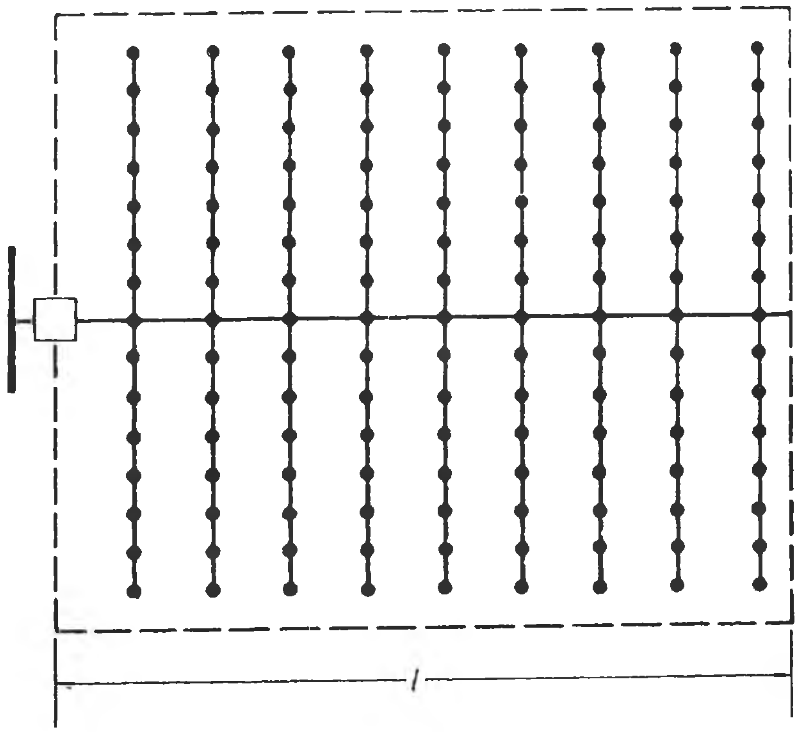
บทที่ 3

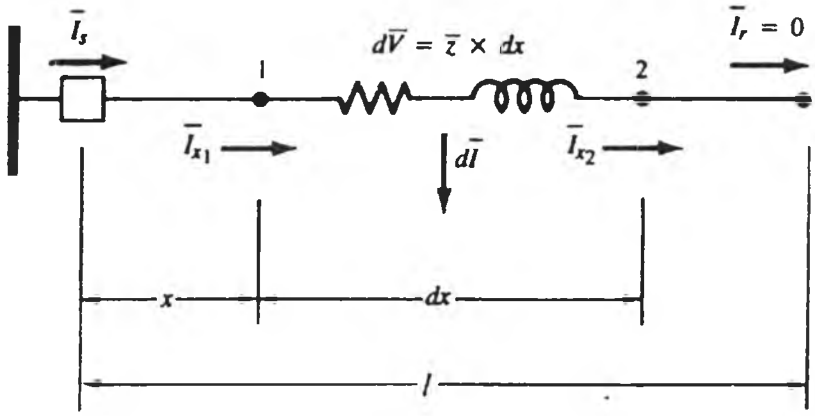
การคำนวณแรงดันตก

การคำนวณหาค่ากระแสในส่วนต่าง ๆ ของสายป้อนแบบเรเดียลและการคำนวณแรงดันตก ณ ปลายสายป้อน ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้สมมุติฐานที่ว่า " โหลดของสายป้อนหลักมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ (Uniformly Distributed) " ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงโหลดของสายป้อนหลักที่มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ

โดยการคำนวณกระแส และแรงดันตกจะกระทำเฉพาะสายป้อนหลักเท่านั้น หากพิจารณา Single – Line Diagram ของสายป้อนหลัก 3 เฟส อย่างง่าย ดังรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่า สายป้อนหลักที่มีความยาว ℓ จะประกอบด้วยค่าอิมพีแดนซ์ของสายต่อหน่วยความยาวต่อเฟส $Z = R + jX$



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรสมมูลของสายป้อนหลักที่โหลดมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ

จากรูปที่ 3.2 เนื่องจากโหลดมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นค่ากระแสโหลดจะมีความสัมพันธ์กับระยะทาง จากข้อสรุปนี้ทำให้สามารถพิจารณาโหลดในบริเวณที่เล็กลงได้ โดยกำหนดให้กระแสโหลดที่ถูกแยกออกมา (Tapped - Off Load Current) $d\bar{I}$ เป็นกระแสที่สายป้อนหลักจ่ายแก่โหลดในช่วงสายป้อนหลักสั้น ๆ dx โดย ℓ คือความยาวทั้งหมดของสายป้อน และ x คือระยะจากต้นทางของ สายป้อนหลักมายัง จุดที่ 1 ใด ๆ ดังนั้น ณ จุดที่ 2 ระยะทางจากต้นทางของสายป้อนถึงจุดนี้จะเป็น $x + dx$ นอกจากนี้กำหนดให้ $\bar{I}_s$ เป็นกระแสที่เข้าสู่ต้นทางของสายป้อน ส่วน $\bar{I}_r$ เป็นกระแสที่ออกจากปลายสายป้อน ขณะที่ $\bar{I}_{x1}$ และ $\bar{I}_{x2}$ แทนกระแสที่จุดที่ 1 และจุดที่ 2 ตามลำดับ โดยสมมุติว่าค่า Power Factor ของโหลดต่าง ๆ ที่กระจายอย่างสม่ำเสมอไปตามสายป้อนหลักนี้มีค่าเท่ากัน

