



บทที่ 4

การหาขนาดและตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับชั้นคเคแปซิเตอร์แบบค่าคงที่

4.1 บทนำ

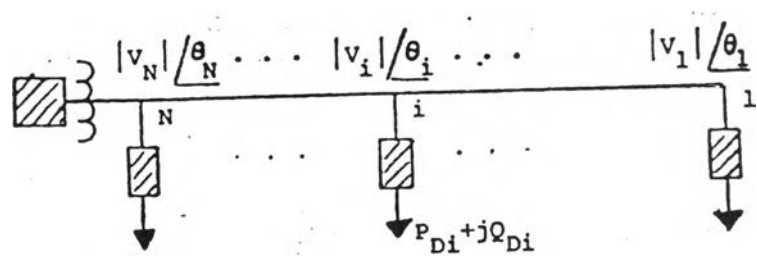
ในระบบไฟฟ้ากำลัง พลังงานไฟฟ้าจะถูกส่งไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้า โดยระบบส่ง (Transmission System) ไปยังระบบจำหน่าย (Distribution System) การส่งผ่านพลังงานไฟฟ้านี้เองจะทำให้เกิดการสูญเสียของพลังงานนั้น ซึ่งค่าการสูญเสียนี้จะเพิ่มมากขึ้นในเวลาที่โหลดมีค่ายอด (Peak Load) เป็นที่รู้จักกันดีแล้วว่าวิธีหนึ่งซึ่งสามารถจะลดค่าความสูญเสียลงได้ก็โดยการติดตั้งชั้นคเคแปซิเตอร์เข้าไปในระบบไฟฟ้า โดยในที่นี้จะหมายถึงสายป้อนของระบบจำหน่ายแบบปฐมภูมิ (Primary Distribution Feeder) ในทางปฏิบัติการหาตำแหน่งติดตั้งของคเคแปซิเตอร์นั้นส่วนมากจะใช้วิธีฮิวริสติก (Heuristic) ซึ่งวิธีการนี้จะมีข้อจำกัดอย่างมากเนื่องจากจะต้องมีการตั้งสมมติฐานซึ่งไม่ตรงกับความเป็นจริงข้อใดข้อหนึ่งหรือทั้งหมดดังต่อไปนี้

- 1) โหลดถูกสมมุติให้มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดสาย
- 2) สายป้อนถูกกำหนดให้มีขนาดคงที่
- 3) ไม่ได้นำราคาของคเคแปซิเตอร์มาพิจารณาด้วย
- 4) การเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันไม่ได้ถูกนำมาพิจารณา

สำหรับในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแสดงให้เห็นถึงวิธีการใหม่ซึ่งจะกำจัดข้อสมมติฐานที่ไม่ตรงกับความจริงดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้นนี้ออกไปทั้งหมด เพื่อที่จะใช้ในการหาขนาดและตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมของคเคแปซิเตอร์สำหรับสายป้อนแบบเรเดียล

4.2 ฟังก์ชันการกระจายของกระแส

สายป้อนของระบบจำหน่ายแบบปฐมภูมิในทางปฏิบัติจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนย่อย ๆ ซึ่งแต่ละส่วนจะมีขนาดของสายแตกต่างกัน เริ่มตั้งแต่สถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยแล้วไปสิ้นสุดที่ปลายสายป้อน โดยการใช้กรรมวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ทำให้เราสามารถหาสายป้อนแบบ Normalized Equivalent Feeder ได้ โดยที่สายป้อนชนิดนี้จะมีค่าความต้านทานสม่ำเสมอ r โอห์มต่อหนึ่งหน่วยความยาว สายป้อนแบบ Normalized Equivalent Feeder จะมีค่าความต้านทานเหมือนกับสายป้อนจริงทุกประการ หรืออาจจะกล่าวได้ว่าค่าความต้านทานของสายป้อนแต่ละส่วนไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงเลย ดังนั้นจากแบบจำลองของสายป้อนนี้ทำให้สามารถหาค่าความสูญเสียที่คิดเป็นกิโลวัตต์ สำหรับแต่ละส่วนของสายป้อนทั้งสายได้อย่างถูกต้อง โดยที่ค่าของโหลดที่จะเกิดขึ้นจริงจะถูกกำหนดให้ จากแนวความคิดของสายป้อนแบบ Normalized Equivalent Feeder นี้เองจะนำไปสู่วิธีการในการหาฟังก์ชันการกระจายของกระแส ซึ่งสามารถสร้างได้โดยง่ายเมื่อเรารู้ค่าของกระแสไหลลด ฟังก์ชันการกระจายของกระแสนี้เกี่ยวข้องกับความจริงที่ว่า กระแสไหลลดบนสายป้อนไม่จำเป็นที่จะต้องมีการกระจายแบบสม่ำเสมอ แต่สามารถที่จะเกิดขึ้นที่จุดใด ๆ ซึ่งไม่จำเป็นที่จะต้องต่อเนื่องกันไปอย่างสม่ำเสมอ และเราเรียกจุดนี้ว่าจุดโหลด (Load Point)



รูปที่ 4-1 จุดโหลดต่าง ๆ บนสายป้อน

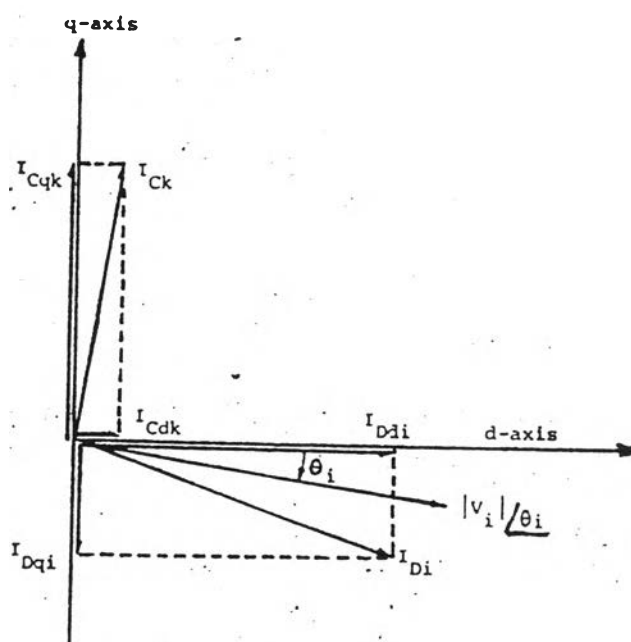
แต่อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 4-1 โหลดที่เกิดขึ้นบนสายป้อนถูกกำหนดโดยส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ และกระแสไหลลดจริงจะขึ้นอยู่กับค่าของแรงดันโวลต์ที่

สามารถที่จะคำนวณหาค่าได้ต่อเมื่อเราทราบค่าของแรงดันและมุมเฟสที่จุดโหลดแต่ละจุด ซึ่งจะหาได้จากค่าตอบของโวลต์โพลาร์ วิธีการในบทนี้จะขยายไปถึงแนวความคิดของฟังก์ชันการกระจายของกระแส โดยจะรวมเอาผลของการเปลี่ยนแปลงแรงดันซึ่งเกิดขึ้นมาจากโหลดและขั้นตอนะแปซิเตอร์ ดังนั้นปัญหาที่จะถูกพิจารณาในที่นี้อาจจะกล่าวได้ดังนี้

สำหรับสายป้อนแบบเรเดียลที่กำหนดให้เส้นหนึ่ง ซึ่งอาจจะมีหลายส่วนประกอบกัน โดยที่แต่ละส่วนอาจจะมีขนาดแตกต่างกันก็ได้ เมื่อทราบค่าการกระจายของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟบนสายป้อนซึ่งอาจจะมี การกระจายแบบสม่ำเสมอ หรือแบบเฉพาะก็ได้ สิ่งที่ต้องการก็คือขนาดและตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมที่สุดของขั้นตอนะแปซิเตอร์ n ตัว ซึ่งจะทำให้ความสูญเสียเป็นกิโลวัตต์บนสายป้อนมีค่าน้อยที่สุด

