

# محاضرة (4): مولادات التيار المستمر (Generators)

## مقدمة

تستخدم مولادات التيار المستمر للحصول على جهد ثابت القيمة، وتعتبر تلك الآلات من أول الآلات الكهربائية التي تم تصنيعها للحصول على مصدر للطاقة الكهربائية.

## نظريّة عمل المولد الكهربائي وتركيبه

يقوم مولد التيار المستمر بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية، ويتم ذلك عند إدارة المولد بسرعة محددة بواسطة أي بادئ حركة (مثل: محرك كهربائي، محرك ديزل، توربينة غازية أو مائية).  
ويعتمد عمل المولد أساساً على قانون فارادي للحث المغناطيسي والذي ينص على:

"تولد قوة دافعة كهربائية (جهد كهربائي) بين طرفي موصل عندما يقطع هذا الموصل خطوط المجال المغناطيسي."

أي تتولد قوة دافعة عندما توجد حركة نسبية بين الموصل وخطوط المجال المغناطيسي، ويتم ذلك عندما يكونا متزامدين، أما إذا كانوا متوازيين فلا تتولد قوة دافعة.

تعتمد مقادير هذه القوة المركبة المتعامدة فقط هي المسؤولة عن توليد الجهد.

## حساب القوة الدافعة الكهربائية

تحسب القوة الدافعة الكهربائية من المعادلة الآتية:

$$\$e = B \cdot L \cdot V\$$$

حيث:

- $B\$$ : كثافة الفيض المغناطيسي (وحدة:  $\text{Wb}/\text{m}^2$ ).
- $L\$$ : طول اللفة بالمتر (وحدة:  $\text{m}$ ).
- $V\$$ : السرعة الخطية (وحدة:  $\text{m/sec}$ ).
- $e\$$ : القوة الدافعة الكهربائية المتولدة (وحدة:  $\text{Volt}$ ).

## تركيب مولد التيار المستمر

ت تكون ماكينة التيار المستمر من جزئين أساسيين هما:

1. **العضو الثابت:** وهو المسؤول عن توليد المجال المغناطيسي.
2. **العضو الدوار ( المنتج - Armature):** وعنه تتحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربية وتتولد به القوة الدافعة الكهربائية.

#### تفصيل العضو الثابت:

يتكون العضو الثابت من الأجزاء الآتية:

1. **الإطار الخارجي (Yoke):** وهو مصنوع من الحديد المطاوع أو الحديد الزهر (وفي بعض الآلات الصغيرة يُصنع من رقائق من الصلب).
  - **وظيفته:** يعمل كمسamar (هيكل) لاستكمال الدائرة المغناطيسية، ويتم تثبيت الأقطاب به.
2. **الأقطاب الرئيسية (Main Poles):** وتصنع من رقائق من الصلب، ويتم تثبيتها في الإطار الخارجي، ويركب عليها "حذا القطب" الذي يعمل على توزيع وانتظام خطوط الفيصل في الثغرة الهوائية. يوجد حول الأقطاب الرئيسية ملفات المجال، وتنقسم إلى:
  - ملفات توازي.
  - ملفات توالى. وهذه الملفات مسؤولة عن توليد المجال المغناطيسي.
3. **أقطاب التوحيد (Commutating Poles):** تشبه الأقطاب الرئيسية لكن حجمها أقل، وتوضع في المسافة بين الأقطاب الرئيسية.
  - **الغرض منها:** تقليل المشاكل التي تصاحب عاملية التوحيد في المنتج (تقليل الشرارة).

newpage\

## محاضرة (5): مولادات التيار المستمر (DC Generators)

\* مواصلة:

أما العضو الدوار ( المنتج ) فيتكون من الآتي:

- 1/ **قلب المنتج (Armature Core):** وهو جزء أسطواني مصنوع من رقائق من الصلب مضغوطة مع بعضها ومعزولة كهربائياً بواسطة طبقة رقيقة من الورنيش، وذلك لتقليل التيارات الدوامية.
- 2/ **ملفات المنتج (Armature windings):** عبارة عن مجموعات متعددة، والملف الواحد عبارة عن مجموعة من الموصلات، ويتم وضعها في مجاري المنتج. وثبتت الملفات داخل المجاري بواسطة عوازل، وذلك لحمايتها من القوة الطاردة المركزية، ويتم توليد ق.د.ك (قوة دافعة كهربائية) في هذه الملفات والتي تحمل تيار الحمل.

