V_l^{(h+1)} = \left( \frac{Z_{l,m}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) V_k + \left( \frac{Z_{k,l}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) V_m - \left( \frac{Z_{k,l} Z_{l,m}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) \left( \frac{S_l}{V_l^{(h)}} \right)^* \quad (3-19)$$

### 3.3 การคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีเกาส์-ไซเดล

หัวข้อนี้นำเสนอวิธีการคำนวณผลเฉลยการไหลกำลังไฟฟ้าโดยใช้วิธีเกาส์-ไซเดลร่วมกับเทคนิคการถ่ายโอนโหลด หลักการนี้ใช้เทคนิคการกำจัดบัสเสริมที่เพิ่มเข้ามาในระบบโดยการถ่ายโอนไปอยู่ที่บัสข้างเคียงที่มีอยู่เดิม ทำให้จำนวนสมการไม่เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 3.7 บัส  $k$  และบัส  $m$  เมื่อมีการถ่ายโอนโหลดในระบบไฟฟ้า

พิจารณาบัส  $k$  ดังแสดงในรูปที่ 3.7 โดยใช้การวิเคราะห์แบบโนด (nodal analysis) จะได้สมการสมดุลกระแสที่โนด  $k$  ใด ๆ ดังนี้

$$y_{k,1}(V_k - V_1) + y_{k,2}(V_k - V_2) + \dots + y_{k,n}(V_k - V_n) = I_{G,k} - I_{D,k} - I_l^{(k)} \quad (3-20)$$

โดยที่  $I = yV$  จะได้

$$I_k = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n y_{k,i} (V_k - V_i) = I_{G,k} - I_{D,k} - I_l^{(k)} \quad (3-21)$$

เนื่องจาก โหลดและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะอยู่ในรูปของกำลังไฟฟ้า จะได้ว่า

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n y_{k,i} (V_k - V_i) = \left( \frac{S_{G,k} - S_{D,k}}{V_k} \right)^* - I_l^{(k)} \quad (3-22)$$

จัดรูปสมการใหม่ จะได้สมการการไหลกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่บัส  $k$  ใด ๆ ดังสมการที่ (3-23)

$$(V_k)^* \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n y_{k,i} (V_k - V_i) = (S_{G,k} - S_{D,k})^* - (V_k)^* I_l^{(k)} \quad (3-23)$$

โดยที่  $S_{G,k}$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส  $k$

$S_{D,k}$  คือ กำลังไฟฟ้าที่โหลดที่บัส  $k$

$V_k$  คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส  $k$

$V_i$  คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส  $i$

$y_{k,i}$  คือ แอดมิตแตนซ์ที่เชื่อมต่อระหว่างบัส  $k$  และบัส  $i$

\* คือ ตัวกระทำสังยุคเชิงซ้อน (complex conjugate)

$I_l^{(k)}$  คือ กระแสไฟฟ้าที่ถูกถ่ายโอนจากบัส  $i$  ไปยังบัส  $k$

จากสมการการไหลของกำลังไฟฟ้าที่บัส  $k$  ใด ๆ กำหนดให้  $S_{sch} = P_{sch} + jQ_{sch}$ ,  $P_{sch} = P_G - P_D$

และ  $Q_{sch} = Q_G - Q_D$  จะได้

$$(V_k)^* \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n y_{k,i} (V_k - V_i) = (S_{G,k} - S_{D,k})^* - (V_k)^* I_l^{(k)} = (S_{sch})^*$$

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n y_{k,i} (V_k - V_i) = \left( \frac{S_{sch,k}}{V_k} \right)^* - I_l^{(k)} = \frac{P_{sch,k} - jQ_{sch,k}}{(V_k)^*} - I_l^{(k)}$$

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n y_{k,i} V_k - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n y_{k,i} V_i = \frac{P_{sch,k} - jQ_{sch,k}}{(V_k)^*} - I_l^{(k)} \quad (3-24)$$

จากการคำนวณหาบัสแอดมิตแดนซ์เมตริกซ์ จะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$[Y_{bus}] : \quad Y_{k,k} = \sum_{i=1}^n y_{k,i} \quad \text{และ} \quad Y_{k,i} = -y_{k,i}$$

จัดรูปสมการที่ (3-24) โดยใช้ตัวแปรเมตริกซ์บัสแอดมิตแดนซ์ จะได้ว่า

$$Y_{k,k} V_k + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n Y_{k,i} V_i = \frac{P_{sch,k} - jQ_{sch,k}}{(V_k)^*} - I_l^{(k)} \quad (3-25)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_{k,i} V_i = \frac{P_{sch,k} - jQ_{sch,k}}{(V_k)^*} - I_l^{(k)} \quad (3-26)$$

จากสมการที่ (3-25) จะได้สมการปรับปรุงแรงดันที่บัส  $k$  ใด ๆ ดังสมการที่ (3-27)

$$V_k = \frac{1}{Y_{k,k}} \left\{ \frac{P_{sch,k} - jQ_{sch,k}}{(V_k)^*} - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n Y_{k,i} V_i - I_l^{(k)} \right\} \quad (3-27)$$

ด้วยกระบวนการวนรอบเมื่อต้องการคำนวณค่าเฟสเซอร์แรงดันปรับปรุงที่บัส  $k$  ใด ๆ ในรอบการคำนวณที่  $h$  ใด ๆ จะได้

$$V_k^{(h)} = \frac{1}{Y_{k,k}} \left\{ \frac{P_{sch,k} - jQ_{sch,k}}{(V_k^{(h-1)})^*} - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n Y_{k,i} V_i^{(h-1)} - I_i^{(k)} \right\} \quad (3-28)$$

สมการที่ (3-28) เป็นการปรับปรุงตามระเบียบวิธีการวนรอบแบบเกาส์ สำหรับระเบียบวิธีการวนรอบแบบเกาส์-ไซเดลนั้น จะอาศัยหลักการในรอบการคำนวณใด ๆ ดังนั้น จะได้สมการการปรับปรุงแรงดันด้วยระเบียบวิธีการวนรอบแบบเกาส์-ไซเดลที่บัส  $k$  ดังสมการที่ (3-29)

$$V_k^{(h+1)} = \frac{1}{Y_{k,k}} \left\{ \frac{P_{sch,k} - jQ_{sch,k}}{(V_k^{(h)})^*} - \sum_{i=1}^{k-1} Y_{k,i} V_i^{(h+1)} - \sum_{i=k+1}^n Y_{k,i} V_i^{(h)} - I_i^{(k)} \right\} \quad (3-29)$$

สำหรับบัส  $m$  จะได้

$$V_m^{(h+1)} = \frac{1}{Y_{m,m}} \left\{ \frac{P_{sch,m} - jQ_{sch,m}}{(V_m^{(h)})^*} - \sum_{i=1}^{m-1} Y_{m,i} V_i^{(h+1)} - \sum_{i=m+1}^n Y_{m,i} V_i^{(h)} - I_i^{(m)} \right\} \quad (3-30)$$

สมการที่ (3-29) และ (3-30) เป็นสมการที่นำไปใช้ในการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้า