จุดโหลดจะถูกกำหนดตัวเลขเรียงจากน้อยไปหามากจากปลายสายป้อนจนถึงสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยดังแสดงในรูปที่ 4-1 ถ้ากำหนดให้ P_{D_i} และ Q_{D_i} แทนโวลต์จริงและโวลต์รีแอกทีฟตามลำดับและกำหนดให้แรงดันที่บัส i เขียนแทนด้วย $|V_i| \angle -\theta_i$ ($i=1, 2, \dots, N$) ซึ่งมุมเฟสจะถูกวัดเทียบกับแรงดันอ้างอิงที่สถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย กระแสโวลต์ I_{D_i} สามารถแยกออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของแกนตรง (d-Axis) เขียนแทนด้วย $I_{D_{d_i}}$ และส่วนของแกนควอดเรเจอร์ (q-Axis) เขียนแทนด้วย $I_{D_{q_i}}$ ดังแสดงในรูปที่ 4-2 โดยที่

$$\begin{aligned}
 I_{D_i} &= \frac{P_{D_i} - jQ_{D_i}}{|V_i| \angle -\theta_i} \\
 &= \frac{(P_{D_i} - jQ_{D_i})(\cos\theta_i + jsine\theta_i)}{|V_i|} \\
 &= \frac{(P_{D_i} \cos\theta_i + Q_{D_i} sine\theta_i) - j(Q_{D_i} \cos\theta_i - P_{D_i} sine\theta_i)}{|V_i|} \\
 &= I_{D_{d_i}} - jI_{D_{q_i}} \quad (4.1)
 \end{aligned}$$



รูปที่ 4-2 ค่ากระแสไหลคดและกระแสคดแปซิเตอร์ในแกนตรงและแกนควอดเตรเจอร์

จะสังเกตเห็นได้ว่า I_{Dki} จะถูกกำหนดให้เป็นค่าลบของส่วนจินตภาพของ I_{Di} ดังนั้นโหลดที่มีตัวประกอบกำลังแบบล่าหลัง (Lagging Power Factor) ที่บัส i จะมีค่าของ I_{Dki} เป็นบวก และทำให้ฟังก์ชันการกระจายของกระแสซึ่งถูกสร้างจาก I_{Dki} ($i=1,2,\dots,N$) จะมีค่าเป็นบวก ถ้ากำหนดให้ k' แทนบัสที่มีการติดตั้งคดแปซิเตอร์ ดังนั้นกระแสของคดแปซิเตอร์จะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนเช่นกันคือ ในแกนตรง I_{Cdk} และแกนควอดเตรเจอร์ I_{Cqk} โดยที่เราสามารถหาค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$Q_c = \frac{|V|^2}{X_c} \quad (4.2)$$

ดังนั้น

$$\frac{Q_{c1}}{Q_{c2}} = \frac{|V_1|^2}{|V_2|^2}$$

$$\begin{aligned} I_{c2} &= \frac{jQ_{c2}}{|V_2| \angle -\theta_2} \\ &= \frac{jQ_{c1} |V_2|^2}{|V_2| |V_1|^2 \angle -\theta_2} \\ &= \frac{jQ_{c1} |V_2|}{|V_1|^2 \angle -\theta_2} \end{aligned}$$

เมื่อเราคิดเป็นค่าต่อหน่วย p.u. จะเห็นได้ว่า

$$\begin{aligned} |V_1| &= \text{แรงดันพิกัดของคะแพซิเตอร์} = 1 \text{ หน่วย} \\ Q_{c1} &= \text{กิโลวาร์พิกัดของคะแพซิเตอร์เมื่อแรงดัน} |V_1| \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} I_{c2} &= \frac{jQ_{c1} |V_2|}{1 \angle -\theta_2} \\ &= -Q_c |V_2| \sin \theta_2 + jQ_c |V_2| \cos \theta_2 \end{aligned} \quad (4.3)$$

จากสมการ (4.3) จะสามารถเขียนค่ากระแสของคะแพซิเตอร์ตัวที่ k และติดตั้งที่บัส k' ได้ดังนี้คือ

$$I_{ck} = -Q_{ck} |V_k| \sin \theta_{k'} + jQ_{ck} |V_k| \cos \theta_{k'} \quad (4.4)$$

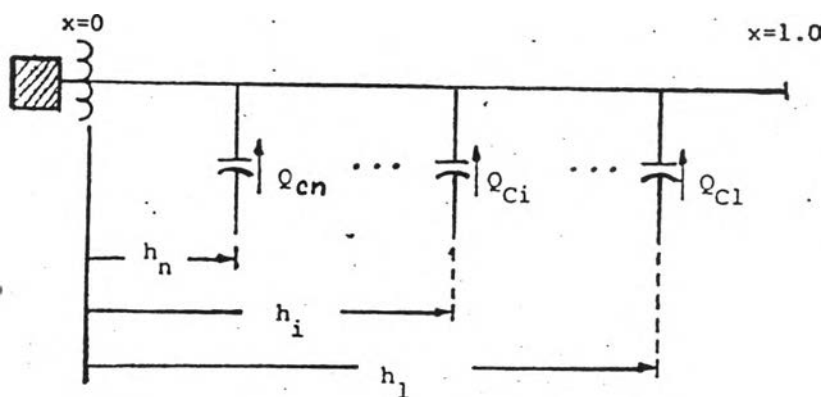
ถ้ายังไม่พิจารณาถึงคะแพซิเตอร์ที่ติดตั้งอยู่กับระบบ ค่าของกระแสไหลที่ไหลผ่านส่วนต่าง ๆ ของสายป้อนระหว่างบัสที่ i และบัสที่ i+1 จะถูกแทนด้วย

$$\begin{aligned}
 I_{i, i+1} &= \sum_{k=1}^i I_{D_{\alpha k}} \\
 &= \sum_{k=1}^i I_{D_{\alpha k}} - j \sum_{k=1}^i I_{D_{\alpha k}} \quad (4.5)
 \end{aligned}$$

ถึงตอนนี้ถ้าจะพิจารณาถึงฟังก์ชันการกระจายของกระแสแยกกันไปในแต่ละแกนของรูปที่ 4-2 ฟังก์ชันการกระจายของกระแสที่กักกำหนดที่จุด x บนสายป้อนแบบ Normalized Equivalent Feeder สำหรับกระแสไหลในแกนตรงถูกเขียนแทนด้วย $F'_{\alpha}(x)$ และเราแทน $F''_{\alpha}(x)$ ด้วยฟังก์ชันการกระจายของกระแสไหลในแกนควอดเรเจอร์ตามลำดับ สำหรับสายป้อนซึ่งมีจุดไหลจำนวนหนึ่ง ทั้ง $F'_{\alpha}(x)$ และ $F''_{\alpha}(x)$ จะเป็นฟังก์ชันแบบซึ้นบันได ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่ x มีค่าลดลงจาก $x=1$ จนถึง $x=0$ นั่นคือจากปลายสายป้อนย้อนกลับมายังสถานีจ่ายไฟฟ้าอยู่ดังแสดงในรูปที่ 4-3 ดังนั้นที่จุด x ใด ๆ ระหว่างบัส i และบัส $i+1$ ที่อยู่บนสายป้อนแบบ Normalized Equivalent Feeder เราสามารถหาค่า $F'_{\alpha}(x)$ และ $F''_{\alpha}(x)$ ได้จาก

