

المولدات المتزامنة (التوافقية)

الباية الأولى

تعريفها :-

هي مولدات تستخدم في محطات التوليد الكهربائية لتحويل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية وترتبط سرعة دورانها بتردد الشبكة المغذية لها حيث أنها تدور بالسرعة التوافقية (N_s).

F ← تردد الشبكة

$$N_s = \frac{60 F}{P}$$

P ← عدد أزواج الأقطاب

من العلاقة السابقة يتضح أن : سرعة دوران المولد تتناسب طرئاً مع التردد وتتناسب عكسياً مع عدد أزواج الأقطاب المغناطيسية بالمولد ويجب أن يكون عدد الأقطاب زوجياً.

التركيب :-

يتكون المولد التزامني من جزئين رئيسيين هما :-

(١) العضو الثابت :-

هو عضو الإستهلاك أو المنتج ويتكون من هيكل خارجي وغطاءان جانبيين ويثبت بالسطح الداخلي له شرائح دائرية من الحديد معزولة عن بعضها بطبقة من الورنيش لتقليل التيارات الدوامية وبهذه الشرائح فتحات طولية تسمى المجاري وتوضع بها ملفات العضو الثابت والتي تكون ملف واحد فقط في حالة المولد أحادي الوجه أو

مقسمة إلى ثلاثة مجموعات متساوية من الملفات للأوجه الثلاثة في حالة المولد ثلاثي الأوجه وتوصل هذه الملفات عادةً على شكل نجمة مع توصيل نقطة التعادل بالأرضي للأمان.

(٢) العضو الدوار :-

هو الأقطاب المغناطيسية ويتكون من جسم إسطواني يوضع عليه ملفات المجال لتوليد مجال مغناطيسي ثابت القيمة عند تغذية هذه الملفات بتيار مستمر ويثبت هذا العضو على عمود الدوران ويوجد نوعان للعضو الدوار وهما :-

أ- العضو الدوار ذو الأقطاب البارزة :-

يستخدم هذا النوع في حالة المولدات ذات السرعات المنخفضة التي تدار بواسطة التوربينات المائية أو ماكينات الديزل ولذلك يكون عدد الأقطاب كبير وقطر عمود الدوران كبير وطول عمود الدوران صغير.

ويعيب هذا النوع حدوث صغير مزعج وزيادة المفاهيم الميكانيكية نتيجة اصطدام الأقطاب البارزة بالهواء وكذلك لا يتحمل الإجهادات الميكانيكية لقصر طول عمود الدوران.

ب- العضو الدوار ذو الأقطاب الغاطسة :- (الأسطوانى)

يستخدم هذا النوع في حالة المولدات ذات السرعات العالية التي تدار بواسطة التوربينات البخارية ولذلك يكون عدد الأقطاب قليل وقطر عمود الدوران صغير وطول عمود الدوران كبير.

ويميز هذا النوع أنه لا يوجد به صغير وقلة المفاهيم الميكانيكية وكذلك يتحمل الإجهادات الميكانيكية.



نظرية العمل :-

عند تغذية ملفات المجال الموجودة على العضو الدوار من مصدر تيار مستمر يتولد مجال مغناطيسى يدور بالسرعة التزامنية بسبب دوران العضو الدوار بنفس السرعة ويعبر هذا المجال الثغرة الهوائية الموجودة بين العضوين ويقطع ملفات العضو الثابت ويولد على أطرافها قوة دافعة كهربائية مترددة (ف.د.ك) وبذلك يتم تحويل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية.

تصنيف المولدات المتزامنة من حيث السرعة :-

١- مولدات ذات سرعة منخفضة ويكون عدد الأقطاب كبير والقدرة المتولدة منها منخفضة.

٢- مولدات ذات سرعة عالية ويكون عدد الأقطاب قليل والقدرة المتولدة منها عالية.

تصنيف المولدات المتزامنة من حيث طريقة إدارتها :- (حسب نوع المحرك الأولي)

- ١ - مولدات توربينية وتدار بواسطة توربينات بخارية وهي ذات قطبين ولها سرعة كبيرة وقدرة عالية.
- ٢ - مولدات هيدروليكية وتدار بواسطة توربينات مائية ويكون عدد الأقطاب كبير نسبياً ونقل السرعة والقدرة المتولدة.
- ٣ - مولدات الديزل وتدار بواسطة آلة الاحتراق الداخلي ويكون عدد الأقطاب كبير جداً وتنخفض سرعتها وقدرتها جداً.

مميزات تركيب المنتج على العضو الثابت :-

- (١) زيادة الجهد المتولد نتيجة استخدام عدد كبير من الملفات بسبب كبر قطر العضو الثابت.
- (٢) يفضل من ناحية الأمان أخذ التيار من العضو الثابت بدلاً من حلقات الإنزلاق الموجودة على العضو الدوار نظراً لكبر التيار المسحوب من الآلة.
- (٣) تقليل عدد حلقات الإنزلاق إلى اثنين فقط على العضو الدوار لأن التيار المار في ملفات المجال تيار مستمر.
- (٤) سهولة تبريد ملفات المنتج وهي ثابتة.
- (٥) دوران تيار المجال أقل خطراً من دوران ملفات المنتج نظراً لصغر تيار المجال .

طرق تغذية الأقطاب بالعضو الدوار :-

- (١) التغذية بواسطة نظام الإثارة (المثير) الذي يثبت مع عمود دوران المولد التزامني ويتم توصيل أطراف ملفات المجال مع أطراف نظام الإثارة من خلال حلقات إنزلاق وفرش كربونية.
 - (٢) التغذية بواسطة دوائر التوحيد حيث يتم توصيل أطراف ملفات المجال مع أطراف خرج دائرة التوحيد من خلال حلقات إنزلاق وفرش كربونية.
- أنواع نظام الإثارة (المثير) :-

هو عبارة عن مصدر للتيار المستمر يمكن تغييره للتحكم في تيار المجال للمولد المتزامن وله ثلاثة أنواع هي :

(١) نظام الإشارة للتيار المستمر :-

يستخدم منظم الجهد الذي يستقبل إشارة جهد وتيار من خرج المولد المتزامن عن طريق محول جهد ومحول تيار في التحكم في تيار المجال لمولد التيار المستمر والذي بدوره يتحكم في تيار المجال للمولد المتزامن.



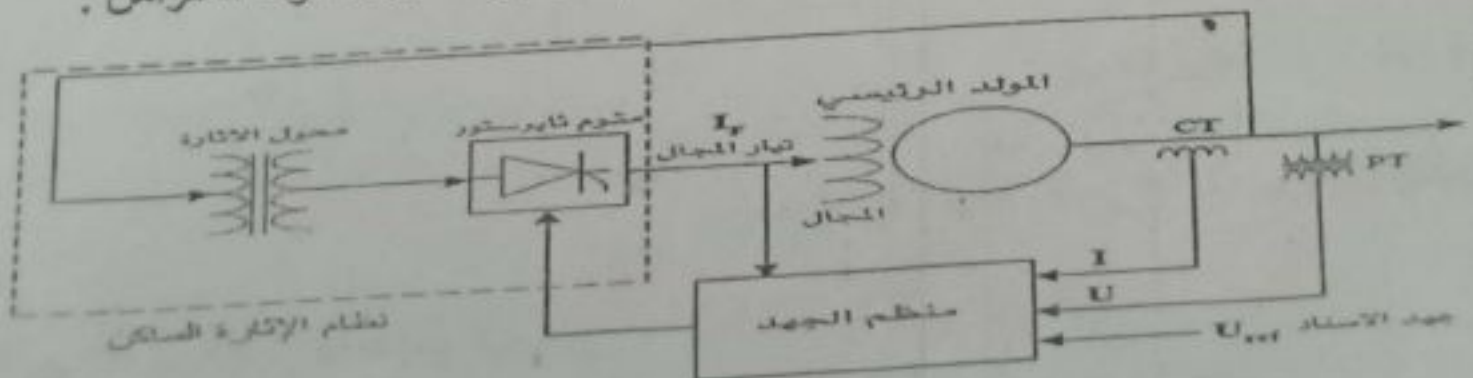
(٢) نظام الإشارة للتيار المتردد :-

يستخدم منظم الجهد الذي يستقبل إشارة جهد وتيار من خرج المولد المتزامن عن طريق محول جهد ومحول تيار في التحكم في موحد محكوم يستخدم كمنظية خلفية للتحكم في تيار المجال لمولد تيار متردد والذي بدوره يتحكم في تيار المجال للمولد المتزامن بعد توحيد التيار المتولد منه بواسطة موحد غير محكوم.



(٣) نظام الإشارة الساكن :-

يستخدم منظم الجهد الذي يستقبل إشارة جهد وتيار من خرج المولد المتزامن عن طريق محول جهد ومحول تيار في التحكم في موحد محكوم يأخذ التيار من محول يتغذى من خرج المولد المتزامن ويكون خرج الموحد المحكوم هو تيار المجال للمولد المتزامن.



معادلة (ق. د. ك) المتولدة :-

$$e_c = 2 \varphi F$$

$$\therefore e_{ph} = 2 F \varphi Z_{ph}$$

$$\therefore e_{ph} = 4 F \varphi T_{ph}$$

(ق. د. ك) المتوسطة لكل موصل

وإذا كان عدد الموصلات لكل وجه هو (Z_{ph})

وإذا كان عدد الملفات لكل وجه هو (T_{ph})

حيث :

$$(Z_{ph} = 2 T_{ph})$$

$F \leftarrow$ التردد & $\varphi \leftarrow$ الفيض المغناطيسى

العوامل المؤثرة على (ق. د. ك) المتولدة :-

(١) معامل الشكل (K_f) :-

هو النسبة بين القيمة الفعالة والقيمة المتوسطة للـ (ق. د. ك) المتولدة وهو قيمة ثابتة تساوي (1.11).

$$K_F = \frac{E_{ph}}{e_{ph}} = 1.11$$

(٢) معامل التوزيع (K_d) :-

تعتمد قيمته على توزيع الملفات في المجاري وتحسب قيمته كالآتي :-

$$K_d = \frac{\sin(q \alpha / 2)}{q \sin(\alpha / 2)} \quad q = \frac{S}{(2P)(m)} \quad \alpha = \frac{180 \times 2P}{S}$$

$\alpha \rightarrow$ زاوية المجرى الواحدة & $q \rightarrow$ عدد المجاري لكل قطب لكل وجه

$m \rightarrow$ عدد الأوجه & $S \rightarrow$ عدد المجاري الكلية & $2P \rightarrow$ عدد الأقطاب الكلية

(٣) معامل خطوة اللف (التقصير) (K_c) :-

تعتمد قيمته على خطوة اللف ومقدار التقصير في خطوة اللف للتوفير في كمية النحاس المستخدم في الملفات وتحسب قيمته كالآتي :-

$$K_c = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

$\theta \leftarrow$ زاوية التقصير

وبذلك تكون معادلة (ق. د. ك) الفعالة كما يلي :-

$$E_{ph} = 2.22 F \varphi Z_{ph} K_c K_d = 4.44 F \varphi T_{ph} K_c K_d$$

ملحوظة هامة :-

$$Z_{ph} = \frac{Z_s \cdot S}{m}$$

Z_s ← عدد الموصلات في المجرى الواحدة

$$T_{ph} = \frac{T_s \cdot S}{m}$$

T_s ← عدد الملفات في المجرى الواحدة

$$K_c = \cos(\theta/2)$$

ملاحظات هامة لحساب (K_c) :-

• إذا كانت خطوة الملف خطوة كاملة يكون :

$$\theta = 0 \rightarrow \therefore K_c = 1$$

• إذا كانت خطوة الملف تساوي (λ) يكون :

$$\theta = 180 - \lambda$$

• إذا كانت خطوة الملف نسبة (k) من الخطوة الكاملة يكون :

$$\lambda = 180 K \rightarrow \therefore \theta = 180 - \lambda$$

• إذا كان الملف يحصر بين جوانبه عدد (n) من المجاري يكون :-

$$\lambda = n \cdot \alpha \rightarrow \therefore \theta = 180 - \lambda$$

• إذا كانت الخطوة الفعلية للملف من المجرى رقم (1) إلى المجرى رقم (n) يكون :-

$$\lambda = (n - 1) \alpha \rightarrow \therefore \theta = 180 - \lambda$$

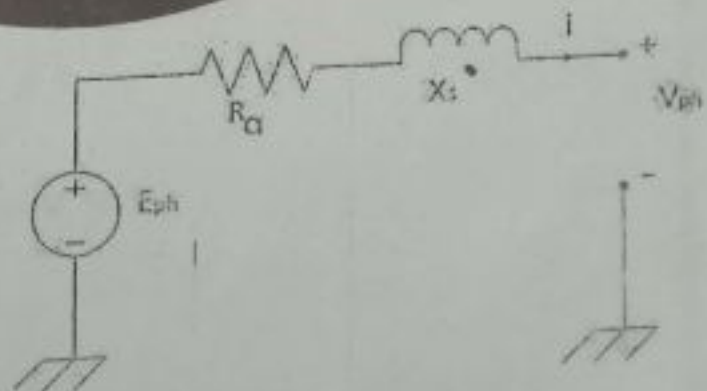
$$\theta = n \cdot \alpha$$

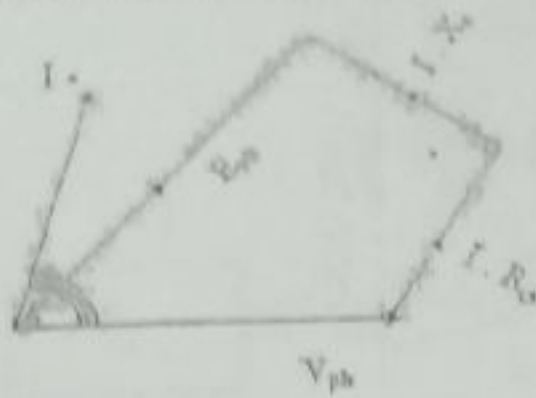
• إذا قصرت الملفات بمقدار (n) من المجاري فيكون :-

الدائرة الكهربائية المكافئة للمولد المتزامن :-

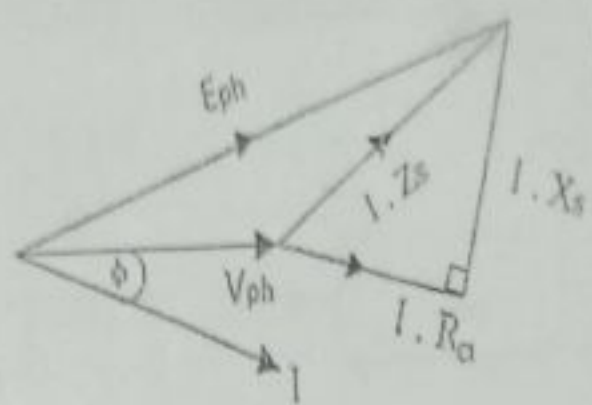
$$Z_s = R_a + jX_s = \sqrt{R_a^2 + X_s^2}$$

$$E_{ph} = V_{ph} + I R_a + j I X_s$$





الحمل السعوى (تقدم)



الحمل الحثى (تأخر)

من المتجهات :-

$$\therefore E_{ph} = \sqrt{(V_{ph} \cos \phi + I.R_a)^2 + (V_{ph} \sin \phi \pm I.X_s)^2}$$

R_a & X_s : المقاومة والممانعة التراسمة للعنصر الثالث

E_{ph} : قوة كه المتولدة أو جهد التلحصيل للترج

V_{ph} & I : جهد ولتاير الفرج أو جهد وثاير الحمل الكامل للوجه

الإشارة (+) (إذا كان الحمل تأخر حثى) والإشارة (-) (إذا كان الحمل تقدم سعوى).
القدرة والعزم في المولد المتزامن :-

نظراً لطرف مقاومة المنتج (R_a) بالنسبة إلى الممانعة التزامنية (X_s) فأنه يتم إهمالها وتصبح معادلة وبذلك الفعالة كما يلي :-

$$\overline{E_{ph}} = \overline{V_{ph}} + jI.X_s = \sqrt{(I.X_s \cos \phi)^2 + (V_{ph} \pm I.X_s \sin \phi)^2}$$

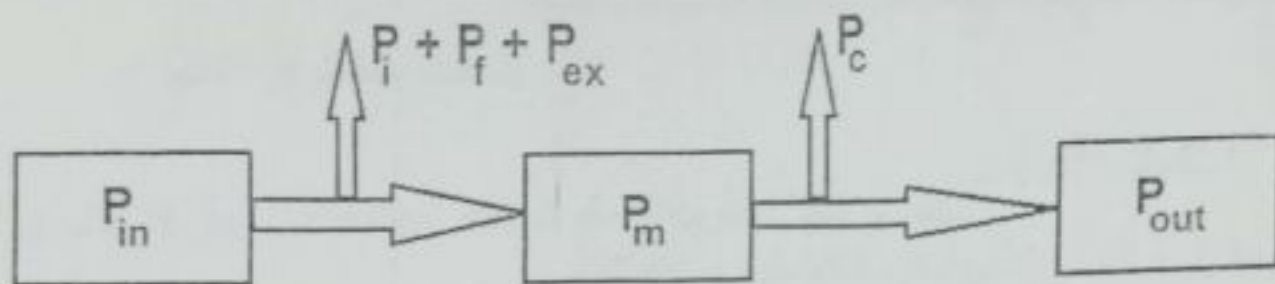
وتكون معادلات القدرة (P) والعزم (T) كما يلي :

$$P = 3 V_{ph} \cdot I \cdot \cos \phi = \frac{3 V_{ph} E_{ph}}{X_s} \sin \delta = P_{max} \cdot \sin \delta$$

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{3 V_{ph} I \cos \phi}{\omega} = \frac{3 V_{ph} E_{ph}}{\omega \cdot X_s} \sin \delta = T_{max} \cdot \sin \delta$$

حيث : δ ← زاوية الحمل وهى الزاوية المحصورة بين (E_{ph} & V_{ph})

المخطط الصندوقي للقوة في المولدات المتزامنة :-



$$P_{in} = P_{out} + P_{losses} = P_{out} + P_i + P_f + P_{ex} + P_c$$

$$P_m = P_{in} - (P_i + P_f + P_{ex}) = P_{out} + P_c = 3E_{ph} \cdot I_{ph} \cdot \cos(\delta \pm \varphi)$$

$$P_{out} = P_m - P_c = 3V_{ph} \cdot I_{ph} \cdot \cos \varphi = \sqrt{3}V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad \& \quad P_c = 3I_{ph}^2 R_a$$

$$P_m = 3E_{ph} \cdot I_{ph} \cdot \cos(\delta \pm \varphi)$$

الإشارة الموجبة إذا كان معامل القدرة تاخر والإشارة السالبة إذا كان معامل القدرة تقدم.

