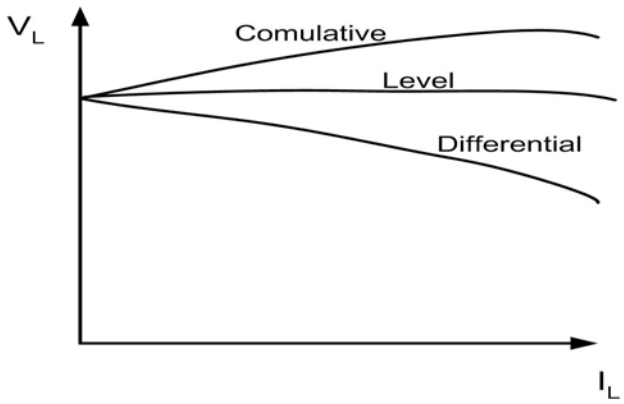
-**مركب مستوى**: تعطي ملفات التوالي مجالا مغناطيسيا يعمل على تعويض أي نقص في عدد خطوط القوى المغناطيسية للمجال المحصل في الثغرة الهوائية نتيجة للمؤثرات المختلفة، مثل رد فعل عضو الاستنتاج، مما يؤدي إلى ثبوت قيمة الجهد الطرفي على الحمل V_L مهما تغيرت قيمة تيار الحمل.

-**مركب فرقي**: تعمل ملفات التوالي على إضعاف المجال المغناطيسي الناشئ عن ملفات التوازي، مما يؤدى الزيادة إلى نقص كبير في عدد خطوط القوى المغناطيسية للمجال المحصل في الثغرة الهوائية كلما زاد تيار الحمل، فينخفض الجهد انخفاضا ملحوظا كما يظهر في شكل ٢ -٢٤.



شكل ٢ -٢٤ منحنى الخواص الخارجية للمولد المركب

٢ -٦ الفقد و الكفاءة لمولدات التيار المستمر Energy Losses and Efficiency of DC Generators

عند تحويل الطاقة الميكانيكية الداخلة للمولد إلى طاقة كهربية على أطرافه، يفقد جزء من هذه الطاقة، وتتحول الطاقة المفقودة عادة إلى طاقة حرارية في الآلة، والحرارة المتولدة تعمل على تسخين الآلة مما قد يتسبب عنه تلف المواد العازلة وحدوث دوائر قصر بين الملفات ويؤدي هذا إلى تدمير الآلة نفسها، 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 كهربية بواسطة المولد، يفقد جزء من الطاقة في الدائرة المغناطيسية وجزء في الدائرة الكهربية، علاوة على ذلك يفقد جزء في صورة فقد ميكانيكي (أو احتكاك). ويمكن تقسيم الفقد في مولدات التيار المستمر إلى ثلاثة أنواع رئيسية.

-فقد الدائرة المغناطيسية (فقد الحديد) Magnetic losses (Iron losses)

- فقد الدائرة الكهربية (فقد النحاس) Electrical losses (Cupper losses)

-فقد ميكانيكي (احتكاك) Mechanical losses (Friction losses)

٢ -٦ -١ فقد الدائرة المغناطيسية (فقد الحديد)

وينقسم هذا الفقد إلى:

-فقد التخلف المغناطيسي Hysteresis loss : ويتناسب هذا الفقد مع التردد داخل المنتج وكثافة الفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية وتعطى بالعلاقة:

$$W_h = B_g^{1.6} f \quad \text{٢٤}$$

-فقد التيارات الدوامية (الإعصارية) Eddy current loss: ويمثل هذا الفقد بالعلاقة التالية

$$W_e = B_g^2 f \quad \text{٢٥}$$

ويوجد الفقد الحديدي في الأجزاء من الآلة التي تتعرض لمجال مغناطيسي متغير مع الزمن وينصب هذا على عضو الاستنتاج نتيجة لدورانه في مجال الأقطاب. وهذا الفقد عادة ثابت القيمة في مولدات التوازي والمولدات المركبة، حيث إن المجال لهذه الآلات تقريبا ثابت.

