ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
การใช้ไดอาคอปติกในระบบไฟฟ้ากำลัง

ในบทนี้อธิบายถึงหลักการประยุกต์วิธีไดอาคอปติกเข้าในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยใช้บัสอิมพิแดนซ์เมตริกซ์ (BUS IMPEDANCE MATRIX) โดยเริ่มอธิบายถึงการแบ่งระบบไฟฟ้าออกเป็นระบบย่อยๆ หาผลลัพธ์ของระบบย่อย แล้วรวมผลลัพธ์ของระบบย่อยเข้าด้วยกัน จะได้ผลลัพธ์รวมของข่ายวงจรทั้งหมด

3.1 การหาผลลัพธ์แบบแยกส่วน[4],[5]

พิจารณาระบบไฟฟ้ากำลัง แสดงในรูปที่ 3.1(ก) ซึ่งประกอบด้วย 8 บัส และสายส่ง 12 เส้นต่อเชื่อมโยงกันอยู่ สมมุติระบบนี้ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยเส้นประแสดงถึงเส้นแบ่ง สายที่ถูกตัดเรียกว่าคัทลายน์ (CUT LINE) เส้นที่แบ่งโยนผ่านบัสหนึ่งเรียกว่า บัสร่วม (COMMON BUS) ซึ่งในระบบไฟฟ้ากำลังจะให้บัสร่วมคือ กราวนด์บัส (GROUND BUS) โดยที่

I_T คือกระแสบัส เนื่องจากแหล่งกำเนิดกระแส ประกอบด้วย I_1, I_2,..., I_8 ซึ่งสมมุติว่ารู้ค่า

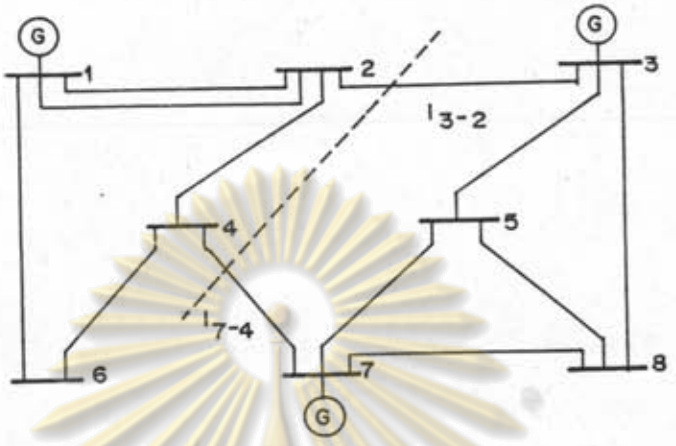
E_T คือแรงดันคร่อมบัสเทียบกับกราวนด์ ประกอบด้วย E_1, E_2,..., E_8 ซึ่งต้องการหาค่า

i_c คือกระแสในคัทลายน์ ประกอบด้วย i_{3-2} , i_{7-4} ซึ่งเป็นตัวแปรที่ไม่รู้ค่า

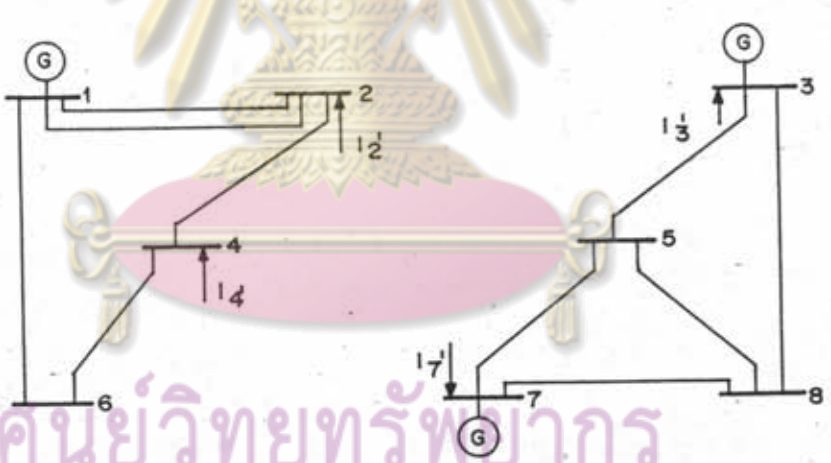
โดยวิธีการของไดอาคอปติก สมมุติทิศทางของกระแสในคัทลายน์ตามรูปที่ 3.1(ก) ในที่นี้คัทลายน์คือ สาย 3-2 และสาย 7-4 เมื่อตัดคัทลายน์ออกจากระบบจะแยกระบบเดิมออกเป็นระบบย่อย 2 ระบบคือ ระบบย่อย A และระบบย่อย B

