บทที่ 5 การสูญเสียและประสิทธิภาพ
(Losses and Efficiency)

บทนำ

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะทำหน้าที่รับพลังงานกลในรูปของกสนหมุนจากเครื่องต้นกำลังทางด้านอินพุท แล้วเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้าทางด้านเอาท์พุท พลังงานหรืองานที่ป้อนเข้าทางด้านอินพุทต่อหนึ่งหน่วยเวลา เรียกว่า กำลังทางกล *(mechanical power)* และพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับทางด้านเอาท์พุทต่อหนึ่งหน่วยเวลาเรียกว่า กำลังงานไฟฟ้า *(electrical power)* เนื่องจากพลังงานที่ป้อนเข้าทางด้านอินพุทไม่เท่ากับพลังงานที่ได้รับทางด้านเอาท์พุท พลังงานส่วนที่หายไปถือว่าเป็นค่าการสูญเสีย *(losses)* ซึ่งในการเปลี่ยนรูปพลังงานนั้นจะต้องมีการสูญเสียเกิดขึ้นเสมอดังจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

5.1 การสูญเสียในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ***(Total loss in a d.c. generator)***

การสูญเสียในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

1. การสูญเสียในขดลวดทองแดง
2. การสูญเสียในแกนเหล็ก
3. กาสูญเสียทางกล

5.1.1. การสูญเสียในขดลวดทองแดง ***(Copper losses)***

การสูญเสียในขดลวดทองแดง *(copper losses)* เป็นกำลังสูญเสียในรูปของความร้อน เนื่องจากกระแสไหลผ่านค่าความต้านทานของขดลวดทองแดง การสูญเสียนี้จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับกระแสที่ไหลผ่านขดลวดยกกำลังสองและค่าความต้านทานของขดลวด การสูญเสียในขดลวดทองแดง ประกอบด้วย

ก. การสูญเสียในขดลวดอาเมเจอร์ ***(armature copper loss)*** เป็นการสูญเสียเนื่องจากกระแสอาร์เมเจอร์ (I_a) ไหลผ่านค่าความต้านทานของวงจรขดลวดอาร์เมเจอร์ (R_a) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\boxed{Arm.Cu.loss = I_a^2.R_a}$$

เมื่อ I_a = กระแสอาร์เมเจอร์ *[A]*

R_a = ค่าความต้านทานของอาร์เมเจอร์ ขดลวดอินเตอร์โปลและอื่นๆ *[Ω]*

การสูญเสียนี้จะมีค่าประมาณ 30-40% ของการสูญเสียเมื่อโหลดเต็มพิกัด

ข. การสูญเสียในขดลวดสนามแม่เหล็ก ***(Field copper loss)*** เป็นการสูญเสียในขดลวดทองแดงของชุดขดลวดสนามแม่เหล็ก แบ่งออกได้ดังนี้

<u>การสูญเสียในขดลวดทองแดงของชั้นท์ฟิลด์ *(shunt field copper loss)*</u> เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\boxed{Shunt\ Cu.loss = I_{sh}^{2}.R_{sh} = V_{sh}.I_{sh}}$$

เมื่อ I_{sh} = กระแสในขดลวดชั้นท์ฟิลด์ *[A]*

R_{sh} = ค่าความต้านทานของขดลวดชั้นท์ฟิลด์ *[Ω]*

V_{sh} = แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดชั้นท์ฟิลด์ *[V]*

<u>การสูญเสียในขดลวดทองแดงของซีรีย์ฟิลด์ *(series field copper loss)*</u> เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\boxed{Series\ Cu.loss = I_{s}^{2}.R_{s}}$$

เมื่อ I_{s} = กระแสในขดลวดซีรีย์ฟิลด์ *[A]*

R_{s} = ค่าความต้านทานของขดลวดซีรีย์ฟิลด์ *[Ω]*

ค. การสูญเสียเนื่องจากความต้านทานที่แปรงถ่าน ***(the loss due to brush contact resistance)*** โดยปกติจะรวมอยู่กับการสูญเสียในขดลวดอาเมเจอร์

