บทที่ 2

การใช้ไดอาคอปติกในระบบไฟฟ้ากำลัง

2.1 การหาผลลัพธ์แบบแยกส่วน [2,4]

วิธีการของไดอาคอปติกคือแบ่งข่ายวงจร (Network) ออกเป็นส่วนย่อยแล้วหาผลลัพธ์ของส่วนย่อย นำผลลัพธ์ของส่วนย่อยรวมกับผลอันเนื่องมาจากการแบ่ง จะได้ผลลัพธ์รวมของข่ายวงจรทั้งหมด

พิจารณาระบบไฟฟ้ากำลัง แสดงในรูปที่ 2.1 ก. ซึ่งประกอบด้วย 8 บัส และสายส่ง 12 เส้นต่อเชื่อมโยงกันอยู่ สมมุติระบบนี้ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนโดยเส้นประแสดงถึงเส้นแบ่ง สายที่ถูกตัดเรียกว่าคัทลายน์ (Cut Line) เส้นที่แบ่งโซนผ่านบัสอยู่บัสหนึ่งเรียกว่า บัสร่วม (Common Bus) ซึ่งในระบบไฟฟ้ากำลังจะให้บัสร่วมคือ กราวนด์บัส (Ground Bus) โดยที่

I_T คือกระแสบัสเนื่องจากแหล่งกำเนิดกระแส ประกอบด้วย $I_1, I_2 \ldots, I_8$ ซึ่งสมมุติว่ารู้ค่า

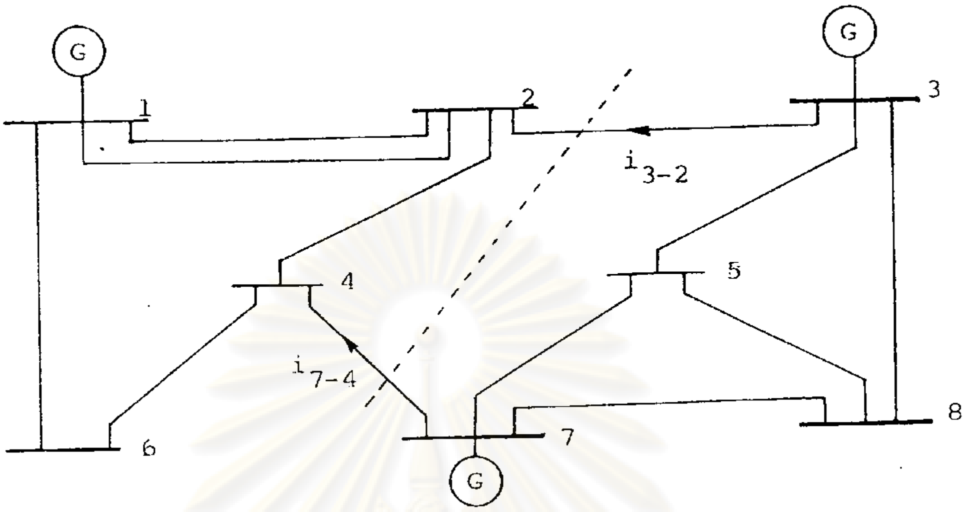
E_T คือแรงดันคร่อมบัสเทียบกับกราวนด์ ประกอบด้วย $E_1, E_2 \ldots, E_8$ ซึ่งต้องการหาค่า