สมการที่จะกล่าวต่อไปนี้ เป็นสมการที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของกระแส ณ จุดต่าง ๆ ของสายป้อน รวมถึงแรงดันตก ณ จุดต่าง ๆ โดยละเลยค่า Shunt Capacitance Current เนื่องจากโหลดทั้งหมดของสายป้อน เป็นโหลดที่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอจาก $x = 0$ ถึง $x = \ell$

ดังนั้นกำหนดให้ $$\frac{d\bar{I}}{dx} = \bar{k} \qquad \text{.................................... (1)}$$

โดย $\bar{k}$ เป็นค่าคงตัว

ค่าของ $\bar{I}_x$ ซึ่งเป็นกระแส ณ จุดบนสายป้อนที่ห่างจากต้นทางเป็นระยะ x สามารถแสดงได้ในรูปของความสัมพันธ์ของค่ากระแสต้นทางของสายป้อน (I_s) และระยะ x ซึ่งแสดงการพิสูจน์ไว้ ดังต่อไปนี้

$$\bar{I}_{x1} = \bar{I}_{x2} + d\bar{I} \quad \text{.....} \quad (2)$$

$$\bar{I}_{x2} = \bar{I}_{x1} - d\bar{I} \quad \text{.....} \quad (3)$$

$$\bar{I}_{x2} = \bar{I}_{x1} - d\bar{I}\,\frac{dx}{dx} \quad \text{.....} \quad (4)$$

$$= \bar{I}_{x1} - \frac{d\bar{I}}{dx}\,dx \quad \text{.....} \quad (5)$$

เมื่อแทนสมการ (1) ในสมการ (5) จะได้ว่า

$$\bar{I}_{x2} = \bar{I}_{x1} - \bar{k}\,dx \quad \text{.....} \quad (6)$$

นั่นคือ

$$I_{x2} = I_{x1} - k\,dx \quad \text{.....} \quad (7)$$

$$I_{x1} = I_{x2} + k\,dx \quad \text{.....} \quad (8)$$

ถ้าคิดตลอดความยาวสายป้อน $x = \ell$ จะได้ว่า

$$I_r = I_s - k \times \ell \quad \text{.....} \quad (9)$$

หรือ

$$I_s = I_r + k \times \ell \quad \text{.....} \quad (10)$$

แต่เนื่องจาก $I_r = 0$ ที่จุดสิ้นสุดของสายป้อน

ดังนั้น $I_r = I_s - k \times \ell = 0$

$$k = \frac{I_s}{\ell} \quad \text{.....} \quad (11)$$

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในทำนองเดียวกันถ้าพิจารณาที่ระยะ x ใด ๆ จากต้นทางสายป้อนจะได้ว่า

$$I_x = I_s - k \times x$$

นั่นคือ

$$I_x = I_s - \frac{I_s}{\ell} \times x$$

$$I_x = I_s\left(1 - \frac{x}{\ell}\right) \qquad \text{.................................} (12)$$

จะได้ว่า

$$I_x = 0 \quad \text{เมื่อ} \quad x = \ell$$

$$I_x = I_s \quad \text{เมื่อ} \quad x = 0$$

สำหรับการหาค่าแรงดันตก ก็ทำได้ในทำนองเดียวกัน คือ

$$d\overline{V} = I_x \times Z\,dx \qquad \text{.................................} (13)$$

จากสมการ (12) จะได้ว่า

$$d\overline{V} = I_s \times Z\left(1 - \frac{x}{\ell}\right) dx \qquad \text{.................................} (14)$$

ดังนั้นสามารถหาแรงดันตกตลอดสายป้อน จากสมการ คือ

$$VD_x = \int_0^x dV$$

จากสมการ (14)

$$VD_x = \int_0^x I_s \times Z\left(1 - \frac{x}{\ell}\right) dx \qquad \text{.................................} (15)$$

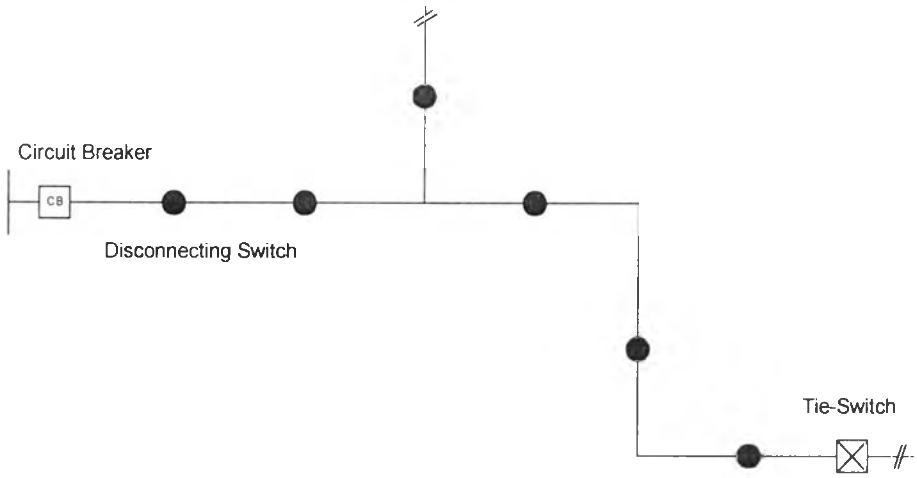
$$VD = I_s \times Z \times x\left(1 - \frac{x}{2\ell}\right) \qquad \text{.................................} (16)$$