5.1.2. การสูญเสียทางแม่เหล็ก ***(Magnetic losses)***

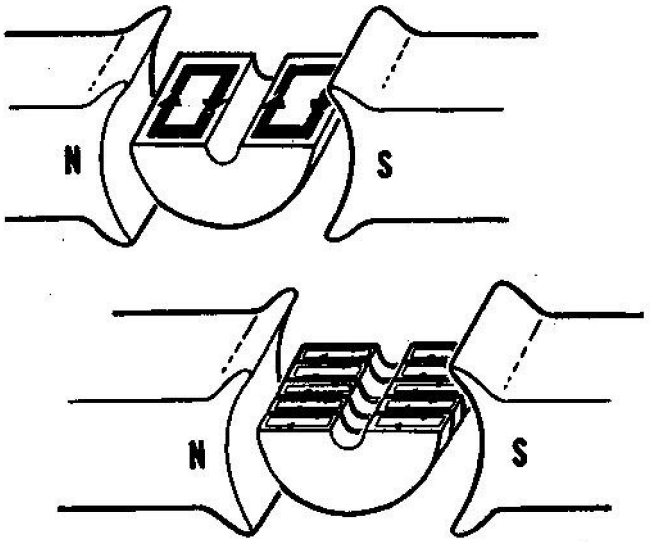
เรียกกันโดยทั่วไปว่าการสูญเสียในแกนเหล็ก *(iron or core losses)* การสูญเสียส่วนใหญ่เกิดขึ้นในแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ เมื่ออาร์เมเจอร์หมุนแกนเหล็กจะเคลื่อนที่ผ่านขั้วเหนือและขั้วใต้ของขั้วแม่เหล็ก ทำให้สนามแม่เหล็กที่ผ่านแกนเหล็กมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากฮิสเตอรีซิสและกระแสไหลวน

การสูญเสียในแกนเหล็กแบ่งออกได้ ดังนี้

ก. การสูญเสียเนื่องจากฮีสเตอรีซีส *(hysteresis loss)*

ข. การสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน *(eddy current loss)*

การสูญเสียดังกล่าวในทางปฏิบัติถือว่าคงที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบชั้นท์และแบบคอมเปานด์ เพราะว่ากระแสฟิลด์ของทั้งสองแบบมีค่าเกือบคงที่



รูปแสดงวิธีการลดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในแกนเหล็กอาร์เมเจอร์โดยใช้เหล็กแผ่นลามิเนท

วิธีการลดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในแกนเหล็กอาร์เมเจอร์โดยใช้เหล็กแผ่นลามิเนทดังรูปด้านบน การสูญเสียนี้มีค่าประมาณ *20 – 30%* ของการสูญเสียเมื่อโหลดเต็มพิกัด

5.1.3. การสูญเสียทางกล ***(Mechanical losses)***

เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า *"การสูญเสียเนื่องจากการหมุน" (rotational losses)* การสูญเสียทางกลประกอบด้วย

ก. การสูญเสียเนื่องจากการเสียดสีหรือความฝืด *(friction loss)*

- เกิดในตลับลูกปืนจะแปรผันโดยตรงกับความข้นของน้ำมันหล่อลื่นและความเร็วรอบในการหมุนเพลา
- เกิดบริเวณแปรงถ่านกับคอมมิวเตเตอร์ จะแปรผันโดยตรงกับสัมประสิทธิ์การเสียดทานของแปรงถ่านและแรงที่แปรงถ่านกดบนผิวหน้าคอมมิวเตเตอร์และความเร็วรอบ ดังนั้นจึงไม่ควรตั้งแปรงถ่านให้กดบนผิวหน้าคอมมิวเตเตอร์แน่นเกินไป ทั้งนี้นอกจากจะเป็นการเพิ่มค่าการสูญเสียจากการเสียดทานแล้วยังรักษาไม่ให้แปรงถ่านสึกเร็วเกินไปด้วย

ข. การสูญเสียเนื่องจากแรงต้านลม *(windage loss)*

คือการสูญเสียที่เกิดจากการหมุนปะทะลมของตัวอาร์เมเจอร์และใบพัดสำหรับระบายความร้อน หากจำนวนรอบการหมุนคงที่การสูญเสียจากแรงต้านลมจะคงที่ด้วย

การสูญเสียทางกลมีค่าประมาณ *10 – 20%* ของการสูญเสียเมื่อโหลดเต็มพิกัด

5.1.4 การสูญเสียทั้งหมด ***(Total losses)***

คือการสูญเสียรวมในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไฟฟ้ากระแสตรง นำมาเขียนสรุปได้ดังนี้

การสูญเสียทั้งหมด (Total losses)

- การสูญเสียในขดลวด
  - อาเมเจอร์
  - ชั้นท์ฟิลด์
  - ซีรีส์ฟิลด์
- การสูญเสียในแกนเหล็ก
  - เนื่องจากฮีสเตอรีซิส
  - เนื่องจากกระแสไหลวน
- การสูญเสียทางกล
  - ความฝืด
  - แรงต้านจากลม

5.1.4 การสูญเสียสเตรย์ ***(Stray losses)***

คือผลรวมของการสูญเสียทางแม่เหล็กและการสูญเสียทางกล เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การสูญเสียเนื่องจากการหมุน *(rotational losses)* โดยปกติจะมีค่าคงที่

