บทที่ 3

หฤษฎีการวิเคราะห์การลัดวงจรโดยวิธีทางคอมพิวเตอร์

ในบทนี้กล่าวถึงหฤษฎีและวิธีการวิเคราะห์การลัดวงจร โดยใช้บัสอิมพิแดนซ์เมตริกซ์ (Bus impedance matrix) ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้กับคอมพิวเตอร์ และใช้วิเคราะห์ได้กับระบบไฟฟ้าทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นระบบไฟฟ้าแบบเรเดียล (Radial) หรือลูป (Loop) เมื่อทำการสร้างบัสอิมพิแดนซ์เมตริกซ์แล้ว ก็สามารถจะคำนวณกระแสลัดวงจรได้ที่ทุก ๆ บัสในระบบไฟฟ้า รวมทั้งกระแสลัดวงจรที่ไหลในส่วนต่าง ๆ ของวงจร และแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ ขณะเกิดการลัดวงจร

การวิเคราะห์การลัดวงจรด้วยบัสอิมพิแดนซ์เมตริกซ์

1. สมการของระบบไฟฟ้า (Network equations)

เนทเวิคใด ๆ ที่ประกอบด้วย n โหนด สามารถจะแทนเนทเวิคนั้น ๆ ด้วยสมการโหนด (Node equations) จำนวน n-1 สมการอิสระจากกันซึ่งเขียนในรูปของเมตริกซ์ได้คือ

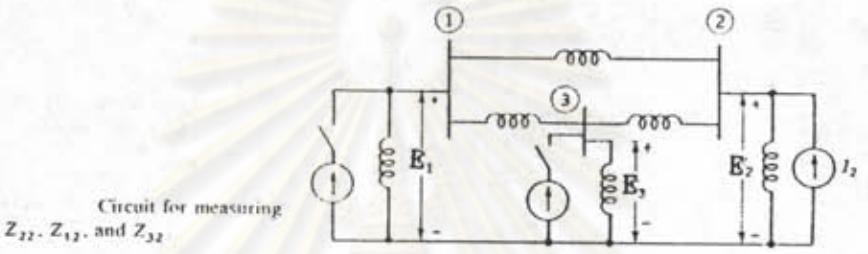
$$\bar{E}_{BUS} = Z_{BUS}\,\bar{I}_{BUS}$$

โดยที่ $\bar{E}_{BUS}$ = เวคเตอร์แรงดันที่บัส วัดเทียบกับบัสอ้างอิง

Z_{BUS} = บัสอิมพิแดนซ์เมตริกซ์ ซึ่งประกอบด้วยสมาชิกต่าง ๆ ค่าสมาชิกในแนวทะแยง (Diagonal element) เป็นไดรวิ่งพอยน์อิมพิแดนซ์ (Driving point impednace) ส่วนสมาชิกนอกแนวทะแยง (Off diagonal element) เป็นทรานส์เฟอร์อิมพิแดนซ์ (Transfer impedance)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I_{BUS} = เวคเตอร์ของกระแสที่ไหลเข้าบัส (Vector of impressed bus current)



รูปที่ 3.1 วงจร 3 โหนดและการวัดค่า Z_{22}, Z_{12}, Z_{32}

จากตัวอย่างในรูปที่ 3.1 สมการของระบบไฟฟ้าคือ

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix}$$

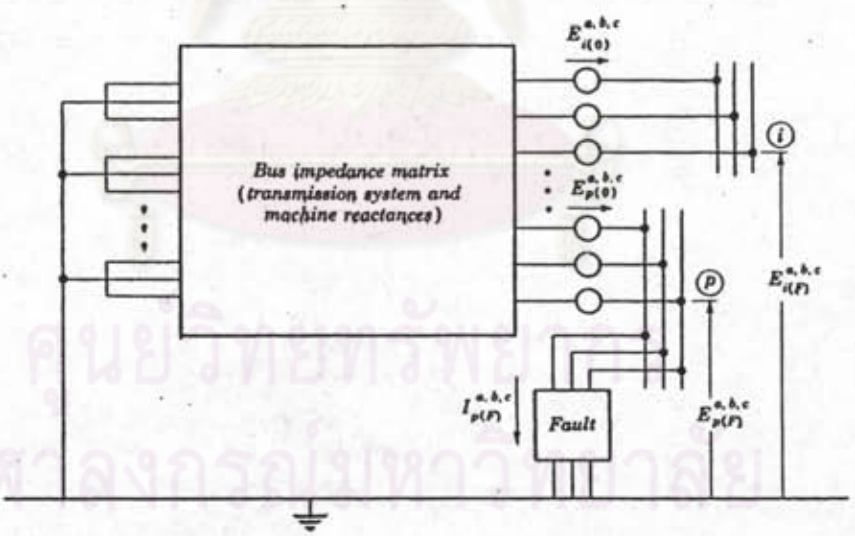
Z_{11}, Z_{22}, Z_{33} คือไดรวิ่งพอยท์อิมพิแดนซ์ และ Z_{12}, Z_{13}, Z_{21}, Z_{23}, Z_{31}, Z_{32} คือทรานส์เฟอร์อิมพิแดนซ์ พิจารณาค่าได้โดยการเปิดวงจรแหล่งกำเนิดกระแส (Open circuit current source) ที่โหนดอื่น ๆ และปล่อยกระแสเข้าที่โหนดที่กำลังพิจารณา เช่น ที่โหนด 2

$$Z_{22} = \left.\frac{E_2}{I_2}\right|_{I_1 = I_3 = 0}$$

$$Z_{12} = \left.\frac{E_1}{I_2}\right|_{I_1 = I_3 = 0}$$

2. <u>การคำนวณกระแสลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าโดยบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์</u>

ในการคำนวณกระแสลัดวงจร และแรงดันไฟฟ้าขณะลัดวงจรโดยบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ จะใช้กราวนด์ (Ground) เป็นบัสอ้างอิง (Reference bus) แทนอุปกรณ์ที่เป็นเครื่องจักรหมุนด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่ต่ออนุกรมกับอิมพีแดนซ์ และละค่าชันอิลิเมนต์ (Shunt elements) ต่าง ๆ เช่น โหลด, ลายน์ชาร์จจิง (Line charging) เป็นต้น



รูปที่ 3.2 วงจร 3 เฟส แทนระบบไฟฟ้าที่เกิดการลัดวงจรที่ p

รูปที่ 3.2 เป็นวงจรที่แทนระบบไฟฟ้าเกิดการลัดวงจรที่จุด P โดยใช้ทฤษฎีของ

เทฟวินิน (Thevenin's theorem) อิมพิแดนซ์ของวงจรแทนได้ด้วยบัสอิมพิแดนซ์เมตริกซ์ และแรงดันไฟฟ้าแทนได้ด้วย แรงดันไฟฟ้าที่บัสก่อนเกิดการลัดวงจร

สมการของระบบไฟฟ้า ขณะเกิดการลัดวงจรสามารถเขียนได้เป็น

$$\bar{E}^{abc}_{BUS(F)} = \bar{E}^{abc}_{BUS(O)} - Z^{abc}_{BUS}\bar{I}^{abc}_{BUS(F)} \qquad (3.1)$$

โดยที่

$\bar{E}^{abc}_{BUS(F)}$ = เวคเตอร์แรงดันที่บัสของเฟส a, b, c ขณะเกิดลัดวงจร

$\bar{E}^{abc}_{BUS(O)}$ = เวคเตอร์แรงดันที่บัสของเฟส a, b, c ก่อนลัดวงจร

Z^{abc}_{BUS} = บัสอิมพิแดนซ์เมตริกซ์ของเฟส a, b, c

$\bar{I}^{abc}_{BUS(F)}$ = เวคเตอร์กระแสที่ไหลเข้าบัสของเฟส a, b, c ขณะลัดวงจร

ในกรณีที่ระบบไฟฟ้าเป็นระบบ 3 เฟสสมดุลย์ (Balanced three-phase system) และการลัดวงจรเป็นการลัดวงจร 3 เฟส สามารถจะแทนสมการ(3.1) ด้วยสมการของระบบซิงเกิลเฟส (Single phase) และเขียนได้เป็น

$$\bar{E}_{BUS(F)} = \bar{E}_{BUS(O)} - Z_{BUS}\bar{I}_{BUS(F)} \qquad (3.2)$$

โดยที่เวคเตอร์แรงดันที่ไม่รู้ค่าคือ

$$\bar{E}_{BUS(F)} = \begin{bmatrix} E_{1(F)} \\ \cdots\cdots \\ E_{p(F)} \\ \cdots\cdots \\ E_{n(F)} \end{bmatrix}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เวคเตอร์แรงดันที่บัสก่อนเกิดการลัดวงจรซึ่งรู้ค่าคือ

$$\bar{E}_{BUS(0)} = \begin{bmatrix} E_{1(0)} \\ \cdots \\ E_{p(0)} \\ \cdots \\ E_{n(0)} \end{bmatrix}$$

เวคเตอร์กระแสไฟฟ้าที่ไม่รู้ค่าขณะเกิดลัดวงจรที่บัส F คือ

$$\bar{I}_{BUS(F)} = \begin{bmatrix} 0 \\ \cdots \\ 0 \\ I_{p(F)} \\ 0 \\ \cdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

และบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ของโพสิทีฟซีเควนซ์อิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้า (Positive sequence impedance) คือ

$$Z_{BUS} = \begin{bmatrix} Z_{11} & \cdots & Z_{1p} & \cdots & Z_{np} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Z_{p1} & \cdots & Z_{pp} & \cdots & Z_{pn} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Z_{n1} & \cdots & Z_{np} & \cdots & Z_{nn} \end{bmatrix}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังนั้น จากสมการที่ (3.2) เขียนได้เป็น

$$E_{1(F)} = E_{1(0)} - Z_{1p} I_{p(F)} \quad (3.3)$$

.....

$$E_{p(F)} = E_{p(0)} - Z_{pp} I_{p(F)} \quad (3.4)$$

.....

$$E_{n(F)} = E_{n(0)} - Z_{np} I_{p(F)} \quad (3.5)$$

แรงดันที่บัส P จะเท่ากับ

$$E_{p(F)} = z_F \, I_{p(F)}$$

โดยที่ z_F คือ ฟอลท์อิมพิแดนซ์ (Fault impedance)

ดังนั้นสมการที่ (3.4) เขียนได้เป็น

$$z_F I_{p(F)} = E_{p(0)} - Z_{pp} \, I_{p(F)} \quad (3.6)$$

จากสมการที่ (3.6) กระแสลัดวงจรที่จุด P จะเท่ากับ

$$I_{p(F)} = (z_F + Z_{pp})^{-1} \, E_{p(0)} \quad (3.7)$$

แรงดันขณะลัดวงจรที่บัส P จะเท่ากับ

$$E_{p(F)} = z_F \, (z_F + Z_{pp})^{-1} \, E_{p(0)} \quad (3.8)$$

แรงดันที่บัสอื่น ๆ ขณะลัดวงจรที่บัส P จะเท่ากับ

$$E_{i(F)} = E_{i(0)} - Z_{ip} \, (z_F + Z_{pp})^{-1} \, E_{p(0)}, \; i \neq p \quad (3.9)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กระแสที่ไหลในอิลิเมนท์ ที่มีโพสิทีฟอิมพิแดนซ์เป็น z_{ij} จะเท่ากับ

$$i_{ij(F)} = z_{ij} (E_{i(F)} - E_{j(F)}) \qquad (3.10)$$

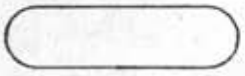
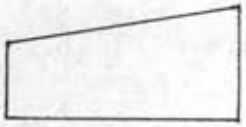
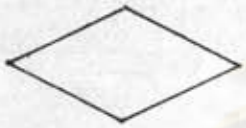
<u>การวิเคราะห์การลัดวงจรโดยไมโครคอมพิวเตอร์</u>

ขั้นตอนการวิเคราะห์การลัดวงจรในระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม ดังรายละเอียดในบทที่ 2 สามารถใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ทำงานแทนได้ทุกขั้นตอน ยกเว้นขั้นตอนที่ 1 ซึ่งเป็นขั้นตอนของการเตรียมโครงร่าง และข้อมูลเบื้องต้นของระบบไฟฟ้าที่ต้องการจะวิเคราะห์

การทำงานของโปรแกรมการวิเคราะห์การลัดวงจร ในระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมทั้งหมดอย่างง่าย ๆ แสดงในโฟลชาร์ทรูปที่ 3.4 กล่าวคือ

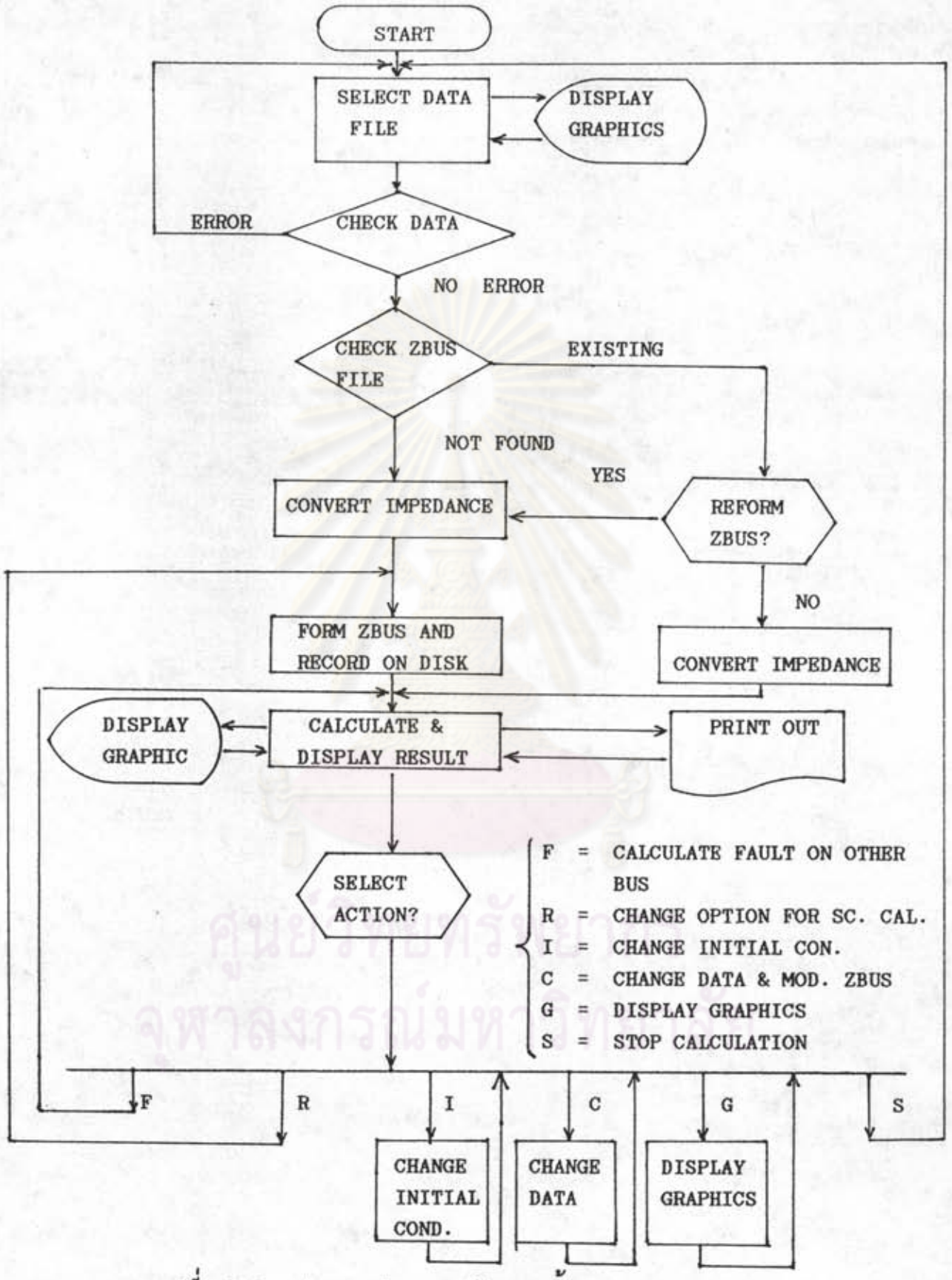
ขั้นแรกเป็นการจัดการเกี่ยวกับข้อมูลเบื้องต้นของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้าเป็นการรับข้อมูล และจัดเก็บเข้าดิสค์ไฟล์เพื่อเรียกใช้ในภายหลัง หรือจัดการเรียกใช้หรือแก้ไขข้อมูลเดิมที่มีอยู่ในดิสค์ไฟล์

หลังจากที่ได้ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ก็จะเป็นการตรวจสอบข้อมูล เปลี่ยนข้อมูลให้เป็นค่าอิมพิแดนซ์สมมูลย์ของแต่ละอุปกรณ์ หลังจากนั้นก็จะทำการสร้างบัสอิมพิแดนซ์เมตริกซ์ และจัดเก็บไว้ในดิสค์ไฟล์ (โปรแกรมส่วนนี้ ก่อนจะทำการสร้างบัสอิมพิแดนซ์เมตริกซ์ จะทำการตรวจสอบก่อนว่า ได้เคยผ่านการสร้างบัสอิมพิแดนซ์เมตริกซ์มาก่อนแล้วหรือไม่ และจะนำบัสอิมพิแดนซ์เมตริกซ์ของเดิมมาใช้ หรือทำการสร้างใหม่ แล้วแต่ผู้ใช้จะตัดสินใจ) ทำการคำนวณกระแสลัดวงจรแรงดัน และกระแสที่ไหลในส่วนต่าง ๆ ของวงจร และพิมพ์ผลลัพธ์ ณ การลัดวงจรที่จุดที่ถูกกำหนด หลังจากนั้นโปรแกรมก็จะทำงานอื่นต่อไป โดยรอรับคำสั่งจากผู้ใช้ซึ่งอาจจะเป็น การคำนวณกระแสลัดวงจรที่บัสอื่น ๆ การเปลี่ยนแปลงข้อมูลเบื้องต้นของอุปกรณ์ต่าง ๆ การเปลี่ยนค่าสภาวะเบื้องต้นก่อนการลัดวงจร การเปลี่ยนจุดประสงค์ในการคำนวณหรือการแสดงรูปภาพ

สัญญลักษณ์	ความหมาย
	TERMINAL
	INPUT DATA BY USER
	PROCESS
	DECISION BY PROGRAM
	DECISION BY USER, OR SELECT PROCESS BY USER
	DISPLAY
	ON PAGE
	OFF PAGE
	PRINT OUT
	COMMENT

รูปที่ 3.3 สัญญลักษณ์ที่ใช้ในโฟลชาร์ท

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.4 แสดงการทำงานของโปรแกรมทั้งหมด