**3/ الموحد (مبدل التيار) (Commutator):** يعمل على تحويل التيار المتردد المتدول في ملفات المنتج إلى تيار موحد الاتجاه في الدائرة الخارجية. وهو أسطواني الشكل مصنوع من قطع من النحاس الصلد المسحوب، معزولة عن بعضها البعض بمادة عازلة جيدة (الميكا).

**4/ حامل الفرش الكربونية (Brushes holder):** مثبت في الإطار الخارجي للآلة، ويحمل الفرش الكربونية التي تلامس السطح الخارجي للموحد، وتعمل على تجميع التيار الكهربائي وتوصيله إلى الشبكة الخارجية (الحمل). وعادة عدد الفرش يساوي عدد الأقطاب الرئيسية.

#### \* طرق لف المنتج : (Armature winding)

حسب طريقة التوصيل المتبعة فإنه يوجد هناك نوعان من اللف هما:

1- اللف الانطبافي (Lap winding): في هذا النوع يوصل طرفا كل ملف إلى قطعتين بموحد متجاورتين.

2- اللف التموجي (Wave winding): تتنى أطراف الملفات إلى الخارج، ويوصل طرفا كل ملف بقطعتين من الموحد بينهما عدد محدود من القطع.

newpage\

## محاضرة (6): مولدات التيار المستمر DC (Generators)

### معادلة القوة الدافعة الكهربائية (EMF Equation)

يمكن الحصول على ق.د.ك (قوة دافعة كهربائية) بالتأثير الكهرومغناطيسي ديناميكياً، وذلك بتحريك موصل بالنسبة لمجال مغناطيسي، أو تحريك المجال المغناطيسي بالنسبة للموصل.

فمثلاً: عندما يتحرك موصل طوله  $L$  متر في مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيشه  $B$  (Tesla) بسرعة  $V$  ( $m/sec$ ) في اتجاه عمودي على خط المجال؛ تتولد على طرفي المجال (الموصل) ق.د.ك مقدارها  $e$  ( $volt$ ).

تبعاً لقانون فارادي بحيث يكون:

$$e = B \cdot L \cdot V \quad \text{volt}$$

وباعتبار أن نصف قطر المنتج  $r$  ( $m$ ), فيمكن حساب السرعة من العلاقة:

$$V = \omega r = \frac{2\pi n}{60} r$$

حيث:

- $n$ : هي سرعة الدوران (لفة/ دقيقة) (rpm).
- $\omega$ : هي السرعة الزاوية المحيطية (rad/sec).

وتحسب كثافة المجال المغناطيسي تحت القطب من العلاقة:

$$\$B = \frac{\phi}{A} = \frac{\phi}{2\pi r L / 2p}$$

حيث:

- المساحة تحت القطب.

وبالتعويض في المعادلات أعلاه نحصل على:

$$\$e = \frac{\phi \cdot 2p \cdot L}{2\pi r} \cdot \frac{2}{60}$$

ويمكن تبسيط المعادلة كالتالي:

$$\$e = \phi \cdot \frac{2p}{60}$$

(هذه القوة الدافعة المتولدة في موصل واحد).

وإذا كان عدد الموصلات الكلية هو  $Z$ ، وعدد دوائر التوازي هو  $2a$ ، فإن ق.د.ك (القوة الدافعة الكهربية) المتولدة في المنتج تحسب من العلاقة:

$$\$E_a = \frac{2p}{60} \cdot \phi \cdot Z \cdot \frac{n}{60}$$

ملاحظات في نهاية المحاضرة:

- مثال (1) ومثال (2): ص 25 في مرجع المنهج السعودي (المرفق ساقاً).
- تنوية: المطبوع سوف يرسل إليكم.

بناءً على الإشارة الموجودة في نهاية المحاضرة رقم (6) للرجوع إلى ص 25 من المرجع المرفق (كتاب آلات التيار المستمر والمحولات - المنهج السعودي)، إليك نص الأمثلة وحلها كما وردت في الكتاب تماماً:

## مثال (2-1)

مولد تيار مستمر عدد أقطابه 6، وعدد الموصلات الكلية 250، ملفوف لفا تموجياً (Wave winding) ويدور عند سرعة 1200 لفة/دقيقة. فإذا كان الفيصل لكل قطب 4 ميجا خط (Megalines)، أوجد القوة الدافعة الكهربية المتولدة.

الحل:

استخراج المعطيات:

- عدد الأقطاب  $2p = 6$
- نوع اللف تموجي، إذن عدد مسارات التوازي  $2a = 2$
- عدد الموصلات  $Z_a = 250$
- السرعة  $n = 1200 \text{ rpm}$
- الفيصل  $\times 10^6 \times 10^{-8} = 0.04 \text{ m}$  (تحويلها للويبير:  $\Phi = 4 \text{ megalines}$ )
- $(wb/pole)$

$\$ \$ E_a = \frac{2p}{2a} \cdot \phi \cdot Z_a \cdot \frac{n}{60} \$ \$$  التعويض في القانون:

$$\$ \$ E_a = \frac{6}{2} \times 0.04 \times 250 \times \frac{1200}{60} \$ \$$$

$$\$ \$ E_a = 600 \text{ volt} \$ \$$$


---

## مثال (2-2)

مولد تيار مستمر عدد أقطابه 8، وعدد الموصلات الكلية 960، ملفوف لفا انطباقياً (Lap winding) ويدور عند سرعة 600 لفة/ دقيقة. فإذا كانت القوة الدافعة الكهربائية المتولدة 220 فولت، أوجد الفيصل المغناطيسي لكل قطب.

الحل:

استخراج المعطيات:

- عدد الأقطاب  $2p = 8 \$ \$$
- نوع اللف انطباعي، إذن عدد مسارات التوازي يساوي عدد الأقطاب  $(2a = 2p = 8 \$ \$)$
- عدد الموصلات  $Z_a = 960 \$ \$$
- السرعة  $n = 600 \$ rpm \$$
- الجهد المتولد  $E_a = 220 \$ V \$$

$E_a = \frac{2p}{2a} \cdot \phi \cdot Z_a \cdot \frac{n}{60} \$ \$$  التعويض في القانون لإيجاد الفيصل  $(\$ \$ \Phi = \frac{E_a \cdot 60}{2p \cdot Z_a \cdot n})$

$$\$ \$ \frac{8}{2} \times \phi \times 960 \times \frac{600}{60} = \$ \$ 220$$

$$\times \phi \times 960 \times \frac{10}{1} = \$ \$ 220$$

$$\$ \$ \phi = \frac{220}{9600} \$ \$$$

$$\$ \$ \Phi = 0.023 \text{ wb/pole} \$ \$$$

newpage\

## محاضرة (7): أنواع التغذية لمولادات التيار المستمر

---

### مقدمة

تحتاج مولادات التيار المستمر إلى وسيلة تغذية (تنبيه) لملفات المجال، وذلك لتوليد القوة الدافعة المغناطيسية (ق.د.م) الالزنة لتمغنت الآلة والحصول على قوة دافعة كهربية (ق.د.ك) عند الدوران. تستمد ملفات المجال التيار اللازم إما عن طريق مصدر جهد خارجي أو من الجهد المتولد من الآلة ذاتها.

وتنقسم من حيث طرق التغذية إلى:

1. مولدات ذات تغذية مستقلة (منفصلة).
2. مولدات ذاتية التغذية.

## أولاً: المولدات ذات التغذية المستقلة (Separately Excited Generators)

في هذا النوع، يتم توصيل ملفات التغذية المستقلة بمصدر خارجي. وتمتاز هذه النوعية بثبات تيار المجال وعدم اعتماده على تيار المنتج. كذلك يمكن الحصول على مدى واسع للجهد المترول على أطراف الآلة.

### الدائرة الكهربائية والمكافئة:

(تم رسم دائرة توضح المنتج متصل بحمل  $\$R_L$ ، وملفات المجال متصلة ببطارية خارجية).

### معادلات الجهد والتيار:

بتطبيق قانون كيرشوف على دائرة المنتج نحصل على:

$$\$E_g = V_L + I_a R_a$$

وتحسب القوة الدافعة الكهربائية ( $E_g$ ) من المعادلة:

$$\$E_g = \frac{2P}{\phi} \cdot Z \cdot n / 60 \cdot 2a$$

وفي هذه الحالة يكون تيار المنتج مساوياً لتيار الحمل:

$$I_a = I_L$$

إشارة للمرجع: راجع مثال (3-2) ص 32 في المرجع (المنهج السعودي). (تم إدراج نص المثال وحله في نهاية التفريغ).