เพื่อที่จะให้ระบบย่อย และคัทลายน์ที่แยกออกมามีความสัมพันธ์ของกระแส และแรงดันในส่วนต่าง ๆ มีค่าคงเดิม จึงแทนคัทลายน์ด้วยแหล่งกำเนิดกระแสสมมูลย์ I_T' ซึ่งประกอบด้วย I_2' และ I_4' ไหลเข้าบัส 2 และบัส 4 ในระบบย่อย A และ I_3' และ I_7' ไหลเข้าบัส 3 และบัส 7 ในระบบย่อย B ตามลำดับ โดยมีขนาดและทิศทางที่จะทำให้แรงดันคร่อมบัสของแต่ละระบบย่อยมีค่าเท่ากับแรงดันคร่อมบัสของระบบเดิมทุกประการ ดังแสดงในรูปที่ 3.1(ข)

ในทำนองเดียวกัน ใส่แหล่งกำเนิดแรงดันสมมูลย์ E_L ซึ่งประกอบด้วย E_{3-2} และE_{7-4} คร่อมคัทลายน์ โดยมีขนาดและทิศทางที่ทำให้กระแสในคัทลายน์มีค่าเท่ากับกระแสในสายส่งของระบบเดิมทุกประการ ดังแสดงในรูปที่ 3.1(ค)

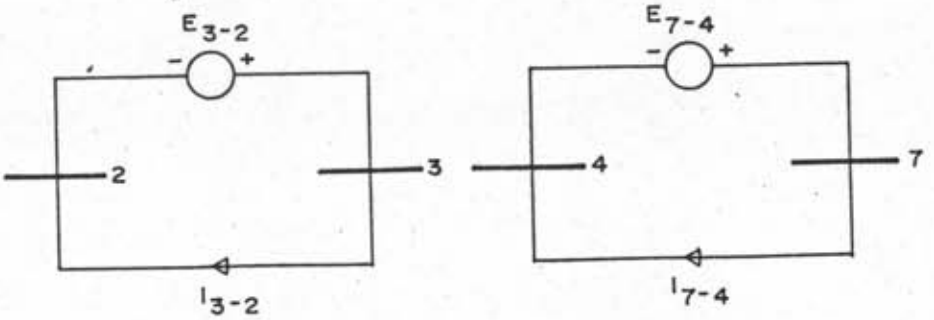


รูปที่ 3.1(ก) แสดงระบบไฟฟ้ากำลังก่อนแบ่งโซน



ระบบย่อย A ระบบย่อย B

รูปที่ 3.1(ข) แสดงระบบย่อยหลังแบ่งโซน



รูปที่ 3.1(ค) แสดงวงจรสมมูลย์ของดัทลายน์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งกำเนิดกระแสสมมูลย์ I_T' กับกระแส i_c ในคัทลายน์สามารถเขียนได้ดังนี้

$$I_2' = i_{3-2}$$
$$I_3' = -i_{3-2}$$
$$I_4' = i_{7-4}$$
$$I_7' = -i_{7-4}$$

สำหรับบัสอื่น ๆ ที่ไม่ได้ต่อกับคัทลายน์จะไม่มีความสัมพันธ์ดังกล่าว จากสมการข้างบนสามารถจัดให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ได้คือ

คัทลายน์

บัส	3-2	7-4
1		
6		
2	1	
4		1
3	-1	
5		
7		-1
8		

$$\begin{bmatrix} I_1' \\ I_6' \\ I_2' \\ I_4' \\ \hline I_3' \\ I_5' \\ I_7' \\ I_8' \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{cc} & \\ & \\ 1 & \\ & 1 \\ \hline -1 & \\ & \\ & -1 \\ & \end{array}\right] \begin{bmatrix} i_{3-2} \\ i_{7-4} \end{bmatrix} \qquad (3.1)$$

