

الفهرس

١. قوانين
٢. مقدمة
 - نظري
 - مسائل
٣. حرك ثلاثي الأوجه
 - النظري
 - المسائل
٤. حرك احادي الأوجه
 - النظري
 - المسائل
٥. المحول
 - النظري
 - المسائل
٦. خطوط النقل القصيرة
 - النظري
 - المسائل
٧. خطوط النقل المتوسطة
 - النظري
 - المسائل

PS قوانين

PAGE _____
DATE _____

$$\begin{aligned} k = k_0 M_r &\rightarrow M_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/M} \\ B = \frac{B}{A} \text{ H/m} &, H = \frac{B}{M} \text{ H/m} \end{aligned}$$

النبع المغناطيسي
والتيار

$$\text{For } Y : |N_L| = \sqrt{3} |V_P|$$

$$\textcircled{1} V_{ab} = \sqrt{3} V_P / 30^\circ$$

$$\textcircled{2} V_{ca} = \sqrt{3} V_P / 150^\circ$$

$$\textcircled{3} V_{bc} = \sqrt{3} V_P / -30^\circ$$

$$\text{For } \Delta : |I_L| = \sqrt{3} |I_P| \quad \textcircled{4} |V_L| = |V_P|$$

$$\textcircled{1} I_a = \sqrt{3} I_P / 150^\circ$$

$$\textcircled{2} I_b = \sqrt{3} I_P / 30^\circ$$

$$\textcircled{3} I_c = \sqrt{3} I_P / -90^\circ$$

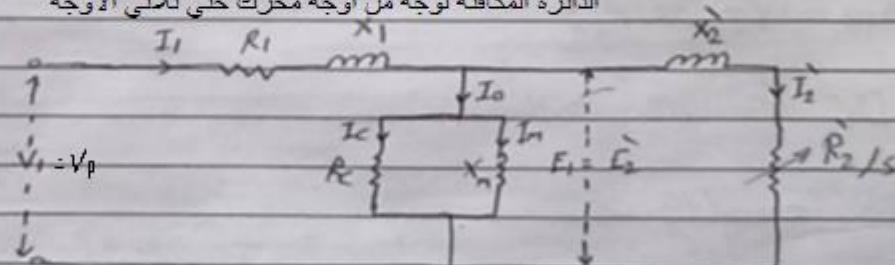
$$n_s = \frac{120}{P} f_s \quad (f_s: \text{freq. of stator}, P: \text{poles})$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (n_s: \text{speed of m. field of stator}, n: \text{rotor speed})$$

$$\rightarrow n = n_s (1-s)$$

$$f_r = s f_s \quad (f_r: \text{freq. of rotor})$$

الدائرة المكافئة لوجه من اوجه محرك حتى ثلاثي الاوجه



$$E_2' = f_2 \cdot \frac{N_1}{N_2} = a \cdot E_2 \quad , \quad X_2' = X_2 \cdot \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 = a^2 \cdot X_2$$

$$R_2' = R_2 \cdot \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 = a^2 \cdot R_2 \quad , \quad I_2' = I_2 \cdot \left(\frac{N_2}{N_1} \right) = I_2 / a$$

$$R_2'/s = R_2 + R_2' \cdot \left(\frac{1-s}{s} \right) \rightarrow$$

الجهة المكافئة
وهي باليسة لمقادير ملائات العتم الدائر

$$P = V_p I_p \cos(\phi) \rightarrow \text{for a Single Phase}$$

where $\cos(\phi)$ is The Power Factor (V_p, I_p)

$$\rightarrow P = 3 V_p I_p \cos(\phi) \quad (\text{For 3 Phase})$$

$$= \sqrt{3} V_L I_L \cos(\phi) \quad (\text{For Y Connection or } \Delta)$$

For The equivalent circuit to find The Constants:

$$R_{eq} = R_1 + R_2' \quad , \quad X_{eq} = X_1 + X_2'$$

① at no load ($S \downarrow 0, n \approx n_s, R_2' (1-s) \uparrow \uparrow$):

$$R_C = \frac{V_1}{I_C} \quad (V_1 \rightarrow V_p) \quad , \quad X_m = \frac{V_1}{I_M}$$

$$I_C = I_o \cos(\phi), \quad I_M = I_o \sin(\phi), \quad \cos\phi_o = \frac{P}{3 V_1 I_o}$$