$$F'_{\alpha}(x) = \sum_{k=1}^i I_{D_{\alpha k}} \quad (4.6)$$

$$F''_{\alpha}(x) = \sum_{k=1}^i I_{D_{\alpha k}} \quad (4.7)$$



รูปที่ 4-3 ตำแหน่งติดตั้งและพิกัดของตะแปซีเตอร์

กำหนดให้ R_i แทนความต้านทานของสายป้อนส่วนที่ i ซึ่งต่ออยู่กับบัส i และบัส $i+1$ โดยกำหนดให้ว่าในระบบที่กำลังพิจารณา มีบัสทั้งหมด N บัส และกำหนดให้ถือว่ามีตะแปซีเตอร์จำนวน m_i ตัวถูกติดตั้งอยู่ระหว่างบัส i กับปลายสายป้อน โดยที่แต่ละตัวมีพิกัด Q_{ck} ($k=1, 2, \dots, m_i$) และถูกติดตั้งอยู่ที่บัส k' นั้นหมายความว่าตะแปซีเตอร์เหล่านั้นจะต้องถูกติดตั้งอยู่ที่ปลายสุดของสายป้อนหรือที่บัสใดบัสหนึ่ง ดังนั้นจะสามารถหาค่ากำลังสูญเสียของส่วนที่ i ของสายป้อนสามเฟสได้โดย

$$P_{L_i} = 3R_i \left\{ \left(\sum_{j=1}^i I_{Dd,j} - \sum_{k=1}^{m_i} I_{Cdk} \right)^2 + \left(\sum_{j=1}^i I_{Dq,j} - \sum_{k=1}^{m_i} I_{Cdk} \right)^2 \right\} \quad (4.8)$$

ดังนั้นกำลังสูญเสียทั้งหมดของสายป้อนสามารถเขียนแทนได้ด้วย

$$P_L = \sum_{i=1}^N P_{L_i} \quad (4.9)$$

เมื่อนำเอาแนวความคิดของสายป้อนแบบ Normalized Equivalent Feeder และฟังก์ชันการกระจายของกระแสที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เราสามารถเขียนกำลังสูญเสียทั้งหมดได้เป็น

$$P_L = P'_{L_d} + P'_{L_g} \quad (4.10)$$

โดยที่

$$P'_{L_d} = 3r \left[\int_0^{h_n} (F'_d(x) - \sum_{k=1}^n I_{cdk})^2 dx + \sum_{i=1}^{n-1} \int_{h_{i+1}}^{h_i} (F'_d(x) - \sum_{k=1}^i I_{cdk})^2 dx \right] + \int_{h_1}^1 (F'_d(x))^2 dx \quad (4.11)$$

$$P'_{L_g} = 3r \left[\int_0^{h_n} (F'_g(x) - \sum_{k=1}^n I_{cdk})^2 dx + \sum_{i=1}^{n-1} \int_{h_{i+1}}^{h_i} (F'_g(x) - \sum_{k=1}^i I_{cdk})^2 dx \right] + \int_{h_1}^1 (F'_g(x))^2 dx \quad (4.12)$$

ในสมการ (4.11) และ (4.12) จะพิจารณาถึงตะแปซีเคอร์ n ตัวซึ่งมีพิกัด

Q_{c_i} ($i=1,2,\dots,n$) ถูกติดตั้งบนสายป้อนแบบ Normalized Equivalent Feeder ที่ตำแหน่ง h_i ($i=1,2,\dots,n$) โดยที่กระแสของคะแพซิเตอร์ I_{cdk} และ I_{cok} จะมีความสัมพันธ์กับค่าพิกัดของคะแพซิเตอร์ Q_{c_k} ดังสมการ (4.4) การหาค่าตำแหน่งติดตั้งคะแพซิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของคะแพซิเตอร์ n ตัว สามารถหาได้โดยหาค่าที่น้อยที่สุดของสมการ (4.10) แต่การหาค่านี้มีข้อที่นำสังเกตคือ

- 1) ตัวแปรที่เราต้องการหาค่าคือ Q_{c_i} และ h_i ($i=1,2,\dots,n$) แต่อย่างไรก็ตาม Q_{c_i} ถูกแทนด้วยกระแส I_{cdi} และ I_{coid} โดยที่ i จะตรงกันกับตำแหน่ง h_i ตัวอย่างเช่นถ้าไม่ใช้ I_{coid} แต่ใช้ $Q_{c_i} |V_i| \cos \theta_i$ โดยที่ i' แทนบัสซึ่งคะแพซิเตอร์ตัวที่ i ติดตั้งอยู่ ดังนั้นในกรณี i' จะกลายเป็นตัวแปรที่ต้องการหาค่าเพิ่มขึ้นอีกตัวหนึ่ง ทำให้การคำนวณยากยิ่งขึ้น
- 2) จากสมการ (4.1), (4.6) และ (4.7) จะเห็นได้ว่าทั้ง $F'_d(x)$ และ $F'_o(x)$ จะขึ้นอยู่กับแรงดันของแต่ละบัสบนสายป้อน
- 3) ค่าแรงดันของแต่ละบัสจะไม่สามารถที่จะหาออกมาได้ถ้าค่าของ Q_{c_i} ($i=1,2,\dots,n$) ยังไม่ได้ถูกกำหนดมาก่อน ดังนั้น Q_{c_i} จะต้องเป็นตัวแปรที่ต้องการหาและจะต้องหาขึ้นมาก่อนด้วย

สิ่งที่ตามมาคือ $F'_d(x)$ และ $F'_o(x)$ ขึ้นอยู่กับค่าของ I_{cdk} และ I_{cok} ($k=1,2,\dots,n$) ซึ่งทำให้ค่าของ $F'_d(x)$ และ $F'_o(x)$ จะต้องเปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่เราหาค่าตอบของการวิเคราะห์โพลีโพลี และจะเป็นการยากในการหาค่าน้อยที่สุดของสมการ (4.10) ในการหาค่าของ I_{cdi} และ I_{coid} ($i=1,2,\dots,n$) ซึ่งจะทำให้ค่าของ P'_{Ld} และ P'_{Lo} น้อยที่สุด เนื่องจากค่า I_{cdi} และ I_{coid} ไม่ได้เป็นอิสระซึ่งกันและกัน

ดังนั้นเพื่อการหลีกเลี่ยงความยุ่งยากดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จะขอใช้ความจริงที่ว่าโดยธรรมชาติแล้ว $I_{cdi} \ll I_{coid}$ ซึ่งจะทำให้ P'_{Ld} ไม่ต้องถูกนำมาพิจารณาในกรณีวิธีหาค่าตอบได้ ในความเป็นจริงแล้วค่าของ P'_{Ld} จากโพลีโพลีจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ กับกระบวนการทำซ้ำ (Iteration) ของแต่ละครั้ง แต่สิ่งที่

สำคัญก็คือ P'_{Lo} ไม่มีความไว (Insensitive) อย่างมากมายอะไรต่อตัวแปรที่
ต้องการหาค่า เนื่องจากว่า $I_{Co_i} \ll I_{Co_i}$ ดังนั้นจะสามารถที่จะกำหนดลงไปได้
เลยว่าค่าของ P'_{Lo} จะมีค่าคงที่ตลอดกระบวนการหาค่าตอบ ประเด็นจะมุ่งไป
ที่การหาค่าที่น้อยที่สุดของ P'_{Lo} เพียงอันเดียวเพื่อที่จะหาค่าคำตอบของ I_{Co_i} และ
 b_i ($i=1,2,\dots,n$)