## ثانياً: مولدات التغذية الذاتية (Self Excited Generators)

تنقسم التغذية الذاتية تبعاً لطريقة توصيل ملفات المجال مع المنتج إلى ثلاثة أنواع هي:

1. تغذية توالي (Series).
2. تغذية تواري (Shunt).
3. تغذية مركبة (Compound).

### 1- مولدات التغذية التوالي (Series Wound Generators)

في هذا النوع، توصل ملفات المجال على التوالي مع المنتج والحمل.

$$\$E_g = V_L + I_L (R_a + R_f) \quad \$I_a = I_f = I_L$$

حيث  $R_f$  هي مقاومة ملفات التوالي.

إشارة للمرجع: راجع مثال (4-2) ص 33. (تم إدراجه بالأسفل).

## 2- مولادات التغذية التوازي (Shunt Wound Generators)

في هذه الحالة يتم توصيل ملفات المجال بالتوازي مع ملفات المنتج.

$$\text{المعادلات: } \$\$E_g = V_L + I_a R_a \quad \$\$V_f = V_L = I_f R_f \quad \$\$I_a = I_f + I_L$$

ملاحظة: عادة يتراوح تيار المجال في آلات التوازي من 1% إلى 5% من قيمة تيار المنتج، حيث تكون القيمة العليا للآلات الصغيرة القدرة.

إشارة للمرجع: راجع مثال (2-5) ص 34، و مثال (2-6) ص 35. (تم إدراجهم بالأسفل).

## 3- مولادات التغذية المركبة (Compound Wound Generators)

تحتوي هذه المولادات على ملفات توالي وملفات توازي، وتنقسم من حيث التوصيل إلى:

1. مركب قصير (Short Shunt).
2. مركب طويل (Long Shunt).

(أ) مركب قصير (Short Shunt): توصل ملفات التوازي مباشرة عبر أطراف المنتج.

$$\text{المعادلات: } \$\$E_g = V_L + I_a R_a + I_L R_s \quad \$\$I_a = I_L + I_f$$

حيث  $R_s$  هي مقاومة ملفات التوالي.

(ب) مركب طويل (Long Shunt): توصل ملفات التوازي عبر أطراف الدائرة الخارجية (بعد ملفات التوالي).

$$\text{المعادلات: } \$\$E_g = V_L + I_a (R_a + R_s) \quad \$\$I_a = I_L + I_f$$

**ملحق: الأمثلة المشار إليها من المرجع (كتاب المنهج السعودي)**

**مثال (2-3) [في الكتاب هو مثال 2-3] ص 32**

**نص السؤال:** مولد تيار مستمر منفصل التغذية، يدور عند سرعة 1200 لفة/دقيقة ويغذي حمل ثابت المقاومة بتيار قيمته 200 أمبير عند جهد 125 فولت. احسب تيار الحمل إذا انخفضت السرعة إلى 1000 لفة/دقيقة، وباعتبار تيار المجال لم يتغير. علماً بأن مقاومة ملفات المنتج 0.04 أوم. **الحل المختصر:** يتم حساب  $E_a$ , ثم استخدام التنااسب الطردي بين القوة الدافعة

والسرعة ( $n$ ) لإيجاد  $E_a$ , ومن ثم حساب التيار الجديد. (الناتج النهائي للتيار:  $A = 166.62$ ).

### مثال (2-4) [في الكتاب هو مثال 4-2] ص 33

**نص السؤال:** مولد تيار مستمر توازي، عدد أقطابه 4 والقدرة المقننة 15 كيلو وات عند جهد 125 فولت وسرعة دوران 1150 لفة/دقيقة. مقاومة ملفات المجال 0.15 أوم ومقاومة ملفات المنتج 0.24 أوم. احسب الجهد على أطراف المولد عندما يدور بسرعة 1200 لفة/دقيقة ويغذي الحمل بتيار قيمته 125 أمبير. علماً بأن المجال المغناطيسي قد ارتفع بنسبة 30%. **الحل المختصر:** يتم حساب  $E_a$ , ثم استخدام علاقة التناسب  $E_a \propto \phi n$  لإيجاد  $E_a$ , ومنها يتم حساب الجهد الطرفي الجديد  $V_L$ . (الناتج النهائي للجهد:  $V = 184.3$ ).