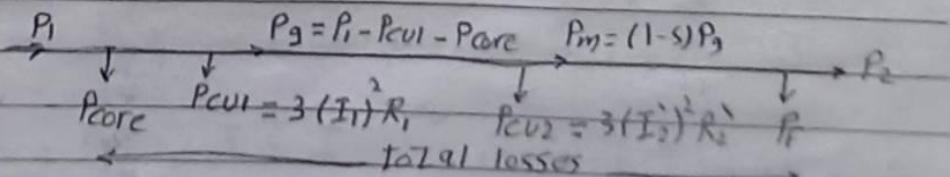
② at Fixed Rotor with load ($n = 0 \rightarrow s = 1 \rightarrow R_2' (1-s) = 0, I_o \downarrow \downarrow, I_1 \approx I_2'$)

$$R_{eq} = \frac{P}{3 I_1^2}, \quad Z_{eq} = \frac{V_{sc}}{I_1} \quad (\text{where } V_{sc} \xrightarrow{\text{open circuit}} V_p)$$

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

③ DC Current test

$$2R_1 = \frac{V_{dc}}{I_{dc}}$$



$$P_{stator} = P_{core} + P_{cu1} \rightarrow Pg = P_i - P_{stator}$$

$$P_i = 3 V_1 I_1 \cos(\phi) \rightarrow \text{Phase Power (Input)}$$

$$P_{cu1} \quad (\text{Core Loss}) \quad , \quad P_{cu2} \quad (\text{Leakage Loss}) \quad , \quad P_{core} \quad (\text{Core Loss})$$

$$P_g = 3 I_2^2 \frac{R_2}{S} \quad \text{ناتج عن Pair gap تساوى اىضاً} \\ \text{ويعادل } P_{CV2} = P_g \cdot S$$

$$P_m = P_g - P_{CV2} = (1-S) P_g \quad (\text{الفرقه الميكانيكية})$$

$$P_2 = P_m - P_f \quad (\text{where } P_f : \text{Fraction losses}, P_2 \text{ output})$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100$$

$$T_s = \frac{P_2}{\omega s} \quad (\text{عزم الدوران الكلي للمحاذيل باعتبار نسب المغناطيس})$$

$$T_m = \frac{P_m}{\omega} \quad (\text{عزم الدوران الكلي على العضو الدائر})$$

(السرعة الزاويه للمحاذيل باعتبار نسب المغناطيس الدوار)

$$\omega_s = \frac{2\pi}{60} n_s, \quad \omega = \frac{2\pi}{60} n \quad (\text{Rad/sec})$$

$$T_s = \frac{(3 I_2^2 R_2 / 60)}{S \cdot (2\pi \cdot n_s)} = K \frac{I_2^2 R_2}{S}, \quad I_2^2 = \frac{V_1^2}{2 \cdot \omega} = I_1$$

$$T_u = \frac{P_2}{\omega} \rightarrow T_m = T_u + T_f$$

$$S_{max} = \frac{R_2'}{x_2} = \frac{R_2}{x_2} \quad \text{at } S_m=1 \rightarrow T_{max} = K \frac{V_1^2}{2 \cdot x_2}$$

$$T_{start} = K \frac{V_1^2}{(R_1 + R_2)^2 + X_{eq}^2} \cdot R_2' \quad (\text{where } S=1)$$