จากสมการที่ (16) จะได้ค่าที่ $x = \ell$ แรงดันตกจะมีค่าเป็น

$$\sum VD_x = I_s \times Z \times \ell \left(1 - \frac{\ell}{2\ell}\right)$$

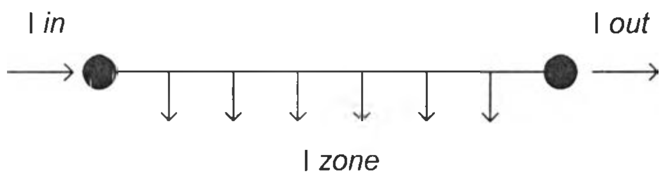
$$= \frac{1}{2} Z \ell I_s$$

นั่นคือ ถ้าโหลดมีการกระจายแบบสม่ำเสมอแล้วจะเปรียบเสมือนโหลดนั้นมารวมกันอยู่ตรงกลางของสายป้อน ($x = \frac{\ell}{2}$) เนื่องจากสายป้อนที่มีความยาวมากนั้นจะมีสวิตช์ตัดตอนติดตั้งอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของสายป้อน รวมถึงมีสวิตช์ต่อเชื่อมซึ่งทำการเชื่อมต่อสายป้อนหลักกับสายป้อนข้างเคียงเพื่อประโยชน์ในการกู้ระบบไฟฟ้าและการซ่อมบำรุง ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงตำแหน่งของสวิตช์ตัดตอน และสวิตช์ต่อเชื่อมระหว่างสายป้อน

โดยในแต่ละกิ่ง (Branch) ของสายป้อนจะมีโหลดต่ออยู่ซึ่งถูกประมาณเป็นโหลดที่กระจายอย่างสม่ำเสมอ จากทฤษฎีที่พิสูจน์มาข้างต้น สามารถนำประยุกต์ใช้คำนวณกระแสและแรงดันตกในแต่ละกิ่งของสายป้อนได้ ดังนี้



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรสมมูลของกิ่ง (Branch) เพื่อคำนวณหาแรงดันตก

เมื่อกิ่งของสายป้อนมีอิมพีแดนซ์ $Z = R + jX$

I_{in} แทนขนาดของกระแสที่ไหลเข้าสู่กิ่ง

I_{out} แทนขนาดของกระแสที่ไหลออกจากกิ่ง

I_{zone} แทนขนาดของกระแสโหลด ซึ่งกระจายอย่างสม่ำเสมอ

จากรูปที่ 3.4 จะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$I_{in} - I_{out} = I_{zone} \qquad \text{..................................} \quad (17)$$

ถ้ากำหนดให้ $I_s = I_{in}$ และ $I_r = I_{out}$

จากสมการ (9) จะได้ว่า

$$I_{out} = I_{in} - k \times \ell$$

ดังนั้น จะได้ว่า $k = \dfrac{I_{in} - I_{out}}{\ell} = \dfrac{I_{zone}}{\ell}$ .... (18)

ที่ระยะ x ใด ๆ จาก ต้นทางของกิ่งจะได้ว่า

$$I_x = I_{in} - k \times x$$

นั่นคือ $I_x = I_{in} - \dfrac{I_{zone}\, x}{\ell}$

ในการคำนวณหาแรงดันตก จากสมการ (13) และ สมการ (15) จะได้ว่า

$dV = I_x \times Zdx$ เมื่อ Z คือ ค่าอิมพีแดนซ์ต่อหน่วยความยาวของกิ่ง

$$VD_x = \int_0^x dV$$

$$= \int_0^x I_x \times Zdx$$

$$= \int_0^x Z(I_{in} - \frac{I_{zone}}{\ell} x)dx$$

$$= Z \times (I_{in} x - \frac{I_{zone}}{2\ell} x^2) \qquad \text{.............................. (19)}$$

$$\therefore \quad I_{zone} = I_{in} - I_{out}$$

$$VD_x = Z \times \left[I_{in} x - \frac{(I_{in} - I_{out})}{2\ell} x^2\right] \qquad \text{.............................. (20)}$$

ที่ $x = \ell$

จะได้ว่า $VD = Z\ \ell(I_{in} - \frac{I_{in} - I_{out}}{2})$

$$= Z\ell\ (\frac{I_{in}}{2} + \frac{I_{out}}{2})$$

$$= Z\ell(\frac{I_{in} + I_{out}}{2})$$

$$= Z'(\frac{I_{in} + I_{out}}{2}) \qquad \text{.............................. (21)}$$

เมื่อ Z' คือค่า อิมพีแดนซ์ของกิ่ง

ถ้ากำหนดให้ค่า Power Factor ของโหลดในกิ่งใด ๆ ของสายป้อนแป้น $cos\theta$ จะได้ว่า ค่าแรงดันของกิ่งนั้นทำมุมนำหน้ากระแสโหลดอยู่ θ