### 3.4 ผลทดสอบการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีเกาส์-ไซเดล

ผลทดสอบการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีเกาส์-ไซเดล แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาค่าของตำแหน่งติดตั้งโหลดกับคุณสมบัติการลู่เข้าของผลเฉลย และส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาผลของจำนวนการเพิ่ม โหลดกับคุณสมบัติการลู่เข้าของผลเฉลย เช่น ทดสอบกับระบบทดสอบ 34 บัส โดยระบบทดสอบเป็นระบบทดสอบสายป้อนแบบ 3 เฟสสมดุล การทดสอบจะแสดงการเปรียบเทียบจำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณระหว่างการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีเกาส์-ไซเดลมาตรฐาน (SGSPF) และการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีเกาส์-ไซเดลร่วมกับเทคนิคการถ่ายโอนโหลด (TGSPF) โดยใช้แบบจำลองโหลด 3 ประเภท ได้แก่ แบบจำลองโหลดกระแสไฟฟ้า อิมพีแดนซ์ และกำลังไฟฟ้า การทดสอบได้กำหนดเงื่อนไขการหยุดไว้ที่ค่าความคลาดเคลื่อนของการเปลี่ยนแปลงขนาดแรงดันมีค่าสูงสุดที่ยอมรับได้เท่ากับ  $1 \times 10^{-6}$  p.u. ซึ่งใช้สำหรับการทดสอบทุกกรณี สำหรับจุดเริ่มต้นของการคำนวณได้ใช้จุดเริ่มต้นเดียวกันสำหรับการคำนวณทั้ง 2 วิธี โดยกำหนดให้แรงดันบัสเริ่มต้นมีค่า  $1.00 + j0.00$  p.u. สำหรับทุกบัส ผลทดสอบเป็นดังนี้

ส่วนที่ 1 ผลของตำแหน่งติดตั้งกับคุณสมบัติการลู่เข้าของผลเฉลย

สำหรับส่วนที่ 1 ทำการทดสอบโดยติดตั้งโหลดเพิ่มเติมในระบบไฟฟ้า โดยติดตั้งโหลดที่สายส่งระหว่างบัส 2 บัสซึ่งทำให้เกิดบัสเสริมขึ้น แล้วแปรค่าตำแหน่งติดตั้งจากต้นสายส่ง (ที่ระยะ 10% ของความยาวสายส่ง) ไปจนถึงปลายของสายส่ง (ที่ระยะ 90% ของความยาวสายส่ง) เพื่อดูผลของตำแหน่งการติดตั้งโหลดกับการลู่เข้าของผลเฉลย ข้อมูลตำแหน่งติดตั้ง ขนาด และประเภทของโหลดแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลตำแหน่งติดตั้ง ขนาด และประเภทโหลดทดสอบ

ระบบทดสอบ	โหลดติดตั้งระหว่างบัส	ประเภทของโหลดทดสอบ		
		กระแสไฟฟ้า (A)	อิมพีแดนซ์ ( $\Omega$ )	กำลังไฟฟ้า (kVA)
34 บัส	19 – 20	$18 - j15$	$1500 + j1200$	$200 + j150$

#### 1) ระบบทดสอบ 34 บัส

ผลทดสอบการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้ากรณีระบบทดสอบ 34 บัส เมื่อเพิ่มโหลดโดยใช้แบบจำลองกระแสไฟฟ้าขนาด  $18 - j15$  A ระหว่างบัสที่ 19 และ 20 แสดงไว้ในตารางที่ 3.2 สำหรับวิธี SGSPF เมื่อตำแหน่งการเพิ่มโหลดอยู่ใกล้บัสต้นของสายส่ง (ตำแหน่ง 10% ของความยาวสายส่ง) จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะมีค่ามากและจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อตำแหน่งการเพิ่มโหลดเข้าใกล้ตำแหน่งกึ่งกลางของสายส่ง (ตำแหน่ง 50% ของความยาวสายส่ง) จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะเพิ่มขึ้นอีกครั้ง เมื่อตำแหน่งการเพิ่มโหลดเข้าใกล้บัสปลายของสายส่ง (ตำแหน่ง 90% ของความยาวสายส่ง) จำนวนรอบและเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการคำนวณมากที่สุด คือ 1278 รอบ และ 1.6813 วินาที ตามลำดับ เมื่อตำแหน่งติดตั้งโหลดเข้าใกล้บัสที่ 20 สำหรับวิธี TGSPF ตำแหน่งการเพิ่มโหลดมีผลต่อจำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณน้อยมาก โดยจำนวนรอบเพิ่มขึ้นจาก 974 รอบ เป็น 975 รอบเมื่อตำแหน่งการเพิ่มโหลดเข้าใกล้บัสที่ 20 จำนวนรอบและเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการคำนวณมากที่สุด คือ 975 รอบ และ 1.1825 วินาที ตามลำดับ ส่วนผลทดสอบการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าเมื่อเพิ่มโหลดเข้าในระบบโดยใช้แบบจำลองอิมพีแดนซ์ขนาด  $1500 + j1200 \Omega$  ระหว่างบัสที่ 19 และ 20 แสดงไว้ในตารางที่ 3.3 ผลที่ได้จากการทดสอบมีแนวโน้มเช่นเดียวกับแบบจำลองโหลดกระแสไฟฟ้า สำหรับวิธี SGSPF จำนวนรอบและเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการคำนวณจะมีค่ามาก เมื่อตำแหน่งการเพิ่มโหลดเข้าใกล้บัสเดิมในระบบ จำนวนรอบและเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการคำนวณมากที่สุด คือ 1258 รอบ และ 1.6773 วินาที ตามลำดับ สำหรับวิธี TGSPF ตำแหน่งการเพิ่มโหลดไม่มีผลต่อจำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ และผลทดสอบการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้า เมื่อเพิ่มโหลดโดยใช้แบบจำลองกำลังไฟฟ้าขนาด  $200 + j150$  kVA

ระหว่างบัสที่ 19 และ 20 แสดงไว้ในตารางที่ 3.4 ผลที่ได้จากการทดสอบมีแนวโน้มเช่นเดียวกับแบบจำลองโหลดกระแสไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์ สำหรับวิธี SGSPF จำนวนรอบและเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการคำนวณจะมีค่ามาก เมื่อตำแหน่งการเพิ่มโหลดเข้าใกล้บัสเดิมในระบบ จำนวนรอบและเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการคำนวณมากที่สุด คือ 1272 รอบ และ 1.7554 วินาที ตามลำดับ สำหรับวิธี TGSPF ตำแหน่งการเพิ่มโหลดแทบไม่มีผลต่อจำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ โดยจำนวนรอบเพิ่มขึ้นจาก 970 รอบ เป็น 971 รอบ เมื่อตำแหน่งเพิ่มโหลดเข้าใกล้บัสที่ 20 เมื่อเปรียบเทียบวิธีทั้งสอง การคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธี TGSPF ใช้จำนวนรอบและเวลาในการคำนวณน้อยกว่าวิธี SGSPF

ตารางที่ 3.2 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณของระบบทดสอบ 34 บัส

กรณีแบบจำลองโหลดกระแสไฟฟ้า

ตำแหน่งติดตั้ง	จำนวนรอบ		เวลาเฉลี่ย (วินาที)		อัตราส่วนเวลา SGSPF/TGSPF
	SGSPF	TGSPF	SGSPF	TGSPF	
10%	1236	974	1.6448	1.1492	1.4313
20%	1109	974	1.3911	1.1614	1.1978
30%	1072	974	1.3872	1.1536	1.1997
40%	1058	975	1.3388	1.1815	1.1331
50%	1055	975	1.3189	1.1825	1.1153
60%	1061	975	1.3637	1.1713	1.1643
70%	1080	975	1.3892	1.1748	1.1825
80%	1126	975	1.4513	1.1747	1.2355
90%	1278	975	1.6813	1.1798	1.4251

ตารางที่ 3.3 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณของระบบทดสอบ 34 บัส

กรณีแบบจำลองโหลดอิมพีแดนซ์

ตำแหน่งติดตั้ง	จำนวนรอบ		เวลาเฉลี่ย (วินาที)		อัตราส่วนเวลา SGSPF/TGSPF
	SGSPF	TGSPF	SGSPF	TGSPF	
10%	1218	962	1.5657	0.9112	1.7183
20%	1094	962	1.3848	0.9173	1.5096
30%	1057	962	1.3341	0.9204	1.4495