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

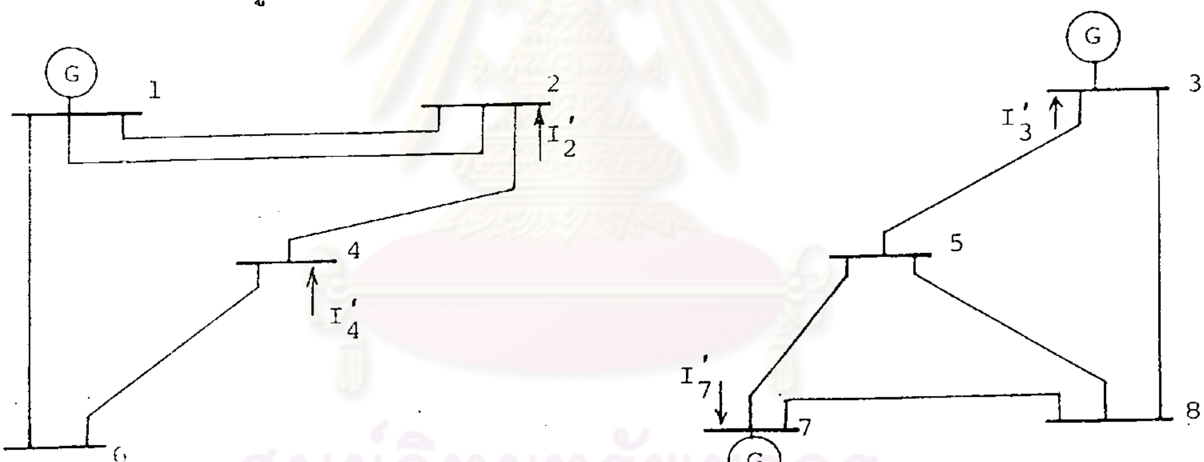
โดยวิธีการของไดอาคอปติก สมมุติทิศทางของกระแสในคัทลายน์ตามรูปที่ 2.1 ก. ในที่นี้ คัทลายน์คือ สาย 3-2 และสาย 7-4 เมื่อตัดคัทลายน์ออกจากระบบจะแยกระบบเดิมออกเป็นระบบย่อย 2 ระบบคือ ระบบย่อย A และระบบย่อย B

เพื่อที่จะให้ระบบย่อยและคัทลายน์ที่แยกออกมามีความสัมพันธ์ของกระแส 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 ตามลำดับโดยมีขนาดและทิศทางที่จะทำให้แรงดันคร่อม

บัสของแต่ละระบบย่อยมีค่าเท่ากับแรงดันคร่อมบัสของระบบเดิมทุกประการ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ข.

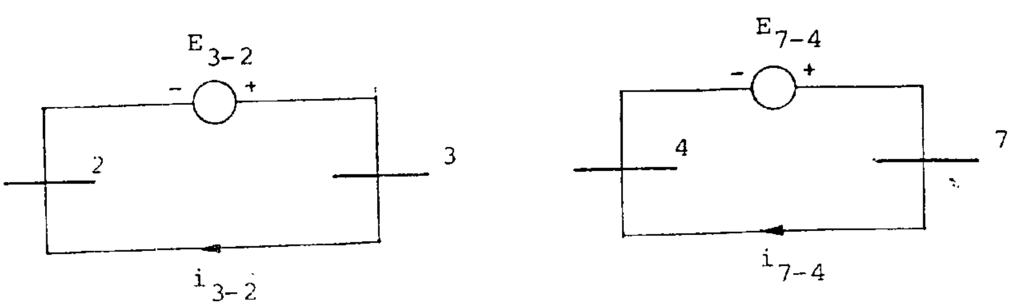


รูปที่ 2.1 ก. แสดงระบบไฟฟ้ากำลังก่อนแบ่งโซน



ระบบย่อย A ระบบย่อย B

รูปที่ 2.1 ข. แสดงระบบย่อยหลังแบ่งโซน



รูปที่ 2.1 ค. แสดงวงจรสมมูลย์ของคัทลายน์

ในทำนองเดียวกันใส่แหล่งกำเนิดแรงดันสมมูลย์ E_L ซึ่งประกอบด้วย E_{3-2} และ E_{7-4} คร่อมคัทลายน์ โดยมีขนาดและทิศทางที่ทำให้กระแสในคัทลายน์มีค่าเท่ากับกระแสในสายส่งของระบบเดิมทุกประการ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ค.