จากสมการ (21) จะได้ค่าแรงดันเป็น

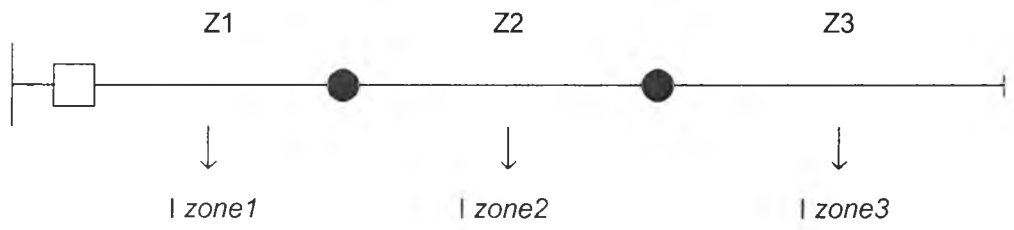
$$VD = (R + jX)(\cos\theta - j\sin\theta)\frac{(I_{in} + I_{out})}{2}$$

$$= \frac{(I_{in} + I_{out})}{2}\left[(R\cos\theta + X\sin\theta) + j(X\cos\theta - R\sin\theta)\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (22)$$

หากคิดค่าแรงดันตกแบบประมาณจะทำการตัดเทอมหลังออก ดังนั้น แรงดันตกที่ได้จะมีค่าเป็น

$$VD = \frac{(I_{in} + I_{out})}{2}(R\cos\theta + X\sin\theta) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (23)$$

ตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 3.5 แสดงตัวอย่างวงจรที่ใช้สำหรับการคำนวณแรงดันตก

จากรูปกำหนดให้

$Z_1 = 1 + j(0.9)$ $\Omega/phase$

$Z_2 = 1.5 + j(0.8)$ $\Omega/phase$

$Z_3 = 1.2 + j(0.85)$ $\Omega/phase$

$I_{zone1} = 1$ A $_{line}$

$I_{zone2} = 1.5$ A $_{line}$

$I_{zone3} = 1.2$ A $_{line}$

$P.F. = 0.8$ Lagging

หากพิจารณาแต่ละกิ่ง สามารถคำนวณแรงดันตกในแต่ละกิ่งโดยวิดเป็นวงจรสมมูล 1 เฟส ได้ดังนี้

พิจารณากิ่งที่ 3

$$I_{out3} = 0 \text{ A}$$

$$I_{in3} - I_{out3} = I_{zone3}$$

$$I_{in3} = I_{out3} + I_{zone3} = 1.2 \text{ A} \quad \ldots\ldots (24)$$

พิจารณากิ่งที่ 2

จาก (1) จะได้ว่า $I_{out2} = I_{in3} = 1.2$ A

$$I_{in2} - I_{out2} = I_{zone2}$$

$$I_{in2} = I_{out2} + I_{zone2}$$

$$= 1.2 + 1.5 = 2.4 \text{ A} \quad \ldots\ldots (25)$$

พิจารณากิ่งที่ 1

จาก (2) จะได้ว่า $I_{out1} = I_{in2} = 2.7$ A

$$I_{in1} - I_{out1} = I_{zone1}$$

$$I_{in1} = I_{out1} + I_{zone1}$$

$$= 2.7 + 1 = 3.7 \text{ A} \quad \ldots\ldots (26)$$

จากข้อมูลข้างต้นสามารถคำนวณแรงดันตก ในแต่ละกิ่งด้วยสมการ (23)