ตารางที่ 3.3 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณของระบบทดสอบ 34 บัส  
กรณีแบบจำลองโพลดิอิมพีแดนซ์ (ต่อ)

ตำแหน่งติดตั้ง	จำนวนรอบ		เวลาเฉลี่ย (วินาที)		อัตราส่วนเวลา
	SGSPF	TGSPF	SGSPF	TGSPF	SGSPF/TGSPF
40%	1043	962	1.3230	0.9217	1.4354
50%	1040	962	1.3115	0.9131	1.4363
60%	1047	962	1.3322	0.9215	1.4457
70%	1065	962	1.3465	0.9141	1.4730
80%	1110	962	1.4448	0.9204	1.5698
90%	1258	962	1.6773	0.9122	1.8387

ตารางที่ 3.4 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณของระบบทดสอบ 34 บัส  
กรณีแบบจำลองโพลดกำลังไฟฟ้า

ตำแหน่งติดตั้ง	จำนวนรอบ		เวลาเฉลี่ย (วินาที)		อัตราส่วนเวลา
	SGSPF	TGSPF	SGSPF	TGSPF	SGSPF/TGSPF
10%	1230	970	1.6369	0.9342	1.7522
20%	1104	970	1.4309	0.9364	1.5281
30%	1067	970	1.2893	0.9341	1.3803
40%	1053	970	1.1821	0.9366	1.2621
50%	1050	971	1.1151	0.9456	1.1793
60%	1057	971	1.2013	0.9490	1.2659
70%	1075	971	1.3221	0.9400	1.4065
80%	1121	971	1.4327	0.9456	1.5151
90%	1272	971	1.7554	0.9443	1.8589

ส่วนที่ 2 ผลของจำนวนการเพิ่มโพลดกับคุณสมบัติการลู่เข้าของผลเฉลย

สำหรับส่วนที่ 2 ทำการทดสอบโดยติดตั้งโพลดเพิ่มเติมในระบบไฟฟ้า โดยติดตั้งโพลดที่กึ่งกลางของสายส่งระหว่างบัส 2 บัสซึ่งทำให้เกิดบัสเสริมขึ้น แล้วเพิ่มจำนวนโพลดเข้าในระบบเพื่อดูผลของจำนวนการเพิ่มโพลดกับการลู่เข้าของผลเฉลย

## 1) ระบบทดสอบ 34 บัส

ระบบทดสอบ 34 บัส ประกอบด้วยโหลด 5 ชุด ถูกติดตั้งไว้ในระบบทดสอบที่ตำแหน่งกึ่งกลางของสายส่ง รายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลตำแหน่งติดตั้ง ขนาด และประเภท โหลดทดสอบ กรณีระบบทดสอบ 34 บัส

ชุดโหลด	โหลดติดตั้งระหว่างบัส	ประเภทของโหลดทดสอบ		
		กระแสไฟฟ้า (A)	อิมพีแดนซ์ ( $\Omega$ )	กำลังไฟฟ้า (kVA)
1	14 – 15	$11 - j9$	$900 + j700$	$70 + j50$
2	19 – 20	$18 - j15$	$1500 + j1200$	$200 + j150$
3	24 – 25	$15 - j13$	$1200 + j1000$	$150 + j100$
4	29 – 30	$11 - j9$	$900 + j700$	$70 + j50$
5	32 – 33	$8 - j7$	$500 + j400$	$50 + j40$

ผลทดสอบการเพิ่มโหลดในระบบไฟฟ้ากรณีระบบทดสอบ 34 บัส โดยใช้แบบจำลองโหลดกระแสไฟฟ้า แสดงไว้ในตารางที่ 3.6 เมื่อเพิ่มจำนวนโหลดมากขึ้นวิธี SGSPF ใช้จำนวนรอบและเวลาในการคำนวณมากขึ้น โดยเมื่อเพิ่มโหลด 1 ชุด ใช้จำนวนรอบ 974 รอบ และใช้เวลาเฉลี่ย 1.2041 วินาที แต่เมื่อเพิ่มโหลดเข้าในระบบจำนวน 5 ชุด จำนวนรอบเพิ่มขึ้นเป็น 1402 รอบ และใช้เวลาเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 2.2894 วินาที สำหรับวิธี TGSPF เมื่อเพิ่มโหลด 1 ชุด ใช้จำนวนรอบ 963 รอบ และใช้เวลาเฉลี่ย 1.1653 วินาที เมื่อเพิ่มโหลดเป็น 5 ชุด จำนวนรอบเพิ่มขึ้นเป็น 1006 รอบ และใช้เวลาเฉลี่ย 1.2371 วินาที ส่วนผลทดสอบการเพิ่มโหลดในระบบไฟฟ้าโดยใช้แบบจำลองโหลดอิมพีแดนซ์ แสดงไว้ในตารางที่ 3.7 เมื่อเพิ่มจำนวนโหลดมากขึ้นวิธี SGSPF ใช้จำนวนรอบและเวลาในการคำนวณมากขึ้น โดยเมื่อเพิ่มโหลด 1 ชุด ใช้จำนวนรอบ 972 รอบ และใช้เวลาเฉลี่ย 1.1972 วินาที แต่เมื่อเพิ่มโหลดเข้าในระบบจำนวน 5 ชุด จำนวนรอบเพิ่มขึ้นเป็น 1354 รอบ และใช้เวลาเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 2.1723 วินาที สำหรับวิธี TGSPF เมื่อเพิ่มโหลด 1 ชุด ใช้จำนวนรอบ 961 รอบ และใช้เวลาเฉลี่ย 1.1470 วินาที เมื่อเพิ่มโหลดเป็น 5 ชุด จำนวนรอบเพิ่มขึ้นเป็น 973 รอบ และใช้เวลาเฉลี่ย 1.1858 วินาที และผลทดสอบการเพิ่มโหลดในระบบไฟฟ้าโดยใช้แบบจำลองโหลดกำลังไฟฟ้าแสดงไว้ในตารางที่ 3.8 เมื่อจำนวนเพิ่ม โหลดมากขึ้นวิธี SGSPF ใช้จำนวนรอบและเวลาในการคำนวณมากขึ้น โดยเมื่อเพิ่มโหลด 1 ชุด ใช้จำนวนรอบ 972 รอบ และใช้เวลาเฉลี่ย 1.1944 วินาที แต่เมื่อเพิ่มโหลดเข้าในระบบจำนวน 5 ชุด จำนวนรอบเพิ่มขึ้นเป็น 1375 รอบ และใช้เวลาเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 2.1936 วินาที สำหรับวิธี TGSPF เมื่อเพิ่มโหลด 1 ชุด ใช้จำนวนรอบ 961 รอบ และใช้เวลาเฉลี่ย 1.1600 วินาที เมื่อเพิ่มโหลดเป็น 5 ชุด จำนวนรอบ

เพิ่มขึ้นเป็น 988 รอบ และใช้เวลาเฉลี่ย 1.2209 วินาที เมื่อเปรียบเทียบวิธีทั้งสอง การคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธี TGSPF ใช้จำนวนรอบและเวลาในการคำนวณน้อยกว่าวิธี SGSPF

ตารางที่ 3.6 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณของระบบทดสอบ 34 บัส