หรือในรูปทั่วไปดังนี้

$$I_T' = C_{TC} i_c \qquad (3.2)$$

โดยที่ C_{TC} คืออินซิเดนซ์เมตริกซ์ของทรี-วงรอบปิด (TREE-CLOSE LOOP INCIDENCE MATRIX)

ในทำนองเดียวกัน ความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งกำเนิดแรงดันสมมูลย์ E_L ที่คัทลายน์ต่างๆ กับแรงดันคร่อมบัส E_T สามารถเขียนได้ดังนี้

$$E_{3-2} = E_3 - E_2$$
$$E_{7-4} = E_7 - E_4$$

ซึ่งเขียนในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$
\begin{array}{c}
\text{บัส} \\
\text{ดัทลายน์}
\end{array}
\quad
\begin{array}{cccccccc}
1 & 6 & 2 & 4 & 3 & 5 & 7 & 8
\end{array}
$$

$$
\begin{bmatrix} E_{3-2} \\ \\ E_{7-4} \end{bmatrix}
=
\begin{array}{c} 3-2 \\ \\ 7-4 \end{array}
\begin{bmatrix}
 & & & & \vdots & & & \\
 & & -1 & & 1 & & & \\
 & & & & \vdots & & & \\
 & & & -1 & \vdots & & & 1
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix} E_1 \\ E_6 \\ E_2 \\ E_4 \\ \hline E_3 \\ E_5 \\ E_7 \\ E_8 \end{bmatrix}
\qquad (3.3)
$$

หรือเขียนในรูปทั่วไปได้ดังนี้

$$E_L = -C_{TC}^{*} E_T \qquad (3.4)$$

โดยที่

$$E_T = \begin{bmatrix} E_A \\ \hline E_B \end{bmatrix} \qquad (3.5)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสบัสในระบบย่อย และแรงดันคร่อมบัสในระบบย่อยสามารถเขียนได้ดังนี้

ระบบย่อย A $\quad Y_{AA}E_A = I_{TA} + I_{TA}'$ $\qquad (3.6)$

ระบบย่อย B $\quad Y_{BB}E_B = I_{TB} + I_{TB}'$ $\qquad (3.7)$

โดย Y_{AA} และ Y_{BB} คือบัสแอดมิทแตนซ์เมตริกซ์ของระบบย่อย A และ B

E_A และ E_B คือแรงดันคร่อมบัสของระบบย่อย A และ B

I_{TA} และ I_{TB} คือกระแสบัสเนื่องจากแหล่งกำเนิดกระแสของระบบย่อย A และ B

I_{TA}' และ I_{TB}' คือกระแสบัสเนื่องจากแหล่งกำเนิดกระแสสมมูลย์ของระบบย่อย A และ B

จากสมการ (3.6) และ (3.7) สามารถเขียนรวมกันในรูปของเมตริกซ์ ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\left[\begin{array}{c|c} Y_{AA} & \\ \hline & Y_{BB} \end{array}\right] \left[\begin{array}{c} E_A \\ \hline E_B \end{array}\right] = \left[\begin{array}{c} I_{TA} + I_{TA}' \\ \hline I_{TB} + I_{TB}' \end{array}\right] \qquad (3.8)$$

ซึ่งเขียนในรูปสมการทั่วไปได้ดังนี้

$$Y_{TT}\, E_T = I_T + I_T' \qquad (3.9)$$

โดยที่ Y_{TT} คือบัสแอดมิทแตนซ์เมตริกซ์ของระบบย่อย ซึ่งอยู่ในรูปกลุ่มเมตริกซ์แนวทะแยง (BLOCK DIAGONAL MATRIX)

จากสมการ (3.9) เมื่อแก้สมการเมตริกซ์ จะหาค่าแรงดันคร่อมบัสได้ นั่นคือ

$$E_T = Z_{TT} I_T + Z_{TT} I_T' \qquad (3.10)$$

โดยที่ Z_{TT} คือบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ของระบบย่อย ซึ่งอยู่ในรูปกลุ่มเมตริกซ์แนวทะแยง

จะเห็นได้ว่า ลักษณะเมตริกซ์แนวทะแยงจะทำให้ลดที่เก็บข้อมูลในหน่วยความจำของเครื่องดิจิตอลคอมพิวเตอร์ลง