$$VD = \frac{(I_{in} + I_{out})}{2}(R\cos\theta + X\sin\theta)$$

พิจารณากิ่งที่ 1

$$VD_1 = \frac{(I_{in1} + I_{out1})}{2}(R_1\cos\theta + X_1\sin\theta)$$

$$= \frac{(3.7 + 2.7)}{2}(1 \times 0.8 + 0.9 \times 0.6)$$

$$= 4.288 \quad V_{phase}$$

พิจารณากิ่งที่ 2

$$VD_2 = \frac{(I_{in2} + I_{out2})}{2}(R_2 cos\theta + X_2 sin\theta)$$

$$= \frac{(2.7 + 1.2)}{2}(1.5 \times 0.8 + 0.8 \times 0.6)$$

$$= 5.07 \quad V_{phase}$$

พิจารณากิ่งที่ 3

$$VD_3 = \frac{(I_{in3} + I_{out3})}{2}(R_3 cos\theta + X_3 sin\theta)$$

$$= \frac{(1.2 + 0)}{2}(1.2 \times 0.8 + 0.85 \times 0.6)$$

$$= 0.882 \quad V_{phase}$$

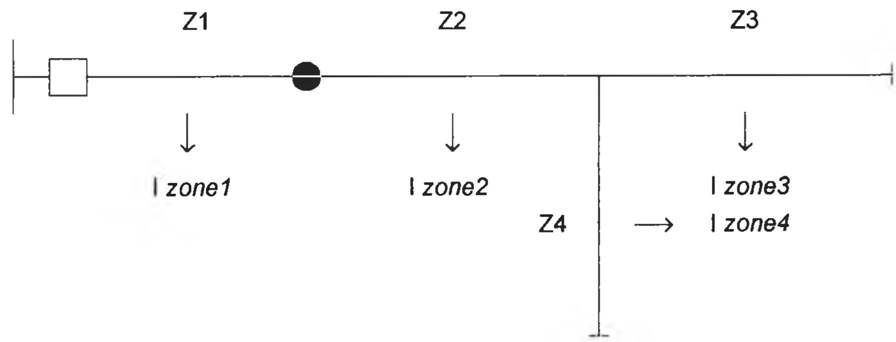
$$\Sigma VD = VD_1 + VD_2 + VD_3$$

$$= 4.288 + 5.07 + 0.882$$

$$= 10.24 \quad V_{phase}$$

ในทำนองเดียวกัน หากวงจรซับซ้อนขึ้น โดยมีจุดแยกบนสายป้อนหลัก ก็สามารถคำนวณแรงดันตกได้ด้วยหลักการเดียวกัน ดังรูปที่ 3.6

ตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 3.6 แสดงตัวอย่างวงจรที่ใช้สำหรับการคำนวณแรงดันตกเมื่อมีกิ่งแยก

จากรูปกำหนดให้แรงดันตก

$$Z_1 = 1 + j\,0.9 \quad \Omega/phase$$

$$Z_2 = 2 + j\,1.8 \quad \Omega/phase$$

$$Z_3 = 1.5 + j\,1.35 \quad \Omega/phase$$

$$Z_4 = 1.2 + j\,1.08 \quad \Omega/phase$$

phase

$$I_{zone1} = 1.5 \quad A_{line}$$

$$I_{zone2} = 1 \quad A_{line}$$

$$I_{zone3} = 1.5 \quad A_{line}$$

$$I_{zone4} = 2 \quad A_{line}$$

$$P.F. = 0.8 \quad \text{Lagging}$$

ทำการพิจารณาทีละกิ่ง สามารถคำนวณหาแรงดันตกในแต่ละกิ่งได้ดังนี้

พิจารณากิ่งที่ 4

$$I_{out4} = 0 \quad A$$

$$I_{in4} - I_{out4} = I_{zone4}$$

$$I_{in4} = I_{out4} + I_{zone4}$$
$$= 0 + 2 = 2 \quad A$$

พิจารณากิ่งที่ 3

$$I_{out3} = 0 \quad A$$
$$I_{in3} - I_{out3} = I_{zone3}$$
$$I_{in3} = I_{out3} + I_{zone3}$$
$$= 0 + 1.5 = 1.5 \quad A$$

พิจารณากิ่งที่ 2

$$I_{out2} = I_{in3} + I_{in4}$$
$$= 1.5 + 2 = 3.5 \quad A$$
$$I_{in2} - I_{out2} = I_{zone2}$$
$$I_{in2} = I_{out2} + I_{zone2}$$
$$= 3.5 + 1 = 4.5 \quad A$$

พิจารณากิ่งที่ 1

$$I_{out1} = I_{in2} = 4.5 \; A$$
$$I_{in1} - I_{out1} = I_{zone1}$$
$$I_{in1} = I_{out1} + I_{zone1}$$
$$= 4.5 + 1.5 = 6 \quad A$$

เมื่อทราบ I_{in} และ I_{out} ของแต่ละกิ่งแล้ว สามารถคำนวณหาแรงดันตกในแต่ละกิ่งได้ดังนี้

พิจารณากิ่งที่ 1

$$VD_1 = \frac{(I_{in1} + I_{out1})}{2}(R_1 cos\theta + X_1 sin\theta)$$
$$= \frac{(6 + 4.5)}{2}(1 \times 0.8 + 0.9 \times 0.6)$$
$$= 7.035 \quad V_{phase}$$

พิจารณากิ่งที่ 2

$$VD_2 = \frac{(I_{in2} + I_{out2})}{2}(R_2 cos\theta + X_2 sin\theta)$$

$$= \frac{(4.5 + 3.5)}{2}(2 \times 0.8 + 1.8 \times 0.6)$$

$$= 10.72 \quad V_{phase}$$

พิจารณากิ่งที่ 3

$$VD_3 = \frac{(I_{in3} + I_{out3})}{2}(R_3 cos\theta + X_3 sin\theta)$$

$$= \frac{(1.5 + 0)}{2}(1.5 \times 0.8 + 1.35 \times 0.6)$$

$$= 1.5075 \quad V_{phase}$$

พิจารณากิ่งที่ 4

$$VD_4 = \frac{(I_{in4} + I_{out4})}{2}(R_4 cos\theta + X_4 sin\theta)$$

$$= \frac{(2 + 0)}{2}(1.2 \times 0.8 + 1.08 \times 0.6)$$

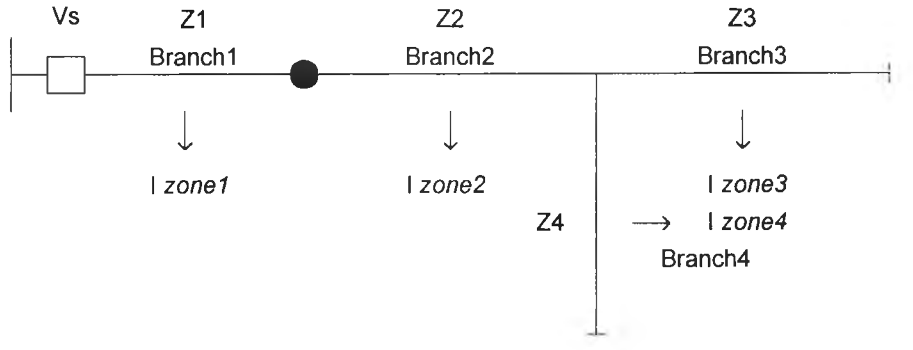
$$= 1.608 \quad V_{phase}$$

จากข้อมูลข้างต้น สามารถนำไปคำนวณหาค่าแรงดันที่ปลายสายป้อนของแต่ละกิ่งได้ เมื่อทราบแรงดันต้นทาง