กรณีแบบจำลองโหลดกระแสไฟฟ้า

จำนวนชุดโหลด	จำนวนรอบ		เวลาเฉลี่ย (วินาที)		อัตราส่วนเวลา SGSPF/TGSPF
	SGSPF	TGSPF	SGSPF	TGSPF	
1	974	963	1.2041	1.1653	1.0333
1-2	1068	977	1.3908	1.1856	1.1731
1-3	1232	992	1.7958	1.2164	1.4763
1-4	1301	999	1.9156	1.2169	1.5742
1-5	1402	1006	2.2894	1.2371	1.8506

ตารางที่ 3.7 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณของระบบทดสอบ 34 บัส

กรณีแบบจำลองโหลดอิมพีแดนซ์

จำนวนชุดโหลด	จำนวนรอบ		เวลาเฉลี่ย (วินาที)		อัตราส่วนเวลา SGSPF/TGSPF
	SGSPF	TGSPF	SGSPF	TGSPF	
1	972	961	1.1972	1.1470	1.0438
1-2	1052	963	1.3188	1.1539	1.1429
1-3	1196	965	1.6888	1.1677	1.4463
1-4	1258	968	1.8554	1.1804	1.5718
1-5	1354	973	2.1723	1.1858	1.8319

ตารางที่ 3.8 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณของระบบทดสอบ 34 บัส  
กรณีแบบจำลองโหลดกำลังไฟฟ้า

จำนวนชุดโหลด	จำนวนรอบ		เวลาเฉลี่ย (วินาที)		อัตราส่วนเวลา SGSPF/TGSPF
	SGSPF	TGSPF	SGSPF	TGSPF	
1	972	961	1.1944	1.1600	1.0297
1-2	1062	972	1.3781	1.1906	1.1575
1-3	1219	982	1.7760	1.2019	1.4777
1-4	1282	985	1.8975	1.2074	1.5701
1-5	1375	988	2.1936	1.2209	1.7967

### 3.5 การคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

หัวข้อนี้นำเสนอวิธีการคำนวณผลเฉลยการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันร่วมกับเทคนิคการถ่ายโอนโหลด หลักการนี้ใช้เทคนิคการกำจัดบัสเสริมที่เพิ่มเข้ามาในระบบโดยการถ่ายโอนไปอยู่ที่บัสข้างเคียงที่มีอยู่เดิม โหลดที่ถูกถ่ายโอนไปยังบัสข้างเคียงจะถูกเขียนในรูปของกำลังไฟฟ้า ซึ่งแนวทางในการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้ามี 2 แนวทางด้วยกัน คือ กำลังงานไฟฟ้าที่ถูกถ่ายโอนจะถูกนำไปรวมกับส่วนของ  $S_{cal}$  และแนวทางที่สอง คือ นำไปรวมกับส่วนของ  $S_{sch}$  ในงานวิจัยนี้ได้เลือกแนวทางที่สองเพื่อวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้า ทั้งนี้เนื่องจากสมการกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการถ่ายโอนโหลดนำไปรวมกับส่วนของ  $S_{cal}$  จะมีความซับซ้อนมากขึ้น ทำให้การคำนวณเมตริกซ์จาโคเบียนมีความซับซ้อนตามไปด้วย แต่ปัญหาเหล่านี้จะหมดไป ถ้านำกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการถ่ายโอนโหลดไปรวมกับส่วนของ  $S_{sch}$  ดังนี้

$$\text{จากสมการที่ (3-26)} \quad \sum_{i=1}^n Y_{k,i} V_i = \frac{P_{sch,k} - jQ_{sch,k}}{(V_k)^*} - I_i^{(k)}$$

จัดรูปสมการใหม่ โดยกำหนดให้  $S_{sch,k}^{old} = P_{sch,k} + jQ_{sch,k}$  จะได้ว่า

$$\frac{(S_{sch,k}^{old})^*}{(V_k)^*} - I_i^{(k)} = \sum_{i=1}^n Y_{k,i} V_i$$

$$(S_{sch,k}^{old})^* - (V_k)^* I_l^{(k)} = (V_k)^* \sum_{i=1}^n Y_{k,i} V_i \quad (3-31)$$

กำหนด  $(S_{sch,k}^{new})^* = (S_{sch,k}^{old})^* - (V_k)^* I_l^{(k)}$  สำหรับบัส  $k$

และ  $(S_{sch,m}^{new})^* = (S_{sch,m}^{old})^* - (V_m)^* I_l^{(m)}$  สำหรับบัส  $m$  ดังนั้น จะได้

$$\text{บัส } k: (S_{sch,k}^{new})^* = (V_k)^* \sum_{i=1}^n Y_{k,i} V_i \quad (3-32)$$

$$\text{บัส } m: (S_{sch,m}^{new})^* = (V_m)^* \sum_{i=1}^n Y_{m,i} V_i \quad (3-33)$$

สมการที่ (3-32) และ (3-33) เป็นสมการของกำลังไฟฟ้าที่บัส  $k$  และ บัส  $m$  ใด ๆ และเป็นสมการเริ่มต้นในการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันร่วมกับเทคนิคการถ่ายโอนโหลด

### 3.6 ผลทดสอบการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

ผลทดสอบการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาผลของตำแหน่งติดตั้งโหลดกับคุณสมบัติการลู่เข้าของผลเฉลย และส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาผลของจำนวนการเพิ่ม โหลดกับคุณสมบัติการลู่เข้าของผลเฉลย เช่น ทดสอบกับระบบทดสอบ 69 บัส โดยระบบทดสอบเป็นระบบทดสอบสายป้อนแบบ 3 เฟส สมดุล การทดสอบจะแสดงการเปรียบเทียบจำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณระหว่างการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันมาตรฐาน (SNRPF) และการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันร่วมกับเทคนิคการถ่ายโอนโหลด (TNRPF) โดยใช้แบบจำลองโหลด 3 ประเภท ได้แก่ แบบจำลองโหลดกระแสไฟฟ้า อิมพีแดนซ์ และกำลังไฟฟ้า การทดสอบได้กำหนดเงื่อนไขการหยุดไว้ที่ค่าความคลาดเคลื่อนของการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้ามีค่าสูงสุดที่ยอมรับได้เท่ากับ  $1 \times 10^{-4}$  p.u. ซึ่งใช้สำหรับการทดสอบทุกกรณี สำหรับจุดเริ่มต้นของการคำนวณได้ใช้จุดเริ่มต้นเดียวกันสำหรับการคำนวณทั้ง 2 วิธี โดยกำหนดให้แรงดันบัสเริ่มต้นมีค่า  $1.00 + j0.00$  p.u. สำหรับทุกบัส ผลทดสอบเป็นดังนี้

ส่วนที่ 1 ผลของตำแหน่งติดตั้งกับคุณสมบัติการลู่เข้าของผลเฉลย

สำหรับส่วนที่ 1 ทำการทดสอบโดยติดตั้งโหลดเพิ่มเติมในระบบไฟฟ้า โดยติดตั้งโหลดที่สายส่งระหว่างบัส 2 บัสซึ่งทำให้เกิดบัสเสริมขึ้น แล้วแปรค่าตำแหน่งติดตั้งจากต้นสายส่ง (ที่ระยะ 10% ของความยาวสายส่ง) ไปจนถึงปลายของสายส่ง (ที่ระยะ 90% ของความยาวสายส่ง) เพื่อดูผลของตำแหน่งการติดตั้งโหลดกับการลู่เข้าของผลเฉลย ข้อมูลตำแหน่งติดตั้ง ขนาด และประเภทของโหลดแสดงไว้ในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 ข้อมูลตำแหน่งติดตั้ง ขนาด และประเภทโหลดทดสอบ

ระบบทดสอบ	ติดตั้งระหว่างบัสที่	ประเภทของโหลดทดสอบ		
		กระแสไฟฟ้า (A)	อิมพีแดนซ์ ( $\Omega$ )	กำลังไฟฟ้า (kVA)
69 บัส	49 – 50	$17 - j15$	$1200 + j1000$	$150 + j120$