لا يعتمد على قيمة الحمل او تيار الحمل

٢ -٦ -٢ فقد النحاس وينشأ هذا الفقد نتيجة لمرور تيار في أجزاء الدائرة الكهربية المختلفة ويطلق أيضا عليها مفقودات مربع التيار وحسابها يكون لكل جزء على حدة بضرب مربع التيار المار في هذا الجزء في مقاومة الجزء نفسه، وينقسم هذا الفقد إلى:

P=V*I
P=V^2/R
P=I^2 *R

- فقد النحاس في المنتج:

$$\text{Armature cupper loss} = I_a^2 R_a$$

وينشأ هذا الفقد في المنتج وملفات أقطاب التوحيد وملفات التعويض إن وجدت

- الفقد في ملفات المجال:

لأنه يمر فيهم نفس التيار تيار المنتج Ia

$$\text{For shunt machine} = I_{sh}^2 R_{sh} (\text{or } VI_{sh})$$

وهذا الفقد عادة ثابت.

$$\text{For series machine} = I_{se}^2 R_{se}$$

-الفقد نتيجة تلامس مقاومة الفرش:

$$\text{Loss due to brush contact resistance} = I_a V_B$$

حيث V_B هو الجهد المفقود نتيجة تلامس الفرش، وعادة هذا الفقد يدخل مع فقد المنتج.

٢ -٦ -٣ الفقد الميكانيكي

أو كما يسمى فقد الاحتكاك، وهو ينشأ نتيجة الاحتكاك في الكراسي (bearing)، واحتكاك الفرش وكذلك مقاومة الهواء نتيجة دوران المنتج. ويتوقف هذا الفقد على سرعة دوران المنتج ومساحة السطح الخارجي وكذلك معامل الاحتكاك بين مجموعات الفرش وعضو التوحيد.

(input power (mech)>>>(output power (elec))

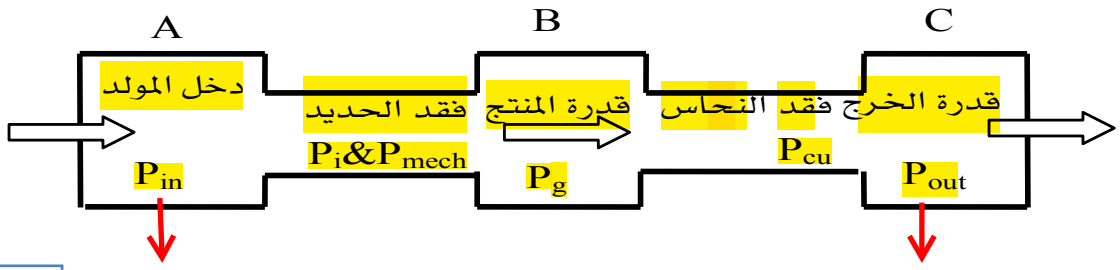
٢ -٦ -٤ مراحل القدرة للمولد

مما سبق نعلم بأن المولد وسيلة لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربية ولهذا يوصل المولد بمحرك أولى (Prime mover) مثل آلة احتراق داخلية مثلا أو تور بينة والتي تعطى المولد قدرة أولية في صوره طاقة حركة سنطلق عليها دخل المولد Input power كما هو موضح في شكل ٢ -٢٥، وهذه القدرة الداخلة تكون بالحصان H.P ، والعلاقة بين الحصان والوات كما يلي: H.P=٧٤٦ Watt. جزء من هذه القدرة تضيع من تعويض الفقد الميكانيكي P_{mech} والفقد الحديدي P_i والباقي يتحول إلى قدرة كهرومغناطيسية P_g حيث إن P_g هي قدرة المولد (أي قدرة المنتج) وتعطى بالعلاقة:

$$P_g=E_a I_a$$

$$P_g=P_{in}-(P_{mech}+P_i) \qquad ٢٦$$

عند انتقال القدرة إلى المنتج P_g يفقد من هذه القدرة جزء كمفاقيد نحاسية وتكون القدرة المتبقية هي القدرة المستفادة من المولد أو كما تسمى أحيانا خرج المولد P_{out} أو خرج الحمل P_L . ويعطى شكل ٢ - ٢٦ مخطط انسياب القدرة في مولدات التيار المستمر.