حيث : P_{in} & P_{out} & P_m ← قدرة دخل وخرج المولد والقدرة الميكانيكية للمولد

P_i & P_f & P_{ex} & P_c ← المفاقيد الحديدية والإحتكاكية والخارجية والنحاسية

التنظيم في الجهد للمولد المتزامن (Reg) :-

هو مقدار التغير في الجهد على طرفي المولد من حالة اللاحمل إلى حالة الحمل الكامل بالنسبة إلى جهد الحمل الكامل. أي أن :-

$$Reg = \frac{E_{ph} - V_{ph}}{V_{ph}} \times 100$$

حساب التنظيم عملياً بطريقة المعاوقة المتزامنة :-

يتم ذلك بالخطوات التالية :-

(١) تجربة اللاحمل :-

تستخدم هذه التجربة لرسم العلاقة البيانية بين تيار المجال (I_F) وقيمة (ق.د.ك) المستنتجة عند اللاحمل (E_{ph}) كالآتي :-

- (١) يدار المولد بالسرعة المقننة له
- (٢) تغذي ملفات المجال (القطاب) من منبع تيار مستمر
- (٣) نغير تيار المجال تدريجياً ونسجل قراءة الجهد
- (٤) نرسم العلاقة البيانية بين (E_{ph}, I_F).



(٢) تجربة القصر :-

تستخدم هذه التجربة لرسم العلاقة البيانية بين تيار المجال (I_F) وتيار القصر ($I_{s.c}$) بنفس الخطوات السابقة مع عمل قصر على أطراف العضو الثابت بواسطة جهاز الأميتر بدلاً من جهاز الفولتميتر.



(عند ما تكون الدائرة مغلقة)

(٣) عند قيمة معينة (I_F) نستنتج جهد اللاحمل ($V_{o.c}$) وتيار القصر ($I_{s.c}$) المقابل لهذه القيمة ونحسب قيمة المعاوقة المتزامنة (Z_s) حيث :-

$$Z_s = \frac{V_{o.c}}{I_{s.c}}$$

(٤) لحساب قيمة المقاومة (R_a) نصل دائرة العضو الثابت بمنبع تيار مستمر ونقيس الجهد والتيار ونحسب قيمة (R_a) حيث :-

$$R_a = \frac{V_{d.c}}{I_{d.c}} \rightarrow \therefore X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_a^2}$$

(٥) بمعلومية (R_a & X_s) يتم إيجاد قيمة (E_{ph}) ومنها يتم إيجاد قيمة التنظيم كما يلي :

$$\therefore E_{ph} = \sqrt{(V_{ph} \cos \varphi + I \cdot R_a)^2 + (V_{ph} \sin \varphi \pm I \cdot X_s)^2}$$

$$\therefore Reg = \frac{(E_{ph} - V_{ph})}{V_{ph}}$$

مميزات تشغيل المولدات المتزامنة على التوازي (عملية التزامن) :-

- (١) تغذية احمال اكبر.
- (٢) قلة الأعطال.
- (٣) عدم قطع الطاقة الكهربائية عن الأحمال عند إجراء عمليات الصيانة.
- (٤) كفاءة أكبر.

شروط تشغيل المولدات المتزامنة على التوازي :-

- (١) تساوى جهد الأطراف في المولدين.
- (٢) تساوى التردد في المولدين.
- (٣) نفس تتابع الأوجه للمولدين.
- (٤) نفس زاوية الوجه لكلا المولدين.

مثال (1) :-

مولد تيار متغير ثلاثي الأوجه (6) أقطاب عضو الاستنتاج يحتوي على (72) مجرى بكل مجرى (20) ملف وخطوة الملف تساوي (83%) من خطوة القطب فإذا كان التدفق المغناطيسي (0.048) وبر وسرعة العضو الدوار (1000 r.p.m). احسب قيمة (ق.د.ك) للوجه الواحد.

الحل :-

$$m = 3 \quad \& \quad P = \frac{6}{2} = 3 \quad \& \quad S = 72 \quad \& \quad T_s = 20 \quad \& \quad \lambda = 83\%$$

$$\phi = 0.048 \text{ wb} \quad \& \quad N_s = 1000 \text{ r.p.m}$$

$$T_{ph} = \frac{T_s \cdot S}{m} = \frac{20 \times 72}{3} = 480 \text{ T}$$

$$F = \frac{P \cdot N_s}{60} = \frac{3 \times 1000}{60} = 50 \text{ Hz}$$

$$q = \frac{S}{2 P \cdot m} = \frac{72}{6 \times 3} = 4$$

$$\alpha = \frac{180 \times 2 P}{S} = \frac{180 \times 6}{72} = 15$$

$$\therefore K_d = \frac{\sin\left(\frac{q \cdot \alpha}{2}\right)}{q \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{\sin\left(\frac{4 \times 15}{2}\right)}{4 \times \sin\left(\frac{15}{2}\right)} = 0.958$$

$$\lambda = 83\% = \frac{83}{100} \times 180 = 149.4^\circ$$

$$\therefore \theta = 180 - \lambda = 180 - 149.4 = 30.6^\circ$$

$$\therefore K_c = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) = \cos\left(\frac{30.6}{2}\right) = 0.965$$

$$E_{ph} = 4.44 F \phi T_{ph} \cdot K_d \cdot K_c$$

$$\therefore E_{ph} = 4.44 \times 50 \times 0.048 \times 480 \times 0.958 \times 0.965 = 4728.55 \text{ V}$$

مولد تيار متغير ثلاثي الأوجه موصل دلتا (50 Hz)، (6) أقطاب وخطوة الملف (160°) ويحتوي على (12) مجرى لكل قطب وبكل مجرى (4) موصلات و كانت قيمة (ق.د.ك) المتوسطة للملف الواحد (12 V). احسب قيمة (ق.د.ك) للوجه والخط وسرعة دوران المولد.

الحل :-

$$m = 3 \text{ \& } \Delta \text{ توصيلة } \& F = 50 \text{ \& } p = \frac{6}{2} = 3 \text{ \& } \lambda = 160^\circ$$

$$S = 12 \times 2P = 12 \times 6 = 72 \text{ \& } Z_s = 4 \text{ \& } E_c = \frac{12}{2} = 6V$$

$$Z_{ph} = \frac{Z_s \cdot S}{m} = \frac{4 \times 72}{3} = 96$$

$$q = \frac{S}{2P \cdot m} = \frac{72}{6 \times 3} = 4$$

$$\alpha = \frac{180 \times 2P}{S} = \frac{180 \times 6}{72} = 15$$

$$\therefore K_d = \frac{\sin\left(\frac{q \cdot \alpha}{2}\right)}{q \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{\sin\left(\frac{4 \times 15}{2}\right)}{4 \times \sin\left(\frac{15}{2}\right)} = 0.958$$

$$\therefore \theta = 180 - \lambda = 180 - 160 = 20^\circ$$

$$\therefore K_c = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) = \cos\left(\frac{20}{2}\right) = 0.985$$

$$E_{ph} = 2.22 F \phi Z_{ph} K_d K_c = E_c \cdot Z_{ph} \cdot K_d \cdot K_c \cdot K_F$$

$$\therefore E_{ph} = 6 \times 96 \times 0.958 \times 0.985 \times 1.11 = 603.3V = E_L (\Delta)$$

$$\therefore E_{ph} = E_L = 603.3V \quad (\Delta \text{ توصيلة})$$

$$N_s = \frac{60 F}{P} = \frac{60 \times 50}{3} = 1000 \text{ r.p.m}$$

$$E_{ph} = 4 F \phi$$

هنا ذكرنا ان الـ E_c هو د.ك. المتوسطة للملف الواحد

$$E_c = P_{ph} \cdot \frac{E_{ph}}{2}$$

مولد تيار متغير ثلاثي الأوجه موصل دلتا (16) قطب يدور بسرعة (375 r.p.m) وعضو الاستنتاج يحتوي على (12) مجرى لكل قطب وبكل مجرى (4) موصلات إذا كان الملف يحصر (10) مجاري بين جوانبه وقيمة (ق.د.ك) للخط (1800 V). احسب التردد والفيض المغناطيسي لكل قطب.

الحل :-

$$m = 3 \text{ \& } \Delta \text{ توصيلة } p = \frac{16}{2} = 8 \text{ \& } N_s = 375 \text{ r.p.m}$$

$$\lambda = 10 \text{ \& } S = 12 \times 16 = 192 \text{ \& } Z_s = 4 \text{ \& } E_L = 1800 \text{ V}$$

$$F = \frac{P \cdot N_s}{60} = \frac{8 \times 375}{60} = 50 \text{ Hz} \text{ \& } E_{ph} = E_L = 1800 \text{ V توصيلة دلتا}$$

$$Z_{ph} = \frac{Z_s \cdot S}{m} = \frac{4 \times 192}{3} = 256$$

$$q = \frac{S}{2 P \cdot m} = \frac{192}{16 \times 3} = 4$$

$$\alpha = \frac{180 \times 2P}{S} = \frac{180 \times 16}{192} = 15$$

$$\therefore K_d = \frac{\sin\left(\frac{q \cdot \alpha}{2}\right)}{q \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{\sin\left(\frac{4 \times 15}{2}\right)}{4 \times \sin\left(\frac{15}{2}\right)} = 0.958$$

$$\lambda = 10 \text{ \& } \alpha = 10 \times 15 = 150^\circ \quad \therefore \theta = 180 - \lambda = 180 - 150 = 30^\circ$$

$$\therefore K_c = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) = \cos\left(\frac{30}{2}\right) = 0.966$$

$$E_{ph} = 2.22 F \phi Z_{ph} \cdot K_d \cdot K_c \Rightarrow \phi = \frac{E_{ph}}{2.22 F Z_{ph} \cdot K_d \cdot K_c}$$

$$\therefore \phi = \frac{1800}{2.22 \times 50 \times 256 \times 0.958 \times 0.966} = 0.068 \text{ wb}$$

❖ مثال (٥) :-

مولد تيار متغير ثلاثي الأوجه (50 KW) ، (440 V) ، (50 Hz) ذو توصيلة نجمة فإذا كانت مقاومة المنتج (0.3 Ω) والممانعة التزامنية (2 Ω) للوجه الواحد إحسب عند الحمل الكامل ومعامل قدره يساوي (0.8) تقدم قيمة (ق.د.ك) للوجه الواحد والتنظيم النسبي.

الحل :-

$$m = 3 \quad \& \quad P_{out} = 50 \text{ KW} \quad \& \quad V_L = 440 \text{ V} \quad \& \quad F = 50$$

(تقدم) $\cos \varphi = 0.8$ $\& \quad X_s = 2 \Omega$ $\& \quad R_a = 0.3 \Omega$ $\& \quad Y$ توصيلة

$$P_{out} = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi \Rightarrow I_L = \frac{P_{out}}{\sqrt{3} V_L \cos \varphi}$$

أ- جهد خطي
يكون جهد (V_L)

$$\therefore I_L = \frac{50 \times 1000}{\sqrt{3} \times 440 \times 0.8} = 82.1 \text{ A} \Rightarrow \text{توصيلة (V)}$$

$$\therefore V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{440}{\sqrt{3}} = 254 \text{ V} \Rightarrow \text{توصيلة (V)}$$

$$\cos \varphi = 0.8 \Rightarrow \therefore \varphi = \cos^{-1} 0.8 = 36.9^\circ \therefore \sin \varphi = 0.6$$

$$E_{ph} = \sqrt{(V_{ph} \cos \varphi + I_L R_a)^2 + (V_{ph} \sin \varphi - I_L X_s)^2}$$

$$E_{ph} = \sqrt{[(254 \times 0.8) + (82 \times 0.3)]^2 + [(254 \times 0.6) - (82 \times 2)]^2} = 228 \text{ V}$$

$$R_{eg} = \frac{E_{ph} - V_{ph}}{V_{ph}} \times 100 = \frac{228 - 254}{254} \times 100 = -10.2 \%$$

❖ مثال (٦) :-

مولد تيار متغير ثلاثي الأوجه (550 V) توصيلة نجمة قدرته (55 KVA) فإذا كانت مقاومة المنتج (0.2 Ω) وتيار المجال (10 A) لانتاج تيار قصير (200 A) و (450 V) عندما تكون الدائرة مفتوحة إحسب :-

أ- قيمة (ق.د.ك) للوجه الواحد عند معامل قدره الوحدة.

ب- التنظيم عند معامل قدره (0.8) تأخر.

مسألة (4)

مولد متزامن ثلاثي الأوجه (4) أقطاب وتوصيلة نجمة ويدور بسرعة (1500 r.p.m) ويحتوي منتجه على (60) مجرى وبكل مجرى (4) موصلات فإذا كان الملف يغطي من المجرى (1) إلى المجرى (13) احسب الفيض المغناطيسي لكل قطب اللازم لإنتاج (ق.د.ك) للخط قيمتها (1732 V).