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 ที่ไม่ได้ต่อกับคัทลายน์ไม่มีความสัมพันธ์ดังกล่าว จากสมการข้างบนสามารถจัดให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ได้คือ

$$\begin{bmatrix} I'_1 \\ I'_6 \\ I'_2 \\ I'_4 \\ \hline I'_3 \\ I'_5 \\ I'_7 \\ I'_8 \end{bmatrix} = \begin{array}{c} \text{บัส} \backslash \text{คัทลายน์} \\ 1 \\ 6 \\ 2 \\ 4 \\ 3 \\ 5 \\ 7 \\ 8 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cc} 3-2 & 7-4 \end{array} \\ \left[\begin{array}{cc} & \\ & \\ 1 & \\ & 1 \\ \hline -1 & \\ & \\ & -1 \\ & \end{array}\right] \end{array} \begin{bmatrix} i_{3-2} \\ \\ i_{7-4} \end{bmatrix} \qquad (2.1)$$

หรือในรูปทั่วไปได้ดังนี้

$$I'_T = C_{TC}\ i_c \qquad (2.2)$$

โดยที่ C_{TC} คืออินซิเดนซ์เมตริกซ์ของทรี-วงรอบปิด (Tree-close loop Incidence Matrix)

ในทำนองเดียวกัน ความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งกำเนิดแรงดันสมมูลย์ E_L ที่คัทลายน์ต่าง ๆ กับแรงดันคร่อมบัส E_T สามารถเขียนได้ดังนี้

$$E_{3-2} = E_3 - E_2$$

$$E_{7-4} = E_7 - E_4$$

ซึ่งเขียนในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{array}{c} \\ \\ \left[\begin{array}{c} E_{3-2} \\ \\ E_{7-4} \end{array}\right] \end{array} = \begin{array}{c|c} \text{คัทลายน์} \backslash \text{บัส} & \begin{array}{cccccccc} 1 & 6 & 2 & 4 & 3 & 5 & 7 & 8 \end{array} \\ \begin{array}{c} 3-2 \\ \\ 7-4 \end{array} & \left[\begin{array}{cccc:cccc} & & -1 & & 1 & & & \\ & & & & & & & \\ & & & -1 & & & 1 & \end{array}\right] \end{array} \left[\begin{array}{c} E_1 \\ E_6 \\ E_2 \\ E_4 \\ \hdashline E_3 \\ E_5 \\ E_7 \\ E_8 \end{array}\right] \qquad (2.3)$$

หรือเขียนในรูปทั่วไปได้ดังนี้

$$E_L = -C_{TC}^t \, E_T \qquad (2.4)$$

โดยที่

$$E_T = \left[\begin{array}{c} E_A \\ \hline E_B \end{array}\right] \qquad (2.5)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสบัสในระบบย่อยและแรงดันคร่อมบัสในระบบย่อย สามารถเขียนได้ดังนี้

ระบบย่อย A $\quad Y_{AA} E_A = I_{TA} + I'_{TA}$ (2.6)

ระบบย่อย B $\quad Y_{BB} E_B = I_{TB} + I'_{TB}$ (2.7)

โดยที่ 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 (2.6) และ (2.7) สามารถเขียนรวมกันในรูปของเมตริกซ์ ดังนี้

$$\left[\begin{array}{c|c} Y_{AA} & \\ \hline & Y_{BB} \end{array}\right] \left[\begin{array}{c} E_A \\ \hline E_B \end{array}\right] = \left[\begin{array}{c} I_{TA} + I'_{TA} \\ \hline I_{TB} + I'_{TB} \end{array}\right] \tag{2.8}$$

ซึ่งเขียนในรูปสมการทั่วไปได้ดังนี้

$$Y_{TT}\, E_T = I_T + I'_T \tag{2.9}$$

โดยที่ Y_{TT} คือบัสแอดมิทแตนซ์ของระบบย่อย ซึ่งเขียนอยู่ในรูปกลุ่มเมตริกซ์แนวทะแยง (Block Diagonal Matrix)

จากสมการ (2.9) เมื่อแก้สมการเมตริกซ์ จะหาค่าแรงดันคร่อมบัสได้ นั่นคือ

$$E_T = Z_{TT}\, I_T + Z_{TT}\, I'_T \tag{2.10}$$

โดยที่ Z_{TT} คือบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ของระบบย่อยซึ่งอยู่ในรูปกลุ่มเมตริกซ์แนวทะแยง