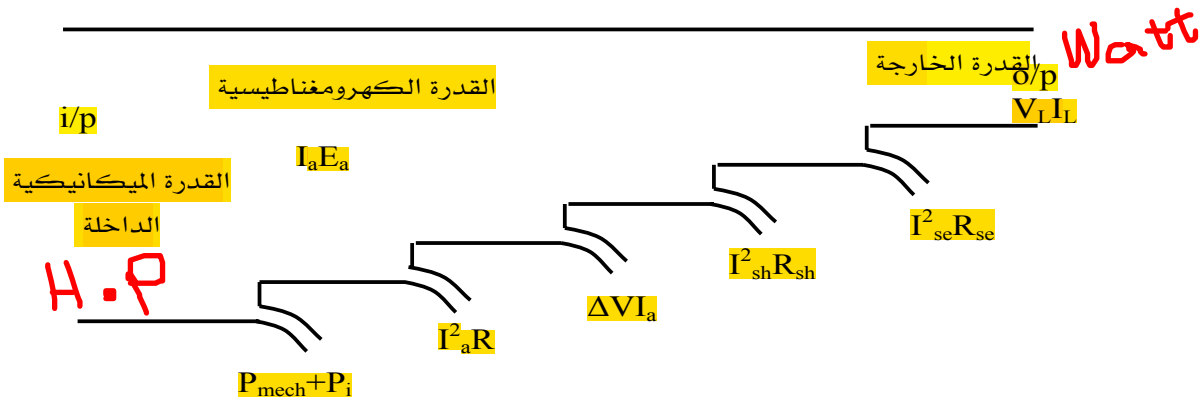


H.P=746 watt

H.P

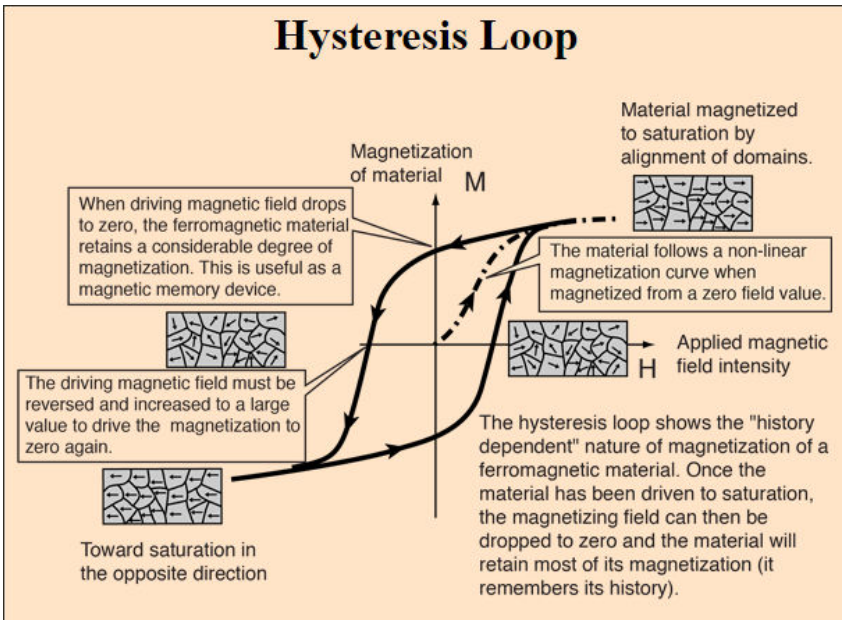
Watt

شكل ٢ -٢٥ مراحل القدرة لمولدات التيار المستمر



شكل ٢ -٢٦ مخطط انسياب القدر

لمولدات التيار المستمر



hysteresis losses

عند مرور التيار في الملفات ينشأ مجال مغناطيسي يسبب تمغنط قلب المنتج ويكون اتجاه التمغنط للقلب في نفس اتجاه المجال المغناطيسي بسبب أنه صار ممغنطاً وهكذا نجد المجال المغناطيسي حول الملفات يزداد واتجاه التمغنط أيضاً متغير في ذلك القلب.