الحل:-

$$m = 3 \quad \& \quad Y \text{ توصيلة} \quad \& \quad p = \frac{4}{2} = 2 \quad \& \quad N_s = 1500 \text{ r.p.m}$$

$$S = 60 \quad \& \quad Z_s = 4 \quad \& \quad E_L = 1732 \text{ V} \quad \& \quad 1 \xrightarrow{\text{خطوة فعلية}} 13$$

$$F = \frac{P \cdot N_s}{60} = \frac{2 \times 1500}{60} = 50 \text{ Hz} \quad \& \quad Z_{ph} = \frac{Z_s \cdot S}{m} = \frac{4 \times 60}{3} = 80$$

$$q = \frac{S}{2P \cdot m} = \frac{60}{4 \times 3} = 5 \quad \& \quad \alpha = \frac{180 \times 2P}{S} = \frac{180 \times 4}{60} = 12$$

$$\therefore K_d = \frac{\sin\left(\frac{q \cdot \alpha}{2}\right)}{q \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{\sin\left(\frac{5 \times 12}{2}\right)}{5 \times \sin\left(\frac{12}{2}\right)} = 0.957$$

$$\lambda = (n - 1) \alpha = (13 - 1) 12 = 144 \rightarrow \therefore \theta = 180 - 144 = 36$$

$$\therefore K_c = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) = \cos\left(\frac{36}{2}\right) = 0.951$$

$$Y \text{ توصيلة} \Rightarrow E_{ph} = \frac{E_L}{\sqrt{3}} = \frac{1732}{\sqrt{3}} = 1000 \text{ V}$$

$$\therefore \phi = \frac{E_{ph}}{2.22 F Z_{ph} \cdot K_d \cdot K_c}$$

$$\therefore \phi = \frac{1000}{2.22 \times 50 \times 80 \times 0.957 \times 0.951} = 0.124 \text{ wb}$$

$m = 3$ & $V_L = 550 V$ & توصيلة نجمة & $S = 55 KVA$

$R_a = 0.2 \Omega$ & $I_f = 10 A$ & $I_{s.c} = 200 A$ & $V_{o.c} = 450 V$

$$S = \sqrt{3} V_L I_L \Rightarrow \therefore I_L = \frac{S}{\sqrt{3} V_L} = \frac{55 \times 1000}{\sqrt{3} \times 550} = 57.735 A = I$$

$$V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{550}{\sqrt{3}} = 317.54 V$$

$$Z_S = \frac{V_{o.c}}{I_{s.c}} = \frac{450}{200} = 2.25 \Omega$$

$$\therefore X_S = \sqrt{Z_S^2 - R_a^2} = \sqrt{(2.25)^2 - (0.2)^2} = 2.24 \Omega$$

(a) $\cos \varphi = 1 \Rightarrow \therefore \varphi = 0 \Rightarrow \therefore \sin \varphi = 0$

$$\therefore E_{ph} = \sqrt{(V_{ph} \cos \varphi + I R_a)^2 + (V_{ph} \sin \varphi \pm I X_S)^2}$$

$$\therefore E_{ph} = \sqrt{[(317.54) + (57.735 \times 0.2)]^2 + [(57.735 \times 2.24)]^2} = 359.6 V$$

(b) $\cos \varphi = 0.8$ تأخر $\therefore \varphi = \cos^{-1} 0.8 = 36.9^\circ \therefore \sin \varphi = 0.6$

$$E_{ph} = \sqrt{[(317.54 \times 0.8) + (57.735 \times 0.2)]^2 + [(317.54 \times 0.6) + (57.735 \times 2.24)]^2} = 415.736 V$$

$$\therefore R_{cg} = \frac{E_{ph} - V_{ph}}{V_{ph}} \times 100 = \frac{415.736 - 317.54}{317.54} \times 100 = 30.9\%$$

مولد تيار متردد ثلاثي الأوجه موصل نجمة (44 KVA) ، (440 V) مقاومة عضو الاستنتاج (0.3 Ω) وعند تيار تغذية (12 A) كان جهد الدائرة المفتوحة (380 V) وتيار القصر (120 A). احسب:-

أ- قيمة (ق.د.ك) عند معامل قدره (0.8) متقدم مع رسم بياني للمتجهات
ب- النسبة المئوية للتنظيم في الجهد عند معامل قدره الوحدة

الحل:-

$m = 3$ & $V_L = 440 V$ & \underline{Y} توصيلة & $S = 44 KVA$ & $R_a = 0.3 \Omega$
 $I_f = 12 A$ & $I_{s.c} = 120 A$ & $V_{o.c} = 380 V$

$V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{440}{\sqrt{3}} = 254 V \Rightarrow (Y) \text{ توصيلة}$

$I_L = I_{ph} = \frac{S}{\sqrt{3} V_L} = \frac{44 \times 1000}{\sqrt{3} \times 440} = 57.735 A$

$Z_s = \frac{V_{o.c}}{I_{s.c}} = \frac{380}{120} = 3.17 \Omega$

$\therefore X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_a^2} = \sqrt{(3.17)^2 - (0.3)^2} = 3.16 \Omega$

$(a) \cos \varphi = 0.8 \Rightarrow \therefore \varphi = \cos^{-1} 0.8 = 36.9^\circ \Rightarrow \therefore \sin \varphi = 0.6$

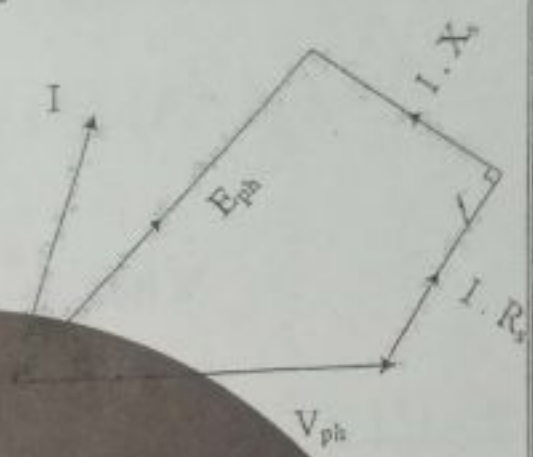
$\therefore E_{ph} = \sqrt{[(254 \times 0.8) + (57.735 \times 0.3)]^2 + [(254 \times 0.6) - (57.735 \times 3.16)]^2}$

$\therefore E_{ph} = 222.36 V$

$(b) \cos \varphi = 1 \Rightarrow \therefore \varphi = 0 \Rightarrow \therefore \sin \varphi = 0$

$\therefore E_{ph} = \sqrt{[254 + (57.735 \times 0.3)]^2 + [(57.735 \times 3.16)]^2} = 327 V$

$\therefore R_{eg} = \frac{E_{ph} - V_{ph}}{V_{ph}} \times 100 = \frac{327 - 254}{254} \times 100 = 28.4 \%$



مثال (٨)

مولد تيار متردد يولد (360 V) عند تردد (60 Hz) وتيار مجال (3.6 A). احسب قيمة (ق.د.ك) إذا عمل المولد عند تردد (40 Hz) وتيار مجال (2.4 A).

الحل:-

$E_1 = 360 V$ & $F_1 = 60 Hz$ & $I_{f1} = 3.6 A$

$F_2 = 40 Hz$ & $I_{f2} = 2.4 A$

$E_1 = 2.22 F_1 \varphi_1 Z_{ph} K_c K_d$ & $E_2 = 2.22 F_2 \varphi_2 Z_{ph} K_c K_d$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{F_1 \cdot \varphi_1}{F_2 \cdot \varphi_2}$$

وبقسمة المعادلتين نجد أن :

وحيث أن الفيض يتناسب طردياً مع تيار المجال

$$\therefore \frac{E_1}{E_2} = \frac{F_1 \cdot I_{f1}}{F_2 \cdot I_{f2}} \Rightarrow (E_1) \cdot (F_2 \cdot I_{f2}) = (E_2) \cdot (F_1 \cdot I_{f1})$$

$$\therefore E_2 = \frac{(E_1) \cdot (F_2 \cdot I_{f2})}{(F_1 \cdot I_{f1})} = \frac{360 \times 40 \times 2.4}{60 \times 3.6} = 160 \text{ V}$$

مثال (٩) :-

مولد مترامن ثلاثي الأوجه ملفاته موصلة نجمة موصل مع شبكة لا نهائية جهدها (17.3 KV) وكانت قيمة الممانعة التزامنية (9Ω) لكل وجه والقوة الدافعة للوجه (12KV) أوجد القدرة الفعالة التي يولدها المولد إذا كانت زاوية الحمل (30°) - أقصى قدرة فعالة يولدها المولد قبل أن يخرج عن التزامن - العزم والعزم الأقصى عند (1200 r.p.m).

الحل :-

$$Y \text{ توصيلة } V_L = 17300 \text{ V} \quad \& \quad E_{ph} = 12000 \text{ V}$$

$$X_s = 9 \Omega \quad \& \quad \delta = 30^\circ \quad \& \quad N_s = 1200 \text{ r.p.m}$$

$$V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{17300}{\sqrt{3}} = 10000 \text{ V}$$

$$P = \frac{3 V_{ph} \cdot E_{ph}}{X_s} \sin \delta = \frac{3 \times 10000 \times 12000}{9} \sin 30^\circ = 2 \times 10^7 \text{ w}$$

$$P_{max} = \frac{3 V_{ph} \cdot E_{ph}}{X_s} = \frac{3 \times 10000 \times 12000}{9} = 4 \times 10^7 \text{ w}$$

$$\omega = \frac{2\pi N_s}{60} = \frac{2\pi \times 1200}{60} = 40\pi \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{2 \times 10^7}{40\pi} = 1570796.327 \text{ N.m}$$

$$T_{max} = \frac{P_{max}}{\omega} = \frac{4 \times 10^7}{40\pi} = 3141592.654 \text{ N.m}$$

مثال (١٠) :-

مولد متزامن ثلاثي الأوجه توصيلة نجمة له المواصفات التالية (13.8 Kv & 60 Hz) والمفاعلة المتزامنة لكل وجه (20) أوم . أوجد جهد الإثارة والقدرة الفعالة والقدرة الغير فعالة إذا كان المولد يغذى حملاً بتيار (300 A) وزاوية (30°) في الحالات الآتية :-
الحمل الحثي - الحمل السعوي .

الحل :-

$$V_L = 13.8 \text{ KV} \quad \& \quad X_s = 20 \Omega \quad \& \quad I = 300 \text{ A} \quad \& \quad \varphi = 30^\circ$$

$$V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{13.8 \times 10^3}{\sqrt{3}} = 7967.4 \text{ V}$$

$$P_{out} = 3 V_{ph} \cdot I \cdot \cos \varphi = 3 \times 7967.4 \times 300 \cos 30 = 6.2 \times 10^6 \text{ w}$$

$$Q_{out} = 3 V_{ph} \cdot I \cdot \sin \varphi = 3 \times 7967.4 \times 300 \sin 30 = 3.6 \times 10^6 \text{ VAR}$$

$$E_{ph} = \sqrt{(I X_s \cos \varphi)^2 + (V_{ph} \pm I X_s \sin \varphi)^2}$$

(أ) في حالة الحمل الحثي :-

$$E_{ph} = \sqrt{(300 \times 20 \cos 30)^2 + (7967.4 + 300 \times 20 \sin 30)^2} = 12186 \text{ V}$$

(ب) في حالة الحمل السعوي :-

$$E_{ph} = \sqrt{(300 \times 20 \cos 30)^2 + (7967.4 - 300 \times 20 \sin 30)^2} = 7188.5 \text{ V}$$

مثال (١١) :-

مولد متزامن ثلاثي الأوجه توصيلة نجمة سعته الظاهرية (2000 KVA) وجهد الخرج له (11 KV) والمفاعلة الحثية لكل طور (5Ω) ومعامل القدرة (0.8) تأخر إذا أنتج المولد تيار الحمل القصوى . أوجد الجهد الخارج من المولد بنفس الإثارة ونفس تيار الحمل إذا كان معامل القدرة (0.8) تقدم .

الحل :-

$$S = 2000 \times 10^3 \text{ VA} \quad \& \quad V_L = 11 \times 10^3 \text{ V} \quad \& \quad \text{توصيلة نجمة}$$

$$X_s = 5 \Omega \quad \& \quad \cos \varphi = 0.8 \text{ (تأخر)}$$

$$V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{11 \times 10^3}{\sqrt{3}} = 6350.85 \text{ V} \rightarrow \text{توصيلة نجمة}$$

$$S = \sqrt{3} V_L I_L \rightarrow \therefore I = I_L = \frac{S}{\sqrt{3} V_L} = \frac{2000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 11 \times 10^3} = 105 \text{ A}$$

$$\cos \varphi = 0.8 \rightarrow \therefore \sin \varphi = 0.6 \rightarrow \text{تأخر}$$

$$E_{ph} = \sqrt{(105 \times 5 \times 0.8)^2 + (6350.85 + 105 \times 5 \times 0.6)^2} = 6679 \text{ V}$$

وعند معامل قدرة (0.8) نقسم :-

$$E_{ph}^2 = (I X_s \cos \varphi)^2 + (V_{ph} - I X_s \sin \varphi)^2$$

$$E_{ph}^2 - (I X_s \cos \varphi)^2 = (V_{ph} - I X_s \sin \varphi)^2$$

وبأخذ الجذر التربيعي للطرفين

$$\therefore V_{ph} - I X_s \sin \varphi = \sqrt{E_{ph}^2 - (I X_s \cos \varphi)^2}$$

$$\therefore V_{ph} = I X_s \sin \varphi + \sqrt{E_{ph}^2 - (I X_s \cos \varphi)^2}$$

$$\therefore V_{ph} = 105 \times 5 \times 0.6 + \sqrt{(6679)^2 - (105 \times 5 \times 0.8)^2} = 6980.73 \text{ V}$$

مثال (١٢) :-

مولد متزامن ثلاثي الأوجه أربعة أقطاب توصيلة دلتا جهد الأطراف له (280 V) عند تردد (60 Hz) والممانعة التزامنية (1.05) أوم لكل وجه ومقاومة ملفات المنتج مهملة وتيار الحمل الكامل له (100 A) عند معامل قدرة (0.78) تأخر ومفاقد الاحتكاك (1.75 Kw) والمفاقد الحديدية (1.2 Kw) عند الحمل الكامل. احسب السرعة التزامنية للمولد وجهد الإثارة ومعامل التنظيم والكفاءة و العزم الداخل إلى المولد.

مسائل على المولدات المتزامنة

- (١) مولد متزامن ثلاثي الأوجه يحتوى على (٢٠) قطب و (١٢٠) مجرى وبكل مجرى (٤) موصلات. فإذا كانت سرعة المولد (٣٠٠) لفة/دقيقة احسب قيمة (ق.د.ك) للوجه إذا كان الفيض المغناطيسى لكل قطب (٥٥) مللي وبر وعرض الملف (١٥٠) درجة كهربية.
- (٢) مولد تيار متغير (١٢) قطب توصيلة نجمة ويحتوى منتجه على (١٨٠) مجرى وبكل مجرى (٦) موصلات وخطوة الملف (١٥٠) درجة كهربية. احسب قيمة (ق.د.ك) للوجه والخط إذا كان الفيض المغناطيسى لكل قطب (٦٠) مللي وبر وسرعة المولد (٧٥٠) لفة/دقيقة.
- (٣) احسب قيمة (ق.د.ك) للوجه لمولد تيار متغير ثلاثي الأوجه (٦) أقطاب توصيلة نجمة يدور بسرعة (١٠٠٠) لفة/دقيقة والفيض المغناطيسى لكل قطب (٠.٠٠١) وبر وعدد المجارى الكلية (٥٤) مجرى وبكل مجرى (٣) ملفات وخطوة الملف (٨٣.٣٣%) من خطوة القطب.
- (٤) مولد تيار متغير (٤) أقطاب (٣) أوجه (٥٠) ذات ويحتوى على (١٢) مجرى بكل قطب وبكل مجرى (٨) موصلات وخطوة الملف (٦١٥) من خطوة القطب والفيض المغناطيسى لكل قطب (٢٠) مللي وبر. احسب قيمة (ق.د.ك) للوجه والخط إذا كان المولد موصل دلتا.
- (٥) مولد أحادي الوجه يحتوى على (٦) أقطاب ويدور بسرعة (١٠٠٠) لفة/دقيقة وعدد المجارى لكل قطب (٩) مجارى وزاوية كل مجرى (٢٠) درجة كهربية ويحتوى كل مجرى على (١٠) موصلات والفيض المغناطيسى لكل قطب (٠.٠٢) وبر. احسب قيمة (ق.د.ك) المتولدة باعتبار $(K_c=1)$.
- (٦) مولد تيار متغير (٤) أقطاب (٣) أوجه (٥٠) ذات توصيلة دلتا ويحتوى على (٣٠) مجرى بكل قطب وبكل مجرى (٢) موصل والفيض المغناطيسى لكل قطب (٠.٠٠٦) وبر. احسب قيمة (ق.د.ك) المتولدة للوجه والخط باعتبار أن معامل اللف (التقصير) يساوى الوحدة.
- (٧) مولد تيار متغير ثلاثي الأوجه يحتوى الوجه الواحد على (١٠٠) لفة متصلة على التوالي و قيمة (ق.د.ك) المتوسطة للفة الواحدة (٦) فولت وخطوة الملف (١٦٠) درجة كهربية والمولد يحتوى على (٦) أقطاب وعدد المجارى (٧٢) مجرى. احسب قيمة (ق.د.ك) المتولدة للوجه الواحد.
- (٨) احسب قيمة (ق.د.ك) للوجه والخط لمولد تيار متغير ثلاثي الأوجه توصيلة نجمة (٤) أقطاب والفيض المغناطيسى لكل قطب (٠.٠١) وبر ويحتوى على (٤) مجرى لكل قطب لكل وجه وبكل مجرى (٤) موصلات وخطوة الملف (١٥٠) درجة كهربية والتردد (٥٠) ذات.

الحل :-

$$\Delta \text{ توصيلة } \& P = 2 \& V_L = V_{ph} = 280 \text{ V } \& F = 60 \text{ Hz}$$

$$X_s = 1.05 \Omega \& R_a = 0 \& I_L = 100 \text{ A } \& \cos \varphi = 0.78 \text{ (تأخر)}$$

$$P_f = 1750 \text{ W } \& P_i = 1200 \text{ W } \& R_a = 0 \rightarrow \therefore P_c = 0$$

$$N_s = \frac{60 F}{P} = \frac{60 \times 60}{2} = 1800 \text{ r.p.m}$$

$$I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{100}{\sqrt{3}} = 57.7 \text{ A}$$

$$\cos \varphi = 0.78 \rightarrow \therefore \sin \varphi = 0.626 \rightarrow \text{تأخر}$$

$$E_{ph} = \sqrt{(I_s X_s \cos \varphi)^2 + (V_{ph} + I_s X_s \sin \varphi)^2}$$

$$E_{ph} = \sqrt{(57.7 \times 1.05 \times 0.78)^2 + (280 + 57.7 \times 1.05 \times 0.626)^2} \\ = 321.42 \text{ V}$$

$$R_{eg} \% = \frac{E_{ph} - V_{ph}}{V_{ph}} \times 100 = \frac{321.42 - 280}{280} \times 100 = 14.79 \%$$

$$P_{out} = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi = \sqrt{3} \times 280 \times 100 \times 0.78 = 37828 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_i + P_f = 37828 + 1200 + 1750 = 40778 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = \frac{37828}{40778} \times 100 = 92.8 \%$$

$$\omega_s = \frac{2\pi N_s}{60} = \frac{2\pi \times 1800}{60} = 188.5 \text{ rad/sec}$$

$$T = \frac{P_{in}}{\omega_s} = \frac{40778}{188.5} = 216.33 \text{ N.m}$$

(٩) مولد تيار متردد (٦) أقطاب (٥٠) ذات توصيلة نجمة ويحتوى على (١٥) مجرى لكل قطب وبكل مجرى (٦) موصلات ومعامل اللف (٠.٩٦) وقيمة (ق.د.ك) للخط (١٧٣٢) فولت. احسب قيمة الفيض المغناطيسى لكل قطب.

(١٠) مولد تيار متغير (٦) أقطاب (٣) أوجه (٥٠) ذات توصيلة نجمة يحتوى على (١٥) مجرى بكل قطب وبكل مجرى (٤) موصلات وكان الملف يغطى من المجرى (١) إلى المجرى (١٠). احسب الفيض المغناطيسى لكل قطب لإنتاج (ق.د.ك) للخط قيمتها (٣٣٠٠) فولت.

(١١) مولد تيار متغير أحادى الوجه يولد (٦٠٠) فولت عند تردد (٥٠) ذات وتيار مجال (٦) أمبير. احسب قيمة (ق.د.ك) لهذا المولد اذا عمل عند تردد (٣٠) ذات وتيار مجال (٥) أمبير.

(١٢) مولد تيار متغير ثلاثى الأوجه توصيلة نجمة ق.د.ك للموصل الواحد (٥) فولت وخطوة اللف خطوة قطبية كاملة والمولد يحتوى على (٦) أقطاب (٣٦) مجرى وبكل مجرى (٤) موصلات. احسب قيمة (ق.د.ك) للخط.

(١٣) مولد متزامن ثلاثى الأوجه موصل نجمة (١٣٠٠) فولت له مقاومة (٠.٢) أوم وممانعة التزامن (٢.٢) أوم يعمل عند معامل قدرة (٠.٥) متقدم وتيار (٢٠٠) أمبير. احسب قيمة (ق.د.ك) للوجه وقيمة معامل التنظيم مع رسم يأتى المتجهات.

(١٤) مولد متزامن ثلاثى الأوجه توصيلة نجمة (٤٠٠٠) وات (٢٥٠) فولت له مقاومة (٠.٤) أوم وممانعة (٤) أوم. احسب عند معامل قدرة الوحدة قيمة (ق.د.ك) للوجه ومعامل التنظيم النسبى مع رسم المتجهات.

(١٥) مولد تيار متغير ثلاثى الأوجه (٥٥٠) فولت متصل نجمة (٥٥٠) ك.ف.أ ومقاومته (٠.٢) أوم وكان تيار المجال (١٠) أمبير اللازم لإنتاج تيار قصر (٢٠٠) أمبير وجه (٤٥٠) فولت عندما تكون الدائرة مفتوحة. احسب قيمة (ق.د.ك) للوجه عند معامل قدرة يسوى الوحدة وقيمة معامل التنظيم النسبى عند معامل قدرة (٠.٨) تأخر.

(١٦) مولد متزامن ثلاثى الأوجه توصيلة نجمة (١٥٠٠) ك.ف.أ (١٣٨٠٠) فولت ومقاومة المنتج (١.٤) أوم والمفاعلة المتزامنة (٢٥) أوم. احسب النسبة المنوية للتنظيم عند معامل قدرة (٠.٨) تأخر.

(١٧) مولد متزامن ثلاثى الأوجه توصيلة نجمة (١٦٠٠) ك.ف.أ (١٣٥٠٠) فولت له مقاومة (١.٥) أوم ومفاعلة متزامنة (٣٠) أوم. احسب التنظيم عند معامل قدرة (٠.٨) تقدم أو تأخر مع رسم المتجهات.

(١٨) مولد تيار متغير ثلاثى الأوجه توصيلة دلتا (٥٠) كيلووات (٤٤٠) فولت تردده (٥٠) ذات ومقاومة المنتج (٣.٢) أوم والممانعة المتزامنة (١٠.٢٥) أوم. احسب عند الحمل الكامل ومعامل قدرة الوحدة قيمة (ق.د.ك) للوجه ومعامل التنظيم النسبى.

٨١
٢٢/١/٦

الباب الثالث المحرك المتزامن (التوافقي)

تعريفه:-

هو محرك ثابت السرعة يدور بالسرعة التزامنية (N_s) ولا يمكن تغيير سرعته إلا بتغيير تردد المنبع أو تغيير عدد الأقطاب وهذا لا يمكن عملياً ولذلك تكون سرعته ثابتة دائماً.

تركيبه:-

مثل تركيب المولد المتزامن ولذلك تنقسم المحركات المتزامنة إلى محركات ذات أقطاب غاطسة (الإسطوانية) ومحركات ذات أقطاب بارزة والفرق بينهم أن ملفات المجال في النوع ذات الأقطاب الغاطسة تكون ملفوفة على العضو الدوار ولذلك تكون الثغرة الهوائية بين العضوين الثابت والدوار منتظمة بينما في النوع ذات الأقطاب البارزة تكون ملفات المجال ملفوفة على الأقطاب البارزة ولذلك تكون الثغرة الهوائية غير منتظمة.

الطريقة المخاططة للتشغيل:-



١- عند تغذية ملفات المنتج من منبع ثلاثي الأوجه يتولد مجال مغناطيسي دوار في اتجاه معين على هيئة دوائر ويدور بسرعة التزامن (N_s).

٢- يتم تغذية ملفات المجال بتيار مستمر لتوليد مجال مغناطيسي آخر عندما تكون قطبتيه مماثلة لقطبية المجال الدوار تنشأ بينهما قوة تنافر فتميل الأقطاب إلى التحرك عكس اتجاه المجال الدوار.

٣- قبل أن تتحرك الأقطاب تتغير قطبية المجال الدوار

وتصبح مخالفة لقطبية مجال العضو الدوار فينشأ بينهما قوة تجاذب وتميل الأقطاب إلى الحركة في نفس اتجاه المجال الدوار.

٤- نظراً للقصور الذاتي للأقطاب المغناطيسية وقوى التجاذب والتنافر المتولدة بين المجالين تعجز الأقطاب عن الدوران وتبقى في حالة سكون ولذلك لا يدور المحرك المتزامن من تلقاء نفسه ولا بد من بدء حركته بوسيلة خارجية.

الطريقة الصحيحة للتشغيل:- (كيفية تشغيل)

- ١- إدارة العضو الدوار من مصدر خارجي بسرعة قريبة من السرعة التزامنية للمولد.
- ٢- تغذية ملفات المنتج من منبع ثلاثي الأوجه.
- ٣- تغذية ملفات المجال من منبع تيار مستمر.
- ٤- فصل المصدر الخارجى عن المحرك عندما تصل سرعته إلى السرعة التزامنية وسيستمر المحرك فى الدوران فى نفس الاتجاه وب نفس السرعة.
- ٥- ضبط تيار المجال لإعطاء معامل القدرة المطلوب.

نظرية التشغيل:-

عند إدارة العضو الدوار بواسطة خارجية بسرعة قريبة من السرعة التزامنية ثم تغذية ملفات المجال الموجودة عليه بتيار مستمر وتغذية ملفات العضو الثابت بتيار متردد ثلاثي الأوجه ينتج مجالين مغناطيسيين أحدهما يدور بالسرعة التزامنية للعضو الثابت والآخر يدور بسرعة العضو الدوار ومحصلتهما تولد عزم دوران يزيد من سرعة العضو الدوار وعندما يدور المجالين بنفس السرعة تستقر سرعة المحرك عند هذه السرعة ولا تتغير بتغير الحمل.

زاوية الحمل:-

فى الزاوية التى يتأخر بها المجال المغناطيسى الناتج عن مرور التيار المستمر فى ملفات العضو الدوار عن المجال المغناطيسى الدوار الناتج عن مرور التيار المتردد ثلاثي الأوجه فى ملفات العضو الثابت وذلك عند تحميل المحرك بحمل ميكانيكى لأن الحمل يقلل من سرعة العضو الدوار ويزيادة الحمل تزداد هذه الزاوية ويزداد العزم المتولد من المحرك حتى يكون قادرا على إدارة الحمل بالسرعة التزامنية.

طرق بدء الحركة للمحرك المتزامن:-

- ١- إدارة المحرك عن طريق محرك صغير يركب على عمود دوران المحرك المتزامن وعندما تصل سرعة المحرك المتزامن إلى السرعة التزامنية يتم فصل هذا المحرك.
- ٢- إدارة المحرك بوضع قضبان على الأقطاب المغناطيسية وعمل قصر على هذه القضبان بواسطة حلقات نحاسية وبذلك يعمل المحرك كمحرك إستنتاجي إلى أن تصل سرعته إلى السرعة التزامنية فيتلاشى تأثير القضبان حيث تنعدم قيمة التيارات المارة بها.

المحرك في الدوران نتيجة تأثير العزم المتولد من تأثير التيارات الدوامية إلى أن تصل سرعة المحرك إلى السرعة التزامنية ثم يتم تغذية ملفات المجال بالتيار المستمر التزامنية ولا تتغير بتغير الحمل.

٤- تغذية ملفات العضو الثابت من مصدر جهد متردد ثلاثي الأوجه متغير التردد بتردد منخفض فتصبح سرعة المجال الدوار الناتج صغيرة حتى يتمكن العضو الدوار من ملاحقته وعندما يبدأ العضو الدوار في الدوران يتم زيادة التردد إلى تصل سرعة المحرك إلى السرعة التزامنية ويستمر في الدوران بها.

مميزات المحرك المتزامن:-

- ١- له معامل قدرة كبير.
- ٢- كفاءته عالية.
- ٣- سرعته ثابتة ولا تتوقف على جهد المصدر.
- ٤- يمكن أن يعمل بعزم أكبر من عزم الحمل الكامل.
- ٥- يعمل عند معامل قدرة متقدم ولذلك يستخدم في تحسين معامل القدرة.

عيوب المحرك المتزامن:-

- ١- يحتاج لمصدر خارجي ليبدأ الدوران.
- ٢- يحتاج إلى تيار مستمر لتغذية الأقطاب.
- ٣- لا يمكن استخدامه مع أحمال السرعة المتغيرة حيث لا يمكن تغيير سرعته عملياً.
- ٤- يخرج من التزامن ويتوقف عن الحركة مؤقتاً عند تحميله تحميلاً زائداً.
- ٥- مرتفع الثمن ويحتاج إلى صيانة باستمرار.

إستخدامات المحرك المتزامن:-

- ١- في الأغراض التي تتطلب سرعة ثابتة مثل المخارط أو المقاشط.
- ٢- في محطات القوى الكهربائية لتحسين معامل القدرة للشبكة.

المحركات الاستنتاجية ثلاثية الأوجه

تعريفها:-

هي محركات تستخدم في تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية وتسمى أيضا المحركات الحثية أو التناظرية أو التناظرية ويعمل بها التناظر في التركيب ولا تحتاج إلى وسيلة لبدء حركتها ولغائها عالية والكثير من آلة وأرخس سيرا لآلة لتقليلها وبسطة صيانتها وذلك بسبب ثقلية ملفات العضو الثابت لظط بالتناظر ثم انتقال الطاقة الكهربائية من العضو الثابت إلى العضو الدوار عن طريق الحث المتبادل عن طريق القوة الهوائية الموجودة بين العضوين ولذلك يعتبر المحرك كسكون ولكنه أكثر استهلاكاً ويعيبها صعوبة التحكم في سرعتها وتغير التيار الكهربائي بها والعضو معمل كهربائي عند الاحتكاك الصغيرة.

التركيب:-

(1) العضو الثابت (Stator)

هو عبارة عن جسم اسطواني مكون من شرائح دائرية من الحديد معزولة عن بعضها البعض ببطقة من الورنيش لتقليل الخسائر الدوامية ويوجد بسطحها الداخلي شقوق أو فتحات تسمى المجاري وتوضع فيها ملفات هذا العضو وتكون عبارة عن ثلاث مجموعات متماثلة من الملفات وقد توصلتها نجمة أو ثلث وتوصل الأطراف الخارجية لها بمحركات ثلاثي الأوجه لتزويد هذا الدوار ويحمل هذه الشرائح هيكل خارجي.

(2) العضو الدوار (Rotor)

هو عبارة عن جسم اسطواني مكون من شرائح دائرية من الحديد معزولة عن بعضها البعض ببطقة من الورنيش لتقليل الخسائر الدوامية ويوجد بسطحها الخارجي شقوق أو فتحات تسمى المجاري وتوضع فيها ملفات هذا العضو ويحمل هذه الشرائح هيكل خارجي دائري يثبت على عمود الدوران.

ويوجد نوعين من العضو الدوار وهما:

(1) العضو الدوار ذو القلص السنجاني

في هذا النوع تكون الموصلات غير معزولة وتوضع في المجاري وتكون على هيئة أسياخ أو قضبان من النحاس وتلتصق معا بواسطة حلقتين من النحاس على جانبي العضو الدوار ويأخذ الملف شكل القلص ولا يوجد به أي وسيلة للتوصيل بدائرة خارجية.



القلص السنجاني

٢) العضو الدوار الملفوف ذو حلقات الإنزلاق:-



ذو حلقات الإنزلاق

في هذا النوع تكون الموصلات معزولة وثلثية الأوجه وتوضع في المجاري وتوصل أطراف المجموعات الثلاثة بثلاث حلقات إنزلاق مثبتة على عمود الدوران وتكون معزولة عن بعضها البعض ومعزولة عن عمود الدوران وتلامس فرش كربونية للتوصيل بأي دائرة خارجية.

المجال الدائر:-

هو المجال الناشئ عن مرور تيار متعدد الأوجه في الملفات وهو مجال ثابت القيمة ومتغير الاتجاه أي يدور بسرعة ثابتة تسمى السرعة التزامنية ويرمز لها بالرمز (N_s) وتعتمد قيمتها على تردد المص (f) وعدد أزواج أقطاب المحرك (P) حيث:-

$$N_s = \frac{60 F}{P}$$

نظرية التشغيل:-

عند تغذية ملفات العضو الثابت للمحرك بتيار ثلاثي الأوجه يندفع المجال المغناطيسي داخل دوائر يدور بسرعة التزامن (N_s) ويعبر الثغرة الهوائية الموجودة بين العضوين الثابت والدوار ويقطع ملفات العضو الدوار الساكنة ويولد بها (ق.د.ك) وحيث أن دائرة العضو الدوار مقصورة على نفسها فيمر بها تيار ويتولد حولها مجال مغناطيسي آخر على هيئة دوائج ويكون في نفس اتجاه المجال الدائر وتعمل محصلة المجالين للمغناطيسين على دوران العضو الدوار بسرعة (N) أقل من السرعة التزامنية في نفس اتجاه دوران المجال الدائر وتكون آلية لإدارة العضو الدوار بدون حمل ميكانيكي.

سرعة الإنزلاق:-

الفرق بين سرعة المجال الدوار (N_s) وسرعة العضو الدوار (N) . وهذا الفرق هو المسبب لقطع خطوط المجال الدائر لملفات العضو الدوار وتوليد (ق.د.ك) بالعضو الدوار وكلما زادت سرعة العضو الدوار كان معدل القطع أقل فتقل قيمة (ق.د.ك) المتولدة في العضو الدوار وتقل كذلك قيمة التيار المار في موصلات العضو الدوار مما يؤدي إلى انخفاض قيمة عزم الدوران (T) ويستمر ذلك حتى تصل سرعة المحرك إلى السرعة المقننة ويحدث استقرار للمحرك.