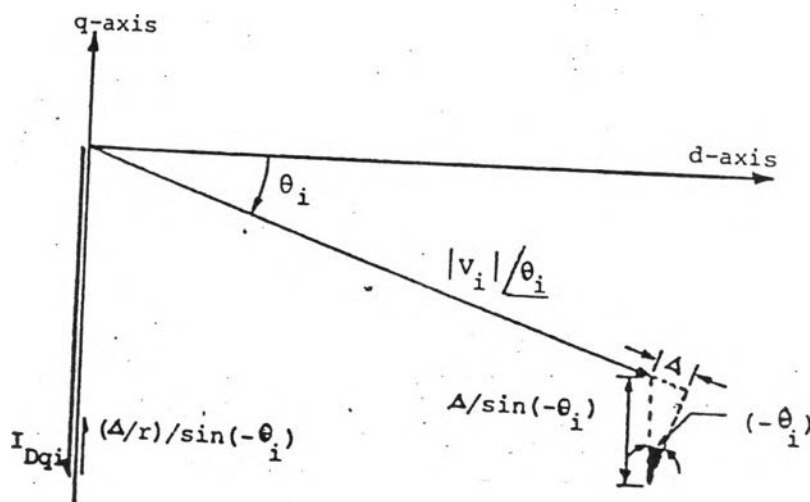
จากการสังเกตมาก่อนหน้านี้แล้วว่ากระแสคัพรีเตอร์ I_{Co_i} ($i=1,2,\dots,n$)
จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันบนสายป้อน แต่อย่างไรก็ตามกระแสไหลคืนใน
แกนควอดเรเจอร์ I_{Dco_i} จะมีความไวอย่างมากกับระดับแรงดันที่บัสของมัน ดังนั้น
จะต้องมีการตัดแปลง $F'_o(x)$ เพื่อที่จะแสดงผลของแรงดันที่เกิดขึ้นกับ P'_{Lo}
การตัดแปลงนี้เป็นสิ่งจำเป็นเนื่องจาก P'_{Lo} ไม่ได้มีความเกี่ยวข้องอย่างเด่นชัดกับขนาด
ของแรงดัน เพื่อที่จะบรรยายให้เห็นถึงกระบวนการในการตัดแปลง เราจะพิจารณาเฟส
เซอร์ของแรงดันในรูปที่ 4-4 สำหรับบัส i และส่วนของกระแสไหลคืน I_{Dco_i} ซึ่งอยู่บน
แกนควอดเรเจอร์ ค่าของกำลังสูญเสีย P'_{Lo} จะขึ้นกับค่าความต้านทานในแบบจำลอง
ของสายป้อน ดังนั้นถ้าขนาดแรงดันที่บัส i แทนด้วย $|V_i|$ เพิ่มขึ้นเนื่องจากการชดเชย
ของคัพรีเตอร์ จะทำให้กระแสไหลคืนในส่วน I_{Dco_i} จะลดลงเป็นสัดส่วนกัน ซึ่งแสดง
ให้เห็นในรูปที่ 4-4 ได้โดย $|V_i|$ เพิ่มขึ้น Δ จะทำให้ค่าของ I_{Dco_i} ลดลงเท่ากับ
 $(\Delta/r)/\sin(\theta_i)$ ดังนั้นสำหรับการเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอของแรงดันที่แต่ละบัสของ
สายป้อนของ P'_{Lo} จะทำให้ส่วนของกระแสไหลคืนบนแกนควอดเรเจอร์ที่บัส i ในกระ
บวนการทำซ้ำถูกเปลี่ยนไปเป็น

$$I_{Dco_i} \rightarrow I_{Dco_i} (\sum_{k=1}^N \sin \theta_k) / (N \sin \theta_i) \quad (4.13)$$

เมื่อกระแสไหลคืนแต่ละส่วนถูกตัดแปลงไป เราจะแทน $F'_o(x)$ ด้วย $F_o(x)$
ซึ่งเขียนแทนได้ด้วย

$$F_o(x) = \sum_{k=1}^i [I_{Dco_k} (\sum_{j=1}^N \sin \theta_j) / (N \sin \theta_k)] \quad (4.14)$$

จากสมการที่ (4.14) เราจะใช้ในการสร้างสมการเพื่อหาคำคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของคะแปซิเตอร์ได้



รูปที่ 4-4 ผลของการเปลี่ยนแปลงแรงดันบนแกนควอดเรเจอร์ของกระแสไหล

ในสมการของการสูญเสีย P'_{Lq}

4.3 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

สำหรับการแก้ปัญหาของเรื่องนี้เพื่อที่จะหาคำคำตอบที่เหมาะสมที่สุด จะนำเอาแนวความคิดของสายป้อนแบบ Normalized Equivalent Feeder และฟังก์ชันการกระจายของกระแสซึ่งได้ถูกตัดแปลงแล้วเข้ามาพิจารณาในที่นี้ เพื่อที่จะหาขนาดและตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมที่สุดของคะแปซิเตอร์จำนวน n ตัว โดยที่คะแปซิเตอร์แต่ละตัวมีพิกัด Q_{ci} ($i=1, 2, \dots, n$) และติดตั้งอยู่ที่ตำแหน่ง h_i ($i=1, 2, \dots, n$) ซึ่งจะหาค่ากำลังสูญเสีย

ทั้งหมดได้จาก

$$P_L = P_{Lc} + P_{Ld} \quad (4.15)$$

โดยที่ P_{Lc} = กำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสในแกนควอดเตรเจอร์

P_{Ld} = กำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสในแกนตรง

จากการที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่ 4.2 แล้วว่า จะกำหนดให้ค่า P_{Ld} มีค่าคงที่เนื่องจากว่า $I_{c_{di}} \ll I_{c_{oi}}$ และ $I_{c_{di}} \ll F'_d(x)$ จึงทำให้เทอม P_{Ld} ไม่ถูกนำมาเกี่ยวข้องกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ดังนั้นในขั้นนี้จะเกี่ยวข้องกับเฉพาะ P_{Lc} เท่านั้น ในการหาขนาดและตำแหน่งติดตั้งของคะแพซิเตอร์ และจากที่ได้ทำการนิยามให้เห็นแล้วในสมการ (4.3) ทำให้สามารถหาค่าพิกัดของคะแพซิเตอร์ตัวที่ i ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ $I_{c_{oi}}$ โดย

$$Q_{c_i} = \frac{I_{c_{oi}}}{|V_{i'}| \cos \theta_{i'}} \quad (4.16)$$

โดยที่ i' = เลขที่ของบัสซึ่งคะแพซิเตอร์ตัวที่ i ติดตั้งอยู่

Q_{c_i} = ขนาดของคะแพซิเตอร์ตัวที่ i

$I_{c_{oi}}$ = กระแสในแกนควอดเตรเจอร์ของคะแพซิเตอร์ตัวที่ i

แน่นอนที่สุด $I_{c_{ok}}$ อาจจะสามารถถูกแทนได้โดย $Q_{ck} |V_{k'}| \cos \theta_{k'}$ แต่ถ้าทำเช่นนั้น เราจะต้องเผชิญกับความยุ่งยากที่จะเกิดตามขึ้นมาในการหาตำแหน่งติดตั้งของคะแพซิเตอร์ เนื่องจากตำแหน่งของคะแพซิเตอร์ตัวที่ k จะถูกแทนด้วยตัวแปรถึง 2 ตัวด้วยกัน กล่าวคือ h_k และบัส k' ดังนั้นจึงต้องใช้ $I_{c_{ok}}$ ในการสร้างสมการของ P_{Lc} เนื่องจาก P_{Ld} ไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการตัดสินใจ (Decision Making Process) ดังนั้นจะสามารถลดค่ากำลังสูญเสียได้โดยการติดตั้งชั้นคะแพซิเตอร์แบบค่าตายตัว และเมื่อนำเอาราคาของคะแพซิเตอร์มาเกี่ยวข้องกับ ทำให้ฟังก์ชันราคา (Cost Function) ที่ต้องการที่จะหาค่าที่น้อยที่สุดโดยการติดตั้งคะแพซิเตอร์จะถูกเขียนได้โดย