5.1.5 การสูญเสียที่มีค่าคงที่ ***(Constant or standing losses)***

ได้กล่าวมาแล้วว่า ในเครื่องกำเนิดแบบชั้นท์และแบบคอมเปานด์ การสูญเสียในขดลวดชั้นท์ฟิลด์คงที่ ดังนั้นทั้งการสูญเสียสเตรย์ และการสูญเสียในขดลวดชั้นฟิลด์ *(shunt Cu losses)* รวมกันจึงมีชื่อเรียกว่า *"การสูญเสียที่มีค่าคงที่"* , W_C

ดังนั้น ในเครื่องกำเนิดแบบชั้นท์และแบบคอมเปานด์

การสูญเสียทั้งหมด *(Total losses)* = การสูญเสียในขดลวดอาเมเจอร์ + W_C

$= I_a^2.R_a + W_c$

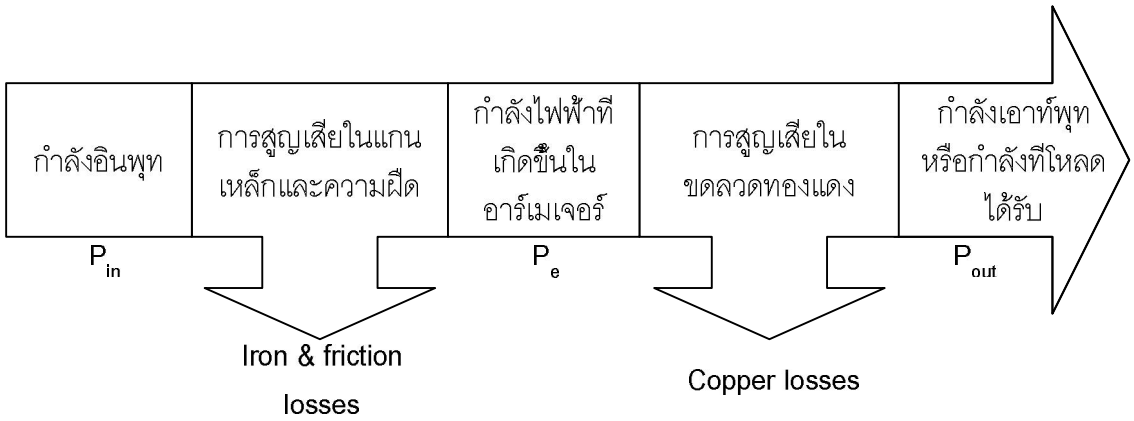
$\therefore$ การสูญเสียทั้งหมด $= (I_L + I_{sh})^2.R_a + W_c$

การสูญเสียในขดลวดอาเมเจอร์ = $I_a^2.R_a$

เรียกกันโดยทั่วไปว่า *"การสูญเสียที่แปรค่าได้" (variable loss)* ทั้งนี้เพราะว่ามันแปรค่าตามกระแสโหลด

5.2 กำลังในส่วนต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
(Power stages or power flow diagram)

5.2.1 การสูญเสียและกำลังในส่วนต่างๆ ***(Power stages or power flow diagram)***



รูปที่ *5 – 1* การสูญเสียและกำลังในส่วนต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

กำลังอินพุทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง หมายถึง กำลังงานกล *(Mechanical power input)* ที่ได้จากกำลังเอาท์พุทของเครื่องต้นกำลัง *(output of driving engine)* ที่ใช้ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ใช้สัญลักษณ์ P_{in}

กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในอาเมเจอร์ *(Electrical power developed in armature)* ใช้สัญลักษณ์ P_e หาค่า *Pe* ได้จากสมการ

$$P_e = E.I_a$$

ผลต่างระหว่าง P_{in} และ P_e คือการสูญเสียในแกนเหล็กและความฝืด *(Iron and friction losses)* เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$iron\ \&\ friction\ losses = P_{in} - P_e$$

หรือ $$P_{in} = P_e + iron\ \&\ friction\ losses$$

กำลังเอาท์พุทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า *(Electrical power output)* หมายถึงกำลังไฟฟ้าสำหรับจ่ายให้โหลด หรือ กำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ ใช้สัญลักษณ์ P_{out}

ผลต่างระหว่าง P_e และ P_{out} คือ การสูญเสียในขดลวดทองแดง *(Cu losses)* เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Cu.losses = P_e - P_{out}$$

หรือ $$P_e = P_{out} + Cu.losses$$

5.3 ประสิทธิภาพ ***(efficiency)***

ดังได้กล่าวมาแล้วว่ากำลังอินพุทที่ป้อนให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจะมีกำลังบางส่วนที่สูญเสียไป กำลังส่วนที่เหลือจะได้ออกมาทางด้านเอาท์พุทในรูปของกำลังไฟฟ้า

อัตราส่วนระหว่างกำลังเอาท์พุทต่อกำลังเอาท์พุท คือ ประสิทธิภาพซึ่งปกติจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + Losses} \times 100$$