يحتوي المحاذن على محالين دوارين (الماين وخطاف)

$$S_f = S, \quad S_b = \frac{n_s + n}{n_s} = 2 - S_f$$

نسبة المحاذن = نسبة المفاتيح

$$e_1 = \frac{N_1}{N_2}, \quad e_1 = N_1 \frac{d\theta}{dt}, \quad e_2 = N_2 \frac{d\theta}{dt} = N_2 \cdot \Omega_m \cdot \cos(\omega t)$$

$$e_1 = \sqrt{2} E_1 \cos(\omega t) = N_1 \cdot \Omega_m \cdot 2\pi f \cos(\omega t)$$

$E_1 = 4.44 N_1 \cdot \Omega_m \cdot f$ (الجهد المفتوح في المحاذن ل عند اثنين)

$$E_2 = 4.44 N_2 \phi m f$$

(القيمة الفعالة للجهد مترافق بالثانية)

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{e_1}{e_2}$$

(نسب التحويل)

$$S = V_1 I_1 = V_2 I_2 = P_w$$

(القدرة الظاهرة للتحول)

في تحول المترال (لا يوجد فقد في الطاقة)

$$E_1 I_1 = E_2 I_2 \rightarrow \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$V_1 = E_1, V_2 = E_2 \rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

خطوط النقل الكبيرة

$$D = \sqrt{D_1 D_2 D_3} \quad (\text{حيث } D_1, D_2, D_3 \text{ المسافات المترادفة بين الوصلات})$$

in cm

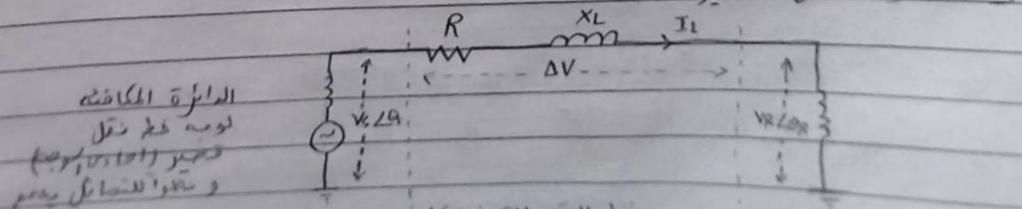
$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{1}{4} + \ln \left(\frac{D}{r} \right) \right) H \quad (r: \text{radius of Conductor for line})$$

$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

$$C_n = 2C = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln(\frac{D}{r})} \rightarrow \epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m} \quad (\text{خطوط النقل غير المقبرة})$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C_{nt}} = \frac{1}{2\pi f C_{nt}} \rightarrow Y = j \frac{1}{X_C} = j 2\pi f C_{nt} \quad (\text{مساحة الخط})$$

III خطوط النقل القصيرة



خط النقل (غير المقبرة) من الارسال

$$VS = VR + \Delta V, \quad \Delta V = Z_L I_L, \quad Z_L = R + j X_L$$

$$V_s = V_R + I_L R \cos \phi_R + I_L X_L \sin \phi_R$$

$$\phi_S = \phi_R + \theta_S \quad (V_s, I_s, \text{and } \theta_S \text{ are known})$$

$$I_s = I_L = I_R \quad \text{نوع} \rightarrow \theta_S \rightarrow (V_R, V_s)$$

Voltage Regulation:

$$\frac{V_s - V_R}{V_R} \times 100 = \frac{V_s - V_R}{V_R} \times 100$$

Power Factor (P.F) : ϕ angle between I and V

إذا كانت $\theta_S < 90^\circ$ فـ V lags I (lagging power factor)