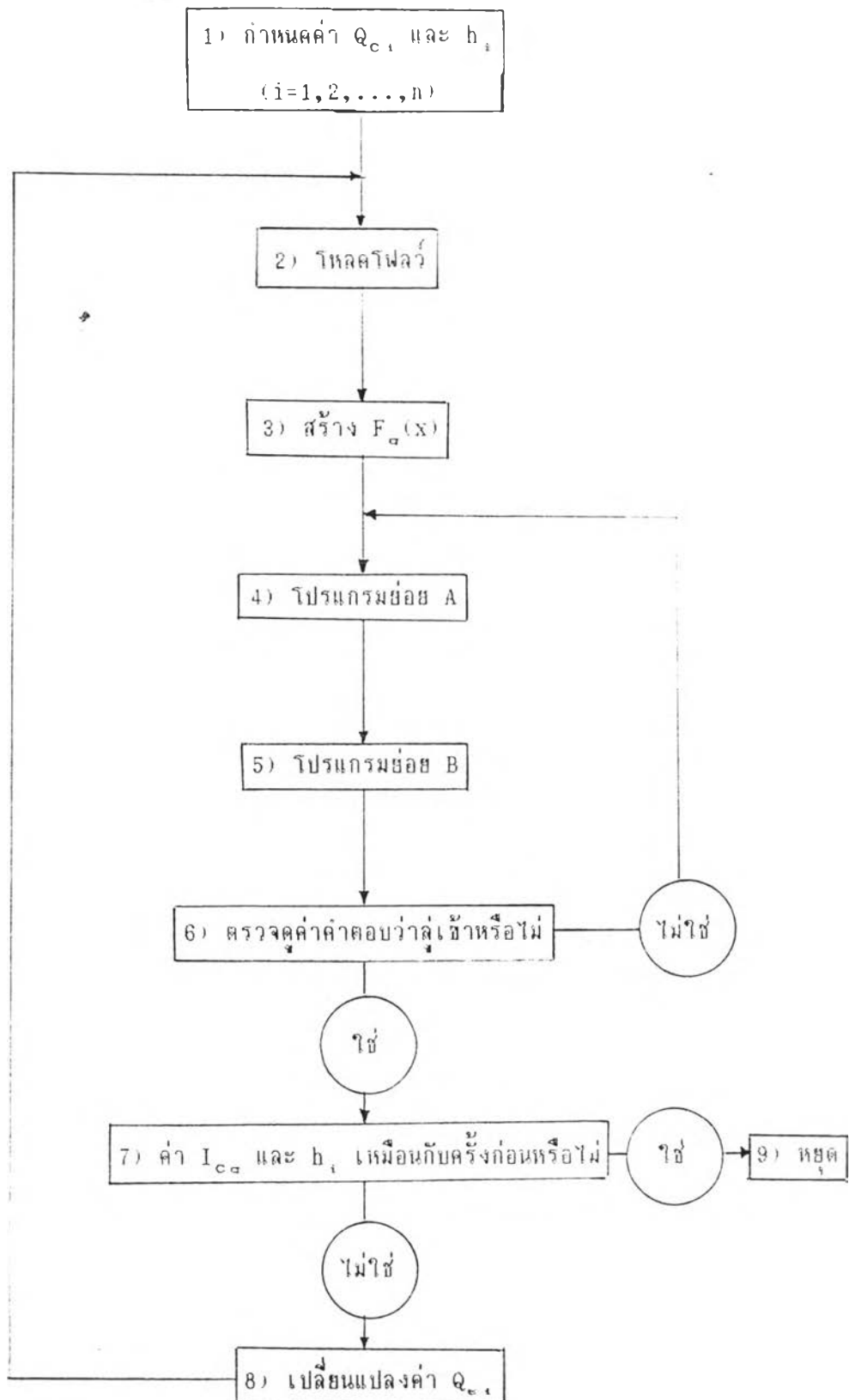
$$\text{Obj. Min. } C = \text{Min}\{K_{\text{c}} P_{\text{c}} + K_{\text{c}} \sum_{k=1}^n Q_{\text{c}k}\} \quad (4.17)$$

โดยที่ K_{c} = ราคาต่อปีต่อหน่วยของกำลังสูญเสียในหน่วย s/kW/Yr
 K_{c} = ราคาต่อปีของกะแปซิเตอร์ที่ถูกติดตั้งในหน่วย s/kVar 3 Phase

ฟังก์ชันการกระจายของกระแสที่ถูกตัดแปลงแล้ว $F_{\text{c}}(x)$ ซึ่งถูกสร้างขึ้นโดยการฉาย (Projection) ของโพลคจริงบนแกนควอดเตรเจอร์ ซึ่งจะขึ้นกับแรงดันบนสายป้อนดังได้แสดงไว้ในสมการที่ (4.1) ยิ่งไปกว่านั้นแรงดันบนสายป้อนขึ้นกับตำแหน่งและขนาดของกะแปซิเตอร์ดังนั้น $F_{\text{c}}(x)$ และ $I_{\text{c}sk}$ ($k=1, 2, \dots, n$) จะมีความเกี่ยวข้องกันอย่างเป็นนัยกับแรงดันบนสายป้อน ถึงแม้ว่าเราจะได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในสมการที่ (4.15) ก็ตาม ดังนั้นเมื่อไรก็ตามที่ต้องเลือกค่าของ $I_{\text{c}sk}$ และ h_k กระบวนการที่ทำอย่างนี้ก็จะส่งผลกับแรงดันบนสายป้อน และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใน $F_{\text{c}}(x)$ ตามลำดับด้วย ในความเป็นจริงแล้วเราจะรวมคำตอบของโพลคิฟลัวในกระบวนการหาแบบซ้ำ (Iteration Search Procedure) สำหรับหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของ $I_{\text{c}sk}$ และ h_k ซึ่งจะช่วยให้ฟังก์ชันราคา C ในสมการที่ (4.17) มีค่าน้อยที่สุด

4.4 กรรมวิธีการหาค่าตอบแบบซ้ำ

กรรมวิธีในการหาค่าตอบโดยใช้คอมพิวเตอร์เพื่อที่จะหาค่าขนาดที่เหมาะสมที่สุดของกะแปซิเตอร์ $I_{\text{c}sk}$ หรือ $Q_{\text{c}k}$ และตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด h_k ซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-5 จะสามารถบรรยายแต่ละขั้นตอนออกมาได้ดังนี้



รูปที่ 4-5 กระบวนการหาค่าตอบโดยการใช้คอมพิวเตอร์

ขั้นที่ 1

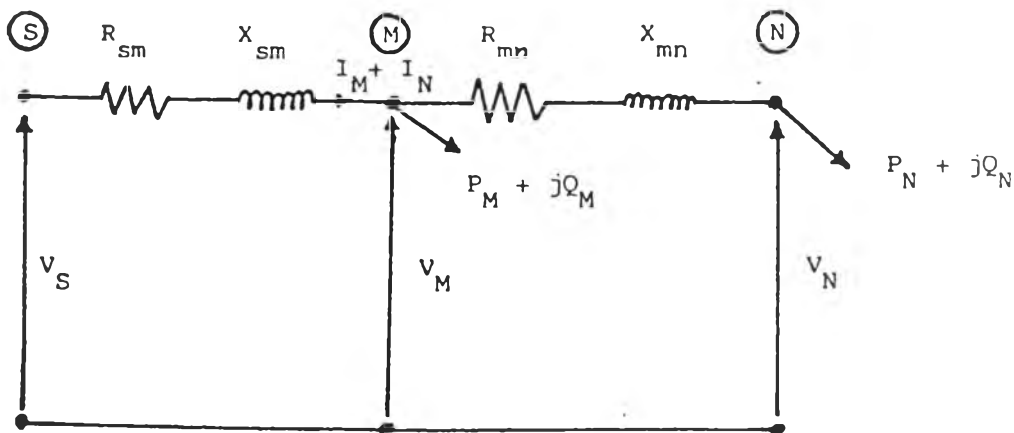
กำหนดค่าเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับ Q_{ci} และ h_i ($i=1,2,\dots,n$)