ประสิทธิภาพที่หาได้ เรียกว่า ประสิทธิภาพทั้งหมดหรือ ประสิทธิภาพทางการค้า *(overall or commercial efficiency)*

จากเพาเวอร์โฟลว์ไดอะแกรม สามารถหาค่าประสิทธิภาพทางกลและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้ดังนี้

ก. ประสิทธิภาพทางกล *(Mechanical efficiency)*

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_{in}} = \frac{E_g.I_a}{P_{in}}$$

$$= \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์}}{\text{กำลังงานกลอินพุท}}$$

ข. ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า *(Electrical efficiency)*

$$\eta_e = \frac{P_{out}}{P_e} = \frac{V_t.I_L}{E_g.I_a}$$

$$= \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ}}{\text{กำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์}}$$

ค. ประสิทธิภาพทั้งหมดหรือประสิทธิภาพทางการค้า *(Over all or Commercial efficiency)*

$$\eta_c = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$$= \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ}}{\text{กำลังงานกลอินพุท}}$$

จะสังเกตเห็นว่าประสิทธิภาพทั้งหมด $\eta_c = \eta_m \; x \; \eta_e$ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีคุณภาพดีอาจมีประสิทธิภาพสูงถึง *95%* และประสิทธิภาพที่ใช้กัน อยู่โดยทั่วไปนั้นคือ η_c

สภาวะที่ประสิทธิภาพมีค่าสูงสุด ***(Condition for maximum efficiency)***

กำลังเอาท์พุทของเครื่องกำเนิด = $V_t \, . \, I_L$

กำลังอินพุทของเครื่องกำเนิด = เอาท์พุท + การสูญเสียทั้งหมด

$$= V_t \, . \, I_L + I_a^2 . R_a + W_c$$

$$= V_t \, . \, I_L + (I_L + I_{sh})^2 . R_a + W_c$$

$(I_a = I_L + I_{sh})$

เนื่องจากกระแสชั้นท์ฟิลด์ (I_{sh}) มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระแสโหลด (I_L) ดังนั้นถ้าไม่คำนึง I_{sh} จะได้กระแสอาเมเจอร์ $I_a = I_L$

ประสิทธิภาพ , η $= \dfrac{\text{เอาท์พุท}}{\text{อินพุท}}$

$$= \frac{V_t . I_L}{V_t . I_L + I_a^{\,2} . R_a + W_c}$$

$$= \frac{V_t . I_L}{V_t . I_L + I_L^{\,2} . R_a + W_c}$$

$(I_a = I)$

ใช้ $V_t . I_L$ หารทั้งเศษและส่วน

ประสิทธิภาพจะมีค่าสูงสุดเมื่อ ตัวส่วนของสมการข้างบนมีค่าต่ำสุด นั่นคือ

$$\frac{d}{dI}\left[1 + \frac{I_L . R_a}{V_t} + \frac{W_c}{V_t . I_L} \right] = 0$$

$$\frac{R_a}{V_t} - \frac{W_c}{V_t I_L^{\,2}} = 0$$

$$\therefore \quad I_L^2 . R_a = W_c$$

ดังนั้นประสิทธิภาพสูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อ การสูญเสียที่แปรค่าได้ *(Variable loss)* เท่ากับการสูญเสียที่มีค่าคงที่ *(Constant loss)*

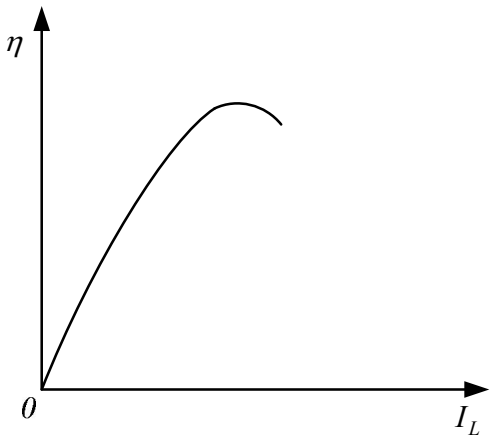
สำหรับกระแสโหลดที่ค่าประสิทธิภาพสูงสุด หาได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง

$$I_L^2.R_a = W_c$$

หรือ

$$I_L = \sqrt{\frac{W_c}{R}}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพและกระแสโหลดแสดงไว้ด้วยเส้นกราฟ ดังรูปที่ *5-2*



รูปที่ *5 –2* เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง η กับกระแสโหลด I_L

ตัวอย่าง 5.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบชั้นท์เครื่องหนึ่ง จ่ายกระแสให้โหลด $195A.$ ที่แรงดัน $250V.$ อาร์เมเจอร์และชั้นท์ฟิลด์มีความต้านทาน 0.22Ω และ 50Ω ตามลำดับ ถ้ามีการสูญเสียในแกนเหล็กและความฝืดเป็น $950W.$ จงหา