#### 1.1 ระบบทดสอบ 69 บัส

ผลทดสอบการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้ากรณีระบบทดสอบ 69 บัส เมื่อเพิ่มโหลดโดยใช้แบบจำลองกระแสไฟฟ้าขนาด  $17 - j15$  A ระหว่างบัสที่ 49 และ 50 แสดงไว้ในตารางที่ 3.10 ตำแหน่งติดตั้งโหลดไม่มีผลต่อจำนวนรอบและเวลาในการคำนวณ โดยวิธี SNRPF ใช้จำนวนรอบในการคำนวณ 5 รอบ และใช้เวลาเฉลี่ยในการคำนวณประมาณ 0.081 วินาที สำหรับวิธี TNRPF ใช้จำนวนรอบในการคำนวณ 5 รอบเท่ากับวิธี SNRPF และใช้เวลาเฉลี่ยในการคำนวณประมาณ 0.077 วินาที สำหรับผลการทดสอบเมื่อเพิ่มโหลดโดยใช้แบบจำลองโหลดอิมพีแดนซ์ขนาด  $1200 + j1000 \Omega$  ระหว่างบัสที่ 49 และ 50 แสดงไว้ในตารางที่ 3.11 ตำแหน่งติดตั้งโหลดไม่มีผลต่อจำนวนรอบและเวลาในการคำนวณ โดยวิธี SNRPF ใช้จำนวนรอบในการคำนวณ 5 รอบ และใช้เวลาเฉลี่ยในการคำนวณประมาณ 0.081 วินาที สำหรับวิธี TNRPF ใช้จำนวนรอบในการคำนวณ 5 รอบเท่ากับวิธี SNRPF และใช้เวลาเฉลี่ยในการคำนวณประมาณ 0.077 วินาที และผลการทดสอบเมื่อเพิ่มโหลดโดยใช้แบบจำลองกำลังไฟฟ้าขนาด  $150 + j120$  kVA ระหว่างบัสที่ 49 และ 50 แสดงไว้ในตารางที่ 3.12 ตำแหน่งติดตั้งโหลดไม่มีผลต่อจำนวนรอบและเวลาในการคำนวณ โดยวิธี SNRPF ใช้จำนวนรอบในการคำนวณ 5 รอบ และใช้เวลาเฉลี่ยในการคำนวณประมาณ 0.081 วินาที สำหรับวิธี TNRPF ใช้จำนวนรอบในการคำนวณ 5 รอบเท่ากับวิธี SNRPF และใช้เวลาเฉลี่ยในการคำนวณประมาณ 0.077 วินาที เมื่อเปรียบเทียบวิธีทั้งสอง การคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธี TNRPF ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าวิธี SNRPF

ตารางที่ 3.10 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณของระบบทดสอบ 69 บัส  
กรณีแบบจำลองโหลดกระแสไฟฟ้า

ตำแหน่งติดตั้ง	จำนวนรอบ		เวลาเฉลี่ย (วินาที)		อัตราส่วนเวลา
	SNRPF	TNRPF	SNRPF	TNRPF	
10%	5	5	0.0806	0.0787	1.0241
20%	5	5	0.0823	0.0761	1.0815
30%	5	5	0.0818	0.0780	1.0487
40%	5	5	0.0807	0.0766	1.0535
50%	5	5	0.0816	0.0770	1.0597
60%	5	5	0.0806	0.0782	1.0307
70%	5	5	0.0808	0.0771	1.0480
80%	5	5	0.0820	0.0773	1.0608
90%	5	5	0.0805	0.0774	1.0401

ตารางที่ 3.11 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณของระบบทดสอบ 69 บัส  
กรณีแบบจำลองโหลดอิมพีแดนซ์

ตำแหน่งติดตั้ง	จำนวนรอบ		เวลาเฉลี่ย (วินาที)		อัตราส่วนเวลา
	SNRPF	TNRPF	SNRPF	TNRPF	
10%	5	5	0.0811	0.787	1.0305
20%	5	5	0.0805	0.778	1.0347
30%	5	5	0.0818	0.0762	1.0735
40%	5	5	0.0824	0.0771	1.0687
50%	5	5	0.0825	0.0767	1.0756
60%	5	5	0.0814	0.0770	1.0571
70%	5	5	0.0821	0.0781	1.0512
80%	5	5	0.0822	0.0768	1.0703
90%	5	5	0.0818	0.0780	1.0487

ตารางที่ 3.12 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณของระบบทดสอบ 69 บัส  
กรณีแบบจำลองโหลดกำลังไฟฟ้า

ตำแหน่งติดตั้ง	จำนวนรอบ		เวลาเฉลี่ย (วินาที)		อัตราส่วนเวลา SNRPF/TNRPF
	SNRPF	TNRPF	SNRPF	TNRPF	
10%	5	5	0.0806	0.0769	1.0481
20%	5	5	0.0806	0.0776	1.0387
30%	5	5	0.0809	0.0773	1.0466
40%	5	5	0.0813	0.0780	1.0423
50%	5	5	0.0820	0.0775	1.0581
60%	5	5	0.0820	0.0781	1.0499
70%	5	5	0.0805	0.0780	1.0321
80%	5	5	0.0816	0.0776	1.0515
90%	5	5	0.0811	0.0772	1.0505

ส่วนที่ 2 ผลของจำนวนการเพิ่มโหลดกับคุณสมบัติการลู่เข้าของผลเฉลย

สำหรับส่วนที่ 2 ทำการทดสอบโดยติดตั้งโหลดเพิ่มเติมในระบบไฟฟ้า โดยติดตั้งโหลดที่กึ่งกลางของสายส่งระหว่างบัส 2 บัส ซึ่งทำให้เกิดบัสเสริมขึ้น แล้วเพิ่มจำนวนโหลดเข้าในระบบเพื่อดูผลของจำนวนการเพิ่มโหลดกับการลู่เข้าของผลเฉลย

#### 2.1 ระบบทดสอบ 69 บัส

ระบบทดสอบ 69 บัส ประกอบด้วยโหลด 5 ชุด ถูกติดตั้งเข้าในระบบทดสอบที่ตำแหน่งกึ่งกลางของสายส่ง รายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 ข้อมูลตำแหน่งติดตั้ง ขนาด และประเภทโหลดทดสอบ กรณีระบบทดสอบ 69 บัส

ชุดโหลด	โหลดติดตั้ง ระหว่างบัส	ประเภทของโหลดทดสอบ		
		กระแสไฟฟ้า (A)	อิมพีแดนซ์ ( $\Omega$ )	กำลังไฟฟ้า (kVA)
1	22 – 23	$7 - j6$	$700 + j600$	$50 + j40$
2	32 – 33	$7 - j6$	$700 + j600$	$50 + j40$
3	42 – 43	$13 - j11$	$1000 + j800$	$100 + j80$
4	49 – 50	$17 - j15$	$1200 + j1000$	$150 + j120$
5	59 – 60	$13 - j11$	$1000 + j800$	$100 + j80$