ขั้นที่ 2

แก้ปัญหาของโหนดโวลต์โดยใช้ค่าแบชิตเตอร์ขนาด Q_{ci} และ h_i ซึ่งจะได้คำตอบออกมาเป็นขนาดของแรงดันและมุมของแต่ละบัสตลอดสายป้อน สำหรับวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์เรเดียลโหนดโวลต์ของวงจรไฟฟ้าสำหรับระบบจำหน่ายคือ เพื่อที่จะทำการหาค่าของกระแสและแรงดันที่จุดต่าง ๆ บนสายป้อน จากเรเดียลโหนดโวลต์นั่นเองจะนำไปสู่การหาขนาดของชั้นเคาะแบชิตเตอร์ บางทีปัญหาที่ใหญ่ที่สุดในการวิเคราะห์วงจรของระบบจำหน่ายก็คือการหาตัวแทนที่เหมาะสมของโหนดที่จุดที่กำหนดให้ ดังนั้นโหนดสามารถแทนได้ด้วย

- 1) กำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟที่กักจ่ายออกไป ($P + jQ$) โดยไม่พิจารณาถึงแรงดันที่โหนด
- 2) ค่าอิมพีแดนซ์คงที่ค่าหนึ่ง ($R + jX$) โดยไม่พิจารณาถึงแรงดันที่โหนด
- 3) กระแสที่จ่ายออกที่ค่าตัวประกอบกำลังคงที่โดยไม่พิจารณาถึงแรงดันที่โหนด

ในวงจรไฟฟ้าสามเฟสที่โหนดเป็นแบบสมมูลย์ สามารถที่จะทำการวิเคราะห์เป็นแบบวงจรเฟสเดียวได้ ไม่ว่าจะใช้ค่าอะไรเป็นตัวแทนของโหนดก็ตาม จะสามารถใช้วิธีการที่จะกล่าวต่อไปนี้ในการหาค่าตอบแบบทำซ้ำ (Iterative Solution) สำหรับระบบไฟฟ้าแบบเรเดียลแล้วการลู่เข้าสู่ค่าที่เราต้องการนั้นจะเร็วมาก ในที่นี้จะแทนโหนดแต่ละแห่งด้วยค่าคงที่ $P + jQ$ และจะแสดงวิธีการหาค่าในตัวอย่างไม่สำหรับวงจรที่มีสามโหนด S, M และ N และกำหนดให้ค่าแรงดันเมื่อเทียบกับนิวทรัลที่โหนด S มีค่าคงที่ดังแสดงในรูปที่ 4-6



รูปที่ 4-6 วงจรไฟฟ้าตัวอย่างที่มีสามบัส

ค่าของ Q_M และ Q_N จะมีค่าเป็นบวกเมื่อโหลดมีตัวประกอบกำลังเป็นแบบตาม (Lagging Power Factor) โดยที่ค่า V_S เป็นแรงดันอ้างอิงที่มีมุมเฟสเท่ากับศูนย์ ดังนั้นสำหรับกระบวนการทำซ้ำครั้งที่ n จะได้ว่า

$$I_N(n) = \frac{P_N - jQ_N}{V_N^*(n-1)} \quad I_M(n) = \frac{P_M - jQ_M}{V_M^*(n-1)}$$

โดยที่ V_N^* = ค่าคอมเพล็กซ์คอนจูเกตของ V_N
 V_M^* = ค่าคอมเพล็กซ์คอนจูเกตของ V_M
 n = จำนวนครั้งของกระบวนการทำซ้ำ

กระบวนการในการหาค่าตอบ

กระบวนการทำซ้ำครั้งที่ 1

- 1) กำหนดค่า $V_M^*(0) = V_N^*(0) = V_S^*$
- 2) หาค่าครั้งแรกของ I_N และ I_M
- 3) หาค่า V_M และ V_N จากสมการ

$$V_M(1) = V_S - (R_{SM} + jX_{SM})(I_M(1) + I_N(1))$$

$$V_N(1) = V_M(1) - (R_{MN} + jX_{MN})I_N(1)$$

กระบวนการทำซ้ำครั้งที่ 2

- 1) หาค่าครั้งที่สองของ I_N และ I_M
- 2) หาค่าของ $V_M(2)$ และ $V_N(2)$
- 3) ทำกระบวนการซ้ำจนกระทั่งค่าความแตกต่างระหว่าง $V_M(n+1)$ กับ $V_M(n)$ มีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดให้ (รวมทั้ง $V_N(n+1)$ และ $V_N(n)$ ด้วย)

ขั้นที่ 3

สร้างฟังก์ชันการกระจายของกระแสตามแกนควอดเตรเจอร์โดยใช้สมการ

$$F_{\sigma}(x) = \sum_{k=1}^i \left[\begin{array}{c} N \\ I_{D_{\sigma k}} (1/N) \sum_{j=1}^N \sin \theta_{j,i} \\ \hline \sin \theta_k \end{array} \right]$$

ขั้นที่ 4

โปรแกรมย่อย A: อาจกล่าวได้ว่ามันเป็นการหาค่าที่หาทั้งขนาดและตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมที่สุดของคะแพซีเตอร์ในคราวเดียวกัน ดังนั้นเราจะแยกปัญหาออกเป็นสองส่วนด้วยกันคือ ส่วนของโปรแกรมย่อย A และ B ซึ่งในแต่ละโปรแกรมย่อยนี้จะกำหนดค่าให้ตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งคงที่ ในขณะที่จะหาค่าของตัวแปรอีกตัวหนึ่ง ดังนั้นในขั้นที่ 4 นี้จะใช้ค่าของตำแหน่งของคะแพซีเตอร์ที่เพิ่งหาค่าได้ $h_i \quad (i=1,2,\dots,n)$ เพื่อที่จะหาค่าขนาดของคะแพซีเตอร์ $I_{C_{\sigma i}} \quad (i=1,2,\dots,n)$ เพื่อที่จะทำให้สมการ (4.17) มีค่าน้อยที่สุด ดังนั้นถ้าตำแหน่งของคะแพซีเตอร์ h_i ถูกกำหนดให้ ค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับขนาดของคะแพซีเตอร์จะหาได้จากการแก้เซตของสมการเส้นตรงดังนี้

$$\begin{bmatrix} h_1 & h_2 & & & h_n \\ & h_2 & h_3 & & h_n \\ & & & & \cdot \\ & & & & \cdot \\ h_1 & h_1 & h_1 & h_{i+1} & h_n \\ & & & & \cdot \\ & & & & \cdot \\ h_n & h_n & h_n & h_n & h_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{C_{\sigma 1}} \\ I_{C_{\sigma 2}} \\ \cdot \\ \cdot \\ I_{C_{\sigma i}} \\ \cdot \\ \cdot \\ I_{C_{\sigma n}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 \\ \int F_{\sigma}(x)dx - K_c / (2rK_{\sigma} |V_1| \cos \theta_1) \\ 0 \\ h_2 \\ \int F_{\sigma}(x)dx - K_c / (2rK_{\sigma} |V_2| \cos \theta_2) \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ h_i \\ \int F_{\sigma}(x)dx - K_c / (2rK_{\sigma} |V_i| \cos \theta_i) \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ h_n \\ \int F_{\sigma}(x)dx - K_c / (2rK_{\sigma} |V_n| \cos \theta_n) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

พิสูจน์ สมการ (4.17) สามารถเขียนแทนได้ด้วย

$$C = K_p P_{L\sigma} + K_c \sum_{i=1}^n I_{c\sigma i} / \left(\left| V_{i'} \right| \cos \theta_{i'} \right) \quad (4.19)$$

จากเงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจะได้ว่า

$$dC/dI_{c\sigma i} = 0 \quad \text{สำหรับทุกค่าของ } i \quad (4.20)$$

เนื่องจากว่าสำหรับค่า i ใด ๆ โดยที่ $(i=1,2,\dots,n)$

$$dC/dI_{c\sigma i} = 2rK_p \left\{ -\int F_{\sigma}(x) dx + h_i \sum_{k=1}^i I_{c\sigma k} + \sum_{k=i+1}^n h_k I_{c\sigma k} \right\} + K_c / \left(\left| V_{i'} \right| \cos \theta_{i'} \right) \quad (4.21)$$