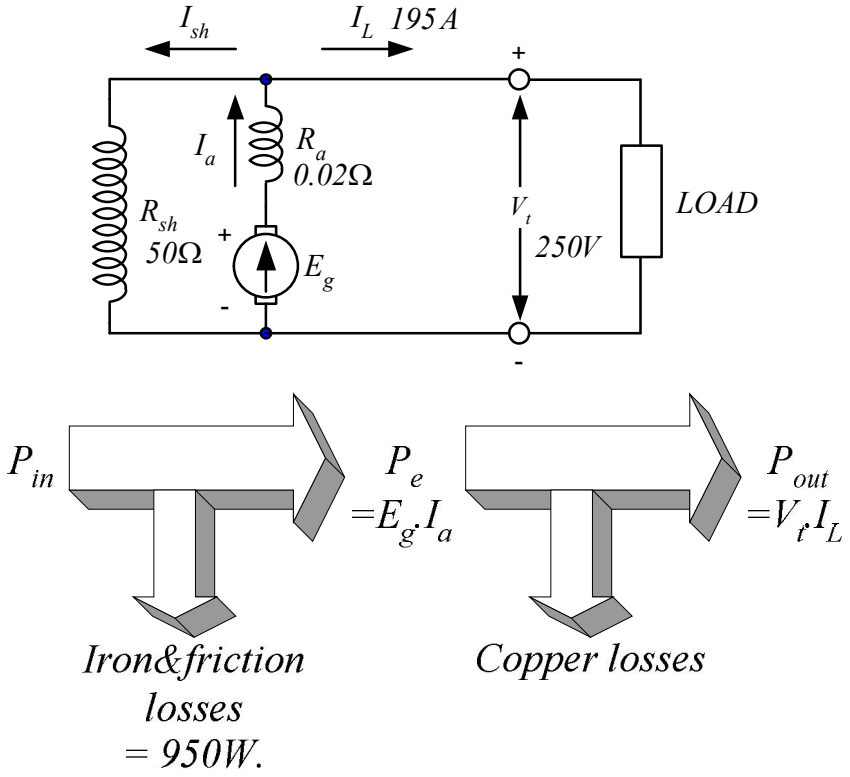
ก. แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ข. การสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมด

ค. กำลังเอาท์พุทของเครื่องต้นกำลัง

ง. ประสิทธิภาพทางการค้า ทางกลและทางไฟฟ้า

วิธีทำ



ก. หาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบชั้นท์คือ

$$E_g = V_t + I_a.R_a$$

$$I_a = I_{sh} + I_L$$

$$I_{sh} = \frac{V_{sh}}{R_{sh}} = \frac{V_t}{R_{sh}}$$

$$= \frac{250V}{50\Omega}$$

$$= 5A.$$

$$I_a = I_{sh} + I_L$$
$$= 5 + 195$$
$$= 200A.$$

$$E_g = V_t + I_a.R_a$$
$$= 250 + (200x0.02)$$
$$= 254V.$$ ตอบ

ข. หาการสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วย การสูญเสียในขดลวดทองแดงของอาร์เมเจอร์ และ การสูญเสียในขดลวดทองแดงของชั้นท์ฟิลด์

การสูญเสียในขดลวดทองแดงของอาร์เมเจอร์ $= I_a^2.R_a$
$= 200^2 \times 0.02$
$= 800\ W.$

การสูญเสียในขดลวดทองแดงของชั้นท์ฟิลด์ $= V_{sh}.I_{sh} = V_t.I_{sh}$
$= 250 \times 5$
$= 1{,}250W.$

การสูญเสียในขดลวดทองแดงทั้งหมด $= 800 + 1{,}250$
$= 2{,}050\ W.$ ตอบ

ค. หากำลังเอาท์พุทของเครื่องต้นกำลัง $= P_{in}$ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$P_{in} = P_{out} + total\ losses$$

$total\ losses = iron\ \&\ friction\ losses + copper\ losses$

โจทย์กำหนดการสูญเสียสเตรย์ หรือ การสูญเสียในแกนเหล็กและความฝืด *(iron & friction losses) = 950W.*

ดังนั้นการสูญเสียทั้งหมดในเครื่องกำเนิด *(total losses)*

$= 2{,}050 + 950$
$= 3{,}000W.$

$P_{out} = V_t.I_L$
$= 250 \times 195$
$= 48{,}750\ W.$

$\therefore$ กำลังเอาท์พุทของเครื่องต้นกำลัง $= P_{in}$ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$= P_{out} + total\ losses$
$= 48{,}750 + 3{,}000$
$= 51{,}750\ W.$ ตอบ