ในการคำนวณหาสมาชิกต่าง ๆ ของ Z_{TT} จะไม่หามาจากส่วนกลับของ Y_{TT} แต่จะใช้วิธีการสร้างบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ของแต่ละระบบย่อยโดยตรงตามวิธีของ STAGG และ EL-ABIAD[2]

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสในคัทลายน์ และแหล่งกำเนิดแรงดันสมมูลย์ สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\left[\begin{array}{c} E_{3-2} \\ \hline E_{7-4} \end{array}\right] = \left[\begin{array}{c|c} Z_{32} & \\ \hline & Z_{74} \end{array}\right] \left[\begin{array}{c} i_{3-2} \\ \hline i_{7-4} \end{array}\right] \qquad (3.11)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในรูปทั่วไปสามารถเขียนได้ดังนี้

$$E_L = Z_{LL} i_C \qquad (3.12)$$

โดยที่ E_L คือแรงดันสมมูลย์คร่อมคัทลายน์

Z_{LL} คืออิมพีแดนซ์เมตริกซ์ของคัทลายน์

i_C คือกระแสในคัทลายน์

แทนค่า I_T' จากสมการ (3.2) ลงในสมการ (3.10) จะได้

$$E_T = Z_{TT}I_T + Z_{TT}C_{TC}i_C \qquad (3.13)$$

แทนค่า E_L จากสมการ (3.12) ลงในสมการ (3.4) จะได้

$$Z_{LL}i_C = -C_{TC}^{t}E_T \qquad (3.14)$$

แทนค่า E_T จากสมการ (3.13) ลงในสมการ (3.14) จะได้

$$Z_{LL}i_C = -C_{TC}^{t}(Z_{TT}I_T + Z_{TT}C_{TC}i_C) \qquad (3.15)$$

สมการ (3.15) จัดให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมจะได้

$$0 = C_{TC}^{t}Z_{TT}I_T + (C_{TC}^{t}Z_{TT}C_{TC} + Z_{LL})i_C \qquad (3.16)$$

จากสมการ (3.13) และ (3.16) จะได้

$$\left[\begin{array}{c} E_T \\ \hline 0 \end{array}\right] = \left[\begin{array}{c|c} Z_{TT} & Z_{TT}C_{TC} \\ \hline C_{TC}^{t}Z_{TT} & C_{TC}^{t}Z_{TT}C_{TC}+Z_{LL} \end{array}\right] \left[\begin{array}{c} I_T \\ \hline i_C \end{array}\right] \qquad (3.17)$$

หรือ

$$\left[\begin{array}{c} E_T \\ \hline 0 \end{array}\right] = \left[\begin{array}{c|c} Z_1 & Z_2 \\ \hline Z_3 & Z_4 \end{array}\right] \left[\begin{array}{c} I_T \\ \hline i_C \end{array}\right] \qquad (3.18)$$

โดยที่

$$Z_1 = Z_{TT}$$

$$Z_2 = Z_{TT}C_{TC}$$

$$Z_3 = C_{TC}^{t}Z_{TT} = Z_2^{t}$$

$$Z_4 = C_{TC}^{t}Z_{TT}C_{TC} + Z_{LL}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยทั่วไปถ้าเราแบ่งระบบออกเป็นระบบย่อยทั้งหมด N ระบบ สมการ (3.18) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$
\begin{array}{c}
 \\
\end{array}
\qquad
\begin{array}{ccccc}
 & \text{A} & \text{B} & \text{C.....N} & \text{คัทลายน์}
\end{array}
$$

$$
\left[\begin{array}{c}
E_A \\ \hline E_B \\ \hline E_C \\ \hline \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ E_N \\ \hline 0
\end{array}\right]
=
\begin{array}{c}
\text{A} \\ \text{B} \\ \text{C} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \text{N} \\ Z_2^{t}
\end{array}
\left[\begin{array}{c:c:c|c}
Z_{AA} & & & Z_{2AA} \\ \hdashline
 & Z_{BB} & & Z_{2BB} \\ \hdashline
 & & Z_{CC} & Z_{2CC} \\ \hdashline
 & & \cdot & \cdot \\
 & & \cdot & \cdot \\
 & & \cdot & \cdot \\
 & & Z_{NN} & Z_{2NN} \\ \hline
Z_{2AA}^{t} & Z_{2BB}^{t} & \ldots Z_{2NN}^{t} & Z_4
\end{array}\right]
\left[\begin{array}{c}
I_{TA} \\ \hline I_{TB} \\ \hline I_{TC} \\ \hline \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ I_{TN} \\ \hline i_C
\end{array}\right]
\qquad (3.19)
$$