### مثال (2-5) [في الكتاب هو مثال 5-2] ص 34

**نص السؤال:** مولد توازي يغذي حمل بتيار قيمته 350 أمبير عند جهد مقداره 240 فولت. فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج والمجال على الترتيب هي 0.02 و 55 أوم. احسب القوة الدافعة المترولة. **الحل المختصر:** يتم حساب تيار المجال  $I_f = V/R_f$ , ثم تيار المنتج  $I_a = I_f + I_a$ , وأخيراً التعويض في قانون الجهد  $E_a = V + I_a R_a$ . (الناتج النهائي:  $V = 247.1$ ).

### مثال (2-6) [في الكتاب هو مثال 6-2] ص 35

**نص السؤال:** مولد تيار مستمر التوازي ملفوف لفا انباتقيا وعدد موصلات المنتج 500 موصل، مقاومة ملفات المنتج 0.01 أوم ومقاومة ملفات المجال 95 أوم، يغذي 200 لمية قدرة كل منها 60 وات عند جهد 120 فولت. أوجد سرعة دوران المولد إذا كان الفيصل المغناطيسي لكل قطب 0.02 وبي. **الحل المختصر:** يحسب التيار الكلي للحمل من القدرة الكلية، ثم يحسب تيار المنتج، ثم القوة الدافعة الكهربائية  $E_a$ . باستخدام قانون القوة الدافعة العام يتم إيجاد السرعة  $n$ . (الناتج النهائي:  $n = 726$  rpm).

newpage\

## محاضرة (8): الفقد والكفاءة في المولدات

(Losses and Efficiency in DC Generators)

مقدمة

عند تحويل الطاقة الميكانيكية الداخلة للمولد إلى طاقة كهربائية على أطرافه، يُفقد جزء من هذه الطاقة، وتتحول الطاقة المفقودة عادة إلى طاقة حرارية في الآلة. والحرارة المتولدة تعمل على تسخين الآلة مما قد يتسبب في تلف المواد العازلة؛ ولذلك يجب الحد من الفقد في الآلة حتى نحصل على معامل جودة (كفاءة) مرتفع، وارتفاع الكفاءة يعني خفض تكاليف التشغيل للآلة.

أثناء تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية بواسطة المولد، يُفقد جزء من الطاقة في الدائرة المغناطيسية وجزء في الدائرة الكهربائية، علاوة على ذلك يُفقد جزء في صورة فقد ميكانيكي (احتكاك).

### أنواع المفaciid في المولد:

1. فقد الدائرة المغناطيسية ( فقد الحديد - **(Iron Losses)** )
  2. فقد الدائرة الكهربائية ( فقد النحاس - **(Copper Losses)** )
  3. فقد ميكانيكي ( **Mechanical Losses** )
- 

### أولاً: المفaciid الحديدية (Magnetic Losses)

وتنقسم إلى:

1. مفaciid التخلفية المغناطيسية ( **Hysteresis Loss** )
2. مفaciid التيارات الدوامية ( **Eddy Current Loss** )

### ثانياً: المفaciid النحاسية (Copper Losses)

وهي المفaciid الناتجة عن مرور التيار في ملفات الآلة، وتنقسم إلى:

1. مفaciid نحاسية في المنتج:  $\$I_a^2 R_a$
2. مفaciid في ملفات المجال:  $\$I_f^2 R_f$  أو  $\$V_f I_f$ . (وهذا الفقد عادة ثابت القيمة في مولدات التواري).
3. فقد نتيجة تلامس الفرش الكربونية:  $\$I_a V_B$  حيث  $\$V_B$ : هو الجهد المفقود نتيجة تلامس الفرش الكربونية (Brush Contact Drop).

### ثالثاً: المفaciid الميكانيكية (Mechanical Losses)

كما تسمى "فقد الاحتراك"، وهي تنشأ نتيجة الاحتراك في الكراسي (Bearing)، واحتراك الفرش، وكذلك مقاومة الهواء (Windage) نتيجة دوران المنتج.

---

### مراحل القدرة للمولد (Power Stages)

القدرة الداخلية للمولد ( $\$P_{in}$ ) هي طاقة حركية من المحرك الأولي (Prime Mover) وتقدر بالحصان ( $\$H.P$ ).

$$\bullet \quad \text{معلوم أن: } \$H.P = 746 \text{ Watt}$$

1. جزء من هذه الطاقة تضيع لتعويض الفقد الميكانيكي والحديدي ( $\$P_{mech} + P_{iron}$ ).