ง. หาประสิทธิภาพทางไฟฟ้า ทางกล และทางการค้า

$$\begin{aligned} P_e &= P_{in} - Iron\ \&\ friction\ losses \\ &= 51{,}750 - 950 \\ &= 50{,}800\ W. \end{aligned}$$

ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า *(Electrical efficiency)*

$$\begin{aligned} \eta_e &= \frac{P_{out}}{P_e} \times 100 \\ &= \frac{48{,}750}{50{,}800} \times 100 \\ &= 95.96\% \end{aligned}$$ ตอบ

ประสิทธิภาพทางกล *(Mechanical efficiency)*

$$\begin{aligned} \eta_m &= \frac{P_e}{P_{in}} \times 100 \\ &= \frac{50{,}800}{51{,}750} \times 100 \\ &= 98.16\% \end{aligned}$$ ตอบ

ประสิทธิภาพทั้งหมดหรือประสิทธิภาพทางการค้า *(Over all or Commercial efficiency)*

$$\begin{aligned} \eta_c &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \\ &= \frac{48{,}750}{51{,}750} \times 100 \\ &= 94.2\% \end{aligned}$$ ตอบ

ตัวอย่างที่ ***5.2*** เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบชั้นท์ *6* ขั้ว ขนาดพิกัด *10 – kW , 250 V.* หมุนด้วยความเร็ว *1,000 r.p.m.* พันขดลวดอาเมเจอร์แบบแลพมี *534* ตัวนำ เมื่อจ่ายโหลดเต็มพิกัดมีการสูญเสียในขดลวดทองแดง *(full – load Cu loss) 0.64 kW.* มีแรงดันไฟฟ้าตกที่แปรงถ่านรวม *1* โวลท์ จงหาจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งขั้ว ไม่คำนึงถึงกระแสชั้นท์ฟิลด์

วิธีทำ เมื่อไม่คำนึงถึงกระแสชั้นท์ฟิลด์ จึงไม่มีการสูญเสียในขดลวดชั้นท์ฟิลด์ *(shunt Cu loss)* มีแต่การสูญเสียในขดลวดอาเมเจอร์เพียงอย่างเดียว

ดังนั้นกระแสอาเมเจอร์จะเท่ากับกระแสโหลด คือ

$$I_L = I_a = \frac{P_{out}}{V_t} = \frac{10{,}000}{250}$$
$$= 40A$$

การสูญเสียในขดลวดอาร์เมเจอร์ $= I_a^2.R_a$

$0.64 \times 1000 = 40^2 \times R_a$

$R_a = 0.4\ \Omega$

แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมความต้านทานของอาเมเจอร์

$I_a.R_a = 0.4 \times 40$

$= 16\ V$

แรงดันไฟฟ้าตกที่แปรงถ่าน , $V_b = 1V$

$\therefore$ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ $E_g = V_t + I_aR_a + V_b$

$= 250 + 16 + 1$

$= 267\ V$

จากสูตร $E_g = \dfrac{\varnothing ZNP}{60a}$

$267 = \dfrac{\varnothing x534x1000x6}{60x6}$

$\varnothing = 0.03\ Wb$

$= 30\ mWb$

ตัวอย่างที่ ***5.3*** เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบชั้นท์เครื่องหนึ่งจ่ายกระแส *195 A.* ที่แรงดัน *250 V.* อาร์เมเจอร์และชั้นฟิลด์มีความต้านทาน *0.02* และ *50* โอห์มตามลำดับ ถ้ามีการสูญเสียในแกนเหล็กและความฝืด *(iron and friction losses)* เป็น *950 W.* จงหา

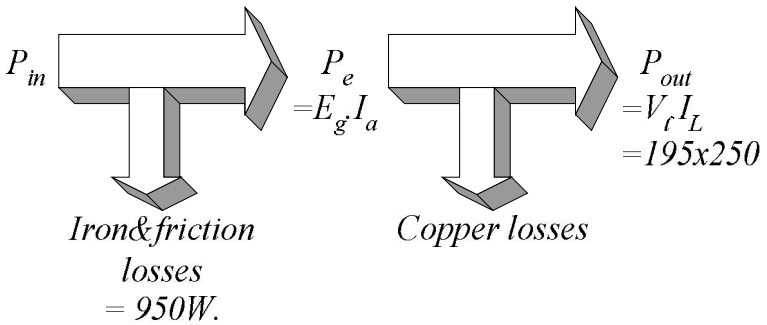
ก. แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ข. การสูญเสียในขดลวดทองแด