การหา E_T เมื่อรู้ค่า I_T ทำได้โดยเขียนสมการ (3.10) อีกครั้งคือ

$$E_T = Z_{TT}I_T + Z_{TT}I_T' \qquad (3.10)$$

แทนค่า I_T' จากสมการ (3.2) ลงในสมการ (3.10) จะได้

$$E_T = Z_{TT}I_T + Z_{TT}(C_{TC}I_C) \qquad (3.20)$$

จากสมการ (3.16) เขียนใหม่ได้ดังนี้

$$i_C = Z_4^{-1}(-C_{TC}^{t}(Z_{TT}I_T)) \qquad (3.21)$$

แทนสมการ (3.21) ลงในสมการ (3.20) จะได้

$$E_T = Z_{TT}I_T + Z_{TT}(C_{TC}(Z_4^{-1}(-C_{TC}^{t}(Z_{TT}I_T)))) \qquad (3.22)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากสมการ (3.22) สามารถเขียนเป็น 6 ขั้นตอน โดยคิดจากวงเล็บในสุดดังนี้

1. $E_T^{(0)} = Z_{TT} I_T$
2. $e_c' = -C_{TC}^t E_T^{(0)}$
3. $i_c = Z_4^{-1} e_c'$
4. $I_T' = C_{TC} i_c$
5. $E_T^{(1)} = Z_{TT} I_T'$
6. $E_T = E_T^{(0)} + E_T^{(1)}$

จากสมการ (3.18) สามารถหาค่า E_T โดยกำจัดตัวแปร i_c ได้โดยใช้วิธีนีชคณิต หรือใช้วิธีของ Kron's Reduction Scheme จะได้

$$E_T = (Z_1 - Z_2 Z_4^{-1} Z_2^t) I_T \quad (3.23)$$

หรือ $$E_T = Z_1' I_T \quad (3.24)$$

โดยที่ $$Z_1' = Z_1 - Z_2 Z_4^{-1} Z_2^t \quad (3.25)$$

จากสมการ (3.23) -(3.25) จะเห็นว่า Z_1' คือ Z-BUS ของระบบรวมทั้งหมด ซึ่งหามาจากวิธีไดอาคอปติค และใช้เนื้อที่ในหน่วยความจำน้อยกว่าการหา Z-BUS จากวิธีบัสอิมพิแดนซ์เมตริกซ์ของ Stagg และ El-Abiad [2]

จากสมการ (3.23) และ (3.24) สมมุติให้กระแสที่ทุกบัส (I_T) เท่ากับศูนย์ ยกเว้นที่บัส A (บัส A เป็นบัสที่เกิดลัดวงจร) โดยที่ $I_A = 1$ จะได้ [4]

$$\begin{bmatrix} Z_{1A} \\ Z_{2A} \\ \vdots \\ Z_{AA} \\ \vdots \\ Z_{PA} \\ \vdots \end{bmatrix} = (Z_1 - Z_2 Z_4^{-1} Z_2^t) \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

จากสมการ (3.26) จะเห็นว่าในการวิเคราะห์การลัดวงจรที่แต่ละบัสสามารถหา Z-BUS เฉพาะ column ของบัสที่เกิดการลัดวงจรซึ่งเพียงพอในการคำนวณแล้ว ไม่ต้องหา Z-BUS ของระบบรวมทั้งหมดซึ่งใช้เนื้อที่ในหน่วยความจำมากกว่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมมุติเกิดลัดวงจรชนิดสามสายที่บัส A สามารถหาผลลัพธ์ได้ดังนี้