จะเห็นได้ว่า ลักษณะเมตริกซ์แนวทะแยงจะทำให้ลดที่เก็บข้อมูลในหน่วยความจำของเครื่องดิจิตอลคอมพิวเตอร์ลง

ในการคำนวณหาสมาชิกต่าง ๆ ของ Z_{TT} จะไม่หามาจากส่วนกลับของ Y_{TT} แต่จะใช้วิธีการสร้างบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ของแต่ละระบบย่อยโดยตรงตามวิธีของ Stagg และ El-Abiad[9]

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสในคัทลายน์และแหล่งกำเนิดแรงดันสมมูลย์ สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} E_{3-2} \\ \\ E_{7-4} \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{c|c} Z_{32} & \\ \hline & Z_{74} \end{array}\right] \begin{bmatrix} i_{3-2} \\ \\ i_{7-4} \end{bmatrix} \qquad (2.11)$$

ในรูปทั่วไปสามารถเขียนได้ดังนี้

$$E_L = Z_{LL} \ i_C \qquad (2.12)$$

โดยที่ E_L คือแหล่งกำเนิดแรงดันสมมูลย์คร่อมคัทลายน์

Z_{LL} คืออิมพีแดนซ์เมตริกซ์ของคัทลายน์

i_C คือกระแสในคัทลายน์

แทนค่า I_T' จากสมการ (2.2) ลงในสมการ (2.10) จะได้

$$E_T = Z_{TT} \ I_T + Z_{TT} \ C_{TC} \ i_C \qquad (2.13)$$

แทนค่า E_L จากสมการ (2.12) ลงในสมการ (2.4) จะได้

$$Z_{LL} \ i_C = - C_{TC}^t \ E_T \qquad (2.14)$$

แทนค่า E_T จากสมการ (2.13) ลงในสมการ (2.14) จะได้

$$Z_{LL} \ i_C = - C_{TC}^t \ (Z_{TT} \ I_T + Z_{TT} \ C_{TC} \ i_C) \qquad (2.15)$$

สมการ (2.15) จัดให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมจะได้

$$0 = C_{TC}^t \ Z_{TT} \ I_T + (C_{TC}^t \ Z_{TT} \ C_{TC} + Z_{LL}) \ i_C \qquad (2.16)$$

จากสมการ (๒.๑๓) และ (๒.๑๖) จะได้

$$
\begin{bmatrix} E_T \\ \hline 0 \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{c|c} Z_{TT} & Z_{TT}C_{TC} \\ \hline C^t_{TC}\ Z_{TT} & C^t_{TC}Z_{TT}C_{TC} + Z_{LL} \end{array}\right] \begin{bmatrix} I_T \\ \hline i_c \end{bmatrix} \qquad (2.17)
$$

หรือ

$$
\begin{bmatrix} E_T \\ \hline 0 \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{c|c} Z_1 & Z_2 \\ \hline Z_3 & Z_4 \end{array}\right] \begin{bmatrix} I_T \\ \hline i_C \end{bmatrix} \qquad (2.18)
$$

โดยที่ $Z_1 = Z_{TT}$

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

$Z_3 = C^t_{TC}Z_{TT} = Z^t_2$

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

โดยทั่วไปถ้าเราแบ่งระบบออกเป็นระบบย่อยทั้งหมด N ระบบ สมการ (๒.๑๘) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$
\begin{bmatrix} E_A \\ E_B \\ E_C \\ \vdots \\ E_N \\ \hline 0 \end{bmatrix} =
\begin{array}{c} \\ A \\ B \\ C \\ \vdots \\ N \\ Z^t_2 \end{array}
\begin{array}{c}
\begin{array}{cccccc} A & B & C & \ldots & N & \text{คัทลายน์} \end{array} \\
\left[\begin{array}{c|c|ccc|c}
Z_{AA} & & & & & Z_{2AA} \\
\hline
 & Z_{BB} & & & & Z_{2BB} \\
\hline
 & & Z_{CC} & Z_1 & & Z_{2CC} \\
\hline
 & & & & & \vdots \\
 & & & & Z_{NN} & Z_{2NN} \\
\hline
Z^t_{2AA} & Z^t_{2CC} & & \ldots & Z^t_{2NN} & Z_4
\end{array}\right]
\end{array}
\begin{bmatrix} I_{TA} \\ I_{TB} \\ I_{TC} \\ \vdots \\ I_{TN} \\ \hline i_C \end{bmatrix} \qquad (2.19)
$$