เนื่องจากการเก็บข้อมูลกระแสโหลดในแต่ละกิ่งทำได้ยาก ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอให้พิจารณาโหลดของแต่ละกิ่งเป็นขนาดรวมของหม้อแปลงจำหน่าย โดยพิจารณา kVA รวมของหม้อแปลงในแต่ละกิ่งของสายป้อน และคิดให้มีการกระจายของโหลดเหล่านี้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งวิธีนี้ต้องการข้อมูลเพียงแรงดันต้นทาง และผลรวมของ kVA หม้อแปลงจำหน่ายในแต่ละกิ่งของสายป้อน ก็สามารถค้นพบแรงดันของกิ่งต่าง ๆ และแรงกันที่ปลายสายป้อนได้

ในการคำนวณแรงดันตกนั้น จำเป็นต้องทราบข้อมูล I_{in} และ I_{out} ของแต่ละกิ่ง เพื่อใช้สมการ (23) ที่กล่าวมาข้างต้นในการคำนวณ แต่ในการหา I_{in} และ I_{out} ของแต่ละกิ่งนั้น จำเป็นต้องทราบ I_{zone} ซึ่งไม่สามารถทราบได้โดยตรงต้องหาจากพิกัดรวมของหม้อแปลงจำหน่ายในแต่ละกิ่งและกำหนดแรงดันของแต่ละกิ่ง เพื่อหา I_{zone} จากนั้นทำการ Iteration เพื่อหาค่าแรงดันปลายสายป้อนของแต่ละกิ่งให้ถูกต้องต่อไป ดังตัวอย่างต่อไปนี้

<u>ตัวอย่างที่ 3</u>



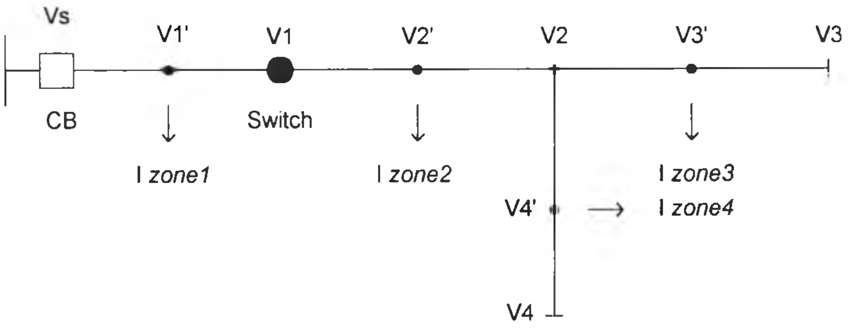
รูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างวงจรที่ใช้สำหรับการคำนวณแรงดันตกเมื่อมีกิ่งแยกและไม่ทราบ I_{zone}

กำหนดให้	V_s	=	380 $V_{line\text{-}line}$			
กิ่งที่ 1	Z	=	0.5 + j 0.4	Ω / *phase*		
	Load	=	0.5 kVA	P.F.	=	0.8 Lagging
กิ่งที่ 2	Z	=	0.8 + j 0.64	Ω / *phase*		
	Load	=	0.8 kVA	P.F.	=	0.8 Lagging
กิ่งที่ 3	Z	=	0.5 + j 0.4	Ω / *phase*		
	Load	=	0.5 kVA	P.F.	=	0.8 Lagging

กิ่งที่ 4 $Z = 1 + j\,0.8 \quad \Omega / phase$

Load $= 0.6$ kVA P.F. $= 0.8$ Lagging

เขียนวงจรสมมูล 1 เฟสได้ดังนี้



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรสมมูล 1 เฟสที่ใช้สำหรับการคำนวณแรงดันตก

จากรูปที่ 3.8 สมมุติว่าโหลดของแต่ละกิ่งกระจายอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงให้โหลดรวมอยู่ตรงกึ่งกลางของแต่ละกิ่ง

รอบที่ 1

เริ่มทำการค้นหากระแส I_{zone} ของแต่ละกิ่ง โดยขั้นแรกกำหนดให้แรงดันทุกตัวเท่ากับ $V_s = 380$ V $_{line\text{-}line}$ จะได้ว่า

$$I_{zone1} = \frac{S_1}{\sqrt{3}\ V_1} = \frac{500}{\sqrt{3} \times 380} = 0.75967 \quad \text{A}$$

$$I_{zone2} = \frac{S_2}{\sqrt{3}\ V_2} = \frac{800}{\sqrt{3} \times 380} = 1.21547 \quad \text{A}$$

$$I_{zone3} = \frac{S_3}{\sqrt{3}\ V_3} = \frac{500}{\sqrt{3} \times 380} = 0.75967 \quad \text{A}$$

$$I_{zone4} = \frac{S_4}{\sqrt{3}\ V_4} = \frac{600}{\sqrt{3} \times 380} = 0.91161 \quad A$$