$$i_A^f = \frac{E_A^{(o)}}{Z_{aa}} \quad (3.27)$$

$$E_p^f = E_p^{(o)} - i_A^f Z_{ap} \quad (3.28)$$

โดยที่ i_A^f : กระแสบัส (Bus Current) ลงดินที่บัส A

$E_A^{(o)}$: แรงดันก่อนเกิดลัดวงจร (Pre-Fault Voltage) ที่บัส A

Z_{aa} : ค่าอิมพิแดนซ์ของ Z-BUS คอลัมม์ในแถว และคอลัมม์ a

E_p^f : แรงดันเนื่องจากการเกิดลัดวงจรที่บัส A

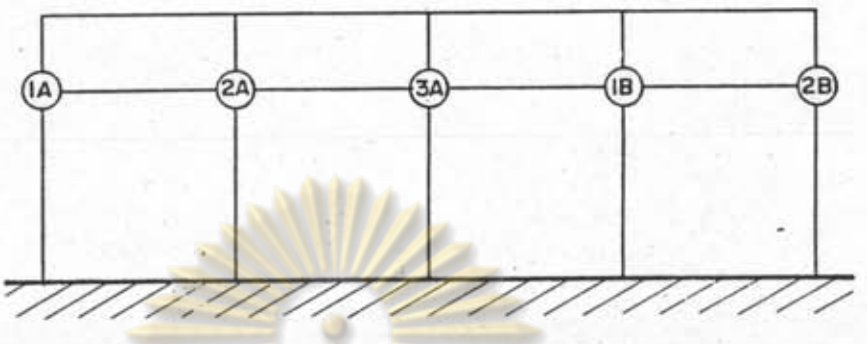
$E_p^{(o)}$: แรงดันก่อนเกิดลัดวงจรที่บัส A

Z_{ap} : ค่าอิมพิแดนซ์ของ Z-BUS คอลัมม์ ในแถว และคอลัมม์ p

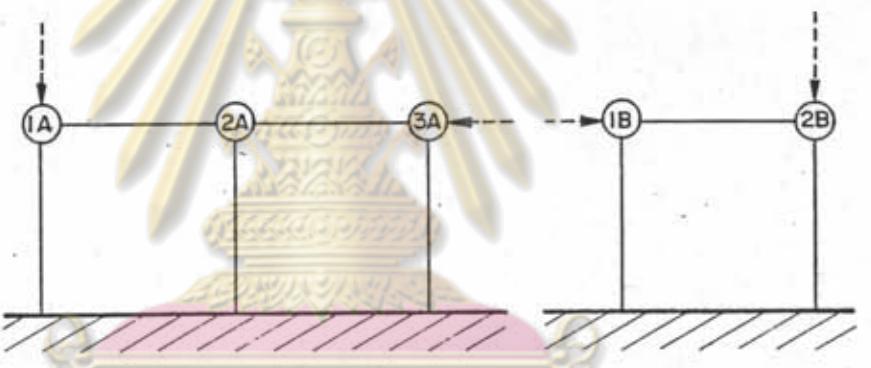
จากสมการ (3.27) และ (3.28) จะเห็นได้ว่า เราสามารถหาค่ากระแสและแรงดันที่บัสและลายน์ต่าง ๆ เนื่องจากเกิดลัดวงจรที่บัส A ได้โดยใช้เฟียงอีลิเมนท์ต่าง ๆ ในคอลัมม์ a ของ Z-BUS เท่านั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 ตัวอย่างการหาผลลัพท์[4]



รูปที่ 3.2 แสดงระบบไฟฟ้าซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 2 โซน



รูปที่ 3.3 แสดงระบบไฟฟ้าหลังจากถูกแบ่งออกเป็น 2 โซน

พิจารณาระบบไฟฟ้าในรูปที่ 3.2 สมมุติอิมพีแดนซ์ของสายทุกเส้นเป็น 1 P.U. ระบบถูกแบ่งออกเป็น 2 ระบบย่อย โดยแบ่งผ่านบัสร่วม ซึ่งระบบที่ถูกแบ่งแล้วจะได้ตามที่แสดงในรูป 3.3 ระบบไฟฟ้าที่ทำการหาผลลัพท์โดยวิธีแบ่งโซนนี้ ต้องไม่มีมิวชวลคัปปลิง (Mutual Coupling) ระหว่างสายที่อยู่ต่างโซนกัน แต่มีมิวชวลคัปปลิงระหว่างสายที่อยู่ต่างโซนกันหรือระหว่างคัทลายน์ได้ จากระบบไฟฟ้ารูปที่ 3.3 สามารถหาผลลัพธ์ได้ตามลำดับดังนี้