การหา E_T เมื่อรู้ค่า I_T ทำได้โดยเขียนสมการ (2.10) อีกครั้งคือ

$$E_T = Z_{TT}I_T + Z_{TT}I'_T \tag{2.10}$$

แทนค่า I'_T จากสมการ (2.2) ลงในสมการ (2.10) จะได้

$$E_T = Z_{TT}I_T + Z_{TT} \left(C_{TC}i_C \right) \tag{2.20}$$

จากสมการ (2.16) เขียนใหม่ได้ดังนี้

$$i_C = Z_4^{-1} \left[- C_{TC}^t \left(Z_{TT}I_T \right) \right] \tag{2.21}$$

แทนสมการ (2.21) ลงในสมการ (2.20) จะได้

$$E_T = Z_{TT}I_T + Z_{TT} \left[C_{TC} \left[Z_4^{-1} \left[-C_{TC}^t \left[Z_{TT}I_T \right] \right] \right] \right] \tag{2.22}$$

จากสมการ (2.22) สามารถเขียนเป็น 6 ขั้นตอน โดยคิดจากวงเล็บในสุดดังนี้

$$
\begin{aligned}
&1) \quad E_T^{(0)} = Z_{TT} I_T \\
&2) \quad e'_C = C_{TC}^t E_T^{(0)} \\
&3) \quad i_C = Z_4^{-1} e'_C \\
&4) \quad I'_T = C_{TC} i_C \\
&5) \quad E_T^{(1)} = Z_{TT} I'_T \\
&6) \quad E_T = E_T^{(0)} + E_T^{(1)}
\end{aligned} \tag{2.23}
$$

จากสมการ (2.18) ถ้ากำจัดตัวแปร i_C จะได้

$$E_T = (Z_1 - Z_2 Z_4^{-1} Z_2^{t}) \; I_T \tag{2.24}$$

หรือ $E_T = Z'_1 \, I_T$ (2.25)

โดยที่ $Z'_1 = Z_1 - Z_2 Z_4^{-1} Z_2^t$

ซึ่ง Z'_1 คือ Z_{BUS} ของระบบรวมทั้งหมด

2.2 ตัวอย่างการหาผลลัพธ์

พิจารณาข่ายวงจรในรูปที่ 2.2 สมมุติอิมพีแดนซ์ของสายทุกเส้นเป็น 1 PU. กระแสที่ไหลเข้าบัสทุกบัสมีค่าเป็น 0.5 PU. ระบบถูกแบ่งออกเป็น 3 ระบบย่อย โดยแบ่งผ่านบัสร่วม ซึ่งระบบที่ถูกแบ่งแล้วตามที่ได้แสดงในรูปที่ 2.3 ข่ายวงจรที่ทำการหาผลลัพธ์โดยวิธีแบ่งโซนนี้ ต้องไม่มีมิวชวลคัปปลิง (Mutual coupling) ระหว่างสายที่อยู่ต่างโซนกัน แต่มีมิวชวลคัปปลิงระหว่างสายที่อยู่ในโซนเดียวกันได้

จากข่ายวงจรรูปที่ 2.3 สามารถหาผลลัพธ์ได้ตามลำดับดังนี้

ก. หาบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ ของแต่ละระบบย่อย

$$
Z_1 = \begin{array}{c|ccc|ccc|cc|}
 & 1A & 2A & 3A & 1B & 2B & 3B & 1C & 2C \\
\hline
1A & 2 & 2 & 1 & & & & & \\
2A & 2 & 3 & 1 & & & & & \\
3A & 1 & 1 & 1 & & & & & \\
\hline
1B & & & & 2 & 1 & 1 & & \\
2B & & & & 1 & 1 & 1 & & \\
3B & & & & 1 & 1 & 2 & & \\
\hline
1C & & & & & & & 2 & 1 \\
2C & & & & & & & 1 & 1 \\
\hline
\end{array}
$$