ค. กำลังเอาท์พุทของเครื่องต้นกำลัง

ง. ประสิทธิภาพทางการค้า ทางกลและทางไฟฟ้า

วิธีทำ จากเพาเวอร์โฟลว์ ไดอะแกรม



ก) $I_{sh} = \frac{V_{sh}}{R_{sh}} = \frac{V_t}{R_{sh}}$

$= \frac{250}{50}$

$= 5\ A$

$I_a = I_L + I_{sh}$

$= 195 + 5$

$= 200\ A$

$I_aR_a = 200 \times 0.02$

$= 4\ V$

$E_g = V_t + I_aR_a$

$= 250 + 4$

$= 254\ V$

ข) การสูญเสียในขดลวดอาเมเจอร์ *(Armature Cu loss)*

$I_a^2R_a = 200^2 \times 0.02$

$= 800\ W$

การสูญเสียในขดลวดชั้นท์ฟิลด์ *(shunt Cu loss)*

$V_{sh}.I_{sh} = V_t.I_{sh}$

$= 250 \times 5$

$= 1{,}250\ W$

∴ การสูญเสียทั้งหมดในขดลวดทองแดง *(Total losses)*

$= 1{,}250 + 800$

$= 2{,}050\ W$

ค) การสูญเสียสเตรย์ *(stray losses)* หรือการสูญเสียในแกนเหล็กและความฝืด = *950W*

ดังนั้นการสูญเสียทั้งหมดในเครื่องกำเนิด *(Total losses)*

$= 2{,}050 + 950$

$= 3{,}000\ W$

กำลังเอาท์พุทของเครื่องกำเนิด

$P_{out} = I_L \times V_t$

$= 195 \times 250$

$= 48750\ W$

∴กำลังอินพุทของเครื่องกำเนิด

P_{in} = กำลังเอาท์พุท + การสูญเสียทั้งหมด

$= 48{,}750 + 3{,}000$

$= 51{,}750\ W$

∴กำลังอินพุทของเครื่องต้นกำลัง = *51,750 W*

ง) กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในอาเมเจอร์

$$P_e = P_{in} - \text{Iron \& Friction losses}$$
$$= 51,750 - 950$$
$$= 50,800\ W$$

ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า $\eta_e = \frac{P_{out}}{P_e} x\ 100$

$$= \frac{48,750}{50,800} x100$$
$$= 95.96\ \%$$

ประสิทธิภาพทางกล $\eta_m = \frac{P_e}{P_{in}} x\ 100$

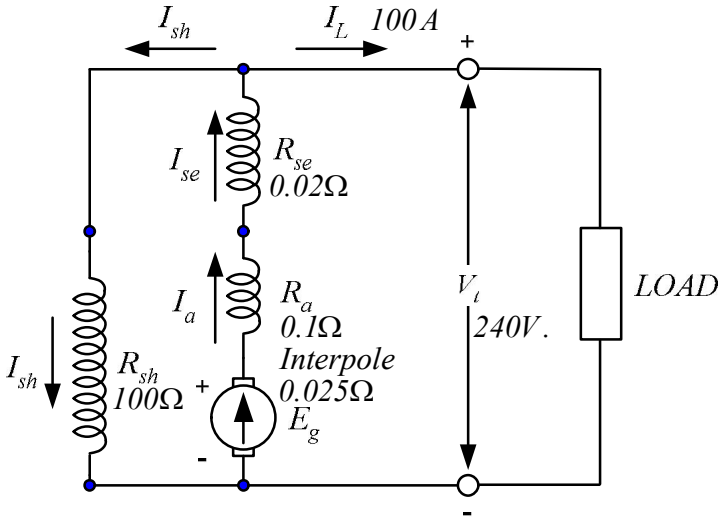
$$= \frac{50,800}{51,750} x100$$
$$= 98.16\ \%$$

ประสิทธิภาพทางการค้า $\eta_c = \frac{P_{out}}{P_{in}} x\ 100$

$$= \frac{48,750}{51,750} x100$$
$$= 94.2\ \%$$

ตัวอย่าง 5.4 *long-shunt compound-wound generator* จ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว *240V.* ที่กระแสโหลดเต็มพิกัด *100A.* มีค่าความต้านทานของอาร์เมเจอร์ 0.1Ω , ความต้านทานของขดซีรีย์ฟีลด์เป็น 0.02Ω ความต้านทานของขดลวดอินเตอร์โปลเป็น 0.025Ω , ความต้านทานของขดชันท์ฟีลด์เป็น 100Ω เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวนี้มีค่าความสูญเสียในแกนเหล็กที่โหลดเต็มพิกัดเป็น *1000W.* ค่าความสูญเสียจากแรงต้านลมและความฝืดเป็น *500W.* จงหาค่าประสิทธิภาพทางการค้า ณ โหลดเต็มพิกัด

วิธีทำ



ประสิทธิภาพทางการค้า $\eta_c = \dfrac{P_{out}}{P_{in}} x\ 100$

$P_{out} = V_t \,.\, I_L$
$= 240 \times 100$
$= 24{,}000W.$

$$P_{in} = P_{out} + total\ losses$$

$$total\ losses = iron\ \&\ friction\ losses + copper\ losses$$

iron losses โจทย์กำหนด = *1000W.*

friction losses โจทย์กำหนด = *500W.*

armature copper losses $= I_a^{\,2}.R_a + I_a^{\,2}.R_{se} + I_a^{\,2}.R_{int\,erpole}$
$= I_a^{\,2}.(R_a + R_{se} + R_{int\,erpole})$