مفاقيد التخلف المغناطيسي تعتمد غالباً على نوع مادة القلب المستعملة والمواد التي تحتفظ بجزء كبير من تلك المغناطيسية بعد أن تزول القوة المغناطيسية تكون لها مفاقيد تخلف عالية ويقال أن هذه المواد لها مغناطيسية متبقية مرتفعة
لتقليله يصنع قلب المنتج من فولاذ السيليكون الذي يزيل المغناطيسية المتبقية عند ازالة مصدر التغذية ..

٢ -٦ -٥ حساب الكفاءة أو معامل الجودة Efficiency

بالرجوع إلى مراحل انتقال القدرة داخل مولد التيار المستمر، يمكن حساب ثلاث كفاءات وهي كالتالي:

-الكفاءة الميكانيكية:

$$\eta_m = \frac{B}{A} = \frac{E_a I_a}{HP * 746}$$ ٢٧

-الكفاءة الكهربية:

$$\eta_e = \frac{C}{B} = \frac{V_L I_L}{E_a I_a}$$ ٢٨

-الكفاءة الكلية:

$$\eta = \frac{o/p}{i/p} = \eta_m \eta_e = \frac{C}{A} = \frac{V_L I_L}{HP * 746}$$ ٢٩

أيضا يمكن حساب الكفاءة الكلية من العلاقات

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + losses}$$ ٣٠

$$\eta = \frac{P_{in} - losses}{P_{in}}$$ ٣١

مثال ٢ -٨ مولد تيار مستمر مركب طويل، يدور بسرعة ١٠٠٠ لفه/دقيقة ويغذى حمل قدرته ٤٥ كيلووات عند جهد ٢٤٠ فولت.، فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج ٠,٠٥ أوم ومقاومة التوالي ٠,٠٢ أوم ومقاومة التوازي ٦٥ أوم. احسب الكفاءة لهذا المولد إذا كانت المفقودات الحديدية والميكانيكية ٣٥٠٠ وات.

الحل

n=١٠٠٠ rpm P_{out}=٤٥ Kw V_L=٢٤٠ V R_a=٠,٠٥Ω R_{se}=٠,٠٢Ω R_{sh}=٦٥Ω

P_i+P_{mech}=٣٥٠٠ W

$$I_L = \frac{P_{out}}{V_L} = \frac{45 * 10^3}{240} = 187.5\ A$$

$$I_{sh} = \frac{V_{sh}}{R_{sh}} = \frac{V_L}{R_{sh}} = \frac{240}{65} = 3.7\ A$$

$I_a=I_L+I_{sh}$=١٨٧,٥+٣,٧=١٩١,٢ A

معادلات الجهد والتيار للمولد القصير:

$E_a = V_L + I_a R_a + I_L R_{se}$ ١٦

$I_a = I_L + I_{sh}$ ١٧

$I_{se} = I_L$ ١٨

Vsh=Vse+VL
Ish*Rsh=Ise*Rse+VL
Ish=(IL*Rse+VL)/Rsh

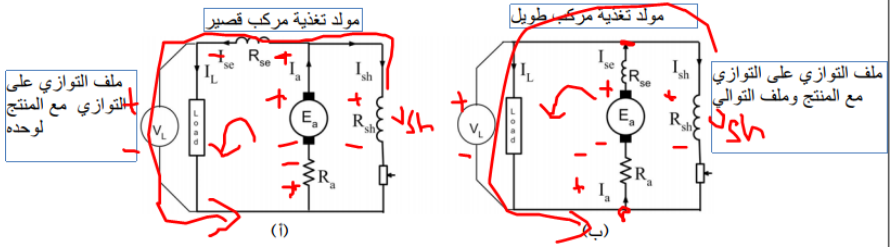
معادلات الجهد والتيار للمولد الطويل:

$E_a = V_L + I_a(R_a + R_{se})$ ١٩

$I_a = I_L + I_{sh}$ ٢٠

$I_{se} = I_a$ ٢١

Vsh=VL
Ish=Vsh/Rsh=VL/Rsh



$P_{cu}=I^2_aR_a+I^2_aR_{se}+I^2_{sh}R_{sh}=I^2_a(R_a+R_{se})+I^2_{sh}R_{sh}$

$=(١٩١,٢)^2*(٠,٠٥+٠,٠٢)+(٣,٧)^2*٦٥=٣٤٤٨,٨٧$ W

$Losses=P_{cu}+P_i+P_{mech}$

$=٣٤٤٨,٨٧+٣٥٠٠=٦٩٤٨,٨٧$ W

$$\eta=\frac{P_{out}}{P_{out}+Losses}=\frac{45*10^3}{45*10^3+6948.87}=0.866=86.6\%$$

مثال ٢ -٩- مولد مركب قصير عدد أقطابه ٨ وملفوف لفا تموجيا ، عدد موصلاته ١٢٠٠ ويدور بسرعة ٦٠٠ لفه/دقيقة ، تيار المنتج ٦٠ أمبير والفيض المغناطيسي لكل قطب ٠,٠٢٢ ويبر. مقاومة ملفات المنتج ٠٦ ,أوم ، مقاومة ملفات التوالي ٠,٠٤ أوم ومقاومة ملفات التوازي ٢٥٠ أوم. أوجد الكفاءة إذا كانت المفقودات الميكانيكية والحديدية ٤٥٠٠ وات.

الحل

$2p=٨$ $2a=٢$ [wave winding] $Z_a=١٢٠٠$ $n=٦٠٠$ rpm $I_a=٦٠$ A $\Phi=٠,٠٢٢$ wb

$R_a=٠,٠٦\Omega$ $R_{se}=٠,٠٤\Omega$ $R_{sh}=٢٥٠\Omega$ $P_i+P_{mech}=٣٥٠٠W$

$$E_a=\frac{2p}{2a}\phi Z_a n/60$$

$$E_a=\frac{8}{2}*0.022*1200*600/60=1056\,V$$

$E_a=V_a+I_aR_a$

$V_a=E_a-I_aR_a=١٠٥٦-٦٠*٠,٠٦=١٠٥٢,٤$ V

$$I_{sh}=\frac{V_a}{R_{sh}}=\frac{1052.4}{250}=4.21\,A$$

$I_L=I_a-I_f=٦٠-٤,٢١=٥٥,٧٩$ A

$V_L=V_a-I_LR_{se}=١٠٥٢,٤-٥٥,٧٩*٠,٠٤=١٠٥٠,١٦$ V

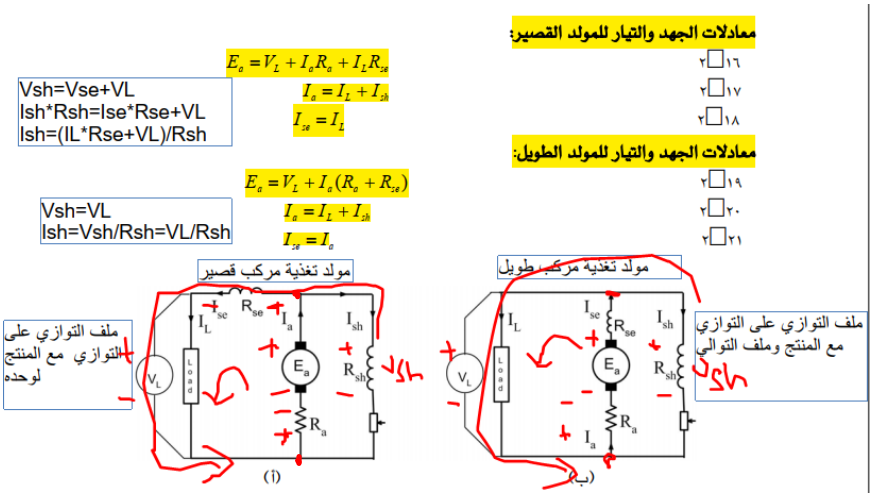
$P_{out}=V_LI_L=١٠٥٠,١٦*٥٥,٧٩=٥٨٥٨٩$ W

$P_{cu}=I^2_aR_a+I^2_LR_{se}+I^2_{sh}R_{sh}$

$=(٦٠)^2*٠,٠٦+(٥٥,٧٩)^2*٠,٠٤+(٤,٢١)^2*٢٥٠=٤٧٧١,٥$ W

$losses=P_{cu}+P_i+P_{mech}=٤٧٧١,٥+٣٥٠٠=٨٢٧١,٥$ W

$$\eta=\frac{P_{out}}{P_{out}+Losses}=\frac{58589}{58589+8271.5}=0.876=87.6\%$$



أسئلة وتمارين على الوحدة الثانية

١ - اذكر استخدامات مولدات التيار المستمر.

٢ - اشرح موضحا بالرسم تركيب آلة التيار المستمر ونظرية عملها.

٣ - ما هي طرق اللف المختلفة لآلة التيار المستمر؟ وضح بالرسم التخطيطي إحدى الطرق.

٤ - ما هي وظيفة ملفات المجال في آلات التيار المستمر؟ وهل يمكن توليد قوة دافعة كهربية بدونها؟

٥ - صنف آلات التيار المستمر من حيث طرق تغذية المجال.

٦ - وضح بالرسم التخطيطي مولد تيار مستمر أ - توازي ب - مركب مع كتابة معادلات الجهد والتيار في كل حالة.

٧ - ماذا يقصد برد فعل المنتج؟ وما هو تأثيره على الجهد المتولد؟

٨ - كيف يمكن التغلب على رد فعل المنتج؟

٩ - اشرح منحنيات الخواص لمولد تيار مستمر أ -منفصل التغذية ب -توالي.

١٠ - اذكر أنواع المفقودات لمولد التيار المستمر.

١١ - وضح بالرسم مخطط انسياب القدرة في مولدات التيار المستمر.

١٢ - مولد تيار مستمر منفصل التغذية، القوة الدافعة الكهربية المتولدة ٢٣٠ فولت عند سرعة دوران ١٠٠٠ لفة/دقيقة وتيار مجال ١,٢٥ أمبير. أوجد: - القوة الدافعة إذا تغيرت السرعة إلى ١٢٠٠ لفة/دقيقة وتيار المجال إلى ١,١ امبير. -السرعة إذا كانت القوة الدافعة ٢١٠ فولت وتيار المجال ١,٢ أمبير. - تيار المجال عند سرعة ١٢٠٠ لفة/دقيقة وقوة دافعة ٢٠٥ فولت.

١٣ - إذا كانت القوة الدافعة الكهربية المتولدة في مولد تيار مستمر منفصل التغذية ١٢٠ فولت، أوجد هذه القوة الدافعة إذا قلت السرعة إلى ٩٥٪ وازداد تيار المجال إلى ١١٠٪ من قيمهم المقننة عند جهد ١٢٠ فولت.

١٤ - مولد تيار مستمر منفصل التغذية قدرته ٣٠ ك.وات وجهده ٢٥٠ فولت، ومقاومة ملفات المنتج ١٢٥, أوم. أوجد تيار المنتج عند الجهد المقنن وقوة دافعة مقدارها ٢٦٥ فولت. وإذا انخفض تيار المنتج إلى ١٠٥ أمبير مع ثبوت القوة الدافعة المتولدة ، أوجد القدرة المغذية للحمل.

١٥ - مولد تيار مستمر توازي ٨ أقطاب يحتوي على ٩٦٠ موصل وملفوف لف تموجي، يدور بسرعة ٥٠٠لفة/دقيقة يغذي حمل ٦,٥ أوم عند جهد ٢٨٠ فولت فإذا كانت مقاومة المنتج ٢٥,. أوم ومقاومة ملفات المجال ١٧٥ أوم أوجد: أ -تيار المنتج ب -القوة الدافعة الكهربية المتولدة جـ - الفيض المغناطيسي لكل قطب.

١٦ - مولد تيار مستمر توازي ٤ أقطاب، مقاومة المنتج وملفات المجال هى ٨,. أوم، ١٠٠ أوم على الترتيب، ويحتوي على ٣٠٠ موصل وملفوف لف انطباقي، فإذا كان الفيض المغناطيسي لكل قطب ٠,٠٣ ويبر، ومقاومة الحمل ١٢ أوم وسرعة الدوران ١٠٠٠ لفة/دقيقة أوجد قدرة الخرج للمولد.

١٧ - مولد مركب طويل ٤ أقطاب ملفوف لف انطباقي يغذي حمل ٢٥ ك.وات عند جهد أطراف ٥٠٠ فولت، فإذا كانت مقاومة المنتج ٠,٠٣ أوم ومقاومة ملفات التوالي ٠,٠٤ أوم ومقاومة ملفات التوازي ٢٠٠ أوم أوجد: أ -القوة الدافعة الكهربية ب -عدد الموصلات إذا كانت سرعة الدوران ١٢٠٠ لفة/دقيقة والفيض المغناطيسي لكل قطب ٠,٠٢ ويبر.

١٨ - مولد مركب قصير ٢٥٠ فولت يغذي حمل بتيار مقداره ٨٠ أمبير فإذا كانت مقاومة المنتج، وملفات التوالي وملفات التوازي هي ٠,٠٥. أوم، ٠,٠٣ أوم، ١٠٠ أوم على الترتيب، أوجد القوة الدافعة الكهربية المتولدة.

١٩ - مولد تيار مستمر توالي عندما يدور بسرعة ١٥٠٠ لفة/دقيقة يعطي تيار مقداره ٣٠ أمبير ويكون الجهد على أطرافه ١٥٠ فولت، كم سيكون الجهد على الأطراف إذا دار بسرعة ١٨٠٠ لفة/دقيقة وزاد التيار إلى ٦٠ أمبير؟ مع العلم بأن زيادة التيار إلى ٦٠ أمبير تزيد التدفق بمقدار ٥٠٪ وأن مقاومة المنتج والمجال هي ١ , أوم، ١٥,. أوم على الترتيب.

٢٠ - مولد مركب طويل يدور بسرعة ١٠٠٠ لفة/دقيقة ويغذي حمل ٢٥ ك. وات عند جهد ٢٥٠ فولت فإذا كانت مقاومة المنتج، وملفات التوالي وملفات التوازي هي ٠,٠٥ أوم ، ٠,٠٦ أوم ، ١١٠ أوم على الترتيب ،والكفاءة عند الحمل الكامل ٨٨٪ أوجد: أ -المفقودات النحاسية ب -المفقودات الحديدية والميكانيكية.

٢١ - مولد تيار مستمر مركب قصير يدور بسرعة ١٠٠٠ لفة/دقيقة ويغذي حمل قدرته ٤٥ كيلووات عند جهد ٢٤٠ فولت، فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج ٠,٠٥ أوم ومقاومة التوالي ٠,٠٢ أوم ومقاومة التوازي ٦٥ أوم احسب الكفاءة لهذا المولد إذا كانت المفقودات الحديدية والميكانيكية ٣٥٠٠ وات