وإذا كانت $\theta_S > 90^\circ$ فـ V leads I (leading power factor)

$$P_{loss} = S_s = 3 V_s I_L^* = \sqrt{3} V_{SL} I_L \quad (\text{القدرة المضروبة في 3})$$

$$P_s = 3 V_s I_L \cos(\phi_S) = \sqrt{3} V_{SL} I_L \cos(\phi_S) \quad (\text{القدرة الفعلية})$$

$$Q_s = 3 V_s I_L \sin(\phi_S) = \sqrt{3} V_{SL} I_L \sin(\phi_S) \quad (\text{القدرة المتخلفة})$$

$$S_R = 3 V_R I_L^* = \sqrt{3} V_R I_L \quad (\text{القدرة المضروبة في 3})$$

$$P_R = 3 V_R I_L \cos(\phi_R) = \sqrt{3} V_R I_L \cos(\phi_R) \quad (\text{القدرة الفعلية})$$

$$Q_R = 3 V_R I_L \sin(\phi_R) = \sqrt{3} V_R I_L \sin(\phi_R) \quad (\text{القدرة المتخلفة})$$

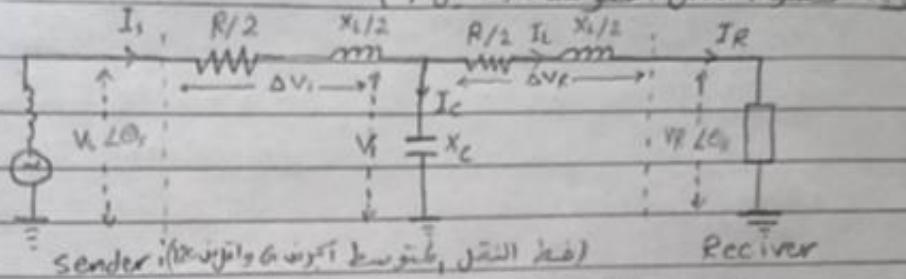
$$P_{loss} = 3 I_L^2 R = P_s - P_R$$

$$Q_{loss} = 3 I_L^2 X_L = Q_s - Q_R$$

$$\eta = \frac{P_R}{P_s} \times 100$$

$$V_{RL} = \sqrt{3} V_R \quad , \quad V_{SL} = \sqrt{3} V_s \quad (\text{زاوية بين الموجتين})$$

خطوة النقل المتوسط (السائل) (T)



sender (مُرسل) (أذون واجزاء) (فحل النقل، خطوة متوسطة) Receiver

$$I_s = I_R + I_c, \quad I_c = Y V_1 = j \omega C V_1 = \frac{V_1}{X_C}$$

→ كل المجهود المتصدف الاخير من النهاية

$$\Delta V_R = Z_L \cdot I_R, \quad \Delta V_1 = \frac{Z_L}{2} I_s, \quad V_1 = V_R + \Delta V_R$$

(المجهود من الطرف الاخير، من النهاية (نهاية الخط))

$$V_S = V_R + \Delta V_R + \Delta V_1 = \left(1 + \frac{Y Z_L}{2}\right) V_R + Z_L \left(1 + \frac{Y Z_L}{4}\right) I_R$$