ข. หาเมตริกซ์ Z_2

Z_2 อาจหาได้จากผลคูณของเมตริกซ์ $Z_1 C_{TC}$ ก็ได้ แต่ในที่นี้จะหาโดยไม่ใช้ C_{TC} จะเห็นว่า C_{TC} เป็นเมตริกซ์ที่มีสมาชิกประกอบด้วย 0, 1, -1 ดังนั้น Z_2 หรือผลคูณของ $Z_1 C_{TC}$ ประกอบด้วยสมาชิกใน Z_1 โดยกำหนดเครื่องหมายจากทิศทางของคัทลายน์ สมมุติคัทลายน์ L_1 เชื่อมระหว่างโซน A และโซน B มีทิศทางจากบัส 1_B ไปบัส 1_A ค่าสมาชิกในแถวตั้ง C_1 ของ Z_2 ก็คือ สมาชิกในแถวตั้ง 1_A ลบด้วยสมาชิกในแถวตั้ง 1_B ของ Z_1 สำหรับคัทลายน์เส้นอื่นก็หาได้เช่นเดียวกัน ดังนี้

$$
Z_2 = \begin{array}{c|c|c|c|c|}
 & C_1 & C_2 & C_3 & C_4 \\
 & 1A-1B & 2B-2A & 3B-2C & 1C-3A \\
\hline
1A & 2 & -2 & & -1 \\
2A & 2 & -3 & & -1 \\
3A & 1 & -1 & & -1 \\
\hline
1B & -2 & 1 & 1 & \\
2B & -1 & 1 & 1 & \\
3B & -1 & 1 & 2 & \\
\hline
1C & & & -1 & 2 \\
2C & & & -1 & 1 \\
\hline
\end{array}
$$

ค. หาเมตริกซ์ Z_4

Z_4 หาได้จาก Z_2 ด้วยวิธีดังนี้ สมาชิกในแถวนอน C_1 ของ Z_4 เท่ากับสมาชิกในแถวนอน 1A ลบด้วย สมาชิกในแถวนอน 1B ของ Z_2 สมาชิกในแถวนอน C_2 ของ Z_4 เท่ากับสมาชิกในแถวนอน 2B ลบด้วยสมาชิกในแถวนอน 2A ของ Z_2 สมาชิกในแถวนอน C_3 และ C_4 หาได้เช่นเดียวกัน สำหรับค่าสมาชิกในแนวทะแยงให้บวกเพิ่มด้วยค่าอิมพีแดนซ์ของคัทลายน์ Z_4 ดังนี้

Z_4 =

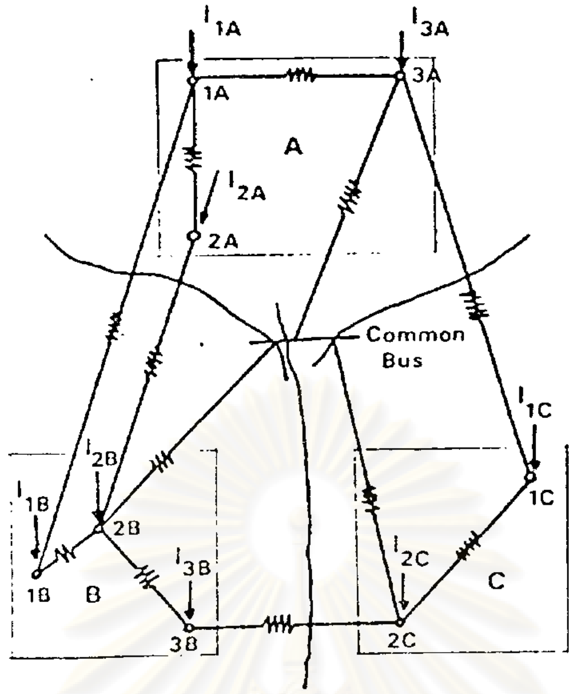
	C_1 1A-1B	C_2 2B-2A	C_3 3B-2C	C_4 1C-3A
C_1 1A-1B	5	-3	-1	-1
C_2 2B-2A	-3	5	1	1
C_3 3B-2C	-1	1	4	-1
C_4 1C-3A	-1	1	-1	4