หาค่ากระแส $I_a = I_{sh} + I_L$

$I_{sh} = \dfrac{V_t}{R_{sh}}$

$$= \frac{240}{100}$$
$$= 2.4A.$$

$$I_a = 2.4 + 100$$
$$= 102.4A.$$

$$\text{armature copper losses} = 102.4^2(0.1+0.02+0.025)$$
$$= 102.4^2 \times 0.145$$
$$= 1{,}521W.$$

$$\text{shunt field copper losses} = I_{sh}{}^2 . R_{sh}$$
$$= 2.4^2 \times 100$$
$$= 576W.$$

$$\text{Total losses} = \text{iron\&friction losses + copper losses}$$
$$= 1000+500+1521+576$$
$$= 3{,}597W.$$

ประสิทธิภาพทางการค้า $\eta_c = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$

$$\eta_c = \frac{P_{out}}{P_{out} + \text{Total losses}} \times 100$$

$$= \frac{24{,}000}{24{,}000 + 3{,}597} \times 100$$

$$= 87.1\%$$ ตอบ

แบบฝึกหัดบทที่ 5

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบชั้นท์ *110 V.* ตัวหนึ่งมีกระแสโหลดเต็มพิกัด *100 A.* ชั้นท์ฟิลด์มีความต้านทาน *55* โอห์ม มีกำลังสูญเสียคงที่ *(constant losses) 500 W.* ถ้าประสิทธิภาพที่โหลดเต็มพิกัดเป็น *88%* จงหาความต้านทานของอาร์เมเจอร์ สมมติว่าแรงดันไฟฟ้าคงที่อยู่ที่ *110 V.* จงคำนวณหาประสิทธิภาพเมื่อเครื่องจ่ายโหลดกึ่งหนึ่งของพิกัด *(half F.L.)* และจ่ายโหลดเกินพิกัด *(overload) 50%* จงหากระแสโหลดที่ค่าประสิทธิภาพสูงสุดด้วย
[0.078 Ω , 85.8% , 96.2 A]

2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบชอร์ท - ชั้นท์คอมเปานด์ จ่ายกระแส *100 A.* ที่แรงดัน *220 V.* ถ้าชั้นท์ฟิลด์ ซีรีส์ฟิลด์ และอาร์เมเจอร์มีความต้านทาน *50 Ω , 0.025 Ω* และ *0.05 Ω* ตามลำดับ มีแรงดันไฟฟ้าตกที่แปรงถ่านทั้งหมด *2 V.* และมีกำลังสูญเสียในแกนเหล็กและความฝืดรวม *1 kW.* จงหา

- แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
- กำลังสูญเสียในขดลวด *(copper losses)*
- กำลังเอาท์พุทของเครื่องต้นกำลัง *(prime - mover)* ที่ใช้ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

[ก) 299.7 V , ข) 1.995 kW. , ค) 24.99 kW. , ง) 88%)

3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบชอร์ท - ชั้นท์ คอมเปานด์ตัวหนึ่งมีพิกัด *20 -kW , 440 V.* มีประสิทธิภาพเมื่อโหลดเต็มพิกัด *(full - load efficiency) 87%* ถ้าความต้านทานของอาร์เมเจอร์และอินเตอร์โปล *(interpoles)* เป็น *0.4 Ω* และความต้านทานของขดลวดซีรีส์ฟิลด์และชั้นฟิลด์เป็น *0.25 Ω* และ *240 Ω* ตามลำดับ จงคำนวณหากำลังสูญเสียรวมจากความฝืดที่แบริ่ง *(bearing friction)* แรงต้านจากลมและแกนเหล็ก *(windage and core - loss)* ของเครื่องกำเนิด
[725 W.]

4. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบชั้นท์ *440 V* ตัวหนึ่ง จ่ายกระแสโหลดเต็มพิกัด *250 A.* อาร์เมเจอร์และขดลวดฟิลด์มีความต้านทาน *0.06 Ω* และ *100 Ω* ตามลำดับ จงหาขนาดกำลังม้าของเครื่องต้นกำลัง *(prime mover)* เมื่อเครื่องกำเนิดจ่ายโหลดเต็มพิกัด และคำนวณหาขนาดของโหลดเมื่อเครื่องกำเนิดมีประสิทธิภาพสูงสุด สมมติว่าการสูญเสียสเตรย์ *(stry - losses)* เป็น *2,000 W.*
[204.8 h.p. (อังกฤษ) , 256 A.]