$$S_S = 3 V_S I_S^* = \sqrt{3} V_{SL} I_S = P_S + j Q_S$$

$$P_S = 3 V_S I_S \cos \phi_S = \sqrt{3} V_{SL} I_S \cos \phi_S$$

$$Q_S = 3 V_S I_S \sin \phi_S = \sqrt{3} V_{SL} I_S \sin \phi_S$$

$$S_R = 3 V_R I_R^* = \sqrt{3} V_{RL} I_R = P_R + j Q_R$$

$$P_R = 3 V_R I_R \cos \phi_R = \sqrt{3} V_{RL} I_R \cos \phi_R$$

$$Q_R = 3 V_R I_R \sin \phi_R = \sqrt{3} V_{RL} I_R \sin \phi_R$$

$$P_{loss} = 3 \frac{R}{2} (I_S^2 + I_R^2) = P_S - P_R$$

$$Q_{loss} = Q_S - Q_R$$

دوافع الارجحية لخط النقل

$$V_S = A V_R + B I_R$$

$$I_R = C V_R + D I_R$$

$$A = D = \left(1 + \frac{Y Z_L}{2}\right)$$

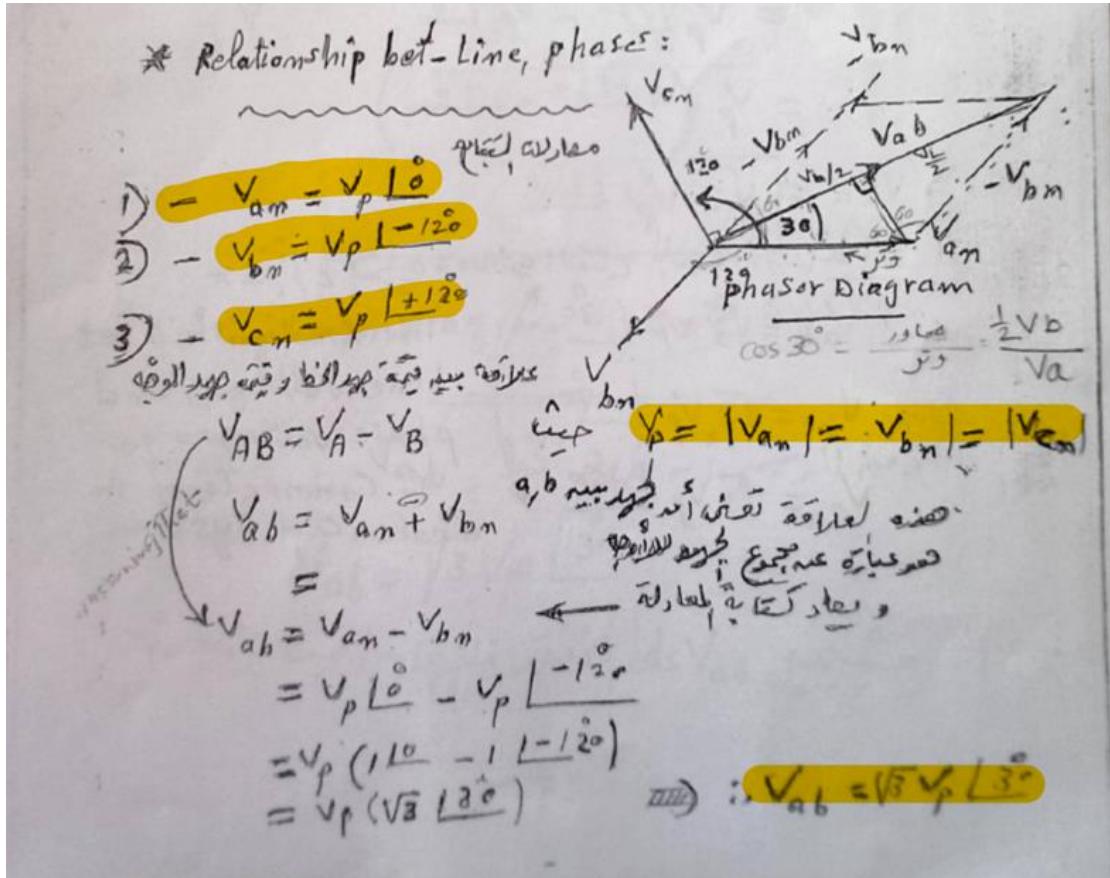
$$C = Y$$

$$\frac{I_R}{V_R} \rightarrow [A, B, C, D] \rightarrow \frac{V_S}{I_R}$$

$$B = Z_L \left(1 + \frac{Y Z_L}{4}\right)$$

السؤال الأول: أ)

- ١- في النظام الثلاثي المترن في التوصيل (Y-connection) وباستخدام المخططات الإتجاهية:
 أولاً: أكتب معدلات التتابع للجهود (V_a , V_b , V_c)
 ثانياً: أوجد العلاقة بين جهد الوجه V_p وجهد الخط (V_{AB})