ง. หาเมตริกซ์ Y_4

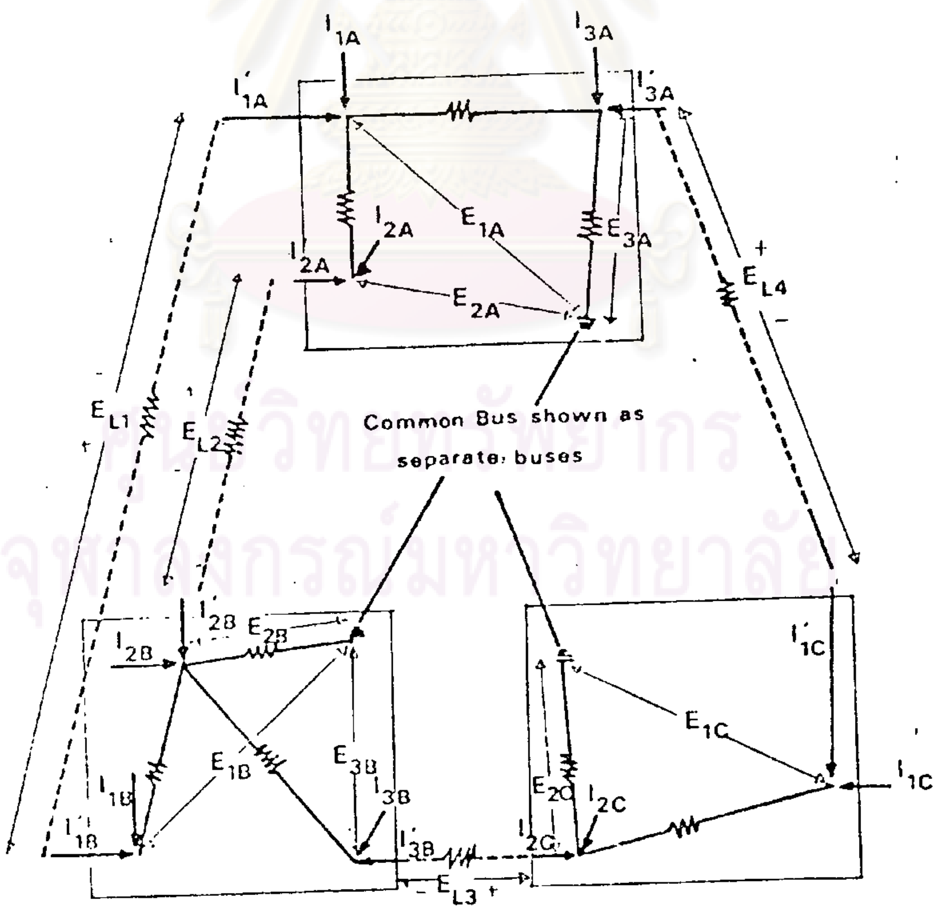
ได้มาจากการหาส่วนกลับของ Z_4 ดังนี้

$Y_4 = Z_4^{-1}$ =

	C_1 1A-1B	C_2 2B-2A	C_3 3B-2C	C_4 1C-3A
C_1 1A-1B	0.370370	0.259259	0.037037	0.037037
C_2 2B-2A	0.259259	0.481481	-0.074074	-0.074074
C_3 3B-2C	0.037037	-0.074074	0.303704	0.103704
C_4 1C-3A	0.037037	-0.074074	0.103704	0.303704



รูปที่ 2.2 แสดงข่ายวงจรซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 3 โซน