แทนค่า (4.21) ลงใน (4.20) แล้วจัดสมการเสียใหม่ก็จะได้สมการ (4.18) ซึ่งเป็นสมการแบบเชิงเส้น (Linear Equations) ตามต้องการ

ขั้นตอนที่ 5

โปรแกรมย่อย B: ใช้ค่าขนาดของคะแปซิเตอร์ที่เพิ่งหาได้ $I_{c\sigma i}$ ($i=1,2,\dots,n$) เพื่อที่จะหาค่าตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมที่สุด h_i ($i=1,2,\dots,n$) ซึ่งจะทำให้สมการ (4.17) มีค่าน้อยที่สุด ดังนั้นถ้าขนาดของคะแปซิเตอร์ n ตัว $I_{c\sigma i}$ ($i=1,2,\dots,n$) ถูกกำหนดให้ จะสามารถหาค่าตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมของคะแปซิเตอร์ h_i ได้จาก

$$F_{\sigma}(h_i) = \frac{1}{2} I_{c\sigma i} + \sum_{k=1}^{i-1} I_{c\sigma k} \quad (4.22)$$

พิสูจน์ ในทำนองเดียวกันกับการพิสูจน์ขั้นที่ 4 เงื่อนไขที่จำเป็น (Necessary Conditions) สำหรับหาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของคะแปซิเตอร์สามารถเขียนแทนด้วย

$$dC/dh_i = 0 \quad \text{สำหรับทุกค่าของ } i \quad (4.23)$$

และมันเป็นการง่ายที่จะแสดงให้เห็นว่าสำหรับค่า i ใด ๆ ($i=1,2,\dots,n$)

$$\begin{aligned} dC/dh_i &= dP_{L\sigma}/dh_i \\ &= -2rI_{C\sigma i} (F_{\sigma}(h_i) - \sum_{k=1}^{i-1} I_{C\sigma k}) + rI_{C\sigma i}^2 \end{aligned} \quad (4.24)$$

แทนค่าสมการ (4.24) ลงในสมการ (4.23) ทำให้เราได้สมการ (4.22) จะเห็นได้ว่าเงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับตำแหน่งและขนาดของคะแปซิเตอร์นั้น จะเป็นเงื่อนไขที่พอเพียง (Sufficient Condition) เนื่องจากสมการ (4.19) เป็นสมการแบบคอนเวกซ์ (Convex Equation) สำหรับ $I_{C\sigma i}$ และ h_i ($i=1,2,\dots,n$) ตามลำดับ

ขั้นที่ 6

เป็นการตรวจสอบว่าคำตอบของกระบวนการทำซ้ำในโปรแกรมย่อย A และ B มีการลู่เข้า (Converge) หาคำตอบแล้วหรือยัง ถ้ายังไม่ให้กลับไปทำซ้ำในโปรแกรมย่อยทั้งสองอีกครั้งหนึ่ง

ขั้นที่ 7

เป็นการตรวจสอบค่าของ $I_{C\sigma i}$ และ h_i ว่าเหมือนกันกับค่าที่ได้มาจากกระบวนการทำซ้ำรอบที่แล้วหรือไม่ ถ้าไม่ให้ไปทำในขั้นที่ 8 ต่อไป

ขั้นที่ 8

เป็นการหาค่าขนาดของคะแปซิเตอร์จากสมการ

$$Q_{C_i} = I_{C\sigma i} / \left(|V_i| \cos \theta_i \right) \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (4.25)$$

4.5 การหาค่าคะแนปีเตอร์ในทางปฏิบัติ

จากกระบวนการหาค่าตอบที่เพิ่งได้แสดงให้ดูในหัวข้อ 4.4 นั้น จะเห็นได้ว่าค่าของขนาดที่เหมาะสมของคะแนปีเตอร์นั้นบางครั้งเป็นค่าขนาดของคะแนปีเตอร์ที่ไม่สามารถหาข้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป หรือกล่าวอีกอย่างก็คือขนาดที่หามาได้จากกระบวนการทำซ้ำในหัวข้อ 4.4 นั้นอาจจะเป็นคะแนปีเตอร์ที่ไม่มีขนาดตามมาตรฐาน ดังนั้นในที่นี้จะต้องมีการปรับปรุงกระบวนการในการหาค่าตอบ เพื่อให้สามารถใช้ได้กับคะแนปีเตอร์ที่มีขนาดเท่ามาตรฐานด้วย กล่าวคือหลังจากที่ได้หาค่าขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมของคะแนปีเตอร์เรียบร้อยแล้วจากกระบวนการทำซ้ำในหัวข้อที่ 4.4 ให้ทำการตัดแปลงค่าของขนาดที่ได้จากค่าตอบของหัวข้อ 4.4 ให้เป็นคะแนปีเตอร์ที่มีขนาดเท่ากับมาตรฐานและมีค่าใกล้เคียงกับค่าตอบของหัวข้อ 4.4 เนื่องจากว่าในตอนนั้นขนาดที่แน่นอนของคะแนปีเตอร์สามารถหาได้แล้ว ดังนั้นในกระบวนการทำซ้ำครั้งต่อไปจะเป็นกระบวนการหาค่าตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมสำหรับคะแนปีเตอร์เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ซึ่งในกระบวนการทำซ้ำครั้งต่อไปนี้จะต้องตัดเอาเงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของคะแนปีเตอร์ออกไป ($dc/dI_{c_{opt}} = 0$) นั้นหมายถึงการตัดเอาโปรแกรมย่อย A ออกจากกระบวนการทำซ้ำนั่นเอง ซึ่งค่าตอบที่ได้จากกระบวนการทำซ้ำในครั้งนั้นจะเป็นค่าตอบของตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของคะแนปีเตอร์ที่มีใช้กันตามมาตรฐานทั่วไปตามต้องการ

4.6 ตัวอย่างการคำนวณ

ในกรณีจะพิจารณาสายป้อนเส้นหนึ่งซึ่งประกอบด้วยส่วนย่อย ๆ 9 ส่วนด้วยกัน และมีขนาดต่าง ๆ กัน 5 ขนาด ดังจะได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1

ข้อมูลของสายป้อน

จากบัส-ถึงบัส	ความยาว (ไมล์)	R (Ohm)	X (Ohm)
1-2	3.90	5.3434	3.0264
2-3	3.50	4.7953	2.7160
3-4	1.50	2.0552	1.1940
4-5	1.05	0.9053	0.7886
5-6	2.30	1.9831	1.7276
6-7	0.81	0.6984	0.6084
7-8	1.70	0.7463	1.2050
8-9	0.88	0.2467	0.6051
9-SUB	0.63	0.1233	0.4127

ตารางที่ 4.2
โวลต์ที่บัสต่าง ๆ

บัส	kW	kVar
1	1640	200
2	980	130
3	1150	60
4	780	110
5	1610	600
6	1598	1840
7	1790	446
8	980	340
9	1840	460

โดยที่ไม่สูญเสียความเป็นทั่วไป (Without Loss of Generality) เราจะแสดงให้เห็นถึงขั้นตอนต่าง ๆ ในการแก้ปัญหาโดยใช้ $K_D = \$168/\text{kW}/\text{Yr}$ และ $K_C = 0$ แต่สำหรับกรณี K_C ไม่เท่ากับศูนย์นี้จะแสดงให้เห็นเฉพาะผลลัพธ์เท่านั้น ในตัวอย่างข้างล่างนี้ จะกำหนดให้ค่าฐาน (Base) ของกิโลวัตต์และกิโลวัตต์แอมแปร์จะเป็นค่าสายของแรงดันสายและรีแอกทีฟโวลต์ทั้งหมด (23 kV และ 4186 kVar) ตามลำดับ จากกระบวนการหาค่าตอบด้วยวิธีการทำซ้ำ (Iterative Solution Procedure) เมื่อถึงครั้งที่ 5 จะมีค่าของคอสไทเตอร์ที่มีขนาดและตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้