ผลทดสอบการเพิ่มโหลดในระบบไฟฟ้ากรณีระบบทดสอบ 69 บัส โดยใช้แบบจำลอง โหลดกระแสไฟฟ้า แสดงไว้ในตารางที่ 3.14 เมื่อเพิ่มโหลดจาก 1 ชุด จนถึง 4 ชุด วิธี SNRPF ใช้จำนวนรอบในการคำนวณ 5 รอบ แต่เมื่อเพิ่มจำนวนโหลดเป็น 5 ชุด จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณเพิ่มขึ้นเป็น 6 รอบ และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการคำนวณเพิ่มขึ้นตามจำนวนชุดโหลดที่เพิ่มเข้าในระบบ เมื่อเพิ่ม โหลดชุดที่ 1 เพียงชุดเดียววิธี SNRPF ใช้จำนวนรอบและเวลาในการคำนวณ 5 รอบ และ 0.0827 วินาที ตามลำดับ เมื่อจำนวนชุดโหลดเพิ่มเป็น 5 ชุด จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณเพิ่มขึ้นเป็น 6 รอบ และ 0.1175 วินาที ตามลำดับ สำหรับวิธี TNRPF การเพิ่มโหลดทั้ง 5 ชุดเข้าในระบบใช้จำนวนรอบในการคำนวณ 5 รอบเท่ากัน และเวลาที่ใช้ในการคำนวณเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนผลทดสอบการเพิ่ม โหลดในระบบไฟฟ้าโดยใช้แบบจำลองโหลดอิมพีแดนซ์ แสดงไว้ในตารางที่ 3.15 การเพิ่ม โหลดทั้ง 5 ชุดไม่ทำให้จำนวนรอบในการคำนวณเพิ่มขึ้น โดยวิธี SNRPF และวิธี TNRPF ใช้จำนวนรอบในการคำนวณ 5 รอบเท่ากัน ทั้งสองวิธีใช้เวลาในการคำนวณมากขึ้นเมื่อเพิ่ม โหลดจาก 1 ชุด เป็น 5 ชุด กรณีโหลด 1 ชุด วิธี SNRPF ใช้เวลาในการคำนวณ 0.0822 วินาที และวิธี TNRPF ใช้เวลาในการคำนวณ 0.0767 วินาที เมื่อเพิ่ม โหลดในระบบเป็น 5 ชุด วิธี SNRPF ใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มขึ้นเป็น 0.0946 วินาที และวิธี TNRPF ใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มขึ้นเป็น 0.0783 วินาที และผลทดสอบการเพิ่ม โหลดในระบบไฟฟ้าโดยใช้แบบจำลอง โหลดกำลังไฟฟ้า แสดงไว้ในตารางที่ 3.16 กรณีเพิ่ม โหลดเข้าในระบบไฟฟ้า 1 ชุดวิธี SNRPF และวิธี TNRPF ใช้จำนวนรอบในการคำนวณ 5 รอบเท่ากัน และเมื่อเพิ่ม โหลดเข้าในระบบเป็น 5 ชุด ทั้งสองวิธียังคงใช้จำนวนรอบในการคำนวณเท่ากัน คือ 5 รอบ สำหรับเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนการเพิ่ม โหลดเข้าในระบบ กรณีเพิ่ม โหลด 1 ชุดวิธี SNRPF ใช้เวลาในการคำนวณ 0.0815 วินาที และวิธี TNRPF ใช้เวลาในการคำนวณ 0.0782 วินาที เมื่อเพิ่ม โหลดในระบบเป็น 5 ชุดวิธี SNRPF ใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มขึ้นเป็น 0.0949 วินาที และวิธี TNRPF ใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มขึ้นเป็น 0.0783 วินาที ตารางที่ 3.14 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณของระบบทดสอบ 69 บัส

#### กรณีแบบจำลองโหลดกระแสไฟฟ้า

จำนวนชุดโหลด	จำนวนรอบ		เวลาเฉลี่ย (วินาที)		อัตราส่วนเวลา SNRPF/TNRPF
	SNRPF	TNRPF	SNRPF	TNRPF	
1	5	5	0.0827	0.0780	1.0603
1-2	5	5	0.0861	0.0781	1.1024
1-3	5	5	0.0882	0.0784	1.1250
1-4	5	5	0.0896	0.0784	1.1429
1-5	6	5	0.1175	0.0786	1.4949

ตารางที่ 3.15 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณของระบบทดสอบ 69 บัส  
กรณีแบบจำลองโหลดอิมพีแดนซ์

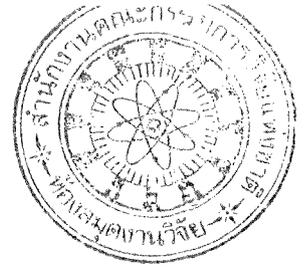
จำนวนชุดโหลด	จำนวนรอบ		เวลาเฉลี่ย (วินาที)		อัตราส่วนเวลา SNRPF/TNRPF
	SNRPF	TNRPF	SNRPF	TNRPF	
1	5	5	0.0822	0.0767	1.0717
1-2	5	5	0.0840	0.0771	1.0895
1-3	5	5	0.0855	0.0776	1.1018
1-4	5	5	0.0892	0.0781	1.1421
1-5	5	5	0.0946	0.0783	1.2082

ตารางที่ 3.16 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณของระบบทดสอบ 69 บัส  
กรณีแบบจำลองโหลดกำลังไฟฟ้า

จำนวนชุดโหลด	จำนวนรอบ		เวลาเฉลี่ย (วินาที)		อัตราส่วนเวลา SNRPF/TNRPF
	SNRPF	TNRPF	SNRPF	TNRPF	
1	5	5	0.0815	0.0782	1.0422
1-2	5	5	0.0850	0.0780	1.0897
1-3	5	5	0.0869	0.0782	1.1113
1-4	5	5	0.0898	0.0782	1.1483
1-5	5	5	0.0949	0.0783	1.2120

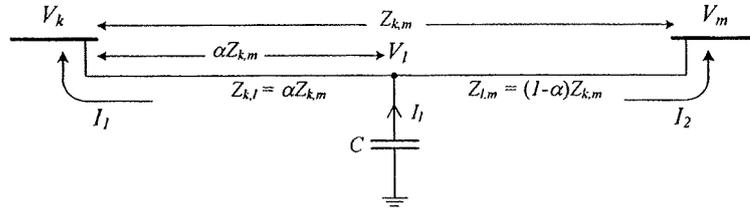
### 3.7 เทคนิคการถ่ายโอนอุปกรณ์ชดเชย (compensators transfer technique)

การติดตั้งอุปกรณ์ชดเชยกำลังไฟฟ้าในบางกรณีเป็นการเพิ่มบัสใหม่ในระบบ ทำให้สมการการไหลของกำลังไฟฟ้าและตัวแปรที่เกี่ยวข้องเพิ่มขึ้นตามจำนวนอุปกรณ์ที่ถูกติดตั้ง จากเทคนิคการถ่ายโอนโหลดที่ได้แสดงไปในหัวข้อที่ 3.2 นำมาประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์การถ่ายโอนอุปกรณ์ชดเชยในสภาวะคงตัวเพื่อวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้า งานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองอุปกรณ์ชดเชย 3 ชนิด คือ ตัวเก็บประจุ SVC และ D-STATCOM มีหลักการดังนี้



### 3.7.1 อุปกรณ์ชดเชยตัวเก็บประจุ

พิจารณาระบบไฟฟ้ากำลังในรูปที่ 3.8 เป็นระบบไฟฟ้ากำลัง 3 บัส โดยที่ บัส  $l$  อยู่ระหว่างบัส  $k$  และบัส  $m$  ซึ่งเป็นบัสเสริมที่เกิดจากการติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบ ต้องการกำจัดบัสเสริม  $l$  ออกไปเพื่อให้ขนาดของระบบไม่เปลี่ยนแปลง มีหลักการดัง