- $P_g = E_a I_a \times P_g = \$P_{in} - (P_{mech} + P_{iron})$
3. عند انتقال  $P_g$  يفقد جزء منها كمفأيد نحاسية  $(\$P_{cu})$ .
4. تكون القدرة المتبقية هي القدرة المستفادة (سقط) أو أحياناً تسمى خرج المولد  $(\$P_{out})$ .

### مخطط انسياط القدرة (Power Flow Diagram)

$$\begin{aligned} P_{in} &\rightarrow \text{Losses (Mech + Iron)} \\ P_g &\rightarrow \text{Losses (Copper)} \\ &\rightarrow \$P_{out} \end{aligned}$$

- $\$P_{in}$ : قدرة الدخل (طاقة ميكانيكية).
- $\$P_g$ : قدرة كهرومغناطيسية (داخل المنتج).
- $\$P_{out}$ : قدرة الخرج (قدرة كهربائية).

### حساب الكفاءة (Efficiency Calculation)

يمكن حساب ثلاثة كفاءات للمولد هي:

1. الكفاءة الميكانيكية ( $\eta_m$ )
$$\eta_m = \frac{P_g}{P_{in}} = \frac{E_a I_a}{H.P \times 746}$$
2. الكفاءة الكهربية ( $\eta_e$ )
$$\eta_e = \frac{P_{out}}{P_g} = \frac{V_L \times I_L}{E_a I_a}$$
3. الكفاءة الكلية ( $\eta_{total}$ ): وهي حاصل ضرب الكفاءتين
$$\eta_{total} = \eta_m \times \eta_e = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_L \times I_L}{H.P \times 746}$$

### أمثلة من المرجع (المنهج السعودي)

تمت الإشارة في المحاضرة إلى مثال (2-8) ص 49 ومثال (2-9) ص 50.

مثال (2-8) [في الكتاب المقرر]:

نص السؤال: مولد تيار مستمر مركب طويل، يدور بسرعة 1000 لفة/دقيقة ويغذي حمل قدرته 45 كيلووات عند جهد 240 فولت. فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج 0.05 أوم ومقاومة التوالى 0.02 أوم ومقاومة التوازي 65 أوم. احسب الكفاءة لهذا المولد إذا كانت المفقودت الحديدية والميكانيكية 3500 وات.

الحل باختصار (للتوسيع):

1. نحسب تيار الحمل:  $I_L = 45000 / 240 = 187.5 A$
2. نحسب تيار المجال (توازي):  $I_{sh} = 240 / 65 = 3.7 A$
3. تيار المنتج:  $I_a = 187.5 + 3.7 = 191.2 A$
4. نحسب المفأيد النحاسية الكلية (منتج + توازي + توالى):  $P_{cu} = I_a^2(R_a + R_{se}) + I_{sh}^2R_{sh} \approx 3448 W$

5. المفaciid الكلية = مفaciid نحاسية + (حديدية وميكانيكية) =  $\$W 6948 = 3500 + 3448$
6. القدرة الداخلية = القدرة الخارجية + المفaciid =  $\$W 51948 = 6948 + 45000$
7. الكفاءة =  $.times 100 \approx 86.6\% \ (51948 / 45000)$

### مثال (2-9) [في الكتاب المقرر]:

**نص السؤال:** مولد مركب قصير عدد أقطابه 8 وملفووف لفا تموجيا، عدد موصلاته 1200 ويدور بسرعة 600 لفة/ دقيقة، تيار المنتج 60 أمبير والفيض المغناطيسي 0.022 وبيير. مقاومة ملفات المنتج 0.06 أوم، مقاومة ملفات التوالي 0.04 أوم و مقاومة ملفات التوازي 250 أوم. أوجد الكفاءة إذا كانت المفقودات الميكانيكية وال الحديدية 4500 وات.

### الحل باختصار:

1. يتم حساب القوة الدافعة الكهربية  $E_a$  من قانون المولد العام  $E_a = \frac{2P}{\phi Z n}$  من قانون المولد العام  $E_a = \frac{2 \cdot 4500}{0.022 \cdot 8 \cdot 60} = 60$  فولت.
2. يتم حساب الجهد والتيار في أفرع المركب القصير وصولاً لتيار الحمل  $I_L$  وجهد الحمل  $V_L$ .
3. تحسب القدرة الخارجية  $P_{out} = V_L I_L$ .
4. تحسب المفaciid النحاسية وتجمع مع المفaciid الثابتة.
5. تحسب الكفاءة  $\%87.6 = \frac{P_{out}}{(P_{out} + Losses)} \cdot 100$ .