

## บทที่ 5

### การไหลของกำลังไฟฟ้า ค่าดัชนีความไว และการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

งานวิจัยนี้การแก้สมการการไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบ เพื่อหาจุดทำงานจะใช้การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบนิวตันและราฟสัน (Newton-Raphson Power Flow) นอกจากนั้นยังจะได้มีการคำนวณค่าดัชนีความไวของกำลังไฟฟ้าสูญเสียเมื่อเทียบกับกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) และกำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power) เพื่อใช้ในกระบวนการคำนวณค่าที่เหมาะสม (Optimization Process) และในตอนท้ายจะได้กล่าวถึงรายละเอียดของการควบคุมกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส โดยขั้นตอนการคำนวณอธิบายได้ดังนี้

#### 5.1 การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

ในกรณีทั่วไป กำลังไฟฟ้า ณ บัสใดๆ สามารถประกอบด้วย

- กำลังไฟฟ้าไหลเข้าบัสจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- กำลังไฟฟ้าไหลออกจากบัสเนื่องจากโหลด
- กำลังไฟฟ้าที่ไหลระหว่างสายส่ง

กำลังไฟฟ้าผลต่างเฉพาะเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับโหลด ณ บัสที่  $i$  สามารถเขียนได้เป็น

$$P_{sch,i} + jQ_{sch,i} = (P_{G,i} + jQ_{G,i}) - (P_{L,i} + jQ_{L,i}) \quad (5.1)$$

โดยที่ อักษรตัวห้อย  $sch, G$  และ  $L$  หมายถึง ผลต่างระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับโหลด เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และโหลด ตามลำดับ ซึ่งกำลังไฟฟ้าตามสมการ (5.1) จะไหลระหว่างสายส่งเส้นที่เชื่อมต่อกับบัสนี้ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการ (5.2)

$$P_{sch,i} + jQ_{sch,i} = V_i I_i^* \quad (5.2)$$

โดยที่ค่า  $V$  หมายถึงค่าแรงดัน ณ บัส  $i$  และ  $I$  หมายถึงค่ากระแสรวมที่ไหลออกจากบัสที่  $i$  ผ่านทางสายส่งไปยังบัสอื่น โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5.3)

$$\begin{aligned} I_i &= y_{i0}V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{im}(V_i - V_n) \\ &= (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{im})V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 - \dots - y_{im}V_n \end{aligned} \quad (5.3)$$

โดยค่า  $y$  แทนแอดมิตแตนซ์ของสายส่ง เมื่อจัดรูปสมการ (5.3) ใหม่ จะได้สมการที่ (5.4) ซึ่งสามารถเขียนในรูปแบบเชิงขั้วได้ดังสมการ (5.5)

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij}V_j \quad j \neq i \quad (5.4)$$

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (5.5)$$

$|Y_{ij}|$  ใน (5.5) คือขนาดของค่าแอดมิตแตนซ์ ที่แถว  $i$  และหลัก  $j$  ของเมตริกซ์แอดมิตแตนซ์ เพื่อให้ดูง่ายเราอาจเขียนสมการที่ (5.2) ในรูปของค่าสังยุค (Conjugate) แล้วแทนค่า  $I_i$  จากสมการที่ (5.5) ลงไป จะได้สมการที่ (5.6) ดังนี้

$$P_{sch,i} - jQ_{sch,i} = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (5.6)$$

สมการที่ (5.6) สามารถแยกส่วนจริงและส่วนจินตภาพออกมาได้เป็นสมการที่ (5.7) และ (5.8) ตามลำดับ

$$P_{sch,i} = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5.7)$$

$$Q_{sch,i} = -\sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5.8)$$

สมการที่ (5.7) และ (5.8) เป็นสมการไม่เชิงเส้น โดยมีตัวแปรที่ไม่ทราบค่าคือขนาดแรงดันและมุมแรงดันที่ทุกบัส ยกเว้น ณ บัสหมายเลขหนึ่งที่เป็นบัสต้นทางของสถานีไฟฟ้าย่อยของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งกำหนดเป็นบัสอ้างอิงที่มุมแรงดันเป็นศูนย์องศา กรณีบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กมากติดตั้งอยู่ จะสมมติให้สามารถควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนได้ เมื่อกระจายสมการที่ (5.7) และ (5.8) โดยใช้อนุกรมเทย์เลอร์ (Taylor's series expansion) ที่คิดเฉพาะเทอมอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งรอบจุดเริ่มต้น เราจะได้ความสัมพันธ์ในรูปเมตริกซ์ดังสมการที่ (5.9)

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \vdots \\ \Delta P_n \\ \hline \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial P_2}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial P_n}{\partial |V_n|} \\ \hline \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_n|} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial Q_n}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \vdots \\ \Delta \delta_n \\ \hline \Delta |V_2| \\ \vdots \\ \Delta |V_n| \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

เพื่อให้ดูง่ายขึ้นสมการที่ (5.9) สามารถเขียนใหม่ในรูปสมการที่ (5.10)

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

เราจะใช้สมการที่ (5.10) ในการคำนวณแบบวนรอบเพื่อปรับค่าขนาดแรงดันและมุมแรงดันทุกบัสจนกระทั่งเงื่อนไขของการลู่เข้าสู่คำตอบเป็นจริง เพื่อให้ดูง่ายสมการที่ใช้สำหรับการคำนวณแบบวนรอบเขียนได้ดังสมการที่ (5.11)

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix}^{(k)} = \left( \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix}^{-1} \right)^{(k-1)} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}^{(k-1)} \quad (5.11)$$

อักษรตัวยก  $(k)$  ในสมการที่ (5.11) หมายถึงรอบในการคำนวณ ในการคำนวณเริ่มต้นจะกำหนดให้ ขนาดและมุมของแรงดันที่ทุกบัสมีค่า 1 หน่วยและศูนย์ตามลำดับ

เมตริกซ์ย่อย  $J_i$  เป็นเมตริกซ์ ที่มีค่าในแนวทแยงมุมหลักและค่านอกแนวทแยงมุมหลัก ดังสมการที่ (5.12) และ (5.13) ตามลำดับ

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5.12)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (5.13)$$

$J_2$  เป็นเมตริกซ์ ที่มีค่าในแนวทแยงมุมหลักและค่านอกแนวทแยงมุมหลัก ดังสมการที่ (5.14) และ (5.15) ตามลำดับ

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5.14)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (5.15)$$

$J_3$  เป็นเมตริกซ์ ที่มีค่าในแนวทแยงมุมหลักและค่านอกแนวทแยงมุมหลัก ดังสมการที่ (5.16) และ (5.17) ตามลำดับ

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5.16)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (5.17)$$

$J_i$  เป็นเมตริกซ์ ที่มีค่าในแนวทแยงมุมหลักและค่านอกแนวทแยงมุมหลัก ดังสมการที่ (5.18) และ (5.19) ตามลำดับ

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i||Y_{ii}| \sin \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j||Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5.18)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = |V_i||Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (5.19)$$

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสำหรับการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า มีรายละเอียดในภาคผนวก ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ได้จะนำมาใช้ร่วมกับการคำนวณค่าดัชนีความไว ซึ่งสามารถอธิบายได้ในหัวข้อถัดไป

## 5.2 ตัวประกอบความไวของกำลังสูญเสีย

ตัวประกอบความไวของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Loss Sensitivity Factors) หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายจำหน่ายเมื่อเทียบกับตัวแปรควบคุม ได้แก่ กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กมาก ตัวประกอบความไวดังกล่าวจะใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่เหมาะสม ที่ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายจำหน่ายลดลงมากที่สุดตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของกระบวนการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization) ซึ่งจะกล่าวถึงในบทที่ 7 โดยในบทนี้จะได้กล่าวถึงเฉพาะขั้นตอนการคำนวณค่าตัวประกอบความไว ของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ดังต่อไปนี้

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (5.19)

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |V_i||V_j||Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5.19)$$

ในการคำนวณหาค่าตัวประกอบความไวของกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่มีต่อกำลังไฟฟ้าจริง  $\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_m}$

และ กำลังไฟฟ้าเสมือน  $\frac{\partial P_{loss}}{\partial Q_k}$  จะต้องคำนวณค่า  $\frac{\partial P_{loss}}{\partial \delta_m}$  และ  $\frac{\partial P_{loss}}{\partial |V_k|}$  ก่อนโดยใช้สมการที่ (5.20) และ

(5.21) ตามลำดับ

$$\frac{\partial P_{loss}}{\partial \delta_m} = \sum_{u \in m} \left[ \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_u} \cdot \frac{\partial P_u}{\partial \delta_m} \right] + \sum_{w \in k} \left[ \frac{\partial P_{loss}}{\partial Q_w} \cdot \frac{\partial Q_w}{\partial \delta_m} \right] \quad (5.20)$$

$$\frac{\partial P_{loss}}{\partial |V_k|} = \sum_{u \in m} \left[ \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_u} \cdot \frac{\partial P_u}{\partial |V_k|} \right] + \sum_{w \in k} \left[ \frac{\partial P_{loss}}{\partial Q_w} \cdot \frac{\partial Q_w}{\partial |V_k|} \right] \quad (5.21)$$

โดยที่  $m$  เป็นดัชนีแทนทุกบัสในระบบยกเว้นบัสอ้างอิงและ  $k$  เป็นดัชนีที่แทนทุกโหลดบัส ความสัมพันธ์ในสมการที่ (5.20) และ (5.21) เขียนในรูปเมตริกซ์ได้ดังสมการที่ (5.22)

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_{loss}}{\partial \delta_m} \\ \frac{\partial P_{loss}}{\partial |V_k|} \end{bmatrix} = [J]^T \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{loss}}{\partial \delta_m} \\ \frac{\partial P_{loss}}{\partial Q_k} \end{bmatrix} \quad (5.22)$$

เทอม  $\frac{\partial P_{loss}}{\partial \delta_m}$  และ  $\frac{\partial P_{loss}}{\partial |V_k|}$  สามารถหาได้จากสมการ (5.23) และ (5.24) ตามลำดับ

$$\frac{\partial P_{loss}}{\partial \delta_m} = \sum_{a=1, \neq m}^n |V_m| |V_a| |Y_{ma}| \sin(\theta_{ma} - \delta_m + \delta_a) \quad (5.23)$$

$$\frac{\partial P_{loss}}{\partial |V_k|} = \sum_{a=1, \neq k}^n |V_a| |Y_{ka}| \sin(\theta_{ka} - \delta_k + \delta_a) + 2|V_k| |Y_{kk}| \sin \theta_{kk} \quad (5.24)$$

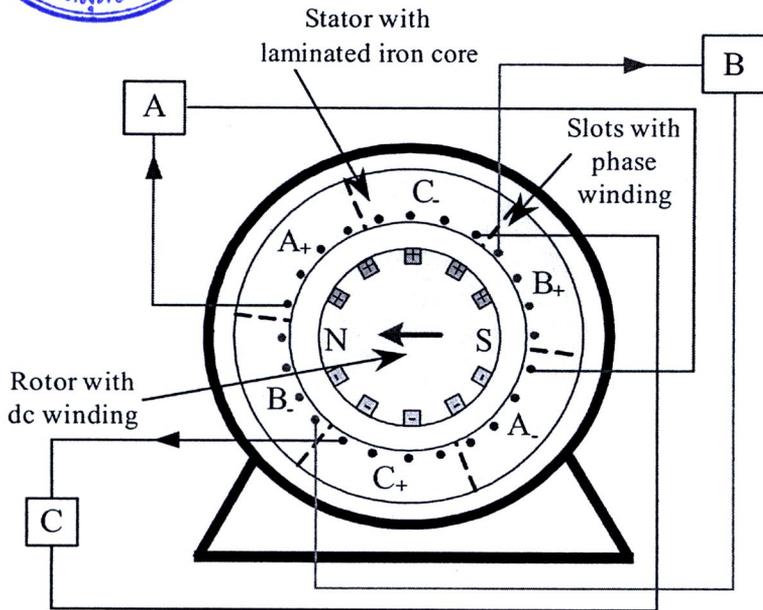
$[J]$  ในสมการที่ (5.22) คือเมตริกซ์จาโคเบียน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5.12) – (5.19) ทำให้สมการ (5.22) สามารถเขียนใหม่ได้เป็นสมการ (5.25)

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_{loss}}{\partial \delta_m} \\ \frac{\partial P_{loss}}{\partial Q_k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_3 \\ J_2 & J_4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{loss}}{\partial \delta_m} \\ \frac{\partial P_{loss}}{\partial |V_k|} \end{bmatrix} \quad (5.25)$$

โดยเทอม  $\frac{\partial P_{loss}}{\partial Q_k}$  เป็นค่าตัวประกอบความไวของกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายจำหน่ายที่มีต่อค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนที่จ่ายเข้าที่โหลดบัส  $k$  ซึ่งเป็นเทอมที่จะใช้ในการวางแผนหรือจัดสรรกำลังไฟฟ้าเสมือนให้แก่ระบบ ส่วนเทอม  $\frac{\partial P_{loss}}{\partial \delta_m}$  เป็นค่าตัวประกอบความไวของกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายจำหน่ายที่มีต่อค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายเข้าที่ทุกบัสยกเว้นบัสอ้างอิง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ดัชนีความไวทั้งสองค่าในการคำนวณเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

### 5.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

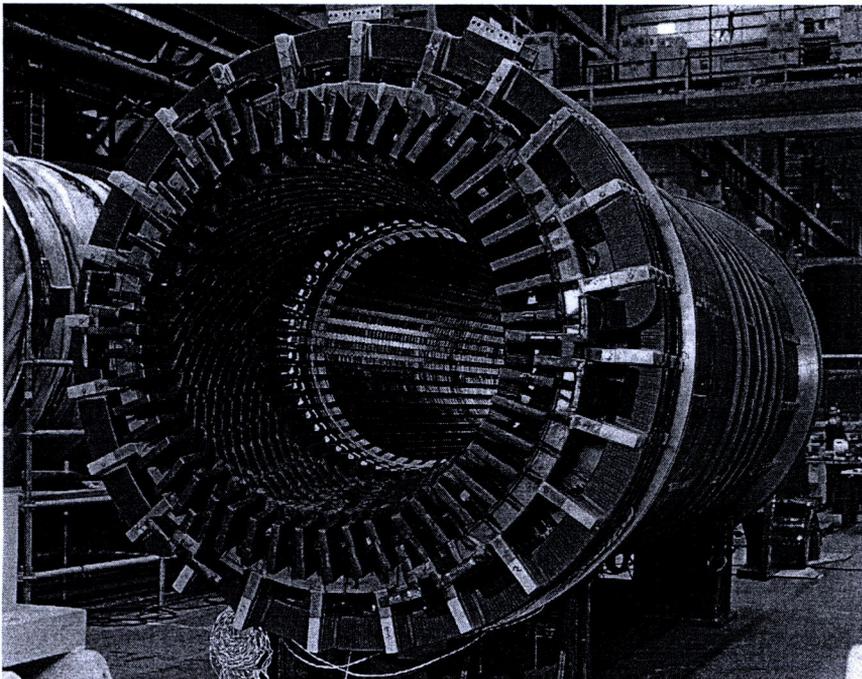
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่นิยมใช้มากที่สุด ในอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า เนื่องจากประสิทธิภาพในการแปลงผันพลังงานที่สูง โครงสร้างพื้นฐานเหมาะสมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ รวมทั้งความสามารถในการควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน ส่วนประกอบหลักแสดงได้ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบสองขั้วแม่เหล็ก

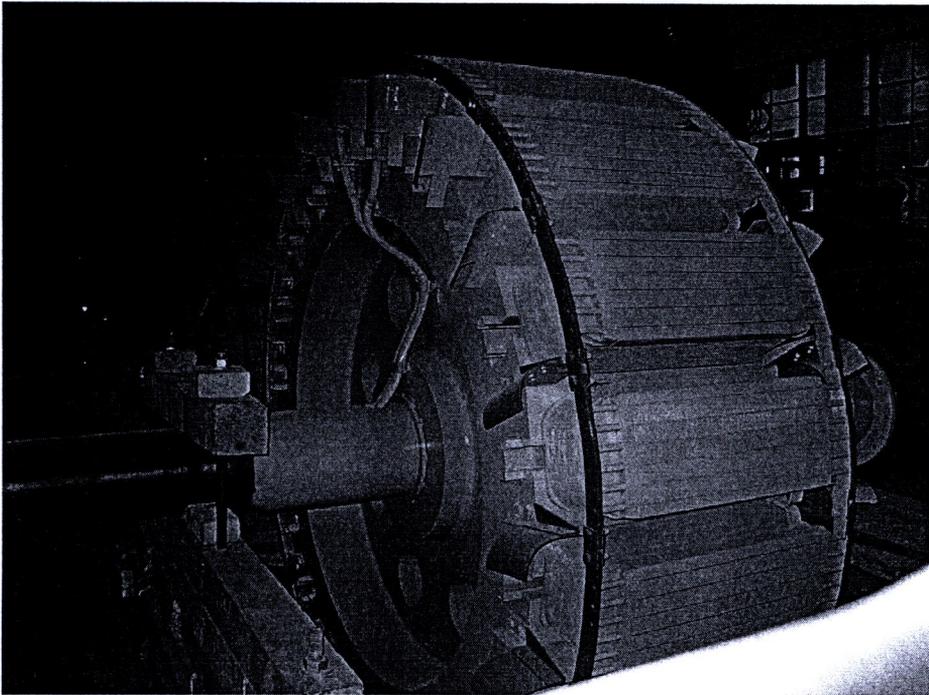
จากรูปที่ 5.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส ประกอบด้วย ตัวเครื่องที่อยู่กับที่ (Stator) พุนต์วมุน (Rotor) ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) ขดลวดสนาม (DC Field Winding) ระบบจ่ายกระแสกระตุ้น (Excitation system) โดยรายละเอียดมีดังนี้

○ โครงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ประกอบด้วยแกนเหล็กสำหรับพันขดลวดอาร์เมเจอร์ รวมทั้งเป็นเส้นทางไหลของฟลักซ์แม่เหล็ก แสดงได้ดังรูปที่ 5.2

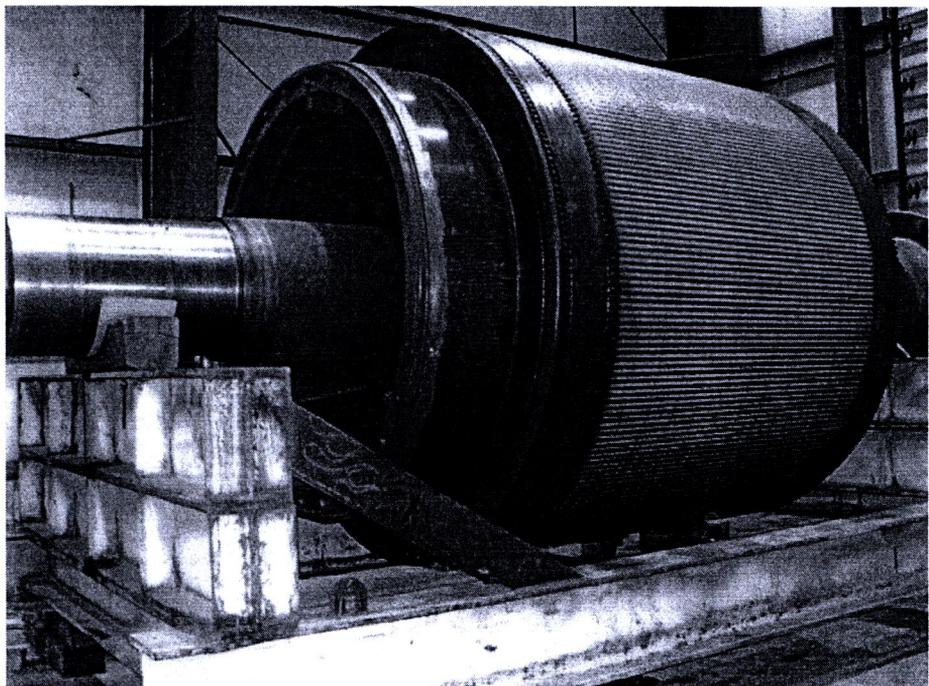


รูปที่ 5.2 โครงสร้างของตัวอยู่กับที่ที่มีขดลวดอาร์เมเจอร์พันรอบ

○ ทู่นโรเตอร์ เป็นตัวหมุนเพื่อให้สนามแม่เหล็กของขดลวดสนามหมุนตัดผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ ลักษณะของโรเตอร์มีสองแบบได้แก่โรเตอร์แบบขั้วแม่เหล็กยื่น (Salient Pole Rotor) และโรเตอร์แบบขดลวดสนามแม่เหล็กพื้นรอบสม่ำเสมอ (Round Rotor) ดังแสดงในรูปที่ 5.3 และ 5.4 ตามลำดับ

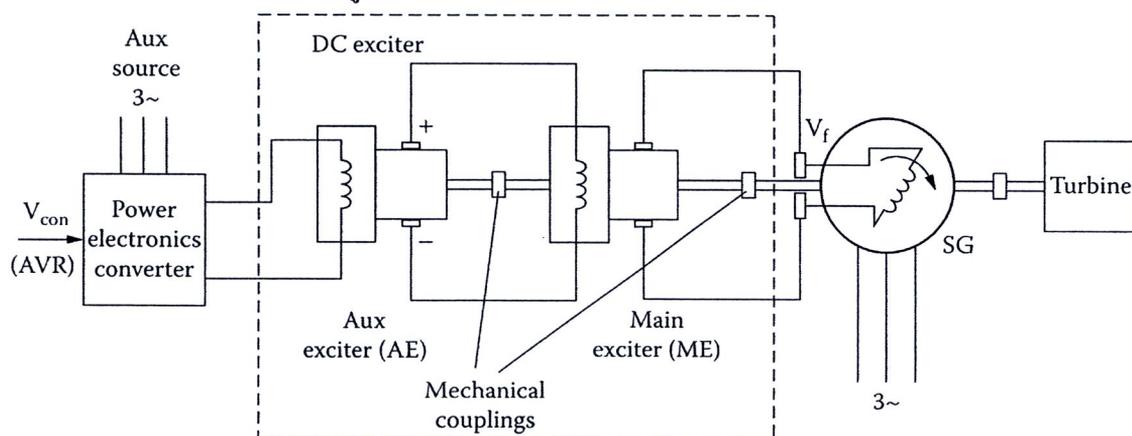


รูปที่ 5.3 โรเตอร์แบบขั้วแม่เหล็กยื่น

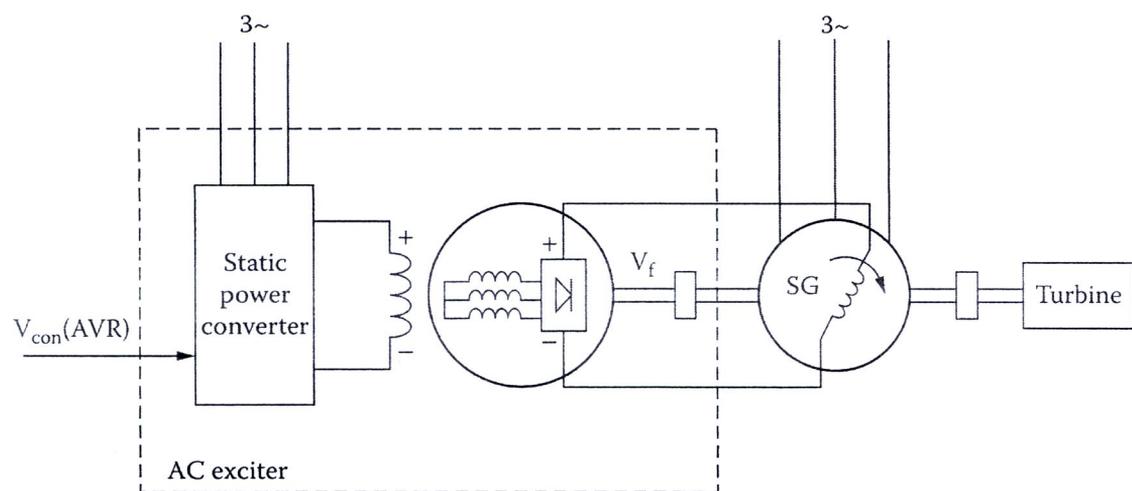


รูปที่ 5.3 โรเตอร์แบบขั้วแม่เหล็กสม่ำเสมอ

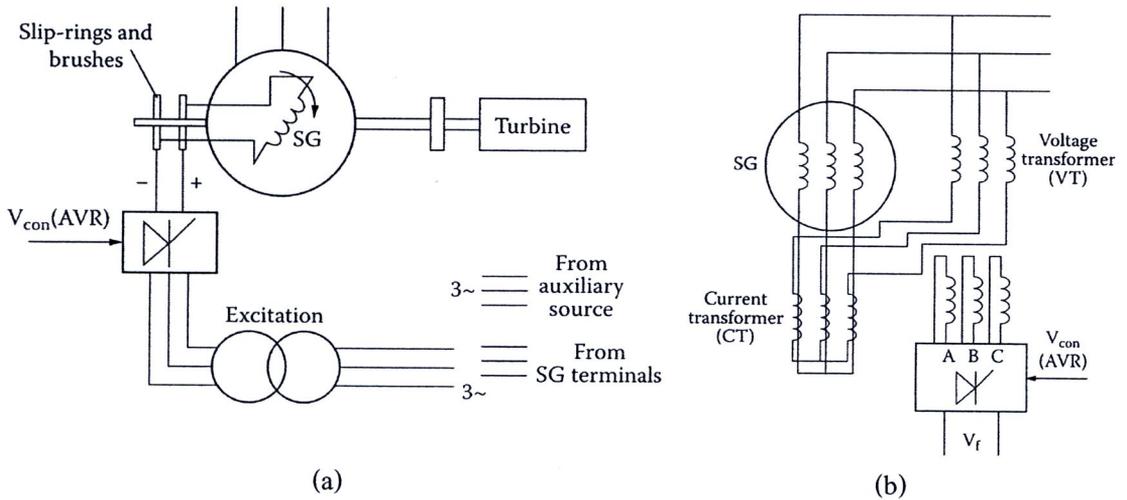
○ ระบบกระตุ้นสนามแม่เหล็ก หมายถึงระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้แก่ขดลวดสนามที่โรเตอร์เพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก โดยวงจรกระตุ้นสนามแม่เหล็กเมื่อแบ่งตามประเภทการสร้างแรงดันกระตุ้นนำร่อง (Pilot Excitation) สามารถแยกได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ ระบบกระตุ้นสนามแม่เหล็กแบบใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันกระตุ้นนำร่อง (Direct Current Excitation System) แรงดันกระแสตรงจะสร้างจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่มีการกระตุ้นด้วยตัวเอง ดังรูปที่ 5.4 ระบบกระตุ้นสนามแม่เหล็กโดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันกระตุ้นนำร่อง (Alternating Current Excitation System) โดยแรงดัน AC จากหม้อแปลงที่ต่อกับขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะจ่ายย้อนกลับมาเข้าอุปกรณ์แปลงผันไฟตรง (Converter) ดังแสดงในรูปที่ 5.5 สำหรับระบบกระตุ้นสนามแม่เหล็กแบบใช้การแปลงผันผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเป็นแรงดันเริ่มต้น (Static Excitation System) มีข้อดีในด้านการควบคุมกระแสกระตุ้นในสภาวะชั่วคราว (Transient) มีทั้งแบบที่ควบคุมโดยแรงดัน และใช้ทั้งกระแสและแรงดัน ดังแสดงในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.4 ระบบกระตุ้นสนามแม่เหล็กแบบใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันกระตุ้นนำร่อง



รูปที่ 5.5 ระบบกระตุ้นสนามแม่เหล็กแบบใช้ไฟฟ้ากระแสสลับจากหม้อแปลงเป็นแรงดันนำร่อง



รูปที่ 5.5 ระบบกระตุ้นสนามแม่เหล็กแบบใช้การแปลงผันผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

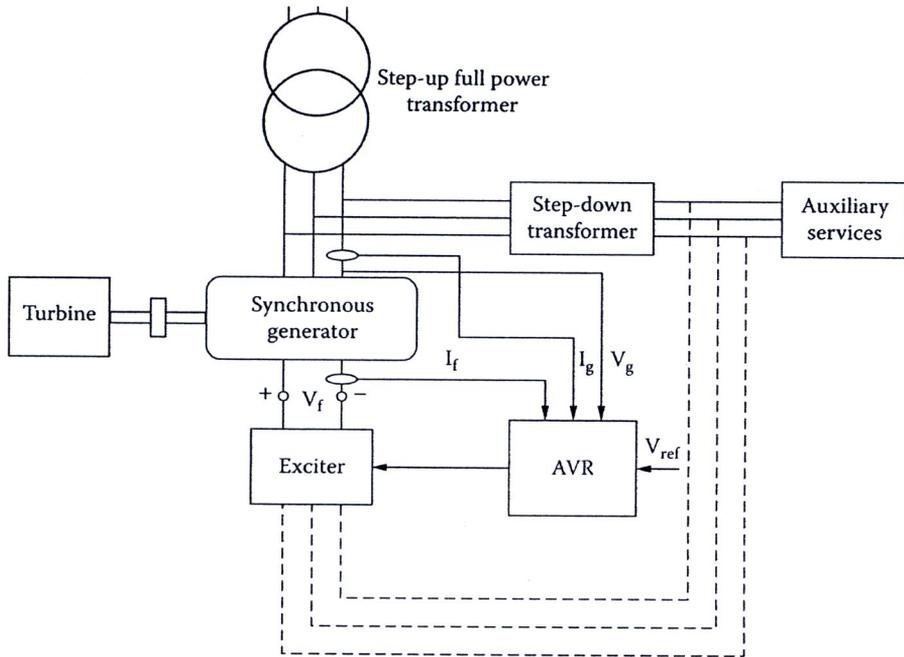
(a) แบบที่ควบคุมโดยแรงดัน

(b) แบบที่ควบคุมโดยกระแสและแรงดัน

#### 5.4 การควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

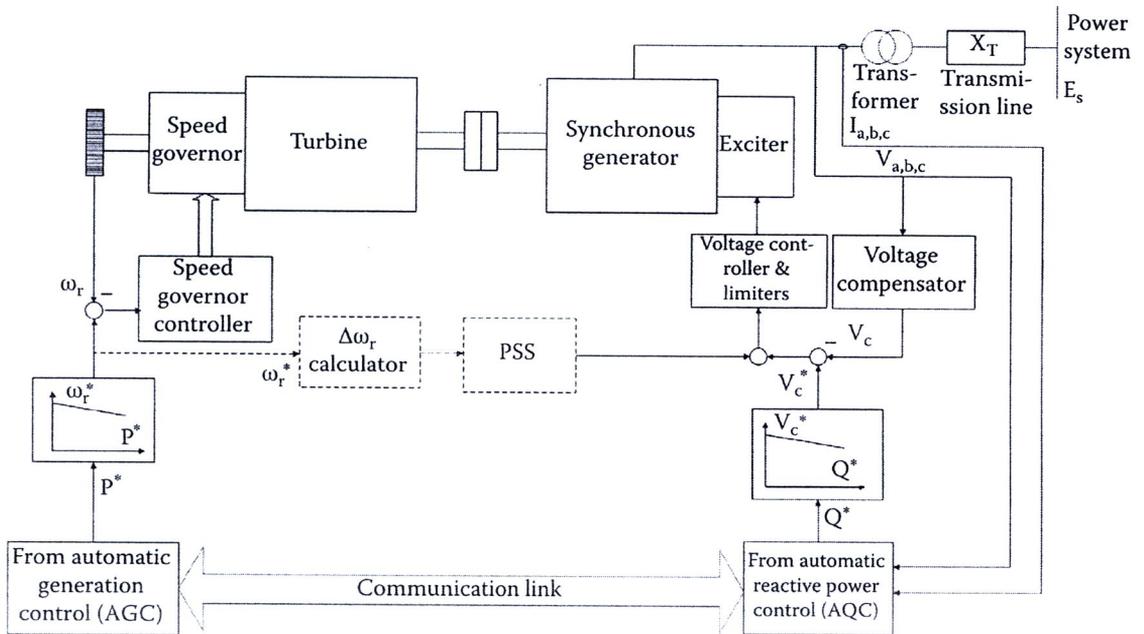
โดยทั่วไปการควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะแยกกัน โดยการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง ทำได้ด้วยการปรับตำแหน่งของวาล์วที่ควบคุมอัตราการไหลของสารทำงานที่เข้าสู่ตัวกังหัน ซึ่งเป็นการควบคุมกำลังขั้วที่เพลลาของกังหันที่มีแกนต่อร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การควบคุมดังกล่าวเป็นระบบอัตโนมัติดังอธิบายในหัวข้อ 3.3.2 ซึ่งในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ายิ่งมีมาก การกำหนดค่ากำลังการผลิตขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ข้อกำหนดตามสัญญาการซื้อขายไฟฟ้า ข้อจำกัดของแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงรวมทั้งความพร้อมของระบบผลิตไฟฟ้าเอง เป็นต้น เนื่องจากกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพียงหนึ่งตัวมีน้อยมากเมื่อเทียบกับกำลังการผลิตรวมของระบบ จึงอาจกล่าวได้ว่ากำลังไฟฟ้าที่ปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะไม่มีผลต่อความถี่ของระบบ ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสหมุนด้วยความเร็วคงที่ตลอดเวลา

สำหรับการควบคุมแรงดันขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส ทำได้โดยใช้ตัวควบคุมแรงดันแบบอัตโนมัติ (Automatic Voltage Regulator; AVR) ซึ่งจะทำหน้าที่ประมวลผลและสั่งงานให้ระบบจ่ายกระแสกระตุ้น (Excitation System) ทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 5.6 สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่ติดตั้งอยู่ในระบบจำหน่าย การควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนให้คงที่ที่จะมีความเหมาะสมมากกว่าในทางปฏิบัติ เพื่อลดความเสี่ยงของการทริบเนื่องจากการจ่ายกระแสกระตุ้นที่ค่าจำกัด ทั้งยังจะเป็นการรักษาเสถียรภาพของเครื่องให้สามารถขนานกับระบบไว้ตลอดเวลา



รูปที่ 5.6 ระบบควบคุมแรงดันและการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนแบบอัตโนมัติ

การควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 ไลอะแกรมการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

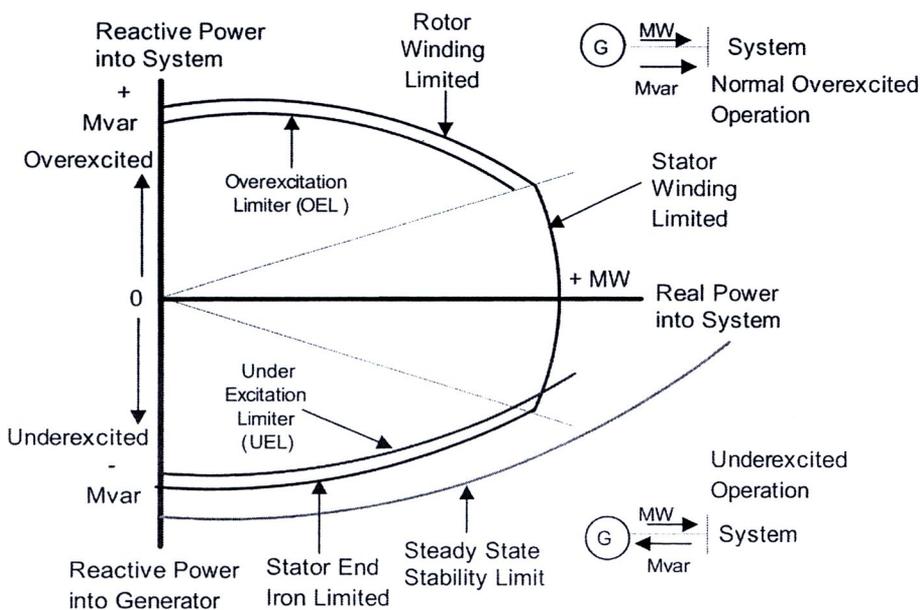
ส่วนประกอบหลักของการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในรูปที่ 5.1 มีดังนี้

- ส่วนควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงอัตโนมัติ (Automatic Generation Control; AGC)
- ส่วนควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือนอัตโนมัติ (Automatic Reactive Power Control; AQC)
- ส่วนปรับค่าควบคุมความเร็วรอบการหมุนกับกำลังไฟฟ้าจริง (Speed/Power Droop Curve)

- ส่วนปรับค่าควบคุมแรงดันกับกำลังไฟฟ้าเสมือน (Voltage/Reactive Power Droop Curve)
- ส่วนวาล์วควบคุมสารทำงานเข้าสู่กังหัน (Speed Governor)
- ส่วนของระบบกระตุ้นสนามแม่เหล็ก (Excitation System)
- ตัวกังหัน (Turbine)
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส (Synchronous Generator)
- เซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบ แรงดันและกระแสไฟฟ้า
- ระบบรักษาเสถียรภาพของเครื่อง (Power System Stabilizer; PSS)

### 5.5 พิกัดการจ่ายกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

ข้อจำกัดด้านการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า นอกจากขึ้นกับพิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเองแล้ว ยังขึ้นกับระบบอื่น เช่น ตัวขับ (Prime Mover) ระบบจ่ายกระแสกระตุ้น ระบบหล่อเย็น รวมถึงระบบไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่ เป็นต้น โดยทั่วไปผู้ควบคุมสามารถพิจารณาข้อจำกัดเหล่านี้ได้จากแผนภาพขีดจำกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่อง (Generator Capability Chart) ดังรูปที่ 5.8

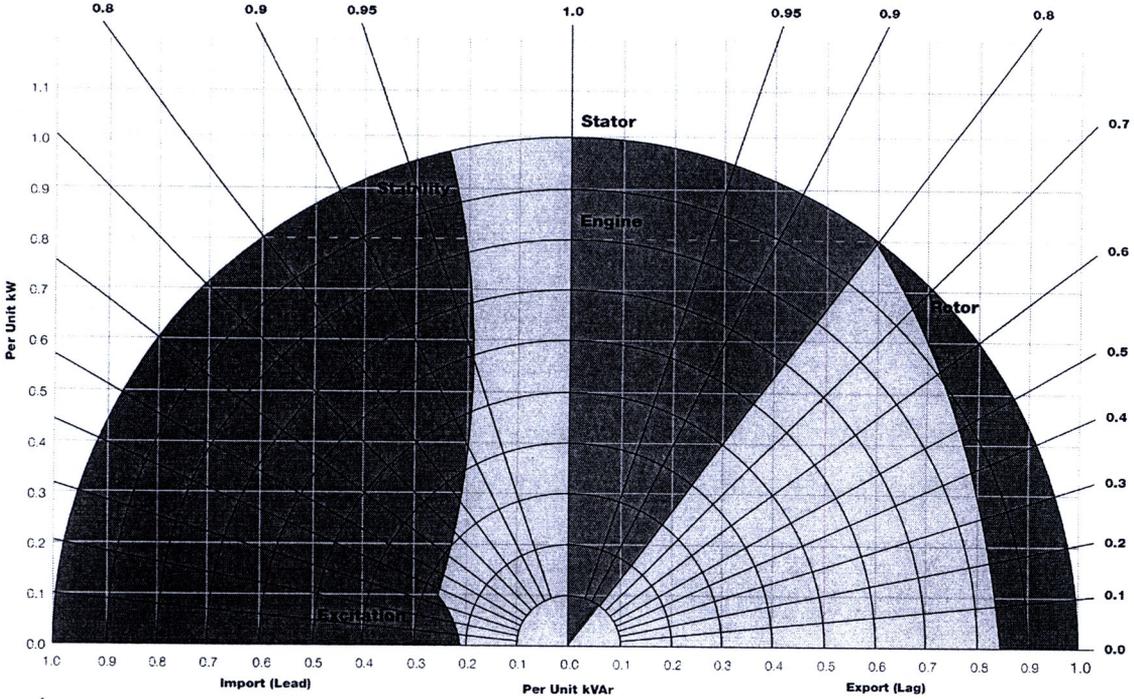


รูปที่ 5.8 แผนภาพขีดจำกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาพิกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำให้เกินขีดจำกัดด้านความร้อนของขดลวดอาร์เมเจอร์และขดลวดสนามแม่เหล็ก และปัญหาเสถียรภาพทางแรงดันไฟฟ้า (Voltage Stability) ในสถานะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูกกระตุ้นต่ำกว่าค่าตอนเริ่มขนานระบบ (Under Excitation) ทำให้แรงบิดทางกล (Mechanical Torque) จากตัวขับไม่สามารถแปลงเป็นแรงบิดด้านทางไฟฟ้า (Electrical Torque) เพื่อจ่ายโหลดโดยอันเนื่องมาจากสภาพความ

แรงแรงทางแม่เหล็กที่จะดำรงสภาพการเชื่อมต่อกับระบบ (Synchronizing Torque) มีค่าต่ำกว่าที่จะต้านแรงบิดทางกลได้ ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องลดการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้น้อยลง ซึ่งสภาพนี้เกิดขึ้นจากผลของการควบคุมแรงดันไฟฟ้าอันเนื่องมาจากการจัดการกำลังไฟฟ้าเสมือนในระบบไม่เหมาะสม ซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตงานวิจัยนี้

นอกจากนั้นในโหมดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือน อาจพิจารณาแผนภาพขีดจำกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องในรูปแบบของตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ที่สามารถจ่ายได้ดังแสดงในรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 แผนภาพขีดจำกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าในรูปแบบของตัวประกอบกำลังไฟฟ้า