รูปที่ 3.8 บัส  $l$  ที่มีตัวเก็บประจุต่อเชื่อมอยู่

จากรูปที่ 3.1 วิเคราะห์โดยใช้ KVL และ KCL จะได้ว่า

$$\text{Loop } I_1: V_l - V_k = Z_{k,l} I_1 \quad (3-34)$$

$$\text{Loop } I_2: V_l - V_m = Z_{l,m} I_2 \quad (3-35)$$

นำสมการที่ (3-34) ลบกับสมการที่ (3-35) จะได้

$$V_m - V_k = Z_{k,l} I_1 - Z_{l,m} I_2 \quad (3-36)$$

โดยที่  $I_1 = I_l - I_2$  และ  $I_2 = I_l - I_1$

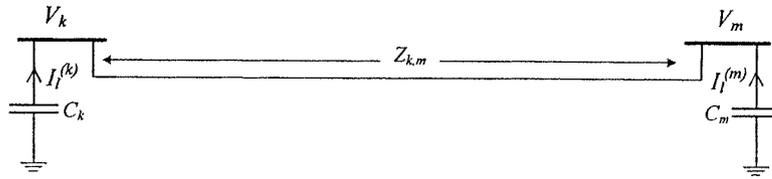
กำจัด  $I_2$  โดยการแทนค่า  $I_2 = I_l - I_1$  ในสมการที่ (3-36) และจัดรูปสมการ จะได้ว่า

$$I_1 = \left( \frac{Z_{l,m}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) I_l + \left( \frac{V_m - V_k}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) \quad (3-37)$$

กำจัด  $I_1$  โดยการแทนค่า  $I_1 = I_l - I_2$  ในสมการที่ (3-36) และจัดรูปสมการ จะได้ว่า

$$I_2 = \left( \frac{Z_{k,l}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) I_l - \left( \frac{V_m - V_k}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) \quad (3-38)$$

แบบจำลองการย้ายตัวเก็บประจุที่บัสเสริม  $l$  ใดๆ ในรูปที่ 3.8 ไปยังบัสข้างเคียง สามารถเขียนแทนได้ด้วยวงจรสมมูลในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แบบจำลองการย้ายตัวเก็บประจุจากบัส  $l$  มายังบัสข้างเคียง  $k$  และจากรูปที่ 3.9 โดยใช้เทคนิคการถ่ายโอนโหนด จะได้ว่า

$$I_l^{(k)} = \left( \frac{Z_{l,m}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) I_l \quad (3-39)$$

$$I_l^{(m)} = \left( \frac{Z_{k,l}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) I_l \quad (3-40)$$

การหาแรงดันที่บัส  $l$  หาได้ดังนี้  
จากสมการที่ (3-34) จะได้ว่า

$$I_1 = \frac{V_l - V_k}{Z_{k,l}} \quad (3-41)$$

แทนค่า  $I_2 = I_l - I_1$  ลงในสมการที่ (3-35) และจัดรูปสมการ จะได้

$$I_1 = \frac{V_m - V_l}{Z_{l,m}} + I_l \quad (3-42)$$

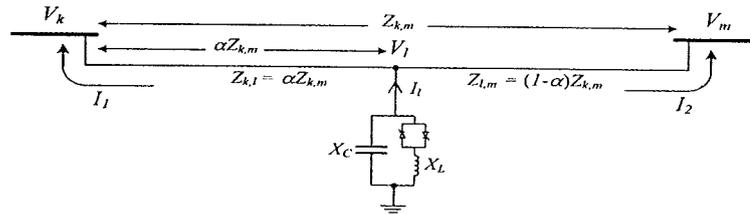
แทนค่า  $I_1$  จากสมการที่ (3-42) ลงในสมการที่ (3-41) จะได้

$$V_l = \left( \frac{Z_{l,m}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) V_k + \left( \frac{Z_{k,l}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) V_m + \left( \frac{Z_{k,l} Z_{l,m}}{Z_{k,l} + Z_{l,m}} \right) I_l \quad (3-43)$$

เนื่องจากตัวเก็บประจุในระบบไฟฟ้ากำลังนิยมกำหนดด้วยกำลังไฟฟ้ามากกว่ากระแสไฟฟ้านั้นเพื่อให้สอดคล้องกับเงื่อนไข กระแสไฟฟ้า  $I_l$  สามารถเขียนแทนได้ด้วย  $(S_l / V_l)^*$

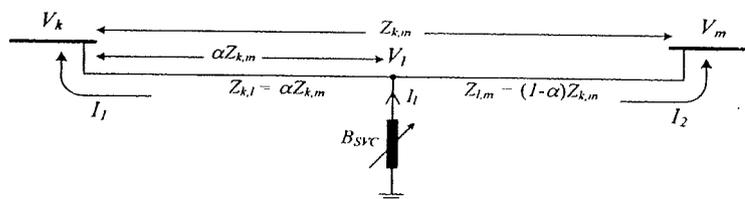
### 3.7.2 อุปกรณ์ชดเชย SVC

พิจารณาระบบไฟฟ้ากำลังในรูปที่ 3.10 เป็นระบบไฟฟ้ากำลัง 3 บัส โดยที่ บัส  $l$  อยู่ระหว่างบัส  $k$  และบัส  $m$  ซึ่งเป็นบัสเสริมที่เกิดจากการติดตั้ง SVC ในระบบ สามารถเขียนแทนด้วยวงจรสมมูลชั้สเซปแทนซ์ดังรูปที่ 3.11 ต้องการกำจัดบัสเสริม  $l$  ออกไปเพื่อให้ขนาดของระบบไม่เปลี่ยนแปลง มีหลักการดังนี้

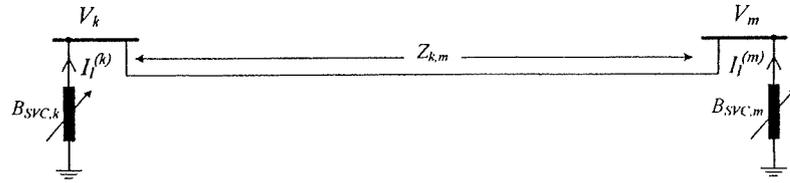


รูปที่ 3.10 บัส  $l$  ที่มี SVC ต่อเชื่อมอยู่

จากรูปที่ 3.11 แบบจำลองของ SVC ในสถานะคงตัวเขียนแทนด้วยค่าชั้สเซปแทนซ์ต่อขนานกับบัส  $l$  ใช้การวิเคราะห์เช่นเดียวกับเทคนิคการถ่ายโอนโพลดิมพีแดนซ์ในหัวข้อที่ 3.2.2 โดยการแทนค่า  $I_l = (V_l j B_{SVC})$  ค่าที่ได้จากการถ่ายโอนไปยังบัสข้างเคียงเขียนในรูปสมการกระแสไฟฟ้าได้ดังสมการที่ (3-44) และ (3-45) แรงดันไฟฟ้าที่บัส  $l$  กำหนดได้จากสมการที่ (3-46)



รูปที่ 3.11 ตัวชดเชยค่าชั้สเซปแทนซ์ของ SVC ที่บัส  $l$  ใดๆ

รูปที่ 3.12 แบบจำลองการย้าย SVC จากบัส  $l$  มายังบัสข้างเคียง  $k$  และ  $m$ 

$$I_l^{(k)} = \frac{(1-\alpha)jB_{SVC}}{\beta_1} (V_k - \alpha(V_k - V_m)) \quad (3-44)$$

$$I_l^{(m)} = \frac{\alpha jB_{SVC}}{\beta_1} (V_k - \alpha(V_k - V_m)) \quad (3-45)$$

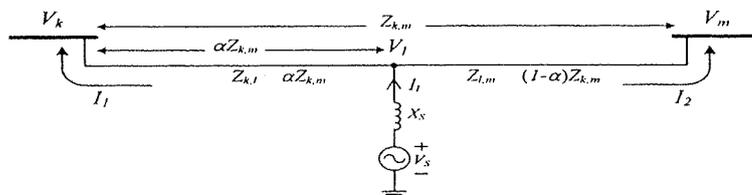
$$V_l = \frac{1}{\beta_1} (V_k - \alpha(V_k - V_m)) \quad (3-46)$$