معامل الإنزلاق (S) :-

هو النسبة بين سرعة الإنزلاق وسرعة المجال الدائر. أي أن :-

$$S = \frac{(N_s - N)}{N_s} \rightarrow \therefore N = N_s (1 - S)$$

وفي حالة السكون :-

$$\therefore N = 0 \Rightarrow \therefore S = \frac{N_s}{N_s} = 1$$

تردد الجهد والتيار في العضو الدائر (F₂) :-

$$F_2 = S \cdot F_1$$

وفي حالة السكون :-

$$\therefore S = 1 \Rightarrow \therefore F_2 = F_1$$

الدائرة المكافئة للمحرك :-



تيار المبع وتيار العضو الثابت وتيار العضو الدوار $\leftarrow I_2, I_1, I_p$

ق.د.ك للعضو الدوار عند السكون وعند التشغيل $\leftarrow SE_2, E_1$

مقاومة وتيار المفايد الحديدية $\leftarrow I_w, R_w$

ممانعة وتيار التمغظ $\leftarrow I_m, X_m$ &

تيار اللاحمل. $\leftarrow I_0$

مقاومة وممانعة العضو الثابت. $\leftarrow X_1, R_1$

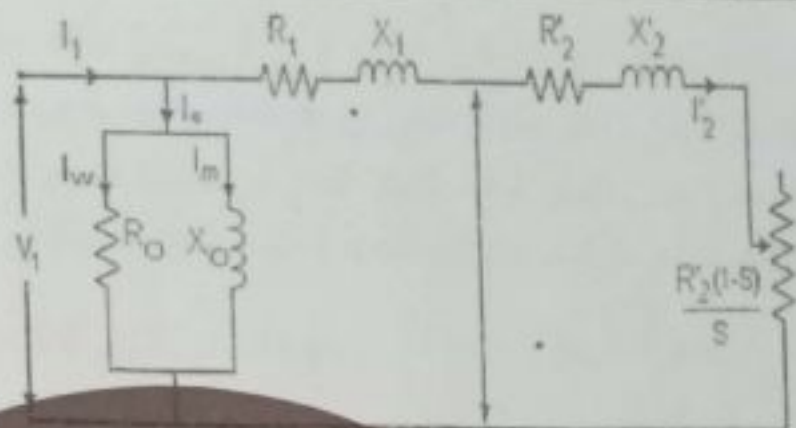
مقاومة وممانعة العضو الدوار. $\leftarrow X_2, R_2$

الدائرة المكافئة للمحرك منسوبة للعضو الثابت :-

$$R_2' = K^2 \cdot R_2$$

$$X_2' = K^2 \cdot X_2$$

$$K = \left(\frac{T_1}{T_2} \right) = \left(\frac{V_{PH}}{E_{s2}} \right)$$

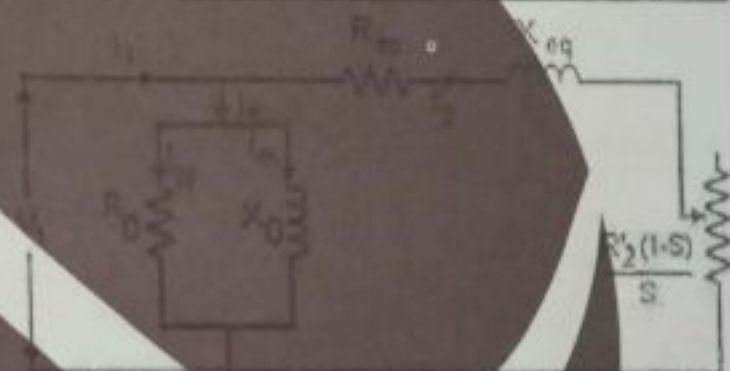


K ← هي النسبة بين عدد لفات العضوين الثابت والدور (T1/T2).

الدائرة المكافئة التقريبية للمحرك :-

$$R_{eq} = R_1 + R_2'$$

$$X_{eq} = X_1 + X_2'$$



تجربة اللاحمل للمحرك :-

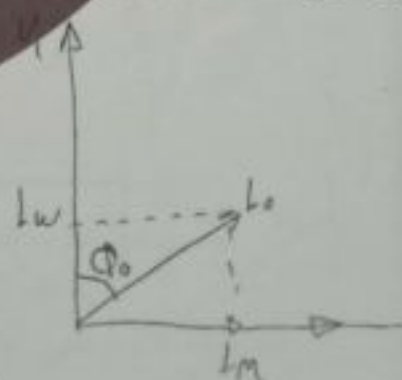
تستخدم هذه التجربة لحساب (R0, X0) وذلك بتوصيل المحرك عند اللاحمل بالأجهزة كما هو موضح بالرسم وتطبيق الجهد المقنن على المحرك ثم نأخذ قراءات الأجهزة مع مراعاة أن قيم الجهد والتيار المقاسة للخط وليست للوجه ونقنع الآتي :-

$$1) P_0 = W_1 + W_2 = \sqrt{3} V_0 I_0 \cos \phi_0$$

$$2) \cos \phi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} V_0 I_0}$$

$$3) I_w = I_0 \cos \phi_0, I_m = \sqrt{I_0^2 - I_w^2}$$

$$4) R_0 = \frac{V_0}{I_w}, X_0 = \frac{V_0}{I_m}$$



$$I_w = I_0 \cos \phi_0$$

$$I_m = I_0 \sin \phi_0$$

نوع سؤال
لوقال كمان في التمرين الاول مودله برتوماتك (ومقاومة كمان)
وتكون

$$I = \sqrt{(R_2^2 + R_{add})^2 + (SX_2)^2}$$

تجربة القصر للمحرك:-

تستخدم هذه التجربة في حساب (X_{eq}, R_{eq}) وذلك بتوصيل المحرك كما سبق في تجربة اللاحمل مع ربط عمود الدوران بفرملة ميكانيكية ويتم زيادة الجهد المسلط على المحرك تدريجياً حتى تصل قيمة التيار العار في ملفات المحرك إلى القيمة المقننة ثم نأخذ قراءات الأجهزة مع مراعاة أن قيم الجهد والتيار المقاسة للخط وليست للوجه ونتبع الآتي :-

$$1) P_{s.c} = W_1 + W_2 = \sqrt{3} V_{s.c} I_{s.c} \cos \varphi_{s.c}$$

$$2) \cos \varphi_{s.c} = \frac{P_{s.c}}{\sqrt{3} V_{s.c} I_{s.c}}$$

$$3) Z_{eq} = \frac{V_{s.c}}{I_{s.c}}$$

$$4) \therefore R_{eq} = Z_{eq} \cos \varphi_{s.c}$$

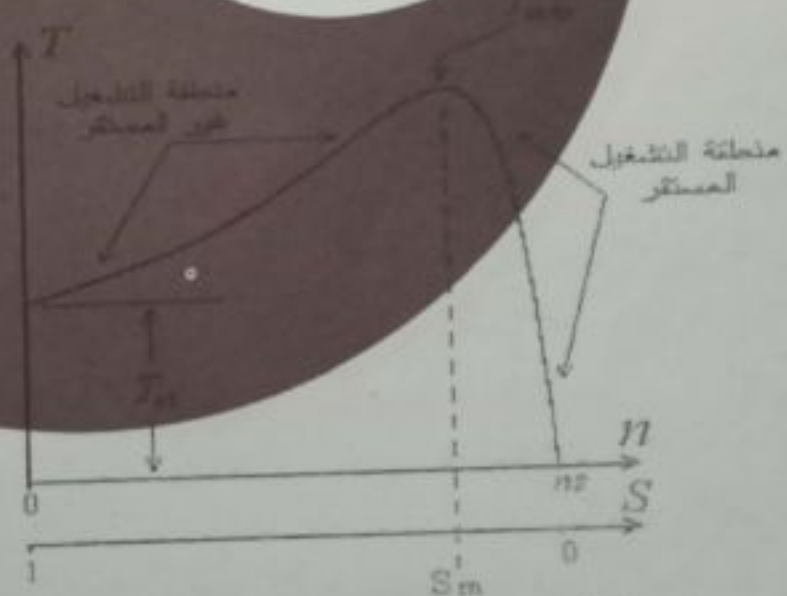
$$X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2}$$

ملاحظات عامة لحل المسائل :-

$$I_2 = \frac{SE_2}{\sqrt{R_2^2 + (SX_2)^2}} \quad \& \quad \cos \varphi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (SX_2)^2}}$$

منحنى العلاقة بين عزم الدوران ومعامل الانزلاق:-

هو العلاقة البيانية بين العزم (T) ومعامل الانزلاق (S) وينقسم هذا المنحنى إلى منطقتين هما:-



(أ) منطقة التشغيل غير المستقر وهي المنطقة التي تسبق الوصول لأقصى عزم (T_{max}) ويتناسب فيها العزم تناسباً عكسياً مع معامل الانزلاق ولا يستطيع المحرك تشغيل أي حمل.

(ب) منطقة التشغيل المستقر وهي

المنطقة التي تلي الوصول لأقصى عزم (T_{max}) ويتناسب فيها العزم تناسباً طردياً مع معامل الانزلاق و يستطيع المحرك تشغيل الحمل المقنن له.

ملاحظة هام جداً يجب أن يدركها الطالب أن العلاقة بين العزم والسرعة هي علاقة عكسية وليست علاقة تناسبية كما يعتقد البعض. ولذا فإننا نكتب العلاقة بين العزم والسرعة على الشكل التالي:

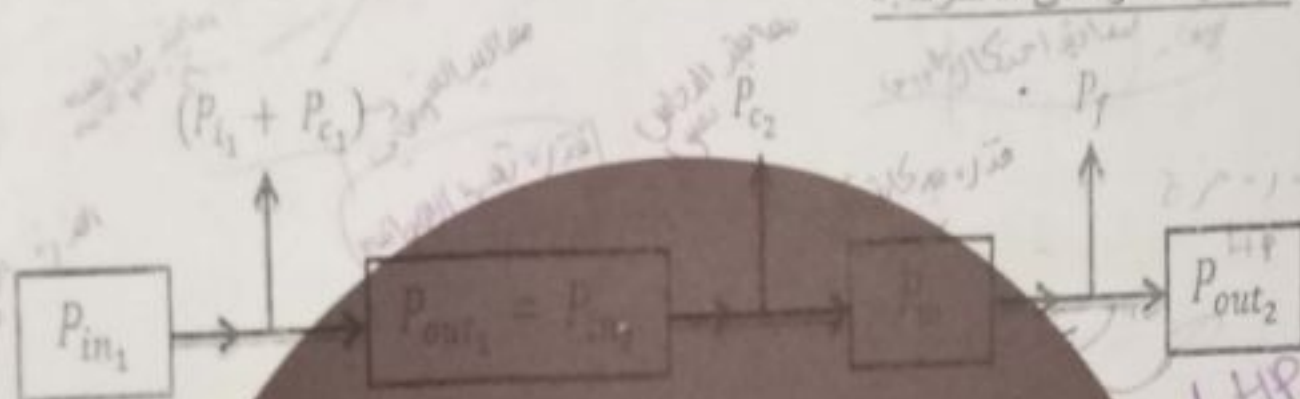
$$\frac{SE_2}{Z} I_{2c} = \frac{SE_2}{\sqrt{R_2^2 + (SX_2)^2}} \Rightarrow \cos \varphi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (SX_2)^2}}$$

شروط الحصول على أقصى عزم في المحرك :-

نصل قيمة العزم المتولد في المحرك إلى قيمتها العظمى عندما تتساوى قيمة معامل الإنزلاق مع النسبة بين مقاومة وممانعة العضو الدوار. أي أن :-

$$S_m = \frac{R_2}{X_2}$$

مراحل القدرة في المحرك :-



$$P_{c1} = 3 I_1^2 R_1$$

$$P_{c2} = 3 I_2^2 R_2 = S P_{in1}$$

$$1) P_{in1} = \sqrt{3} V_1 I_1 \cos \varphi_1$$

$$2) P_{out1} = P_{in2} = P_{in1} - (P_{l1} + P_{c1})$$

$$3) P_m = P_{in2} - P_{c2} \quad \text{أو} \quad P_m = P_{in2} (1 - S)$$

$$4) P_{out2} = P_m - P_f = P_m - P_f + P_{out2}$$

$$5) \therefore \eta = \frac{P_{out2}}{P_{in1}} \times 100$$

حيث :

- P_{out}, P_{in} ← قدرة دخل وخرج العضو الثابت أو الدوار.
- P_f, P_c, P_l ← المفاقيد الحديدية والنحاسية والاحتكاكية.
- P_m ← القدرة الميكانيكية للمحرك.
- η ← كفاءة المحرك.

ملاحظات هامة :-

(١) يتم إهمال المفاقيد الحديدية في العضو الدوار نظراً لصغر تردد العضو الدوار بسبب صغر الإنزلاق (S) عند الدوران.

$$P_{in2} : P_{c2} : P_m = 1 : S : (1 - S)$$

العزم في المحرك :-

$$\ast T_m = \frac{P_m}{W} = \frac{P_m}{(2\pi N/60)}$$

العزم الميكانيكي الكلي

$$\ast T_{sh} = \frac{P_{out2}}{W} = \frac{P_{out2}}{(2\pi N/60)}$$

العزم المستفاد

$$\ast T_L = T_m - T_{sh} = \frac{P_f}{(2\pi N/60)}$$

العزم المفقود

$$N_1 = N_2(1 - S)$$

طرق بدء الحركة للمحرك الاستثنائي :-

زيادة تيار البدء في المحرك الاستثنائي قد تؤدي إلى :

عندما تزداد

انخفاض

انخفاض

انخفاض

انخفاض

انخفاض

انخفاض

انخفاض

انخفاض

انخفاض

انخفاض

انخفاض

انخفاض

انخفاض

انخفاض

انخفاض

(١) إرتفاع درجة حرارة الملفات مما يؤدي إلى انهيار عزل الملفات .

(٢) التأثير على وسائل توصيل الكهرباء للمحرك كالكابلات والقواطع وأجهزة الحماية .

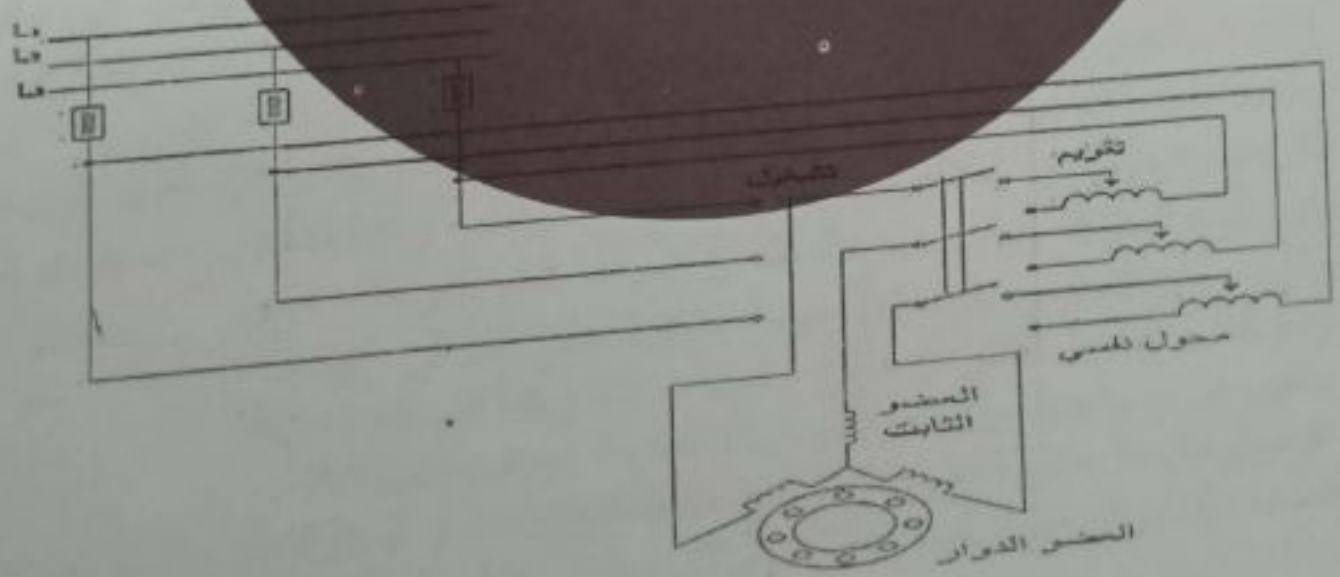
(٣) هبوط جهد الأجهزة المشتركة مع المحرك .

ولذلك لابد من تقليل تيار البدء وذلك باستخدام إحدى الطرق الآتية :-

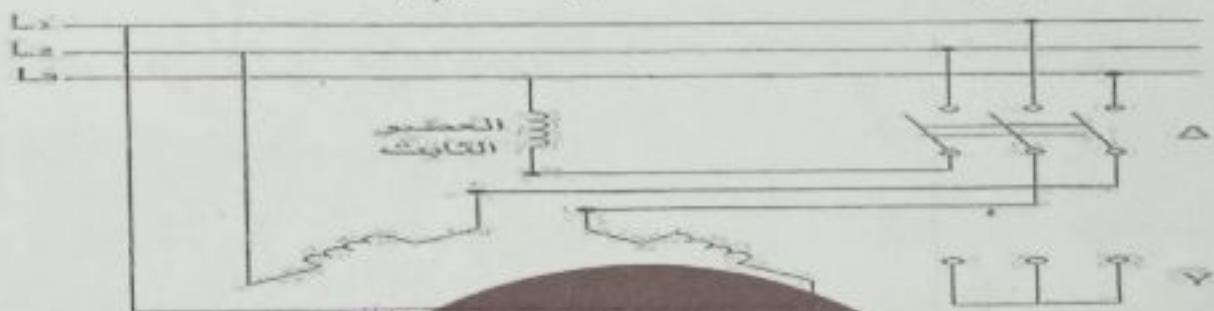
(١) توصيل مقاومات على التوالي مع ملفات العضو الثابت حيث تعمل على تقليل الجهد المسلط على العضو الثابت مما يقلل من تيار البدء ثم يتم إخراجها تدريجياً من الدائرة

ويجب هذه الطريقة زيادة المفاقيد النحاسية خاصة مع المحركات الكبيرة .