เมื่อได้ค่า I_{zone} ของแต่ละกิ่งแล้วนำไปคำนวณหา I_{in} และ I_{out} ของแต่ละกิ่งได้ ดังนี้

กิ่งที่ 4

$$I_{out4} = 0 \ A$$
$$I_{in4} = I_{out4} + I_{zone4}$$
$$= 0 + 0.91161 = 0.91161 \ A$$

กิ่งที่ 3

$$I_{out3} = 0 \ A$$
$$I_{in3} = I_{out3} + I_{zone3}$$
$$= 0 + 0.75967 = 0.75967 \ A$$

กิ่งที่ 2

$$I_{out2} = I_{in3} + I_{in4}$$
$$= 0.91161 + 0.75967 = 1.67128 \ A$$
$$I_{in2} = I_{out2} + I_{zone2}$$
$$= 1.67128 + 1.21547 = 2.88675 \ A$$

กิ่งที่ 1

$$I_{out1} = I_{in2} = 2.88675 \ A$$
$$I_{in1} = I_{out1} + I_{zone1}$$
$$= 2.88675 + 0.75967 = 3.64642 \ A$$

เมื่อทราบ I_{in} และ I_{out} ของทุกกิ่งแล้วสามารถหาแรงดันตกของแต่ละกิ่งได้ดังนี้

$$VD_1 = \frac{(I_{in1} + I_{out1})}{2}(R_1 \cos\theta + X_1 \sin\theta)$$

$$= \frac{(3.62642 + 2.88675)}{2}(0.5 \times 0.8 + 0.4 \times 0.6)$$

$$= 2.09061 \quad V_{phase}$$

$$VD_2 = \frac{(I_{in2} + I_{out2})}{2}(R_2 cos\theta + X_2 sin\theta)$$

$$= \frac{(2.88675 + 1.67128)}{2}(0.8 \times 0.8 + 0.64 \times 0.6)$$

$$= 2.33371 \quad V_{phase}$$

$$VD_3 = \frac{(I_{in3} + I_{out3})}{2}(R_3 cos\theta + X_3 sin\theta)$$

$$= \frac{(0.75967 + 0)}{2}(0.5 \times 0.8 + 0.4 \times 0.6)$$

$$= 0.24309 \quad V_{phase}$$

$$VD_4 = \frac{(I_{in4} + I_{out4})}{2}(R_4 cos\theta + X_4 sin\theta)$$

$$= \frac{(0.91161 + 0)}{2}(1 \times 0.8 + 0.8 \times 0.6)$$

$$= 0.58343 \quad V_{phase}$$

นอกจากนี้ยังต้องหาแรงดันที่จุดกึ่งกลางของกิ่งเพื่อใช้ในการคำนวณหา I_{zone} ในรอบถัดไป ดังนี้

$$VD_1' = I_{in1} \times \frac{(R_1 cos\theta + X_1 sin\theta)}{2} = 3.64642 \times \frac{(0.5 \times 0.8 + 0.4 \times 0.6)}{2}$$

$$= 1.16685 \quad V_{phase}$$

$$VD_2' = I_{in2} \times \frac{(R_2 cos\theta + X_2 sin\theta)}{2} = 2.88675 \times \frac{(0.8 \times 0.8 + 0.64 \times 0.6)}{2}$$

$$= 1.47802 \quad V_{phase}$$

$$VD_3' = I_{in3} \times \frac{(R_3 cos\theta + X_3 sin\theta)}{2} = 0.75967 \times \frac{(0.5 \times 0.8 + 0.4 \times 0.6)}{2}$$

$$= 0.24309 \quad V_{phase}$$

$$VD_4' = I_{in4} \times \frac{(R_4 cos\theta + X_4 sin\theta)}{2} = 0.91191 \times \frac{(1 \times 0.8 + 0.8 \times 0.6)}{2}$$

$$= 0.58343 \quad V_{phase}$$

จากนั้นการหาค่าแรงดันจริง ๆ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จากรูปที่ 3.8 แรงดัน ณ ปลายสายป้อนของกิ่งต่าง ๆ จะเป็นดังนี้