รูปที่ 2.3 แสดงข่ายวงจรเมื่อเอาคัทลายน์ออก

จ. หาผลลัพธ์ตามขั้นตอนดังนี้

1. $E_T^{(0)} = Z_1 I_T$

$I_T = 0.5$

$$E_T^{(0)} = \begin{array}{c} 1A \\ 2A \\ 3A \\ 1B \\ 2B \\ 3B \\ 1C \\ 2C \end{array} \begin{bmatrix} E_{1A}^{(0)} & = & 2.5 \\ E_{2A}^{(0)} & = & 3.0 \\ E_{3A}^{(0)} & = & 1.5 \\ E_{1B}^{(0)} & = & 2.0 \\ E_{2B}^{(0)} & = & 1.5 \\ E_{3B}^{(0)} & = & 2.0 \\ E_{1C}^{(0)} & = & 1.5 \\ E_{2C}^{(0)} & = & 1.0 \end{bmatrix}$$

2. $e_c' = E_L^{(0)}$

$$e_c' = E_L^{(0)} = \begin{array}{c} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{array} \begin{bmatrix} E_{1B}^{(0)} & - & E_{1A}^{(0)} & = & -0.5 \\ E_{2A}^{(0)} & - & E_{2B}^{(0)} & = & 1.5 \\ E_{2C}^{(0)} & - & E_{3B}^{(0)} & = & -1.0 \\ E_{3A}^{(0)} & - & E_{1C}^{(0)} & = & 0 \end{bmatrix}$$

3. $i_c = Y_4 e_c'$

$$i_c = \begin{array}{c} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{array} \begin{bmatrix} i_{c1} & = & 0.1666 \\ i_{c2} & = & 0.6666 \\ i_{c3} & = & -0.4333 \\ i_{c4} & = & -0.2333 \end{bmatrix}$$

4. หา I'_T จาก i_c

$$
I'_T = \begin{array}{c} 1A \\ 2A \\ 3A \\ 1B \\ 2B \\ 3B \\ 1C \\ 2C \end{array}
\begin{bmatrix}
I'_{1A} & = & i_{c1} & = & 0.1666 \\
I'_{2A} & = & -i_{c2} & = & -0.6666 \\
I'_{3A} & = & -i_{c4} & = & 0.2333 \\
I'_{1B} & = & -i_{c1} & = & -0.1666 \\
I'_{2B} & = & i_{c2} & = & 0.6666 \\
I'_{3B} & = & i_{c3} & = & -0.4333 \\
I'_{1C} & = & i_{c4} & = & -0.2333 \\
I'_{2C} & = & -i_{c3} & = & 0.4333
\end{bmatrix}
$$

5. $E_T^{(1)} = Z_1 \; I'_T$

$$
E_T^{(1)} = \begin{array}{c} 1A \\ 2A \\ 3A \\ 1B \\ 2B \\ 3B \\ 1C \\ 2C \end{array}
\begin{bmatrix}
E_{1A}^{(1)} & = & -0.7666 \\
E_{2A}^{(1)} & = & 1.4333 \\
E_{3A}^{(1)} & = & -0.2666 \\
E_{1B}^{(1)} & = & -0.1000 \\
E_{2B}^{(1)} & = & 0.0666 \\
E_{3B}^{(1)} & = & -0.3666 \\
E_{1C}^{(1)} & = & -0.0333 \\
E_{2C}^{(1)} & = & 0.2000
\end{bmatrix}
$$

6. $E_T = E_T^{(0)} + E_T^{(1)}$

$$
E_T = \begin{array}{c} 1A \\ 2A \\ 3A \\ 1B \\ 2B \\ 3B \\ 1C \\ 2C \end{array}
\begin{bmatrix}
E_{1A} & = & 1.7333 \\
E_{2A} & = & 1.5666 \\
E_{3A} & = & 1.2333 \\
E_{1B} & = & 1.9000 \\
E_{2B} & = & 1.5666 \\
E_{3B} & = & 1.6333 \\
E_{1C} & = & 1.4666 \\
E_{2C} & = & 1.2000
\end{bmatrix}
$$