(٢) باستخدام محول ذاتي ثلاثي الأوجه لخفض الجهد المغذي للعضو الثابت عند البدء إلى أن يدور المحرك ويأخذ سرعته و عندئذ يفصل المحول من دائرة المحرك .



(٣) باستخدام مفتاح $(Y - \Delta)$ حيث في بداية التشغيل يوصل المحرك نجمة (Y) فيقل الجهد إلى $(\frac{V_L}{\sqrt{3}})$ حيث $(V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}})$ في حالة النجمة وعندما يأخذ المحرك سرعته يوصل دلتا (Δ) ويأخذ الجهد الكامل حيث $(V_{ph} = V_L)$.



(٤) بإضافة مقاومات على التوالي مع ملفات العضو الدوار للمحرك ذو حلقات الإنزلاق فقط حيث تعمل على تقليل تيار البدء ثم يتم إخراجها تدريجياً من الدائرة لتجنب زيادة المفاقيد النحاسية في العضو الدوار ويمثل هذه الطريقة بزيادة عزم البدء للمحرك.



(٥) باستخدام أجهزة بدء إلكترونية للتحكم الدقيق في الجهد مع ثبات التيار أثناء البدء مع عزم مستمر للحصول على تسارع ناعم وتتوفر في هذه الأجهزة جميع أنواع الحماية التي تتطلبها المحرك مما يوفر ثمن أجهزة الحماية مقابل ارتفاع ثمن أجهزة البدء. طرق التحكم في سرعة المحرك الاستثنائية ثلاثي الأوجه:-

(١) بتغيير تردد المصدر باستخدام مصدر تيار متردد متغير التردد مما يؤدي إلى تغيير السرعة التزامنية حيث تكون العلاقة طردية بين السرعة التزامنية وتردد المصدر مما يؤدي إلى تغيير قيمة السرعة.

(٢) بتغيير عدد الأقطاب للمحرك ذو القفص السنجابي فقط مما يؤدي إلى تغيير السرعة التزامنية حيث تكون العلاقة عكسية بين السرعة التزامنية وعدد الأقطاب مما يؤدي إلى تغيير قيمة السرعة ويعيب هذه الطريقة أن السرعة تتغير إلى مضاعفتها.

(٣) بتغيير جهد المصدر بتوصيل مقاومة متغيرة على التوالي مع ملفات العضو الثابت أو باستخدام المحول الذاتي أو مفتاح (نجمة - دلتا) كما في بدء الحركة.

(٤) بتغيير التردد والجهد معاً بنسبة ثابتة باستخدام الأجهزة الإلكترونية.

(٥) توصيل مقاومة متغيرة على التوالي مع ملفات العضو الدوار للمحرك ذو حلقات الإنزلاق فقط مما يؤدي إلى تغيير قيمة معامل الإنزلاق وبالتالي تغيير قيمة السرعة.

٢٠٠٠ (١) : $V_L = 380$ V_L
 محرك استنتاجي ثلاثي الأوجه موصل نجمة (380 V) أجريت عليه تجربتي اللاحمل والقصر وكانت النتائج كالآتي:-

تجربة اللاحمل $V_L = 380\text{ V}$ $I_L = 10\text{ A}$ $P_L = 1500\text{ W}$
 تجربة القصر $V_{sc} = 50\text{ V}$ $I_{sc} = 40\text{ A}$ $P_{sc} = 2000\text{ W}$

احسب مكونات الدائرة المكافئة.
 الحل:-
 أولاً: تجربة اللاحمل:-
 في حالة اللاحمل $I_L = I_{ph}$ $V_L = \sqrt{3} V_{ph}$
 $\therefore V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$

$$P_L = 1500\text{ W} \quad I_L = 10\text{ A} \quad V_L = 380\text{ V}$$

$$\cos \varphi_L = \frac{P_L}{\sqrt{3} V_L I_L} = \frac{1500}{\sqrt{3} \times 380 \times 10} = 0.23$$

$$I_w = I_L \cos \varphi_L = 10 \times 0.23 = 2.3\text{ A}$$

$$I_m = \sqrt{I_L^2 - I_w^2} = \sqrt{(10)^2 - (2.3)^2} = 9.73\text{ A}$$

$$R_s = \frac{(V_L / \sqrt{3})}{I_w} = \frac{(380 / \sqrt{3})}{2.3} = 95.4\ \Omega$$

$$X_s = \frac{(V_L / \sqrt{3})}{I_m} = \frac{(380 / \sqrt{3})}{9.73} = 22.5\ \Omega$$

ثانياً: تجربة القصر:-

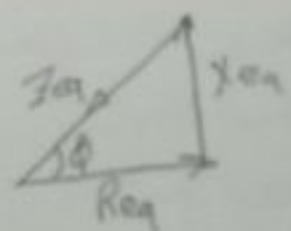
$$P_{sc} = 2000\text{ W} \quad I_{sc} = 40\text{ A} \quad V_{sc} = 50\text{ V}$$

$$\cos \varphi_{sc} = \frac{P_{sc}}{\sqrt{3} V_{sc} I_{sc}} = \frac{2000}{\sqrt{3} \times 50 \times 40} = 0.58$$

$$Z_{eq} = \frac{(V_{sc} / \sqrt{3})}{I_{sc}} = \frac{(50 / \sqrt{3})}{40} = 0.72\ \Omega$$

$$R_{eq} = Z_{eq} \cos \varphi_{sc} = 0.72 \times 0.58 = 0.42\ \Omega$$

$$X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2} = \sqrt{(0.72)^2 - (0.42)^2} = 0.585\ \Omega$$



$$V_L = V_{ph} \quad \& \quad I_L = \sqrt{3} V_{ph} \quad \& \quad I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

❖ مثال (٢):

أجب عن المثال السابق إذا كانت توصيلة المحرك دلتا.

الحل:-

أولاً: تجربة اللاحمل:-

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} V_0 I_0} = \frac{1500}{\sqrt{3} \times 380 \times 10} = 0.23$$

$$I_w = (I_0 / \sqrt{3}) \cdot \cos \varphi_0 = (10 / \sqrt{3}) \times 0.23 = 1.33 \text{ A}$$

$$I_m = \sqrt{(I_0 / \sqrt{3})^2 - I_w^2} = \sqrt{(10 / \sqrt{3})^2 - (1.33)^2} = 5.6 \text{ A}$$

$$R_0 = \frac{V_0}{I_w} = \frac{380}{1.33} = 285.7 \Omega$$

$$X_0 = \frac{V_0}{I_m} = \frac{380}{5.6} = 67.86 \Omega$$

ثانياً: تجربة القصر:-

$$\cos \varphi_{sc} = \frac{P_{sc}}{\sqrt{3} V_{sc} I_{sc}} = \frac{2000}{\sqrt{3} \times 50 \times 40} = 0.58$$

$$Z_{eq} = \frac{V_{sc}}{(I_{sc} / \sqrt{3})} = \frac{50}{(40 / \sqrt{3})} = 2.165 \Omega$$

$$R_{eq} = Z_{eq} \cos \varphi_{sc} = 2.165 \times 0.58 = 1.26 \Omega$$

$$X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2} = \sqrt{(2.165)^2 - (1.26)^2} = 1.76 \Omega$$

❖ مثال (٣):

محرك تأثيري ثلاثي الأوجه [(4) أقطاب، 50 Hz، 440 V] موصل بنجمه أجريت عليه

تجربتي اللاحمل والقصر وكانت النتائج كالآتي:-

تجربة اللاحمل

تجربة القصر

$$440 \text{ V} \quad \& \quad I_0 = 9 \text{ A} \quad \& \quad P_0 = 1370 \text{ W}$$

$$110 \text{ V} \quad \& \quad I_{sc} = 60 \text{ A} \quad \& \quad P_{sc} = 1500 \text{ W}$$

فإذا كانت $(R_1 = R_2)$ ، $(X_1 = X_2)$ ونسبة التحويل $(K = 3)$ احسب مكونات الدائرة المكافئة لهذا المحرك.

أولاً: تجربة اللاحمل:-

$$\cos \varphi_s = \frac{P_s}{\sqrt{3} \cdot V_s \cdot I_s} = \frac{1370}{\sqrt{3} \times 440 \times 9} = 0.2$$

$$I_w = I_s \cdot \cos \varphi_s = 9 \times 0.2 = 1.8 \text{ A}$$

$$I_m = \sqrt{I_s^2 - I_w^2} = \sqrt{(9)^2 - (1.8)^2} = 8.82 \text{ A}$$

$$R_s = \frac{(V_o / \sqrt{3})}{I_w} = \frac{(440 / \sqrt{3})}{1.8} = 141.13 \Omega$$

$$X_s = \frac{(V_o / \sqrt{3})}{I_m} = \frac{(440 / \sqrt{3})}{8.82} = 28.8 \Omega$$

ثانياً: تجربة القص:

$$\cos \varphi_{s,c} = \frac{P_{s,c}}{\sqrt{3} V_{s,c} I_{s,c}} = \frac{1500}{\sqrt{3} \times 110 \times 60} = 0.13$$

$$Z_{eq} = \frac{(V_{s,c} / \sqrt{3})}{I_{s,c}} = \frac{(110 / \sqrt{3})}{60} = 1.06 \Omega$$

$$R_{eq} = Z_{eq} \cdot \cos \varphi_{s,c} = 1.06 \times 0.13 = 0.14 \Omega$$

$$X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2} = \sqrt{(1.06)^2 - (0.14)^2} = 1.05 \Omega$$

$$\therefore R_1 = R_2 \Rightarrow R_1 = R_2 = \frac{R_{eq}}{2} = \frac{0.14}{2} = 0.07 \Omega$$

$$\therefore R_2 = \frac{R_2}{K^2} = \frac{0.07}{(3)^2} = 0.008 \Omega$$

$$\therefore X_1 = X_2 \Rightarrow X_1 = X_2 = \frac{X_{eq}}{2} = \frac{1.05}{2} = 0.525 \Omega$$

$$\therefore X_2 = \frac{X_2}{K^2} = \frac{0.525}{(3)^2} = 0.058 \Omega$$

❖ مثال (4) ❖:

محرك إستنتاجي ثلاثي الأوجه توصيلة نجمه (4) أقطاب وقدرة (5) حصان يتصل بمصدر جهده (200 V) وتردده (60 Hz) فإذا كان الفقد في النحاس في كل من العضو الساكن والعضو الدوار (300 W، 100) على الترتيب والفقد في الحديد (200 W) والمفايد الاحتكاكية (80 W). احسب كفاءة المحرك وعزم المحرك.

$\frac{1}{2} \times 10^{-6} \text{ W/ev}$

$P = 2 \quad \& \quad P_{out2} = 5 \times 746 = 3730 \text{ W} \quad \& \quad V_L = 200 \text{ V}$

$F = 60 \text{ Hz} \quad \& \quad P_{c1} = 100 \text{ W} \quad \& \quad P_{c2} = 300 \text{ W}$

$P_{i1} = 200 \text{ W} \quad \& \quad P_f = 80 \text{ W}$

$P_m = P_{out2} + P_f = 3730 + 80 = 3810 \text{ W}$

$P_{out1} = P_{in2} = P_m + P_{c2} = 3810 + 300 = 4110 \text{ W}$

$P_{in1} = P_{out1} + P_{c1} + P_{i1} = 4110 + 100 + 200 = 4410 \text{ W}$

$\therefore \eta = \frac{P_{out2}}{P_{in1}} \times 100 = \frac{3730}{4410} \times 100 = 84.58\%$

$N_s = \frac{60 F}{P} = \frac{60 \times 60}{2} = 1800 \text{ r.p.m}$

$P_{c2} = S P_{in2} \Rightarrow \therefore S = \frac{P_{c2}}{P_{in2}} = \frac{300}{4110} = 0.073$

$\therefore S = \frac{N_s - N}{N_s} \Rightarrow \therefore N = N_s (1 - S)$

$\therefore N = 1800 (1 - 0.073) = 1668.6 \text{ r.p.m}$

$W = \frac{2\pi N}{60} = \frac{2\pi \times 1668.6}{60} = 174.735 \text{ rad/s}$

$\therefore T_{sh} = \frac{P_{out2}}{W} = \frac{3730}{174.735} = 21.35 \text{ N.m}$

$\therefore T_m = \frac{P_m}{W} = \frac{3810}{174.735} = 21.8 \text{ N.m}$

❖ مثال (٥) :-

محرك إستنتاجي ثلاثي الأوجه (6) أقطاب، (50 Hz) الإنزلاق عند الحمل الكامل (5%) والعزم المستفاد (150 N.m) والمفايد الإحتكاكية والإضافية (300 W) ومفايد العضو الثابت (1200 W) إحسب:-

الخرج بالحصان - المفايد النحاسية للعضو الدوار - العزم الميكانيكي - الكفاءة.

Handwritten notes and calculations at the bottom of the page, including:
 $E_{02} = \frac{E_{01}}{2}$
 $E_{02} = \frac{E_{01}}{2}$
 $E_{02} = \frac{E_{01}}{2}$

$$P = 3 \quad \& \quad F = 50 \text{ Hz} \quad \& \quad S = 5\% = 0.05$$

$$T_{sh} = 150 \text{ N.m} \quad \& \quad P_f = 300 \text{ W} \quad \& \quad P_{i1} + P_{c1} = 1200 \text{ W}$$

$$N_s = \frac{60 F}{P} = \frac{60 \times 50}{3} = 1000 \text{ r.p.m}$$

$$N = N_s (1 - S) = 1000 (1 - 0.05) = 950 \text{ r.p.m}$$

$$\omega = \frac{2 \pi N}{60} = \frac{2 \pi \times 950}{60} = 99.5 \text{ rad/s}$$

$$P_{out2} = T_{sh} \cdot \omega = 150 \times 99.5 = 14925 \text{ W} = 20.20 \text{ HP}$$

$$\Delta P_m = P_{out2} + P_f = 14925 + 300 = 15225 \text{ W}$$

$$P_{in2} : P_{c2} : P_m = 1 : S : (1 - S) \Rightarrow P_m = \frac{S P_m}{(1 - S)}$$

$$\Delta P_{c2} = \frac{0.05 \times 15225}{(1 - 0.05)} = 801.3 \text{ W}$$

$$\Delta T_m = \frac{P_m}{\omega} = \frac{15225}{99.5} = 153 \text{ N.m}$$

$$\Delta P_{in2} = P_{out2} = P_m + P_{c2} = 15225 + 801.3 = 16026.3 \text{ W}$$

$$\Delta P_{in1} = P_{in2} + (P_{i1} + P_{c1}) = 16026.3 + 1200 = 17226.3 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out2}}{P_{in1}} \times 100 = \frac{14925}{17226.3} \times 100 = 86.64\%$$

مثال (٢) محرك إلكتروني ثلاثي الأوجه توصيلة نجمة (4) القطب (30 Hz) و 4 (220 V) للخط ومقاومة العضو الدائر لكل وجه (0.2 Ω) ومضاعفه (0.8 Ω) ونسبة عدد التلافات للمحرك (K = 1.5) والإزلاق عند العمل الكامل (5%) احسب التيار ومعامل القدرة للعضو الدائر - العزم الميكانيكي.

$$Y \text{ توصيلة} \quad \& \quad P = 2 \quad \& \quad F = 50 \text{ Hz} \quad \& \quad V_L = 220 \text{ V}$$

$$R_2 = 0.2 \Omega \quad \& \quad X_2 = 0.8 \Omega \quad \& \quad K = 1.5 \quad \& \quad S = 0.05$$