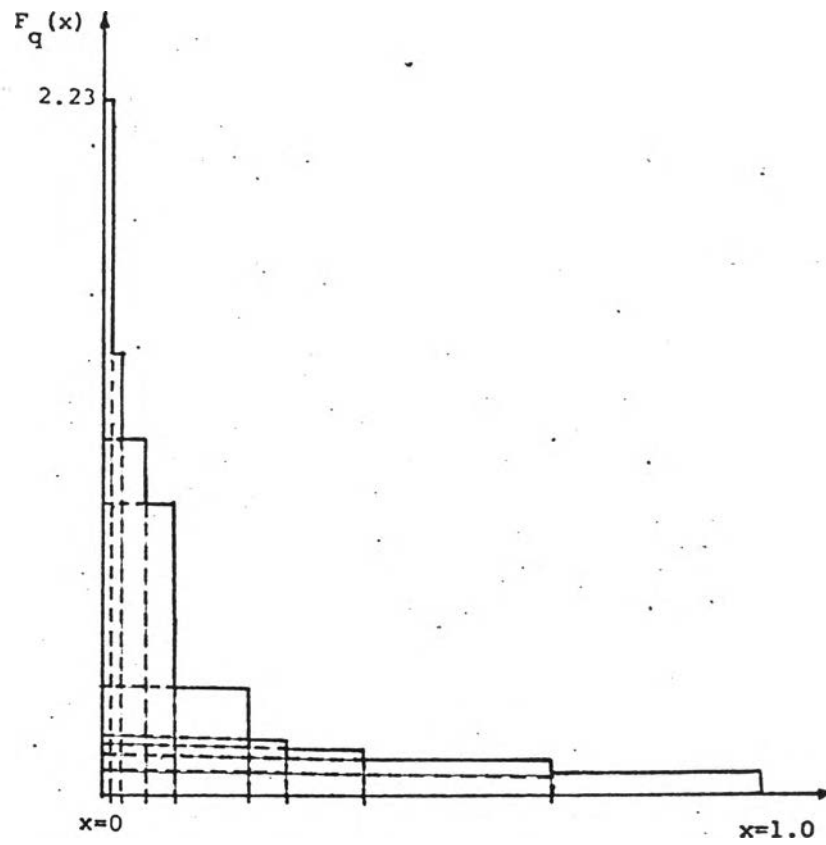
$$\left. \begin{aligned} Q_{c1} &= 0.11328 \text{ pu.} & ; & h_1 = 1.0000 \\ Q_{c2} &= 0.25685 \text{ pu.} & ; & h_2 = 0.2248 \\ Q_{c3} &= 0.84701 \text{ pu.} & ; & h_3 = 0.1074 \end{aligned} \right\} \quad (4.26)$$

ดังนั้นในกระบวนการทำซ้ำครั้งที่ 6 ซึ่งจะเริ่มโดยค่าเริ่มต้นของขนาดและตำแหน่งติดตั้งในสมการ (4.26) หลังจากนั้นผลที่ได้จากโพลดิโพลคือ

ตารางที่ 4.3

ค่าคำตอบของโพลดิโพล

บัส i	$ V_i $	$\angle \theta_i$ (เรเดียน)
1	0.87320	-0.13108
2	0.89121	-0.11693
3	0.91828	-0.10014
4	0.93500	-0.09061
5	0.94408	-0.08308
6	0.96945	-0.05997
7	0.97895	-0.04811
8	0.99167	-0.02324
9	0.99666	-0.01016



รูปที่ 4-7 ฟังก์ชันการกระจายของกระแสในแกนควอดเรเตอร์

โปรแกรมย่อย A:

โดยใช้ตำแหน่งติดตั้งของคัปเปอเรเตอร์จากสมการ (4.26) จะทำให้หาค่าของตำแหน่งติดตั้งของคัปเปอเรเตอร์ได้จากสมการ (4.18) โดยที่ $h_1 = 1.0$, $h_2 = 0.2248$, และ $h_3 = 0.1074$ ซึ่งจะได้คำตอบคือ

$$\left. \begin{aligned} I_{ca1} &= 0.09807 \text{ pu.} \\ I_{ca2} &= 0.24165 \text{ pu.} \\ I_{ca3} &= 0.81966 \text{ pu.} \end{aligned} \right\} \quad (4.27)$$

โปรแกรมย่อย B:

โดยการใช้นิพจน์ของคัปเปอเรเตอร์จากสมการ (4.27) จะสามารถหาค่าตำแหน่งติดตั้งของคัปเปอเรเตอร์ได้จากสมการ (4.22) โดยที่

$$\begin{aligned} h_1 &= F_a^{-1}(I_{ca1}/2) = 1 \\ h_2 &= F_a^{-1}(I_{ca2}/2 + I_{ca1}) = 0.2248 \\ h_3 &= F_a^{-1}(I_{ca3}/2 + I_{ca2} + I_{ca1}) = 0.1074 \end{aligned}$$

โดยที่ $F_a^{-1}(\ast)$ จะแทนอินเวอร์ฟังก์ชันของ $F_a(\ast)$ เมื่อตรวจสอบดูจากกระบวนการหาคำตอบในขั้นที่ 5 และขั้นที่ 6 จะเห็นได้ว่าจะมีคำตอบเท่ากัน ซึ่งแสดงได้ว่าคำตอบจะเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 4.4

ผลลัพธ์ของกระบวนการทำซ้ำเมื่อ $K_c = 0$

K_c	ขนาดคะแนปีเตอร์ (kVar)	ตำแหน่งติดตั้ง (Bus _i)	กำลังสูญเสียทั้งหมด (kW)	Obj. Function ($\$$)
0	$Q_{c1} = 474.85$ $Q_{c2} = 1074.82$ $Q_{c3} = 3546.40$	1 5 6	746.25	125370.0
0	$Q_{c1} = 480.00$ $Q_{c2} = 1074.82$ $Q_{c3} = 3544.40$	1 5 6	746.22	125365.2
0	$Q_{c1} = 473.85$ $Q_{c2} = 1080.00$ $Q_{c3} = 3544.40$	1 5 6	746.23	125366.4
0	$Q_{c1} = 473.85$ $Q_{c2} = 1074.82$ $Q_{c3} = 3550.00$	1 5 6	746.24	125368.5
0	$Q_{c1} = 480.00$ $Q_{c2} = 1080.00$ $Q_{c3} = 3550.00$	1 5 6	746.19	125360.3

ตารางที่ 4.5

ผลลัพธ์ของกระบวนการทำซ้ำเมื่อ $K_c = 4.9$

K_c	ขนาดกะเป๋ายเตอร์ (kVar)	ตำแหน่งติดตั้ง (Bus _i)	กำลังสูญเสียทั้งหมด (kW)	Obj. Function (฿)
4.9	$Q_{c1} = 462.32$	1	748.89	147572.7
	$Q_{c2} = 1069.04$	5		
	$Q_{c3} = 2909.24$	6		
4.9	$Q_{c1} = 470.00$	1	748.82	147597.9
	$Q_{c2} = 1069.05$	5		
	$Q_{c3} = 2909.24$	6		
4.9	$Q_{c1} = 462.32$	1	748.88	147575.9
	$Q_{c2} = 1070.00$	5		
	$Q_{c3} = 2909.24$	6		
4.9	$Q_{c1} = 462.32$	1	748.89	147575.6
	$Q_{c2} = 1069.05$	5		
	$Q_{c3} = 2910.00$	6		
4.9	$Q_{c1} = 470.00$	1	748.80	147684.1
	$Q_{c2} = 1070.00$	5		
	$Q_{c3} = 2910.00$	6		