โดยที่  $B_{SVC}$  คือ ค่าชั้สเชปแดนซ์ของ SVC

$$\beta_1 = 1 - (\alpha - \alpha^2)Z_{k,m}jB_{SVC}$$

### 3.7.3 อุปกรณ์ชดเชย D-STATCOM

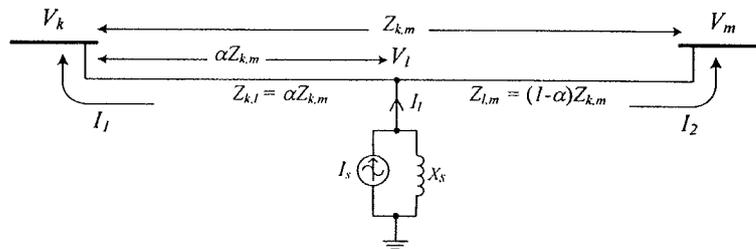
พิจารณาระบบไฟฟ้ากำลังในรูปที่ 3.13 เป็นระบบไฟฟ้ากำลัง 3 บัส โดยที่ บัส  $l$  อยู่ระหว่างบัส  $k$  และบัส  $m$  ซึ่งเป็นบัสเสริมที่เกิดจากการติดตั้ง D-STATCOM ในระบบเขียนแทนด้วยวงจรสมมูลแหล่งจ่ายแรงดันอนุกรมกับรีแอกแตนซ์ ใช้วิธีการแปลงวงจรสมมูลเทวินินเป็นวงจรสมมูลนอร์ตันได้ดังรูปที่ 3.14 การกำจัดบัสเสริม  $l$  ออกไปเพื่อให้ขนาดของระบบไม่เปลี่ยนแปลงมีหลักการดังนี้

รูปที่ 3.13 บัส  $l$  ที่มี D-STATCOM ต่อเชื่อมอยู่

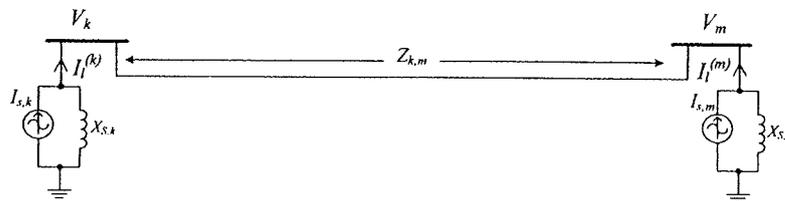
จากรูปที่ 3.14 แบบจำลองของ D-STATCOM ในสภาวะคงตัวเขียนแทนด้วยวงจรสมมูลนอร์ตันซึ่งประกอบด้วยแหล่งจ่ายกระแสต่อขนานกับค่ารีแอกแตนซ์และต่อขนานกับบัส  $l$  กระแส  $I_s$  คำนวณได้จากสมการที่ (3-47) นำเทคนิคการถ่ายโอนโหนดที่ได้แสดงวิธีการวิเคราะห์ไปแล้วในหัวข้อที่ 3.2 มาประยุกต์ใช้โดยทำการวิเคราะห์ 2 ส่วน คือ ประยุกต์ใช้เทคนิคการถ่ายโอนโหนดกระแสไฟฟ้าในหัวข้อที่ 3.2.1 เพื่อถ่ายโอนค่ากระแสไฟฟ้าที่ฉีดโดย D-STATCOM และประยุกต์ใช้เทคนิคการถ่ายโอนโหนดอิมพีแดนซ์ในหัวข้อที่ 3.2.2 เพื่อถ่ายโอนค่ารีแอกแตนซ์ขนานค่าที่ได้จากการถ่ายโอนไปยังบัสข้างเคียงเขียนในรูปสมการกระแสไฟฟ้าได้ดังสมการที่ (3-48) และ (3-49) แรงดันไฟฟ้าที่บัส  $l$  คำนวณได้จากสมการที่ (3-50)

$$I_s = \frac{V_s}{jX_s} \tag{3.47}$$

- โดยที่  $V_s$  คือ แรงดันของ D-STATCOM
- $X_s$  คือ รีแอกแตนซ์ภายในของ D-STATCOM
- $I_s$  คือ กระแสที่ฉีดโดย D-STATCOM



รูปที่ 3.14 วงจรสมมูลนอร์ตันของ D-STATCOM



รูปที่ 3.15 แบบจำลองการย้าย D-STATCOM จากบัส  $l$  มายังบัสข้างเคียง  $k$  และ  $m$

$$I_l^{(k)} = (1 - \alpha)(I_s - \beta_2) \quad (3-48)$$

$$I_l^{(m)} = \alpha(I_s - \beta_2) \quad (3-49)$$

$$V_l = jX_s \beta_2 \quad (3-50)$$

โดยที่  $X_s$  คือ ค่ารีแอกแตนซ์ของ D-STATCOM

$$\beta_2 = \frac{V_k - \alpha(V_k - V_m - (1 - \alpha)Z_{k,m}I_s)}{jX_s + (\alpha - \alpha^2)Z_{k,m}}$$

### 3.8 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงเทคนิคการถ่ายโอนโหลด 3 ประเภทที่นิยมใช้ในระบบไฟฟ้ากำลัง ได้แก่ แบบจำลองโหลดกระแสไฟฟ้า อิมพีแดนซ์ และกำลังไฟฟ้าเพื่อปรับปรุงสมการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าโดยใช้วิธีเกาส์-ไซเดลและวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยที่การคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันร่วมกับเทคนิคการถ่ายโอนโหลดได้นำเสนอการรวมกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการถ่ายโอนโหลดเข้ากับ  $S_{sch}$  เพื่อให้การคำนวณเมตริกซ์จาโคเบียนไม่เปลี่ยนแปลงและทดสอบประสิทธิภาพของเทคนิคที่นำเสนอโดยใช้ระบบทดสอบ 4 ระบบ โดยการแปรค่าตำแหน่งติดตั้งจากต้นของสายส่งไปจนถึงปลายของสายส่ง ด้วยเทคนิคการถ่ายโอนโหลดทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณลดลงและตำแหน่งติดตั้งโหลดไม่มีผลต่อคุณสมบัติการลู่เข้าของระบบ ลำดับต่อมาศึกษาผลของการเพิ่มโหลดกับคุณสมบัติการลู่เข้าของระบบ ด้วยเทคนิคการถ่ายโอนโหลดทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณลดลง เนื่องจากเทคนิคการถ่ายโอนโหลดจะทำให้ขนาดของระบบไฟฟ้ากำลังไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าจะสามารถทำได้รวดเร็วยิ่งขึ้น เทคนิคนี้ยังช่วยให้การจำลองผลมีความสะดวกขึ้นอย่างมากโดยไม่จำกัดตำแหน่งในการจำลองผลในระบบไฟฟ้าอีกต่อไป ลำดับต่อมาได้นำเสนอเทคนิคการถ่ายโอนอุปกรณ์ชดเชยในสถานะคงตัว 3 ชนิด เพื่อวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้า ได้แก่ ตัวเก็บประจุ SVC และ D-STATCOM เพื่อให้เห็นข้อดีของเทคนิคการถ่ายโอนโหลดชัดเจนมากยิ่งขึ้นจึงได้นำเสนอการหาตำแหน่งติดตั้งและขนาดของตัวเก็บประจุ SVC และ D-STATCOM ในระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าที่จะได้กล่าวถึงในบทที่ 4 และบทที่ 5 ต่อไป