نوصيلة نجمة

$$V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 V$$

$$K = \frac{V_{ph}}{E_2} = \frac{V_{ph}}{K} = \frac{127}{1.5} = 84.7 V$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + (S X_2)^2} = \sqrt{(0.2)^2 + (0.05 \times 0.8)^2} = 0.204 \Omega$$

$$I_2 = \frac{S E_2}{Z_2} = \frac{0.05 \times 84.7}{0.204} = 20.76 A$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_2}{Z_2} = \frac{0.2}{0.204} = 0.98$$

$$P_{e2} = 3 I_2^2 R_2 = 3 (20.76)^2 \times 0.2 = 258.6 W$$

$$P_m = \frac{P_{e2} (1 - S)}{S} = \frac{258.6 (1 - 0.05)}{0.05} = 4913 W$$

$$N_s = \frac{60 F}{2} = \frac{60 \times 50}{2} = 1500 \text{ r.p.m}$$

$$N_r = N_s (1 - S) = 1500 (1 - 0.05) = 1425 \text{ r.p.m}$$

$$\omega = \frac{2 \pi N_r}{60} = \frac{2 \times \pi \times 1425}{60} = 149.23 \text{ rad/s}$$

$$T_m = \frac{P_m}{\omega} = \frac{4913}{149.23} = 32.92 \text{ N.m}$$

محرك استقرائي ثلاثي الأطوار (50 Hz) عضو الدارة موصل نجمة وفي ذلك
المستنتجة بين حلقات الإثارة ذات وجه (100 V) عند المسكون ومقاومة العضو الدارة
(0.2 Ω) ومعامل قوة الدارة (0.03 H) للوجه الواحد. احسب تيار العضو الدارة ومعامل
القدرة في الحالات الآتية:
أ- عند المسكون وحلقات الإثارة موصلة بترموستات (3 Ω) لكل وجه.
ب- عند الدوران بترلاقي (4%).

$$F = 50 \text{ Hz} \quad \& \quad \text{نوصيلة Y} \quad \& \quad E_2 = 100 V$$

$$R_2 = 0.2 \Omega \quad \& \quad L_2 = 0.03 H$$

$$X_2 = 2 \pi F L_2 = 2 \pi \times 50 \times 0.03 = 9.4 \Omega$$

$$(a) R_{add} = 3 \Omega, S = 1$$

$$\therefore Z_2 = \sqrt{(R_2 + R_{add})^2 + (S X_2)^2} = \sqrt{(0.2 + 3)^2 + (9.4)^2} = 9.93 \Omega$$

$$\therefore I_2 = \frac{S E_{o2}}{Z_2} = \frac{1 \times 100}{9.93} = 10.07 A$$

$$\therefore \cos \varphi_2 = \frac{R_2 + R_{add}}{Z_2} = \frac{0.2 + 3}{9.93} = 0.32$$

الحالة الثانية

$$(b) S = 4\% = 0.04$$

$$\therefore Z_2 = \sqrt{(R_2)^2 + (S X_2)^2} = \sqrt{(0.2)^2 + (0.04 \times 9.4)^2} = 0.426 \Omega$$

$$\therefore I_2 = \frac{S E_{o2}}{Z_2} = \frac{0.04 \times 100}{0.426} = 9.4 A$$

$$\therefore \cos \varphi_2 = \frac{R_2}{Z_2} = \frac{0.2}{0.426} = 0.47$$

مثال (1) :-

محرك استثنائي ثلاثي الأوجه عضوه الدائر موصل نجمة وفي ذلك المستتجة بين حلقات الأتلاق عند السكون (90 V) ومقاومة وممانعة العضو الدائر (3 Ω و 1 Ω) على الترتيب لتوجه التوجه احسب تيار العضو الدائر ومعامل القدرة في الحالات الآتية :-

أ- حلقات الأتلاق مقصورة على نفسها عند السكون.

ب- حلقات الأتلاق موصلة بربوحدات موصل نجمة (4 Ω) لكل وجه عند السكون.

ج- عندما يكون الأتلاق (5 %).

الحل :-

$$Y \text{ توصيلة } \& (E_{oL} = 90 V \& R_2 = 1 \Omega \& X_2 = 3 \Omega$$

$$E_{o2ph} = \frac{E_{oL}}{\sqrt{3}} = \frac{90}{\sqrt{3}} = 52 V$$

توصيلة نجمة

في الحالة الأولى

$$(a) S = 1$$

$$\therefore Z_2 = \sqrt{(R_2)^2 + (S X_2)^2} = \sqrt{(1)^2 + (1 \times 3)^2} = 3.16 \Omega$$

$$\therefore I_2 = \frac{S E_{o2ph}}{Z_2} = \frac{1 \times 52}{3.16} = 16.46 A \therefore \cos \varphi_2 = \frac{R_2}{Z_2} = \frac{1}{3.16} = 0.32$$

خارجية

$$(b) R_{add} = 4 \Omega, S = 1$$

$$\therefore Z_2 = \sqrt{(R_2 + R_{add})^2 + (S X_2)^2} = \sqrt{(1 + 4)^2 + (3)^2} = 5.83 \Omega$$

$$\therefore I_2 = \frac{S E_{s_2}}{Z_2} = \frac{1 \times 52}{5.83} = 8.92 A$$

$$\therefore \cos \varphi_2 = \frac{R_2 + R_{add}}{Z_2} = \frac{1 + 4}{5.83} = 0.86$$

خارجية

$$(c) S = 5\% = 0.05$$

$$\therefore Z_2 = \sqrt{(R_2)^2 + (S X_2)^2} = \sqrt{(1)^2 + (0.05 \times 3)^2} = 1.011 \Omega$$

$$\therefore I_2 = \frac{S E_{s_2}}{Z_2} = \frac{0.05 \times 52}{1.011} = 2.57 A$$

$$\therefore \cos \varphi_2 = \frac{R_2}{Z_2} = \frac{1}{1.011} = 0.99$$

مثال (1):

محرك إستقاضي ثلاثي الأوجه توصيلة نجمة (5 HP) (380 V) (50 Hz) ويدور بسرعة (950 r.p.m) ويحتوي على (6) أقطاب وكفاءته (89 %) عند الحمل الكامل ومعامل قدرة (0.8) تأخر فإذا كانت مفايد العضو الثابت (191 W) احسب عند الحمل الكامل:-

تيار الدخل - المفايد النحاسية للعضو الدائر - العزم الميكانيكي - المفايد الاحتكاكية

الحل:-

$$F = 50 \text{ Hz} \quad \& \quad \text{توصيلة نجمة} \quad \& \quad P_{out_2} = 5 \times 746 = 3730 \text{ W}$$

$$V_L = 380 \text{ V} \quad \& \quad P = 3 \quad \& \quad N = 950 \text{ r.p.m} \quad \& \quad \cos \varphi = 0.89$$

$$\cos \varphi = 0.8 \quad \& \quad P_{i_1} + P_{c_1} = 191 \text{ W}$$

$$\therefore \frac{P_{out_2}}{P_{in_1}} \Rightarrow \therefore P_{in_1} = \frac{P_{out_2}}{0.89} = \frac{3730}{0.89} = 4191 \text{ W}$$

$$P_{in_1} = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi \Rightarrow \therefore I_L = \frac{P_{in_1}}{\sqrt{3} V_L \cos \varphi}$$

$$I_L = \frac{4191}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.8} = 7.96 \text{ A}$$

$$P_{in2} = P_{in1} - (P_{L1} + P_{C1}) = 4191 - 191 = 4000 \text{ W}$$

$$N_s = \frac{60 F}{P} = \frac{60 \times 50}{3} = 1000 \text{ r.p.m}$$

$$S = \frac{(N_s - N)}{N_s} = \frac{(1000 - 950)}{1000} = 0.05 = 5\%$$

$$P_{C2} = S P_{in2} = 0.05 \times 4000 = 200 \text{ W}$$

$$P_m = P_{in2} (1 - S) = 4000 (1 - 0.05) = 3800 \text{ W}$$

$$W = \frac{2 \pi N}{60} = \frac{2 \pi \times 950}{60} = 99.5 \text{ rad/s}$$

$$T_m = \frac{P_m}{W} = \frac{3800}{99.5} = 38.2 \text{ N.m}$$

$$P_f = P_m - P_{out2} = 3800 - 3730 = 70 \text{ W}$$

مشاكل على المحركات الحثية ثلاثية الأوجه

(١) محرك استنتاجي (٥٠) حصان (٣) أوجه (٤٤٠) فولت (٥٠) هرتز يدور بسرعة (٩٥٠) لفة/دقيقة عند الحمل الكامل ويحتوي على (٦) أقطاب. احسب قيمة معامل الانزلاق وتردد العضو الدائر.

(٢) محرك استنتاجي (٨) أقطاب تردد ق. د.ك. بالعضو الدائر (١٠٥) ذات وتردد المنبع (٥٠) ذات. احسب سرعة المحرك ومعامل الانزلاق.

(٣) محرك استنتاجي ثلاثي الأوجه نجمة قيمة ق. د.ك. المستنتجة عند السكون بين حلقات الإنزلاق (١٧٣) فولت ومقاومة العضو الدائر (١) أوم وممانعته (٤) أوم للوجه الواحد. احسب قيمة تيار العضو الدائر ومعامل القدرة في الحالات الآتية:

أ- حلقات الإنزلاق مفصولة على نفسها عند السكون.

ب- حلقات الإنزلاق موصلة بريوسات متصلة نجمة قيمتها (٣) أوم عند السكون.

ج- حلقات الإنزلاق موصلة بمعاوقة (٤ + j3) أوم عند السكون.

د- عندما تدور الآلة ويصبح الانزلاق (5%).

(٤) محرك تأثيري (٣) أوجه (٦) أقطاب ق. د.ك. للعضو الدائر (٤٠٠) فولت وترددها (٣) ذات. احسب السرعة ومعامل الإنزلاق إذا كان تردد المنبع (٥٠) ذات ثم أوجد

المفاقد النحاسية للعضو الدائر إذا كان دخل العضو الدائر (١١٠٩) كيلو واط.

$$\frac{P_{in2}}{1} \times \frac{P_{L2}}{S} = \frac{P_m}{1-S}$$

نوع من السرعة
سرعة منتظمة
ن - به وادواليد
نقطة

$$H = 346 \text{ W}$$

- (٥) محرك إستنتاجي (٣) أوجه كفاءته (٩٠%) وخرجه (٣٧) ك وات والمفاقيد النحاسية للعضو الثابت تساوي المفاقيد النحاسية للعضو الدائر وتساوي المفاقيد الحديدية للعضو الثابت. احسب قدرة بخل المحرك وقيمة المفاقيد النحاسية لكل العضوين إذا كانت المفاقيد الاحتكاكية (٢٠٠) وات.
- (٦) محرك تأثيري (٤٠٠) فولت (٦٠) ذات (٦) أقطاب (٣) أوجه يدور بسرعة (١١٤٠) لفة/د ودخله (٤٠) ك وات عند معامل قدرة (٠.٨) تأخر ومفاقيد العضو الثابت (١) ك وات والمفاقيد الاحتكاكية (٢) ك وات. احسب الإنزلاق والمفاقيد النحاسية للعضو الدائر والقدرة الميكانيكية والكفاءة وتيار الدخل للمحرك.
- (٧) محرك إستنتاجي (٣) أوجه (٦) أقطاب (٥٠) ذات (٥) حصان يدور بسرعة (٩٥٠) لفة/د. احسب بخل المحرك والكفاءة إذا كانت مفاقيد العضو الثابت (٣٠٠) وات مع إهمال المفاقيد الاحتكاكية.
- (٨) محرك إستنتاجي (١) أقطاب (٥) ذات (٣) أوجه (٢٥) حصان و المفاقيد الاحتكاكية (٣٠٠) من الخرج و الإنزلاق (٤%) عند العمل الكامل احسب المفاقيد النحاسية للعضو الدائر و بخل العضو الدائر و العزم المستفاد و العزم الميكانيكي.
- (٩) محرك إستنتاجي (٣) أوجه (٦) أقطاب (٥٠) ذات و الإنزلاق (٤%) عند الحمل الكامل و العزم المستفاد (١٤٩.٣) نيوتن.متر و المفاقيد الاحتكاكية (٢٠٠) وات و مفاقيد العضو الثابت الكلية (١٠٢٠) وات احسب الخرج بالحصان و المفاقيد النحاسية للعضو الدائر والكفاءة.
- (١٠) محرك تأثيري (٤٠٠) فولت (٦٠) ذات (٦) أقطاب (٣) أوجه يدور بسرعة (١١٤٠) لفة/د ودخله (٤٢) ك وات ومفاقيد العضو الثابت (١.١) ك وات والمفاقيد الاحتكاكية (١.٨) ك وات احسب الإنزلاق و خرج المحرك والمفاقيد النحاسية للعضو الدائر والكفاءة ومقاومة العضو الدائر للوجه الواحد إذا كان تيار العضو الدائر (٦) أمبير.
- (١١) محرك تأثيري ثلاثي الأوجه أجريت عليه التجارب التالية :
- | تجربة | اللا حمل | ٦٠٠٠ فولت | ١٤ أمبير | ٢٠٠٠٠ وات |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| تجربة القصر | ١٠٠٠ فولت | ٧٠ أمبير | ٣٠٥٠٠ وات | |
- احسب ثوابت الدائرة المكافئة للمحرك إذا كان موصل نجمة أو دلتا.
- (١٢) محرك إستنتاجي ثلاثي الأوجه (٤٠٠) فولت أجريت عليه التجارب التالية :
- | تجربة | اللا حمل | ٦٠٠ وات | ٣ أمبير | ٤٠٠ فولت |
|-------------|---|-----------------------------|----------|----------|
| تجربة القصر | ١٦٦٠ وات <td>١٢ أمبير <td>٢٠٠ فولت </td></td> | ١٢ أمبير <td>٢٠٠ فولت </td> | ٢٠٠ فولت | |
- احسب مكونات الدائرة المكافئة للمحرك في حالة التوصيل نجمة أو دلتا إذا كانت $(R_1 = R_2)$ ، $(X_1 = X_2)$ ونسبة التحويل $(K = 4)$.

تشبه في تركيبها المحركات الإستنتاجية ثلاثية الأوجه ذات القلص السنجاني حيث تتكون من عضو ثابت وعضو دوار ذو قلص سنجاني وتكون ملفات العضو الثابت أحادية الوجه وموزعة في المجاري بطريقة معينة للحصول على فيض مغناطيسي متردد وليس لهذا المحرك عزم بدء حركة ولا بد من وسيلة مساعدة لبدء حركته لأنه عند توصيل ملفات العضو الثابت بطابع التيار متردد أحادي الوجه يمر التيار في ملفات هذا العضو وينشأ عن ذلك مجال مغناطيسي متردد يتم تحريكه بسبب طريقة توزيع الملفات إلى مجالين مغناطيسيين يتوران بنفس السرعة وفي اتجاهين متضادين وذلك بتولد عزم دوران متبادلي في السطاح والمتضادين في الاتجاه وذلك بتعدد عزم الدوران عند البدء إلا إذا أثير العضو الدوار بواسطة مساعدة في اتجاه معين ويستمر في الدوران في نفس الاتجاه ولذلك يتم لهذه المحركات بدء حركته

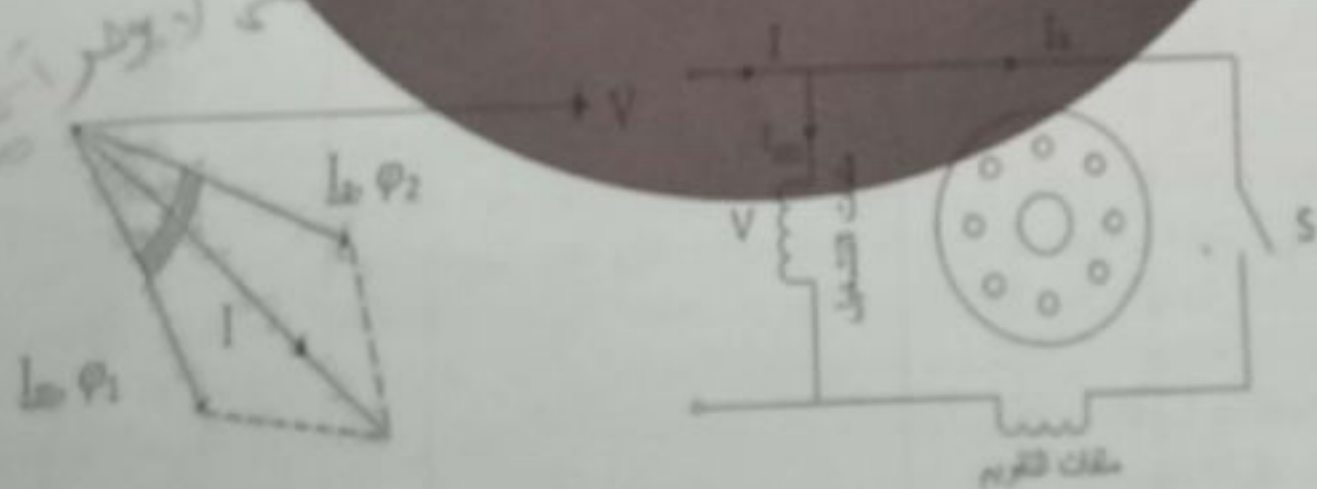
طرق بدء الحركة للمحرك الإستنتاجي أحادي الوجه :-

يختلف نوع المحرك حسب

طريقة بدء الحركة له وهذه الأنواع هي :-

1- المحرك ذو الوجه المططور :-

في هذا النوع يحتوي العضو الثابت على ملفين هما : ملف التشغيل (الملف الرئيسي) وملف التنويم (الملف المساعد أو ملف البدء) ويتم توزيعهم في المجاري بحيث تكون الزاوية بينهما (90°) بالإضافة إلى مفتاح طرف مركزي يوصل على التوالي مع ملف التنويم.



عند توصيل المحرك بمنبع تيار متردد أحادي الوجه يمر تيار (I_m) في ملفات التشغيل وتيار (I_a) في ملفات التقويم وينشأ عن ذلك مجالين (ϕ_1, ϕ_2) بينهما زاوية (α) ونتيجة لذلك يتولد مجال دوار يعمل على دوران العضو الدوار إلى أن تصل سرعة المحرك إلى (75%) من السرعة المعلقة فيقوم مفتاح الطرد المركزي (S) بفصل ملفات التقويم حتى لا تسبب فقد في قدرة المحرك. ويمثل هذا النوع من المحرك بحزم بدء متوسط القيمة وتيار منخفض أثناء البدء ولذلك يستخدم في المراوح والمضخات والمضخات ذات الطرد المركزي وبعض الأجهزة المنزلية والمكتبية.

٢- المحرك ذو ملفات البدء :-

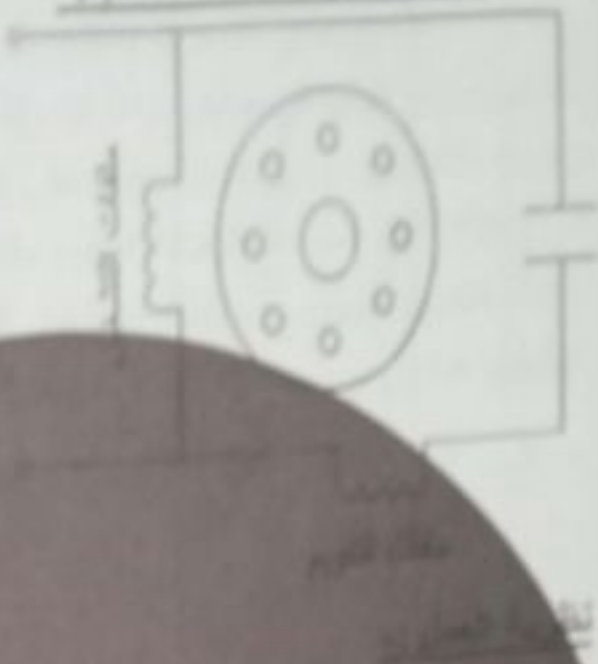
في هذا النوع يحتوي العضو الثابت على ملفين هما : ملف التشغيل (الملف الرئيسي) وملف التقويم (الملف المساعد أو ملف البدء) ويتم توصيلهما في المحرك بحيث تكون الزاوية بينهما (90°) بالإضافة إلى مفتاح طرد مركزي يعمل على التوالي مع ملف التقويم ويتم إضافة ملفك بالتوالي مع ملفات التقويم يقوم بتكوين التيار الحث في ملفات التقويم بزاوية (90°) وذلك لزيادة الزاوية بين المجالين (α) مما يؤدي إلى زيادة عزم البدء.



عند توصيل المحرك بمنبع تيار متردد أحادي الوجه يمر تيار (I_m) في ملفات التشغيل وتيار (I_a) في ملفات التقويم وينشأ عن ذلك مجالين (ϕ_1, ϕ_2) بينهما زاوية (α) ونتيجة لذلك يتولد مجال دوار يعمل على دوران العضو الدوار إلى أن تصل سرعة المحرك إلى (75%) من السرعة المعلقة فيقوم مفتاح الطرد المركزي (S) بفصل ملفات التقويم حتى لا تسبب فقد في قدرة المحرك. ويمثل هذا النوع بالحزم التكرير عند البدء ويستخدم في الضواغط والمضخات وأجهزة التبريد والتكييف وفي الأحمال التي تتطلب عزم بدء حركة كبير.

٢- المحرك ذو المكثف الدائم :-

في هذا النوع يحتوي العضو الثابت على ملفين هما : ملف التشغيل (الملف الرئيسي) وملف التنويم (الملف المساعد أو ملف البدء) ويتم توزيعهم في المجاري بحيث تكون الزاوية بينهما (90°) ويتم إضافة مكثف بالتوالي مع ملفات التنويم يقوم بتقديم التيار المار في ملفات التنويم بزاوية (90°) وبذلك تزداد الزاوية بين الملفين (α) مما يؤدي إلى زيادة قوة البدء مع الاستبقاء عن مفتاح الطرد المركزي.



عند توصيل المحرك بمتغير تيار متردد أحادي الوجه يمر تيار (I_m) في ملفات التشغيل وتيار (I_r) في ملفات التنويم وينشأ عن ذلك مجالين (ϕ_m و ϕ_r) بينهما زاوية (α) ونتيجة لذلك يتولد مجال دوران يعمل على دوران العضو الثابت. لعدم وجود مفتاح طرد مركزي تظل ملفات التنويم تعمل مع ملفات التشغيل أثناء التشغيل المستمر للمحرك مما يؤدي إلى تحسين الكفاءة ومعامل القدرة ولتحسين الصوت وتقليل استهلاك هذا النوع في أجهزة التبريد والتكييف.

٣- المحرك ذو المكثف الدائم :-

في هذا النوع يحتوي العضو الثابت على ملفين هما : ملف التشغيل (الملف الرئيسي) وملف التنويم (الملف المساعد أو ملف البدء) ويتم توزيعهم في المجاري بحيث تكون الزاوية بينهما (90°) ويتم توصيل مكثف ذو سعة صغيرة بشكل دائم على التوالي مع ملفات التنويم لتحسين خواص التشغيل.



ويسمى مكثف التشغيل (المكثف الدائم) وتوصيل مكثف آخر ذو سعة كبيرة عن طريق مفتاح طرد مركزي (S) على التوالي مع مكثف التشغيل ويسمى مكثف البدء وعندما تكمل سرعة المحرك إلى (75%) من السرعة المقننة يقوم مفتاح الطرد المركزي بفصل مكثف البدء وبهذه الطريقة يمكن الحصول على بدء حركة مثالي بدون ضوضاء مع ارتفاع الكفاءة ومعامل القدرة.

عند توصيل المحرك بملحقات تيار متردد أحمال الوجه يمر التيار (I_m) في ملفات التشغيل والتيار (I_a) في ملفات التكوين وينشأ عن ذلك مجالين (ϕ_1, ϕ_2) بينهما زاوية (α) وانتيهية لذلك يولد مجال دوران يعمل على دوران العضو الدوار إلى أن تصل سرعة المحرك إلى (75%) من السرعة المعلقة فيقوم مفتاح الطرف المركزي (5) بفصل ملفات البدء ونقل ملفات التكوين لعمل مع ملفات التشغيل أثناء التشغيل المستمر للمحرك مع وجود ملفات التشغيل مما يؤدي إلى انخفاض الطاقة وتقليل السرعة وتغير الصوت.

٤. المحرك ذو الأقطاب المتغيرة

تأليف من عضوين رئيسيين هما:-

١- العضو الثابت وهو عبارة عن حقل دائري حثي عليه أقطاب بارزة ويوجد في أحد جهتي كل قطب مغناطيسي يوضع بها ملف لتمرير تيار من جهتي أو ثلاثة من تلك سميك من النحاس وهذه الملفات تسمى بالأقطاب الثابتة.

٢- العضو الدوار وهو من النوع ذو القطب المتجاوب.

نظرية التشغيل

عند توصيل ملفات العضو الثابت بملحقات تيار متردد أحمال الوجه ينشأ مجال مغناطيسي متغير يقطع موصلات العضو الدوار ويقطع ملفات القصر (الأقطاب المتغيرة) فينتج تياراً في ذلك التوربين إلى مرور تيار ينشأ عنه مجال مغناطيسي آخر متغير ويكون بين المجالين زاوية إزاحة وذلك يتكون مجال مغناطيسي دوار يعمل على دوران العضو الدوار وتصل سرعة المحرك إلى (75%) من السرعة المعلقة يصبح تأثير ملفات القصر مهماً.

يؤتميز هذا المحرك برخص الثمن وبسهولة التركيب ويستخدم في المراوح الصغيرة ومضخات المياه في أجهزة التكيف الصحراوية والفصالات.

مثال (١) :-

محرك حتى أحادي التوجة من النوع ذو التوجة المشطور جهده عند بدء الحركة (220 V) وتفرده (50 Hz) فإذا كانت معاوقة الملفات الرئيسية والمساعدة هي :

$$Z_m = 1.2 + j25 \quad \& \quad Z_a = 12 + j5$$

أصب عند بدء الحركة : قيمة التيار المار في كل من الملف الرئيسي والملف المساعد والتيار الكلي ومعامل القدرة والفرق الزمني بين تيار الملفات الرئيسية والمساعدة.

الحل :-

$$Z_m = 1.2 + j25 = 25.03 \angle 87.25^\circ$$

$$Z_a = 12 + j5 = 13 \angle 22.62^\circ$$

$$I_m = \frac{V}{Z_m} = \frac{220 \angle 0^\circ}{25.03 \angle 87.25^\circ} = 8.8 \angle -87.25^\circ = 0.42 - j8.79 \text{ A}$$

$$I_a = \frac{V}{Z_a} = \frac{220 \angle 0^\circ}{13 \angle 22.62^\circ} = 16.9 \angle -22.62^\circ = 15.6 - j6.3 \text{ A}$$

$$I = I_m + I_a = 16.02 - j15.29 = 22.14 \angle -43.646^\circ$$

$$\Delta \cos \phi = \cos(-43.646^\circ) = 0.723$$

$$\Delta \alpha = \phi_m - \phi_a = -87.25 - (-22.62) = -64.63^\circ$$

مثال (٢) :-

محرك حتى أحادي التوجة من النوع ذو ملفات بدء الحركة جهده عند بدء الحركة (220 V) وتفرده (60 Hz) فإذا كانت ثوابت الملفات الرئيسية والمساعدة هي :

$$Z_m = 4.2 + j3.8 \quad \& \quad Z_a = 8.8 + j3.2$$

أصب قيمة ملفات البدء اللازم للحصول على زاوية مقدراها (90°) بين تيار الملفات الرئيسية والمساعدة عند بدء الحركة.

الحل :-

في حالة البدء بالتيار الكلي

$$\phi_m + \phi_a = 90^\circ$$

$$\phi_m = \tan^{-1} \left(\frac{3.8}{4.2} \right) = 42^\circ$$

$$\phi_m + \phi_a = 90^\circ \rightarrow \phi_a = 90 - \phi_m = 90 - 42 = 48^\circ$$

$$\tan \varphi_a = \frac{X_c - X_L}{R_a} \Rightarrow \tan 48 = \frac{X_c - 3.2}{8.8}$$



$$X_c - 3.2 = 8.8 \tan 48$$

$$X_c = 8.8 \tan 48 + 3.2 = 12.88 \Omega$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi F C} \Rightarrow \therefore C = \frac{1}{2\pi F X_c}$$

$$C = \frac{1}{2\pi \times 60 \times 12.88} = 2.06 \times 10^{-6} F$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

$$\tan \varphi = \frac{X_c - X_L}{R} = \frac{V}{R}$$

مثال (٢) :-

محرك حثي أحادي التوجه من النوع ذو ملفات بدء الحركة
الحركة (220 V) وتردده (50 Hz) فإذا كانت ثوابت الملفات الرئيسية والمساعدة هي:

$$Z_m = 12.5 + j6 \quad \& \quad Z_a = 1.2 + j26$$

احسب تيار الملف الرئيسي وقيمة مكثف البدء اللازم للحصول على زاوية مقدورها (80°)
بين تيارى الملفات الرئيسية والمساعدة عند بدء الحركة.

الحل :-

$$Z_m = 12.5 + j6 = 13.87 \angle 25.64^\circ$$

$$I_m = \frac{V}{Z_m} = \frac{220}{13.87} = 15.86 A$$

$$\varphi_m + \varphi_a = 80^\circ \rightarrow \varphi_a = 80 - \varphi_m = 80 - 25.64 = 54.36^\circ$$

$$\tan \varphi_a = \frac{X_c - X_L}{R_a} \Rightarrow \tan 54.36 = \frac{X_c - 26}{1.2}$$

$$X_c - 26 = 1.2 \tan 54.36$$

$$X_c = 1.2 \tan 54.36 + 26 = 27.67 \Omega$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi F C} \Rightarrow \therefore C = \frac{1}{2\pi F X_c}$$

$$C = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 27.67} = 1.15 \times 10^{-4} F$$



تمارين على المحركات الإستنتاجية أحادية الوجه

(١) محرك حثي أحادي الوجه من النوع ذو الوجه المشطور جهده عند بدء الحركة (130 V) وتردده (60 Hz) فإذا كانت معاوقة الملفات الرئيسية والمساعدة هي :

$$Z_m = 1.2 + j26 \quad \& \quad Z_a = 12.5 + j6$$

احسب عند بدء الحركة : قيمة التيار المار في كل من الملف الرئيسي والملف المساعد والتيار الكلي ومعامل القدرة والفرق الزمني بين تيار الملفات الرئيسية والمساعدة.

(٢) محرك حثي أحادي الوجه من النوع ذو مكثف البدء جهده عند بدء الحركة (120 V) وتردده (60 Hz) فإذا كانت ثوابت الملفات الرئيسية والمساعدة هي :

$$Z_m = 4.2 + j3.6 \quad \& \quad Z_a = 8.4 + j3$$

احسب قيمة مكثف البدء اللازم للحصول على زاوية مقدارها (80°) بين تيار الملفات الرئيسية والمساعدة عند بدء الحركة.

(٣) محرك حثي أحادي الوجه من النوع ذو الوجه المشطور جهده عند بدء الحركة (220 V) وتردده (50 Hz) فإذا كانت معاوقة الملفات الرئيسية والمساعدة هي :

$$Z_m = 2 + j25 \quad \& \quad Z_a = 25 + j2$$

احسب عند بدء الحركة : قيمة التيار الكلي ومعامل القدرة والتيار المار في كل من الملف الرئيسي والملف المساعد والتيار الكلي ومعامل القدرة والفرق الزمني بين تيار الملفات الرئيسية والمساعدة.

(٤) محرك حثي أحادي الوجه من النوع ذو مكثف البدء جهده عند بدء الحركة (200 V) وتردده (60 Hz) فإذا كانت ثوابت الملفات الرئيسية والمساعدة هي :

$$Z_m = 8 + j3 \quad \& \quad Z_a = 8 + j13$$

احسب تيار الملفات الرئيسية وقيمة مكثف البدء اللازم للحصول على زاوية مقدارها (80°) بين تيار الملفات الرئيسية والمساعدة عند بدء الحركة.

الآلات الحثية (مولدات التاكو)

تعريف مولد التاكو (التاكوميتر) :-

هو جهاز كهروميكانيكي يستخدم في تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربية حيث يعمل كمولد جهد على تحويل السرعة الدورانية الداخلة له عن طريق محور الدوران إلى إشارة (جهد) كهربية متناسبة معها . ولذلك تعتمد نظرية عمله على العلاقة بين السرعة الدورانية

$$V_a = K_g \cdot \omega$$

(ω) والقوة الدافعة الكهربائية (V_a) حيث :-

حيث : K_g ثابت التناسب ويسمى معامل التكبير لمولد التاكو

استخدامات مولد التاكو :-

- (١) قياس سرعة الدوران .
- (٢) حساس للسرعة في نظم التحكم ذات التغذية العكسية للتحكم في سرعة الدوران .
- (٣) حساس للسرعة في نظم التحكم لتحسين استقرار نظام التحكم .

تركيب مولد التاكو :-

يتكون كما هو موضح بالرسم من عضوين هما :-

(أ) العضو الثابت ويتكون من ملفين بينهما زاوية كهربية مقدارها (٩٠) درجة ويوصل أحدهما مع مصدر كهربى ثابت الجهد والتردد ويسمى ملف الجهد (المجال) والآخر يتولد على أطرافه الجهد الكهربى ويسمى ملف التوليد .

(ب) العضو الدوار ويتكون من نوع القفص السنجاسى ويفضل أن يكون على شكل كأس رفيعة من النحاس للحصول على أقل قصور ذاتى وأقل زمن للوصول إلى حالة الاستقرار .



المتطلبات الرئيسية لمولدات التاكو :-

- (١) تحقيق أقل نسبة خطأ في الجهد المتولد .
- (٢) تحقيق أقل نسبة خطأ في زاوية الوجه بين الجهد المتولد والمجال المغناطيسى .
- (٣) تحقيق أقل قصور ذاتى للحصول على أقل زمن للوصول إلى حالة الاستقرار .
- (١١) تحقيق أكبر معامل تكبير (K_g) .