ก. หาบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ ของแต่ละระบบย่อย

Z_1 =

	1A	2A	3A	1B	2B
1A	0.625	0.25	0.125		
2A	0.25	0.5	0.25		
3A	0.125	0.25	0.625		
1B				0.667	0.333
2B				0.333	0.667

ข. หาคัทลายน์อิมพีแดนซ์เมตริกซ์

Z_{LL} =

	2B-1A	3A-1B
2B-1A	1	
3A-1B		1

ค. หาเมตริกซ์ Z_2

เมตริกซ์ Z_2 อาจหาได้จากผลคูณของเมตริกซ์ Z_1C_{TC} ก็ได้ แต่ในที่นี้จะหาโดยไม่ใช้ C_{TC} จะเห็นว่า C_{TC} เป็นเมตริกซ์ที่มีสมาชิกประกอบด้วย 0, 1, -1 ดังนั้นเมตริกซ์ Z_2 หรือผลคูณของ Z_1C_{TC} ประกอบด้วยสมาชิกใน Z_1 โดยกำหนดเครื่องหมายจากทิศทางของคัทลายน์ สมมุติคัทลายน์ 2B-1A เชื่อมระหว่างโซน A และโซน B มีทิศทางจากบัส 2B ไปบัส 1A ค่าสมาชิกในแกนตั้ง C_1 ของเมตริกซ์ Z_2 ก็คือ สมาชิกในแถวตั้ง 1A ลบด้วยสมาชิกในแถวตั้ง 2B ของเมตริกซ์ Z_1 สำหรับคัทลายน์เส้นอื่นก็หาได้เช่นเดียวกัน ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Z_2 =

	C1 1A-2B	C2 1B-3A
1A	0.625	-0.125
2A	0.25	-0.25
3A	0.125	-0.625
1B	-0.333	0.667
2B	-0.667	0.333

ง. หาเมตริกซ์ Z_4

เมตริกซ์ Z_4 หาได้จากเมตริกซ์ Z_2 ด้วยวิธีดังนี้ สมาชิกในแถวนอน C_1 ของเมตริกซ์ Z_4 เท่ากับ สมาชิกในแถวนอน 1A ลบด้วยสมาชิกในแถวนอน 2B ของเมตริกซ์ Z_2 ส่วนสมาชิกในแถวนอน C_2 ของ Z_4 เท่ากับสมาชิกในแถวนอน 3A ลบด้วยสมาชิกในแถวนอน 1B ของเมตริกซ์ Z_2 (ในกรณีที่มีคัทลายน์มากกว่า 2 เส้น การหาสมาชิกในแถวนอนของ C_3, C_4,.... ก็หาในวิธีเดียวกัน) หลังจากนั้นเอาเมตริกซ์ที่ได้บวกกับคัทลายน์อิมพิแดนเมตริกซ์ (Z_{LL}) จะได้เมตริกซ์ Z_4 ดังนี้

Z_4 =

	C1 1A-2B	C2 1B-3A
C1 1A-2B	1.292	-0.458
C2 1B-3A	-0.458	1.292

+

	1A-2B	1B-3A
1A-2B	1	
1B-3A		1

=

	C1 1A-2B	C2 1B-3A
C1 1A-2B	2.292	-0.458
C2 1B-3A	-0.458	2.292

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 10302517

จ. หาเมตริกซ์ Z_4^{-1}

Z_4^{-1} =	C1 1A–2B	C2 1B–3A
C1 1A–2B	1.292	-0.458
C2 1B–3A	-0.458	1.292

ฉ. สมมุติเกิดการลัดวงจรที่บัส 2A เราสามารถหา Z-BUS เฉพาะ column ของบัส 2A ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} Z_{1A2A} \\ Z_{2A2A} \\ Z_{3A2A} \\ Z_{1B2A} \\ Z_{2B2A} \end{bmatrix} = (Z_4 - Z_2 Z_4^{-1} Z_2^{t}) \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.182 \\ 0.455 \\ 0.182 \\ 0.091 \\ 0.091 \end{bmatrix}$$

หมายเหตุ Z-BUS ของรูป 3.2 สามารถหาค่าได้ดังนี้

	1A	2A	3A	1B	2B
1A	0.4545	0.1818	0.0909	0.0909	0.1818
2A	0.1818	0.4545	0.1818	0.0909	0.0909
3A	0.0909	0.1818	0.4545	0.1818	0.0909
1B	0.0909	0.0909	0.1818	0.4545	0.1818
2B	0.1818	0.0909	0.0909	0.1818	0.4545

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย