ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

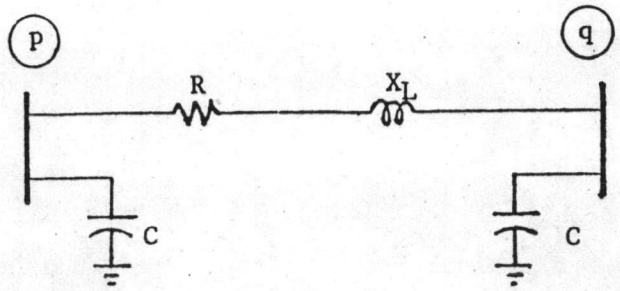
วงจรสมมูลขององค์ประกอบในระบบไฟฟ้ากำลัง

2.1 คำนำ

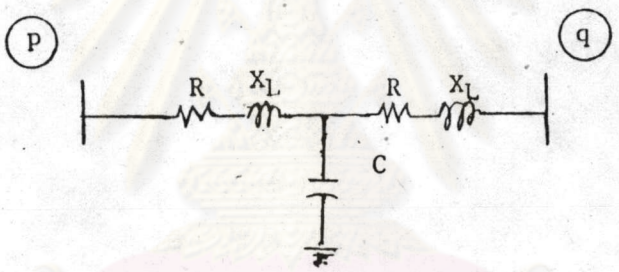
ในการวิเคราะห์เรื่องต่างๆในระบบไฟฟ้ากำลังนั้น เช่น การศึกษาโหลดโฟลว์ (Load Flow) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์พื้นฐานที่สำคัญในการศึกษาเรื่องต่างๆ ในระบบไฟฟ้ากำลัง การวิเคราะห์โหลดโฟลว์โดยทั่วไปเป็นการวิเคราะห์ระบบในสภาวะทำงานปกติ ซึ่งในสภาวะนี้ระบบจะสมดุลทั้ง 3 เฟส ดังนั้นการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง 3 เฟสจึงสามารถเขียนแทนด้วยวงจรสมมูล 1 เฟส ซึ่งเขียนด้วยแผนภูมิเส้นเดี่ยว (Single Line Diagram) ในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะวงจรสมมูลที่สำคัญๆ [14,15] ในระบบไฟฟ้ากำลังคือ วงจรสมมูลของสายส่ง หม้อแปลง และวงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โหลด และอุปกรณ์จ่ายกำลังรีแอกทีฟ ของระบบไฟฟ้ากำลัง

2.2 วงจรสมมูลของสายส่ง

วงจรสมมูลของสายส่งจะประกอบด้วยคุณสมบัติ ความต้านทาน (Resistance) ความเหนี่ยวนำ(Inductance) และความจุไฟฟ้า (Capacitance) ของสายส่ง สายส่งในระบบไฟฟ้ากำลังส่วนใหญ่จะแทนด้วยวงจรสมมูลของสายส่งขนาดกลางซึ่งมีสองแบบคือ แบบพายน์ (π) และแบบที (T) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ก และ 2.2 ข และบางครั้งอาจจะใช้วงจรสมมูลสายส่งขนาดสั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ค

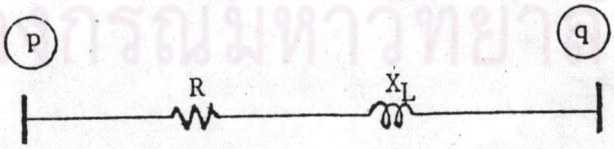


รูปที่ 2.2 ก วงจรสมมูลสายส่งขนาดกลางแบบพายน์ (π)



รูปที่ 2.2 ข วงจรสมมูลสายส่งขนาดกลางแบบที (T)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 ค วงจรสมมูลสายส่งขนาดสั้น

2.3 วงจรสมมูลของหม้อแปลง

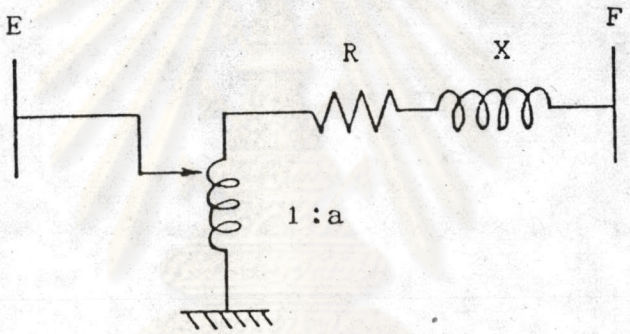
หม้อแปลงในระบบไฟฟ้ากำลังจะถูกแทนด้วยหม้อแปลงอุดมคติ และประกอบด้วยคุณสมบัติเกี่ยวกับ แอดมิตแตนซ์ หรือ อิมพิแดนซ์ ดังรูปที่ 2.3 โดยหม้อแปลงนี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปวงจรสมมูลแบบพายน์ (π) ในรูปที่ 2.4

กำหนดให้

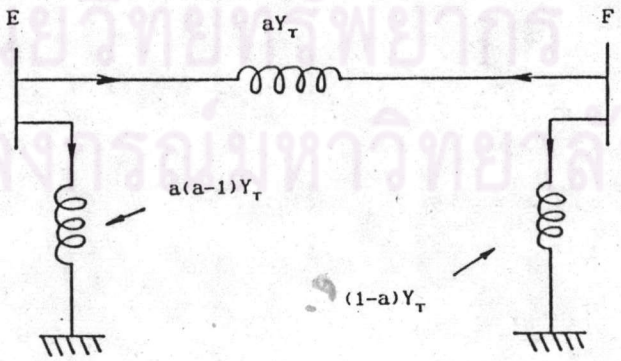
E_e , E_f เป็นแรงดันที่บัส E และ F ตามลำดับ

a เป็น อัตราส่วนการแปลง (Transformation Ratio)

y_T เป็นแอดมิตแตนซ์ของหม้อแปลง



รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลของหม้อแปลง



รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลหม้อแปลงแบบพายน์ (π)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ (2.4) เราสามารถหาค่าบัสแอดมิตแตนซ์ระหว่างบัส E และ F ได้ดังนี้

$$Y_{11} = a(a-1)Y_T + aY_T$$

$$= a^2 Y_T \qquad (2.1)$$

$$Y_{1J} = (1-a)Y_T + aY_T$$

$$= Y_T \ . \qquad (2.2)$$

$$Y_{1J} = Y_{J1}$$

$$= -aY_T \qquad (2.3)$$

จากสมการที่ (2.1),(2.2) และสมการที่ (2.3) สามารถเขียนเป็นบัสแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์ (Bus Admittance Matrix) ได้ดังนี้

$$[Y_{bus}] = \begin{bmatrix} & \vdots & \\ a^2 Y_T & \vdots & -aY_T \\ \cdots\cdots\cdots & \vdots & \cdots\cdots\cdots \\ -aY_T & \vdots & Y_T \\ & \vdots & \end{bmatrix} \qquad (2.4)$$

2.4 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โหลด และอุปกรณ์จ่ายกำลังรีแอกทีฟ

วงจรสมมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โหลด และอุปกรณ์จ่ายกำลังไฟฟ้า มักจะเขียนแทนด้วย Bus Power Source

2.4.1 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในการวิเคราะห์โหลดโฟลว์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่จ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าไปในบัส โดยทั่วไปกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) จะคงที่ยกเว้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อกับบัสอ้างอิง (Reference Bus) ส่วนกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive Power) จะเปลี่ยนแปลงค่าได้ เพื่อใช้ควบคุมแรงดันที่บัสให้มีค่าตามกำหนด แต่ทั้งนี้ต้องไม่เกินขีดจำกัดสูงสุด

(Maximum Available Vars) หรือน้อยกว่า ขีดจำกัดต่ำสุด (Minimum Available Vars) วงจรสมมูลนี้จะเขียนแทนด้วย Bus Power Source โดยมี P_{G_i} และ Q_{G_i} เป็นค่าของกำลังไฟฟ้าและกำลังรีแอกทีฟที่ผลิตที่บัส i ตามลำดับ

2.4.2 วงจรสมมูลของโหลด

โหลดเป็นอุปกรณ์ที่รับกำลังไฟฟ้าออกจากบัสโดยมีกำลังไฟฟ้าจริง และ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟคงที่ ในการวิเคราะห์โหลดโฟลว์โดยวงจรสมมูลนี้ จะเขียนแทนด้วย Bus Power Source โดยมี P_{D_i} และ Q_{D_i} เป็นค่าของโหลดจริงและโหลดรีแอกทีฟ ที่บัส i ตามลำดับ

2.4.3 วงจรสมมูลของอุปกรณ์จ่ายกำลังรีแอกทีฟ (Switchable Var Sources)

อุปกรณ์พวกนี้จะผลิตแต่กำลังรีแอกทีฟ (Q_{c_i}) เท่านั้น โดยมากได้แก่อุปกรณ์จำพวก Switchable Shunt Capacitors วงจรสมมูลนี้จะเขียนแทนด้วย Bus Power Source เหมือนกับวงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพียงแต่มีการจ่ายกำลังรีแอกทีฟเท่านั้นเข้าไปในบัส โดยมี Q_{c_i} เป็นกำลังรีแอกทีฟที่ผลิตจากอุปกรณ์จ่ายกำลังรีแอกทีฟที่บัส i

2.5 บัสแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์

2.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสบัสและแรงดันบัส

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสบัส (Bus Current) และแรงดันบัส (Bus Voltage) เป็นไปตามสมการ

$$[I] = [Y_{bus}][E] \qquad (2.5)$$

เมื่อ [I] เป็นเวกเตอร์ของกระแสบัส

[E] เป็นเวกเตอร์ของแรงดันบัส

$[Y_{bus}]$ เป็นบัสแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์(Bus Admittance Matrix)

การหาบัสแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์สามารถทำได้โดยมีหลักการดังนี้

1.Y_{ii} หรือสมาชิกในแนวทแยงคือผลรวมของแอดมิตแตนซ์ที่ต่ออยู่กับบัส i ทั้งหมด

2.Y_{ij} หรือสมาชิกในแนวทแยงคือค่าลบของแอดมิตแตนซ์ที่ต่ออยู่ระหว่างบัส i และบัส j

2.5.2 การหาค่าบัสแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์โดยวิธีอิลิเมนต์สแตมป์ (Element Stamp Method)

การหาค่าบัสแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์โดยใช้วิธีอิลิเมนต์สแตมป์ เป็นวิธีการค่าหาบัสแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์โดยการใส่องค์ประกอบ (Element) ระบบไฟฟ้ากำลังเข้าไปทีละตัวจนครบทุกตัว บัสแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์สุดท้ายที่ได้หลังจากใส่องค์ประกอบตัวสุดท้ายจะเป็นบัสแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์ของระบบไฟฟ้ากำลัง

สำหรับสายส่ง

ถ้าใส่สายส่ง 1 เส้น คือสายส่ง ij (สายส่งที่ต่อระหว่างบัส i และบัส j) บัสแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์ใหม่จะเป็นดังสมการ

$$Y_{ii}^{new} = Y_{ii}^{old} + Y_{SER\,ij} + Y_{SHT\,ij}/2 \qquad (2.6)$$

$$Y_{jj}^{new} = Y_{jj}^{old} + Y_{SER\,ij} + Y_{SHT\,ij}/2 \qquad (2.7)$$

$$Y_{ij}^{new} = Y_{ij}^{old} - Y_{SER\,ij} \qquad (2.8)$$

$$Y_{ji}^{new} = Y_{ji}^{old} - Y_{SER\,ij} \qquad (2.9)$$

เมื่อ Y_{ij}^{old} เป็นสมาชิกของบัสแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์แถวที่ i หลักที่ j ก่อนใส่สายส่ง ij

Y_{ij} เป็นสมาชิกของบัสแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์แถวที่ i หลักที่ j ก่อนใส่สายส่ง ij

$Y_{ser\,ij}$ เป็นแอดมิตแตนซ์อนุกรมของสายส่ง ij

$Y_{SHT\,ij}$ เป็นแอดมิตแตนซ์ของไลน์ชาร์จจิง (Line Charging) ของสายส่ง ij

สำหรับหม้อแปลง

ถ้าใส่หม้อแปลง ij (หม้อแปลงที่ต่อระหว่างบัส i และ บัส j) บัสแอดมิตแตนซ์เมทริกใหม่จะเป็นดังสมการ

$$Y_{ii}^{new} = Y_{ii}^{old} + a^2 Y_{T\,ij} \qquad (2.10)$$

$$Y_{jj}^{new} = Y_{jj}^{old} + Y_{T\,ij} \qquad (2.11)$$

$$Y_{ij}^{new} = Y_{ij}^{old} - aY_{T\,ij} \qquad (2.12)$$

$$Y_{ji}^{new} = Y_{ji}^{old} - aY_{T\,ij} \qquad (2.13)$$

เมื่อ Y_{ij} เป็นแอดมิตแตนซ์ของหม้อแปลง ij

a เป็นอัตราส่วนการแปลงของหม้อแปลง ij

สำหรับตัวเก็บประจุหรือตัวเหนี่ยวนำ

ถ้าใส่ตัวเก็บประจุหรือตัวเหนี่ยวนำที่ต่อกับบัส i บัสแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์ใหม่จะเป็นดังสมการ

$$Y_{11}^{new} = Y_{11}^{old} + y_i \qquad (2.14)$$

เมื่อ y_i เป็นแอดมิตแตนซ์ของตัวเก็บประจุหรือตัวเหนี่ยวนำที่ต่อกับบัส i

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย