

การควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า  
สำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าโรงไฟฟ้าชีวมวล  
REACTIVE POWER CONTROL OF SYNCHRONOUS GENERATOR  
FOR ELECTRICAL DISTRIBUTION BIOMASS POWER PLANT

สำเริง อินทামী

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: samroeng.hi@spu.ac.th

นิमित บุญภิรมย์

อาจารย์พิเศษ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: nboonpirom@gmail.com

#### บทคัดย่อ

ในบทความนี้ได้ทำการศึกษาการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวล ด้วยการพิจารณาคูณลักษณะขีดจำกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงด้วยค่าสูงสุดเข้าสู่ระบบการไฟฟ้า ภายใต้สภาวะขีดจำกัดของกระแสเตเตอร์ที่ค่าพิกัด กระแสสนามกระตุ้นสูงสุดที่ยอมรับได้ และขีดจำกัดสูงสุดของแรงดันของการไฟฟ้า จากทดลองพบว่าการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น จะต้องทำการปรับการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้อยู่สภาวะ Over Exited และ Under Exited ตามคุณลักษณะขีดจำกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแรงดันของการไฟฟ้า ณ จุดเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าอีกด้วย

**คำสำคัญ:** ควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือน, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส, ขีดจำกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้า

#### ABSTRACT

This paper presents a study on the reactive power control of synchronous generators for biomass power plants by considering the power capability curve of the generator to supply the maximum of active power under the following conditions: the stator current is limited to the rated value, the field current is maximumly admissible, the grid voltage is limited to a maximum reference is assured. From the experiment, it was found that the control of the electric power of the generator must be in Over Exited and Under Exited conditions according to the power capability limit feature. It also depends on the voltage of the electricity at the point of connection to the electrical system as well.

**Keywords:** Reactive Power Control, Synchronous Generators, Power Capability Curve

## 1. บทนำ

ในภาวะที่เกิดการแพร่ระบาดของโควิด-19 ทั่วโลก และยังไม่มีความไม่แน่นอนว่าจะจบสิ้นลงเมื่อใด ทว่า กลับเป็นที่แน่ชัดว่าหลายธุรกิจต้องเร่งปรับตัวให้ทันกับการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ของโลกภายใต้วิถีชีวิตใหม่ (new normal) ที่ให้ความสำคัญกับการทำธุรกิจแบบยั่งยืน (sustainable business) ในบริบทของธุรกิจผลิตพลังงานไฟฟ้า “โรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล” เป็นธุรกิจที่มีโอกาสเติบโตรับกระแสธุรกิจยั่งยืน เนื่องจากการสร้างมูลค่าเพิ่มจากวัตถุดิบเหลือใช้ทางการเกษตร สร้างรายได้ให้ชุมชนและลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ในขณะที่เดียวกันในหลาย ๆ ประเทศทั่วโลกได้ให้การสนับสนุนพลังงานหมุนเวียนชนิดอื่น เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานจากลม เพื่อทดแทนพลังงานฟอสซิล เนื่องจากตอบโจทย์เรื่อง green economy ของโลกที่มีเป้าหมายลด carbon footprint (Buta Singh และคณะ, 2020)

จากการเพิ่มขึ้นของแหล่งพลังงานหมุนเวียน (Han Phoumin และคณะ, 2019) ก็ได้มีการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตัสเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าในระบบการผลิตไฟฟ้า เนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการจ่ายกำลังไฟฟ้า มีความสะดวกในการควบคุมกำลังไฟฟ้าและระดับแรงดันไฟฟ้า แต่ปัญหาที่พบมักจะเป็นการควบคุมระดับแรงดัน และเสถียรภาพในการส่งกำลังไฟฟ้า (Ramadoni Syahputra และคณะ, 2018)

ดังนั้นในบทความนี้ ได้ทำการศึกษาและควบคุมกำลังไฟฟ้าเหนี่ยวนำหรือกำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power Control, Q) สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กของโรงไฟฟ้าชีวมวล (Small Power Producer: SPP) (D.K. Yadav และคณะ, 2014, Constantin, GHITA และคณะ, 2010) เพื่อทำการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA Grid) และจะต้องให้สอดคล้องกับข้อกำหนดการเชื่อมต่อโครงข่ายระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พ.ศ.2559

## 2. วัตถุประสงค์

- (1) เพื่อศึกษาข้อมูลเฉพาะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตัสและข้อมูลจากการทดสอบ
- (2) เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาของการไหลเข้าของกำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power, Q) ในสถานะตัวประกอบกำลังล่าช้า (Power Factor Lagging) และตัวประกอบกำลังนำหน้า (Power Factor Leading)
- (3) เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ขอบเขตการจ่ายกำลังไฟฟ้าในสถานะ Over Excited, Under Excited และ Unity Power Factor เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการรับกำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power, Q)

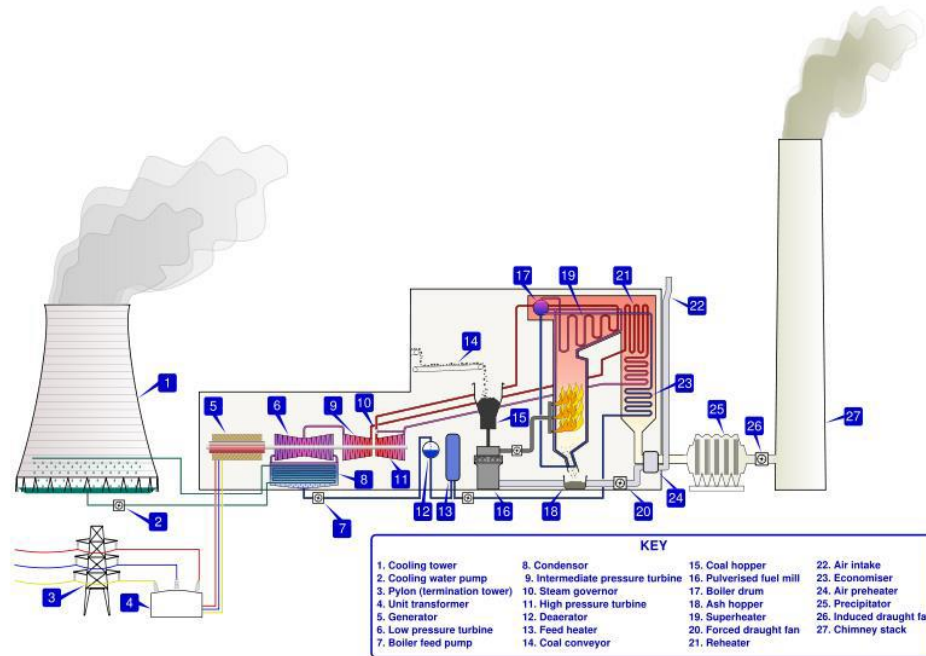
## 3. ทบทวนงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประเทศไทยเรามีเป้าหมายเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน จากนโยบายภาครัฐจะมีการปรับเพิ่มกำลังการผลิตโรงไฟฟ้าชีวมวลให้มากขึ้น เนื่องจากพื้นฐานเกษตรกรรมของประเทศ ที่มีผลผลิตทางการเกษตร เป็นจำนวนมาก เช่น ข้าว น้ำตาล ยางพารา น้ำมันปาล์ม และมันสำปะหลัง เป็นต้น ซึ่งยังมีเศษวัสดุเหลือใช้ที่สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบ (Han Phoumin และคณะ, 2019) เพื่อผลิตพลังงานชีวมวลได้ปริมาณมหาศาล ซึ่งสอดคล้องกับประเทศทั่วโลกที่ได้ให้การสนับสนุนพลังงานหมุนเวียนเช่นกัน

การผลิตไฟฟ้าชีวมวลจะเริ่มด้วยการสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งผ่านการกรองแล้วเข้าสู่เครื่องผลิตไอน้ำ ขณะที่ชีวมวลต่างๆถูกถ้ำเลี้ยงเข้าสู่เครื่องบดเพื่อบดให้ละเอียด ก่อนส่งไปเข้าเตาเผาเพื่อให้เกิดความร้อนในระดับสูง ความร้อนที่ได้ จะช่วยให้น้ำในเครื่องผลิตไอน้ำกลายเป็นไอน้ำที่แรงดันสูง ซึ่งจะไป

ทำหน้าที่หมุนกังหันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น ไอน้ำที่ใช้ในการหมุนกังหันเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ จะผ่านกระบวนการควบแน่นให้กลับมาเป็นน้ำและนำมาใช้หมุนเวียนอีก จนสุดท้ายจึงถูกปรับคุณภาพให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานซึ่งไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมแล้วปล่อยลงสู่บ่อพักน้ำขนาดใหญ่ เพื่อให้ระเหยหายไประหว่างตามธรรมชาติ (Aye Phyu, Zaw Lin Htun, 2014, Ramadoni Syahputra และคณะ, 2018) ในการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำมีการทำงานร่วมกันระหว่าง องค์ประกอบหลักๆ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 องค์ประกอบระบบผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำ (Ramadoni Syahputra และคณะ, 2018)

### 3.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (Synchronous Generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสจะประกอบด้วย ตัวอยู่กับที่ (Stator) และตัวหมุน (Rotor) ตัวอยู่กับที่จะเป็นส่วนของขดลวดอาร์เมเจอร์ ซึ่งจะมีการพันขดลวดเป็นแบบระบบ 3 เฟส มีขดลวด 3 ชุด ชุดละ 1 เฟส คือ เฟส A เฟส B และเฟส C เป็นทางออกของกำลังไฟฟ้าที่จะจ่ายออกภายนอก ส่วนแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายใน หาได้จาก

$$E = 4.44\phi_m f N k_d k_p \quad (1)$$

โดย

- $N$  = จำนวนตัวนำ
- $f$  = ความถี่
- $\phi_m$  = เส้นแรงแม่เหล็ก
- $k_d, k_p$  = Pitch factor และ distribution factor ของการวางขดลวด

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในของ Salient pole

$$E = V_t + j(X_d I_d + X_q I_q) \quad (2)$$

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในของ Cylindrical pole

$$E = V_t + I_a (R_a + jX_s) \quad (3)$$

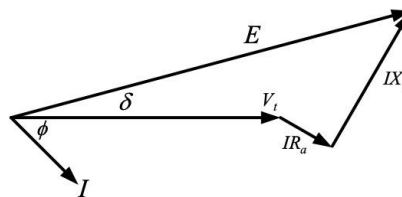
### 3.3 การจำแนกการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดซิงโครนัส

การผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถแยกได้เป็น 3 สภาวะ

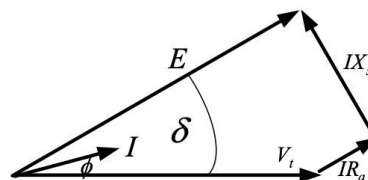
3.3.1 สภาวะตัวประกอบกำลังล่าช้า (Power Factor Lagging) ในสภาวะนี้ จะทำการผลิตแรงดันไฟฟ้า โดยจ่ายกระแสสนามแม่เหล็ก (Field Current:  $I_f$ ) มากกว่าปกติหรือเรียกว่า Over Excited ในสภาวะนี้ จะทำให้ตัวประกอบกำลังล่าช้าดังแสดงในรูปที่ 2 ก) ในสภาวะนี้กำลังไฟฟ้า (Power Flow) คือกำลังไฟฟ้าจริง ( $P$ ) และกำลังไฟฟ้าเสมือน ( $Q$ ) จะไหลเข้าระบบหลัก

3.3.2 สภาวะตัวประกอบกำลังนำหน้า (Power Factor Leading) ในสภาวะนี้ จะทำการผลิตแรงดันไฟฟ้า โดยจ่ายกระแสสนามแม่เหล็ก (Field Current:  $I_f$ ) น้อยกว่าปกติหรือเรียกว่า under Excited ในสภาวะนี้ จะทำให้ตัวประกอบกำลังนำหน้าดังแสดงในรูปที่ 2 ข) กำลังไฟฟ้าจริง,  $P$  จะไหลเข้าสู่ระบบหลัก แต่กำลังไฟฟ้าเสมือน,  $Q$  จะไหลออกจากระบบหลัก ทำให้ตัวประกอบกำลังติดลบ

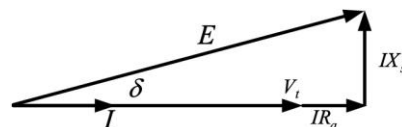
3.3.3 สภาวะตัวประกอบกำลังเท่ากับหนึ่ง (Unity Power Factor) ในสภาวะนี้จะเป็นสภาวะที่จ่ายค่ากำลังไฟฟ้าจริง,  $P$  อย่างเดียว แรงดันกับกระแสจะมีมุมเฟสตรงกัน(ค่ามุมเฟสต่างเท่ากับศูนย์) ไม่มีค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน,  $Q$  บางที่เรียกสภาวะนี้ว่า สภาวะ Active ดังแสดงในรูปที่ 2 ค) ค่าแรงดันที่สร้างขึ้น ( $E$ ) จะมีขนาดเกือบเท่ากับแรงดันที่ขั้ว ( $V_t$ ) ถ้าไม่คิดค่าความต้านทานอาร์เมเจอร์ ( $R_a$ ) โดยปกติมีค่าน้อยมาก ซึ่งสมการของแรงดันที่สร้างขึ้นสามารถแสดงได้ดังสมการ (3)



ก) ตัวประกอบกำลังล่าช้า (Power Factor Lagging)



ข) ตัวประกอบกำลังนำหน้า (Power Factor Leading)

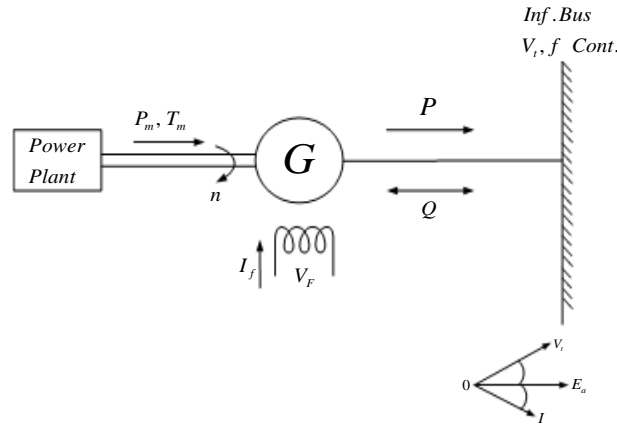


ค) ตัวประกอบกำลังเท่ากับหนึ่ง (Unity Power Factor)

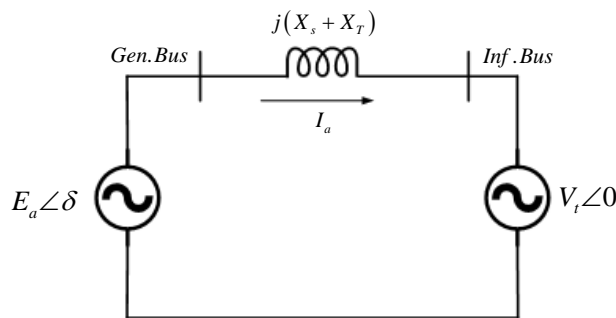
รูปที่ 2 การจำแนกไหลของการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดซิงโครนัส

### 3.4 การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดเชิงโรนัสเข้ากับระบบหลัก

การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบหลักมีวัตถุประสงค์ในการใช้เครื่องจักรเชิงโรนัสเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงให้ระบบหลักหรือระบบกริด การจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเป็นการเพิ่มกำลังผลิตให้กับระบบจำหน่าย และการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนเข้าระบบหลักเป็นการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้กับระบบจำหน่าย



รูปที่ 3 การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดเชิงโรนัสเข้ากับระบบหลัก



รูปที่ 4 วงจรการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบหลัก

จากรูปที่ 4 แสดงวงจรสมมูลของการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดเชิงโรนัสเข้ากับระบบหลักดังในรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีมุม  $\delta$  ที่เป็นมุมระหว่าง ค่า  $E_a$  และ  $V_t$  หรือเรียกว่า Torque Angle มีค่ามากกว่ามุมของกริดที่เป็นมุมศูนย์ กำลังไฟฟ้าที่ Gen Bus จะไหลสู่ Infinite Bus ซึ่งเป็นทิศทางของการไฟฟ้าผ่านค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งที่มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับระยะทาง ปริมาณเวกเตอร์ของกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power:  $S$ ) ดังสมการที่ (6) แสดงในรูปเชิงซ้อน เมื่อวิเคราะห์ค่าสมการของกำลังแต่ละตัวและแสดงในองค์ประกอบต่างๆ จะได้ดังสมการที่ (7) ส่วนค่า  $X$  คือผลรวมของ  $X_s + X_T$  ดังได้กล่าวมาแล้วนั้น ดังนั้นจะได้ค่าเวกเตอร์ของกระแสในสมการที่ (8) ซึ่งจะเห็นได้ว่า ทิศทางกระแสไหลเข้า ค่าเวกเตอร์  $E_a$  จะต้องมีค่ามากกว่า  $V_t$  โดยแรงดันที่ผลิตได้ต้องมีค่าไม่เกินข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA Grid Code)

$$\begin{aligned} \vec{S} &= P + jQ = V_t I_a^* \\ &= |V_t| |I_a| (\cos \theta + j \sin \theta) \end{aligned} \quad (6)$$

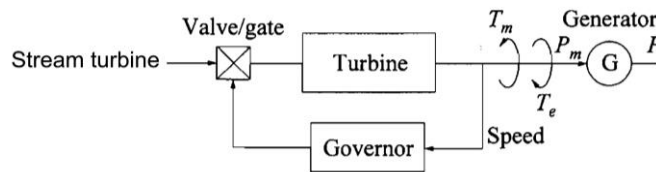
$$\bar{S} = \frac{E_a V_\infty}{X} \sin \delta - j \left[ \frac{E_a V_\infty}{X} \cos \delta - \frac{|V_\infty|^2}{X} \right] \quad (7)$$

$$\bar{I} = \frac{\bar{E}_a - \bar{V}_\infty}{jX} \quad (8)$$

### 3.5 การควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้า (Power Control)

จากสมการที่ (6) แนวทางการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้า สามารถดำเนินการได้ 2 กรณี คือ

(1) การปรับค่ากำลังไฟฟ้าจริง, P การปรับค่ากำลังไฟฟ้าจริง, P สามารถทำการปรับจากการควบคุมต้นกำลังของพลังงานกล หรือเป็นการควบคุมพลังงานความร้อนจากชีวมวล เพื่อนำไปขับ Turbine ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นการปรับ Torque จากต้นกำลัง มีผลทำให้แรงบิด ( $T_m$ ) สูงขึ้น เมื่อแรงบิดทางกลสูงกว่าแรงบิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะทำให้ความเร็วรอบสูงขึ้น เกิดอัตราเร่งมากขึ้น และ Torque Angle ( $\delta$ ) จะมีค่ามากขึ้น จำเป็นจะต้องมีการควบคุมความเร็วให้คงที่ด้วย เพื่อทำการควบคุมความถี่ให้คงที่ ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยที่ตัวควบคุม Exciter สร้าง Flux ให้คงที่



รูปที่ 5 การควบคุมกำลังไฟฟ้าให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$T_m - T_e = J \frac{d\omega}{dt} \quad (9)$$

(2) การปรับแรงดันไฟฟ้าโดยการปรับค่าสนามแม่เหล็ก(Flux) ในการปรับค่าสนามแม่เหล็กเป็นการปรับค่าแรงดันที่จ่ายให้ Exciter มีผลทำให้กระแส  $I_f$  เปลี่ยนแปลง ค่าแรงดันที่ผลิตขึ้น (Induced EMF,  $E_a$ ) จะเพิ่มมากขึ้น เมื่อ  $E_a$  เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน, Q เพิ่มขึ้น power factor จะเปลี่ยนไปสู่สภาวะ Over Excited มากขึ้น จนถึงขีดจำกัดของ Excited limited ดังแสดงในรูปที่ 7

$$P = \frac{3E_a V_\infty}{X} \sin \delta = 3V I_a \cos \phi \quad (10)$$

$$Q = \frac{3E_a V_\infty}{X} \cos \delta - \frac{|V_\infty|^2}{X} \quad (11)$$

## 4. การควบคุมแรงดันและการจ่ายกำลังไฟฟ้า

### 4.1 มาตรฐานระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดของ กฟผ. (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2559)

4.1.1 ในการจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบการไฟฟ้า บริษัทผลิตไฟฟ้าเอกชนจะต้องควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อ โดยให้อยู่ในมาตรฐานระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดของ กฟผ. ตามตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** มาตรฐานระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดของ กฟภ. อยู่ในช่วงดังต่อไปนี้

ระดับแรงดัน	ภาวะปกติ		ภาวะฉุกเฉิน	
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
115 kV	109.2	120.7	103.5	126.5
69 kV	65.5	72.4	62.1	75.9
33 kV	31.3	34.6	29.7	36.3
22 kV	20.9	23.1	19.8	24.2
380 V	342	418	342	418
220 V	200	240	200	240

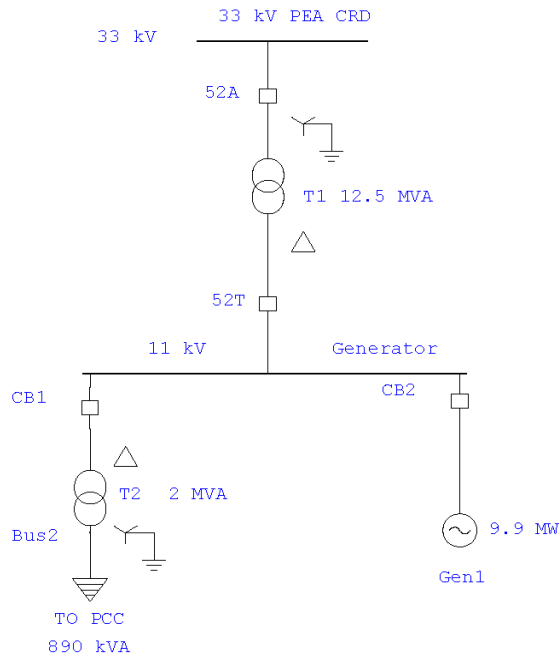
4.1.2 บริษัทฯ จะต้องควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าที่บริษัทฯ จ่ายเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าให้คงที่ และควบคุม Power factor อยู่ในช่วง 0.9 Leading ถึง 0.9 Lagging

#### 4.2 ข้อมูลของโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล

ในโครงการนี้เป็นการควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือนของโรงไฟฟ้าเอกชนขนาดเล็กชนิดชีวมวล ด้วยการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งโครนัสจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ขนาดแรงดัน 33 กิโลโวลต์ โดยมีแบบเส้นไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 6 มีข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังแสดงในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ข้อมูลทางของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Frame	TC150	Unit
Apparent Power	12,375	kVA
Voltage	11	kV
Pole	4	Pole
Rated Current	649.5	A.
Rated Speed	1500	rpm
Power Factor	0.8	
Frequency	50	Hz.



รูปที่ 6 แสดงเส้นโคจรของระบบไฟฟ้า

#### 4.3 การควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้า

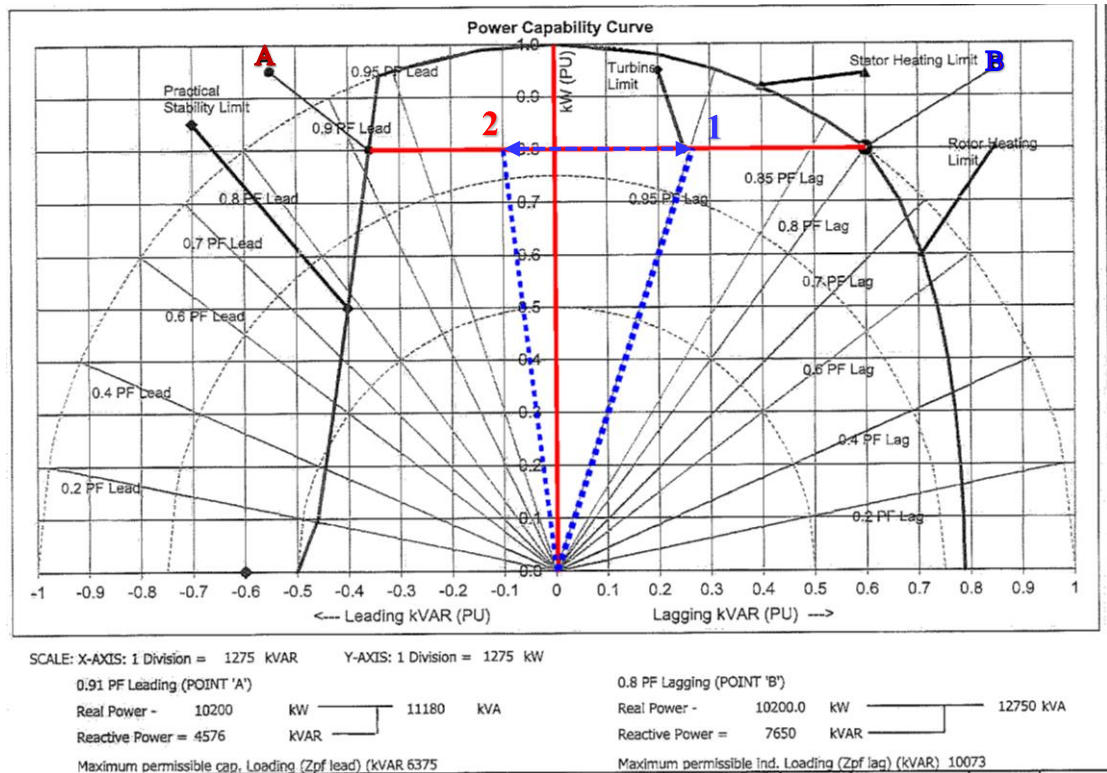
ในการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้า ได้ทำการศึกษาและพิจารณาจากขีดจำกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้า (Power Capability Diagram) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังในรูปที่ 7 ได้ดังนี้

1) การผลิตกำลังไฟฟ้าในสถานะ Under Excited (Power Factor Leading) ในกรณีที่ต้องการผลิตให้ได้กำลังไฟฟ้า, P ให้สูงสุด โดยจะผลิตประมาณ 9.9 MW. หรือไม่เกิน 0.8 pu. ตามในรูปที่ 8 นั้น ตัวประกอบกำลังจะนำหน้า มีผลทำให้รับกำลังไฟฟ้าเสมือน, Q เข้ามาในระบบของโรงไฟฟ้า ในขณะที่ทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง, P เข้าระบบการไฟฟ้าตามปกติ ซึ่งในสถานะนี้ โรงไฟฟ้าจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการรับกำลังไฟฟ้าเสมือน, Q ให้กับกรไฟฟ้า

2) การผลิตกำลังไฟฟ้าในสถานะ Over Excited (Power Factor Lagging) จะต้องทำการปรับค่ากระแสสนามกระตุ้น  $I_f$  เพื่อให้ได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า  $E_d$  เพิ่มมากขึ้นกว่าแรงดันของการไฟฟ้า  $V_t$  จะมีผลทำให้รับกำลังไฟฟ้าเสมือน, Q จะไหลเข้าระบบการไฟฟ้า ในขณะที่ยังควบคุมต้นกำลังทางกลที่มาจากTurbine เพื่อผลิตกำลังไฟฟ้า, P ให้มีค่าสูงสุดเท่าเดิม โดยปกติก็ไม่ควรเกิน 0.8 pu. หรือประมาณ 9.9 MW. ตามในรูปที่ 8 ซึ่งก็คือบริเวณภายในจุด B ซึ่งกำลังไฟฟ้าเสมือน, Q ไหลเข้าสู่ระบบการไฟฟ้า ในขณะที่กำลังไฟฟ้าจริง, P ยังไหลเข้าสู่ระบบการไฟฟ้าตามปกติ ซึ่งในสถานะนี้ โรงไฟฟ้าจะไม่เสียค่าใช้จ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือน, Q

ซึ่งในการปรับกระแสสนามกระตุ้น  $I_f$  นั้น เราควรพิจารณาแรงดันของการไฟฟ้าควบคู่ไปด้วย เพื่อไม่เกินข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค คือ 34.6 kV หรืออาจเกินได้เล็กน้อย และทำให้การจ่ายไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าอยู่ในสถานะ Over Excited ซึ่งเป็นสถานะที่ทางโรงไฟฟ้าจะได้ประโยชน์มากที่สุด หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือ ลดค่าใช้จ่ายในการรับกำลังไฟฟ้าเสมือน, Q นั้นเอง





รูปที่ 7 จิตจำกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้า (Power Capability Diagram) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

## 5. สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและทดสอบการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพบว่า การควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือน, Q สามารถทำได้ดังนี้

1. หากแรงดันของกริดการไฟฟ้าปกติ (33 kV) ให้ทำการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้อยู่ใน จุดที่ B ดังในรูปที่ 7 ซึ่งเป็นขอบเขตของการปรับกระแสกระตุ้น  $I_f$  ให้อยู่ในสภาวะ Over Excited (Power Factor Lagging) โดยค่ากำลังไฟฟ้าจริง, P มีค่าไม่เกิน 0.8 pu. หรือ ไม่เกิน 9.9 MW และแรงดันไม่เกิน 34.6 kV (ตามข้อกำหนดของ PEA) จะทำให้กำลังไฟฟ้าจริง, P และกำลังไฟฟ้าเสมือน, Q ไหลเข้าสู่ระบบการไฟฟ้าตามปกติ

2. หากแรงดันของการไฟฟ้าสูงเกิน 34.6 kV ให้ทำการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้อยู่ใน จุดที่ A ในรูปที่ 7 ซึ่งเป็นขอบเขตของการปรับกระแส  $I_f$  ในสภาวะ Under Excited (Power Factor Leading) โดยค่ากำลังไฟฟ้าจริง, P มีค่าไม่เกิน 0.8 pu. หรือ ไม่เกิน 9.9 MW เช่นกัน และแรงดันไม่เกิน 34.6 kV (ตามข้อกำหนดของ PEA) จะทำให้กำลังไฟฟ้าจริง, P ไหลเข้าสู่ระบบการไฟฟ้าตามปกติ แต่โรงไฟฟ้าจะต้องรับกำลังไฟฟ้าเสมือน, Q เข้ามา แต่ต้องพยายามควบคุมให้เข้ามาเพียงเล็กน้อย เพื่อลดค่าใช้จ่ายจากการเรียกเก็บค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน

ดังนั้น เส้นสีน้ำเงินที่เชื่อมโยงระหว่างจุดที่ 1 และ จุดที่ 2 ในรูปที่ 7 เป็นขอบเขตของการควบคุมการเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สำหรับโรงไฟฟ้านี้ เพื่อทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง, P ไหลเข้าสู่ระบบการไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งสองสภาวะที่จะไม่เสียค่าใช้จ่ายหรือเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

## 6. เอกสารอ้างอิง

- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2559). *ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า*. เอกสารแนบท้ายประกาศ.
- Aye Phyu, Zaw Lin Htun(2014). Implementation of Synchronous Generator for Biomass Energy Electricity Generation. *International Journal of Scientific Engineering and Technology Research*, 3(14), 3005-3011.
- Buta Singh, Zoltán Szamosi , Zoltán Siménfalvi , Martí Rosas-Casals (2020). Decentralized biomass for biogas production. Evaluation and potential assessment in Punjab (India). *Electrical Power and Energy Systems*, 6, 1702–1714.
- Constantin GHITA1, Aurelian CRACIUNESCU2, Valentin NAVRAPESCU3, Ioan Dragos DEACONU4, Aurel –Ionut CHIRILA5, Ion – Daniel ILINA6. (2010). Optimal reactive power compensation using synchronous generators. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality(ICREPG'10)*, 1(8), April 2010.
- D.K.Yadav, T.Sbhatti.(2014). Voltage control through reactive power support for WECS based hybrid power system. *Electrical Power and Energy Systems*, 62, 507–518.
- Han Phoumin, Shigeru Kimura, Wongkot Wongsapai and Yaowateera Achawangku(2019). *Study on Biomass Supply Chain for Power Generation in Southern Part of Thailand*. ERIA Research Project Report 2019, No.9. ERIA Economic Research Institute for ASEA and East Asia.
- Ramadoni Syahputra, Andi Wahyu Nugroho, Anna Nur Nazilah Chamim, Widyasmoro and Teguh Iman Prasetyo(2018). Performance Analysis of Synchronous Generator: A Case Study in Steam Power Plant at PT POMI Paiton Unit 7 Probolinggo, East Java, Indonesia. *Journal of Electrical Technology UMY (JET-UMY)*, 2(4), 144- 152.