$$V_1 = V_s - VD_1 = 380/\sqrt{3} - 2.09061 = 217.30249 \quad V_{phase}$$

$$V_2 = V_1 - VD_2 = 217.30249 - 2.33371 = 214.96878 \quad V_{phase}$$

$$V_3 = V_2 - VD_3 = 214.96878 - 0.24309 = 214.72569 \quad V_{phase}$$

$$V_4 = V_2 - VD_4 = 214.96878 - 0.58343 = 214.38535 \quad V_{phase}$$

จากนั้นทำการหาแรงดัน ณ จุดกึ่งกลางของแต่ละกิ่ง เพื่อใช้คำนวณ I_{zone} ในรอบต่อไป

$$V_1' = V_s - VD_1' = 380/\sqrt{3} - (1.16685) = 218.22625 \quad V_{phase}$$

$$V_2' = V_1 - VD_2' = 217.30249 - 1.47802 = 215.82447 \quad V_{phase}$$

$$V_3' = V_2 - VD_3' = 214.96878 - 0.24309 = 214.72569 \quad V_{phase}$$

$$V_4' = V_2 - VD_4' = 214.96878 - 0.58343 = 214.38535 \quad V_{phase}$$

จะได้ว่า

$$\Delta V_1 = |V_s - V_1| = 2.09061 \quad V_{phase}$$

I 20355544

$\Delta V_2 \quad = \quad |V_s - V_2| \quad = \quad 4.42432 \quad V_{phase}$

$\Delta V_3 \quad = \quad |V_s - V_3| \quad = \quad 4.66741 \quad V_{phase}$

$\Delta V_4 \quad = \quad |V_s - V_4| \quad = \quad 5.00775 \quad V_{phase}$

(**หมายเหตุ** รอบแรกกำหนดให้แรงดันของสายป้อนทุกกิ่งเท่ากับ V_s)

รอบที่ 2 ทำลักษณะเดียวกับรอบที่ 1

$$I_{zone1} = \frac{500}{3 \times V'_1} = \frac{500}{3 \times 218.22625} = 0.76373 \text{ A}$$

$$I_{zone2} = \frac{500}{3 \times V'_2} = \frac{500}{3 \times 215.82447} = 1.23557 \text{ A}$$

$$I_{zone3} = \frac{500}{3 \times V'_3} = \frac{500}{3 \times 214.72564} = 0.77618 \text{ A}$$

$$I_{zone4} = \frac{600}{3 \times V'_4} = \frac{600}{3 \times 214.38535} = 0.93290 \text{ A}$$

$I_{in1} \quad = \quad 3.70839 \text{ A}$

$I_{out1} \quad = \quad 2.94466 \text{ A}$

$I_{in2} \quad = \quad 2.94466 \text{ A}$

$I_{out2} \quad = \quad 1.70908 \text{ A}$

$I_{in3} \quad = \quad 0.77618 \text{ A}$

$I_{out3} \quad = \quad 0 \text{ A}$

$I_{in4} \quad = \quad 0.93290 \text{ A}$

$I_{out4} \quad = \quad 0 \text{ A}$

$V_1 \quad = \quad 217.26413 \quad V_{phase}$

$V_2 \quad = \quad 214.88141 \quad V_{phase}$

$V_3 \quad = \quad 214.63303 \quad V_{phase}$

$V_4 \quad = \quad 214.63303 \quad V_{phase}$

$V'_1 \quad = \quad 218.20642 V_{phase}$

$V'_2 \quad = \quad 215.75646 \quad V_{phase}$

$V'_3 \quad = \quad 214.63303 \quad V_{phase}$

$V'_4 \quad = \quad 214.28436 \quad V_{phase}$

โดยค่าแรงดันที่ปลายสายป้อนของสิ่งต่าง ๆ ในการคำนวณรอบที่แล้ว (รอบที่ 1) มีค่าเป็น

$V_{10} \quad = \quad 217.30249 \quad V_{phase}$

$V_{20} \quad = \quad 214.96878 \quad V_{phase}$

$V_{30} \quad = \quad 214.72569 \quad V_{phase}$

$V_{40} \quad = \quad 214.38535 \quad V_{phase}$

จะได้ว่า

$\Delta V_1 \quad = \quad |V_{10} - V_1| \quad = \quad 0.03836 \quad V_{phase}$

$\Delta V_2 \quad = \quad |V_{20} - V_2| \quad = \quad 0.08737 \quad V_{phase}$

$\Delta V_3 \quad = \quad |V_{30} - V_3| \quad = \quad 0.09266 \quad V_{phase}$

$\Delta V_4 \quad = \quad |V_{40} - V_4| \quad = \quad 0.10099 \quad V_{phase}$

จะเห็นได้ว่าในการคำนวณรอบที่ 2 ของสายป้อนทุก ๆ กิ่งมีค่าลดลงจากการคำนวณในรอบแรก หากทำการ Interate เช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จะได้ค่าแรงดัน ณ จุดต่าง ๆ ของสายป้อนใกล้เคียงค่าที่ถูกต้องยิ่งขึ้น สำหรับตัวอย่างนี้หากทำการ Interate ไปจนถึงรอบที่ 5 จะได้ค่าแรงดัน ณ จุดต่าง ๆ ดังนี้

$V_1 \quad = \quad 217.26334 \quad V_{phase} \qquad \Delta V_1 \quad = \quad 3.11498 \times 10^{-7} \quad V_{phase}$

$V_2 \quad = \quad 214.87962 \quad V_{phase} \qquad \Delta V_2 \quad = \quad 7.15098 \times 10^{-7} \quad V_{phase}$

$V_3 = 214.63113 \qquad \Delta V_3 = 7.58672 \times 10^{-7}$

$V_4 = 214.28227 \qquad \Delta V_4 = 8.29854 \times 10^{-7}$

หลักการที่แสดงเป็นตัวอย่างข้างต้น ได้ถูกนำมาใช้เป็นส่วนคำนวณแรงดันตก เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ในการกู้ระบบไฟฟ้า เมื่อเกิดความผิดพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นอกจากนี้ในกรณีที่โหลดของกิ่งต่างๆ เป็นโหลดที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งอยู่ในรูป Load Profile ก็สามารถประยุกต์ใช้วิธีข้างต้นในการคำนวณหาแรงดันตกได้เช่นกัน