* Similarly we obtain:

$$V_{bc} = V_{bm} - V_{cm}$$

$$= V_p \angle -120^\circ - V_p \angle 120^\circ$$

$$= V_p [1 \angle -120^\circ - 1 \angle 120^\circ]$$

$$\therefore V_{bc} = \sqrt{3} V_p \angle -90^\circ$$

Similarly we can obtain:

$$V_{ca} = V_{cm} - V_{an}$$

$$= V_p \angle 120^\circ - V_p \angle 0^\circ$$

$$= V_p (1 \angle 120^\circ - 1 \angle 0^\circ)$$

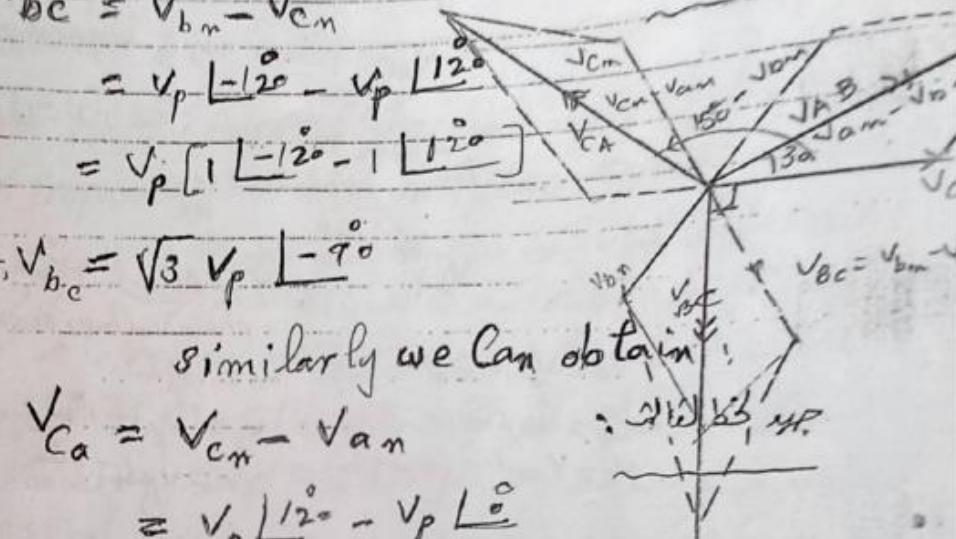
$$\therefore V_{ca} = \sqrt{3} V_p \angle 150^\circ$$

(دیگری میتوانیم تابعهای دیگر را بدست آوریم)

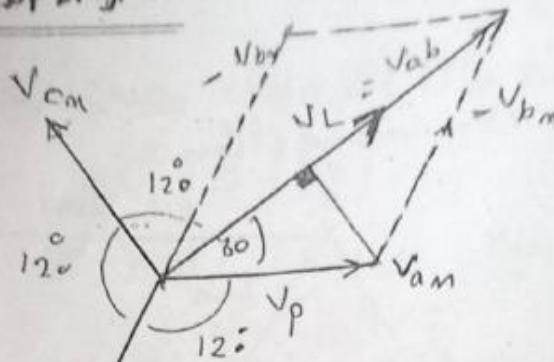
$\hat{\omega}_m^L$

$$\left[\begin{array}{l} V_{ab} = \sqrt{3} V_p \angle 30^\circ \\ V_{bc} = \sqrt{3} V_p \angle -90^\circ \\ V_{ca} = \sqrt{3} V_p \angle 150^\circ \end{array} \right]$$

The relationship bet.
Line voltages and
phase voltages for
Y-connection in
a balanced system.



a phasor diagram:



Y-connection

- from phasor diagram

$$\cos 30^\circ = \frac{V_L/2}{V_p} = \frac{V_L}{2V_p}$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{V_L}{2V_p}$$

$$\therefore V_L = \sqrt{3} V_p$$

مطلوب
استنتاج

phasor diagram of 3-Φ system

يجدر بالذكر أن جزء الخط

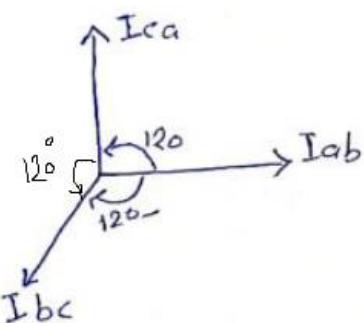
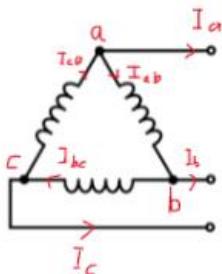
$$V_{ab} = \sqrt{3} V_p \angle 30^\circ$$

حيث يمثل V_{ab} على الموجة الموجية بزاوية 30°

١- في النظام الثلاثي المترن في التوصيله (Δ - connection) وباستخدام المخططات الاتجاهيه:

أولاً: أكتب معادلات التتابع للتيارات (i_a, i_b, i_c)

ثانياً: أوجد العلاقة بين تيار الوجه (I_p) وتيار الخط (I_L) ؟



$$I_{ab} = I_p \angle 0^\circ$$

$$I_{bc} = I_p \angle -120^\circ$$

$$I_{ca} = I_p \angle 120^\circ$$

$$\begin{aligned} I_{aa} &= I_{ca} - I_{ab} \\ &= I_p \angle 120^\circ - I_p \angle 0^\circ \\ &= I_p (\angle 120^\circ - \angle 0^\circ) \end{aligned}$$

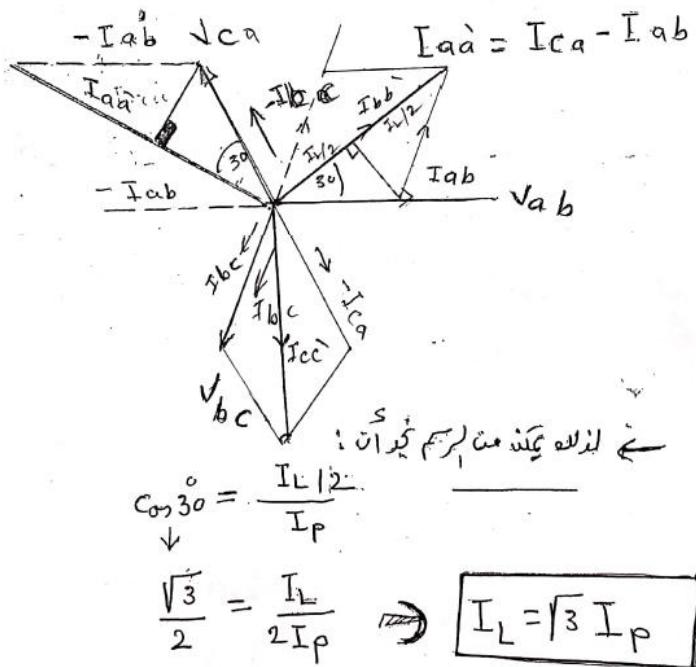
$$I_{aa} = \sqrt{3} I_p \angle 150^\circ$$

$$\begin{aligned} I_{bb} &= I_{ab} - I_{bc} \\ &= I_p \angle 0^\circ - I_p \angle -120^\circ \\ &= I_p (\angle 0^\circ - \angle -120^\circ) \\ I_{bb} &= \sqrt{3} I_p \angle 30^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{cc} &= I_{bc} - I_{ca} \\ &= I_p \angle -120^\circ - I_p \angle 120^\circ \\ &= I_p (\angle -120^\circ - \angle 120^\circ) \end{aligned}$$

$$\therefore I_{cc} = \sqrt{3} I_p \angle -90^\circ$$

$$I_{ca} = I_{ab} = I_{bc} = I_p$$



محرك ثلاثي الوجه
النظري

أذكر بعض الطرق المستخدمة لبدء حركة المحركات الحثية ثلاثية الوجه؟

(١) أذكر بعض الطرق المستخدمة لبدء حركة المحركات الحثية ثلاثية الوجه.

- ١ - عن طريق توصيل مقاومة ثالثية على المكثف مع ملفات لعزم وثابت.
- ٢ - عن طريق توصيل مقاومة ثالثية على المكثف مع ملفات لعزم وثابت.
- ٣ - عن طريق توصيل أطراف لعزم وثابت بحوال ذكي ثالثي لعزم.
- ٤ - باستخدام منتاح ثالثي ودلتا.
- ٥ - باستخدام أجهزة بدء الكترونية.

(٢) مالغرض من تغيير موضع أقصى عزم T_m في منحني الخواص للمحرك الثلاثي الحثي؟

(٣) المعرض فيه تغيير موضع أقصى عزم T_m في منحني الخواص للمحرك ثلاثي الحثي.

لـمـ يـكـنـ تـغـيـرـ أـقـصـىـ عـزـمـ يـوـثـرـ عـلـىـ كـثـرـ لـادـعـهـ وـبـالـكـمـ يـوـثـرـ عـلـىـ كـفـارـةـ مـحـرـكـهـ

\rightarrow \downarrow

1)- اذكر/اذكري وظيفة المقاومه الثلاثيه عند توصيلها على التوالى مع ملفات العضو الثابت ودورها
عند توصيلها مع التوالى مع ملفات العضو الدائر للحركات الحثية ثلاثة الأوجه؟

- مع ملفات العضو الثابت / يؤدي الى خفض انتزاعه على العضو الثالث
و بالثالى يقل سرار لبرم و يتم الحصول بهذه طفافية نهراجا اشار
قدرة المدع حتى تلغى تماماً بوصول المحرك للسرعة المقصودة
لـ \leftarrow فيه عبوزاً \rightarrow بـ \leftarrow لـ \rightarrow في المعاينه \leftarrow \rightarrow مع ملفات العضو الدائر / المدع فيه قيمة سار لبرم و غير فوج من قيمه
الانزلاع
و هي بطريقة لا فصل للحركات ذات صفات انزلاع

3)- هل تغير معامل الانزلاق يؤثر على كفاءة المحرك؟ وضح ذلك؟

نعم يؤثر تغير معامل الانزلاع على كفاءة المحرك
 $S \uparrow \rightarrow n \downarrow \rightarrow P_m \uparrow \rightarrow \eta \downarrow$

4) باختصار اذكر /اذكري طرق التحكم في سرعة الحركات الحثية؟

طريق استعمال ضرورة المحرك
كلما استعمل في \rightarrow ما تغير انتزاعه أو تغير الردة التراكمية
التوصيف لو المطلب :-

1) تغير انتزاعه \rightarrow يتم ذلك بأدفافه طفافية متغيرة تابعة لملفات
العضو الدائر عن طريق لفتش و تغيير هذه طفافية عليه لجعل من سرعة المحرك
حيث زياره طفافية يؤدي ازيد انتزاعه و بالثالى تقل سرعته .
2) تغير الردة التراكمية و يتم ذلك عن طريق - تغير عدد كمحركات
أو تغير مرد طبع

2- لماذا سمي اختبار اللاحمel باختبار الدائرة المفتوحة ? Open circuit

لأن لعضو الدائرة يدور بدون حمل وهذا يعني أن سرعة دورانه متساوية تقريباً للتيار المترافق $(n = n_s)$ مما يعني أن التزامن قد صافيرساوى تقريباً صافير وبالتحولين عن قيمة التزامن منه معاشه $(\frac{R_1}{R_2} \neq 1)$ نجد أن قيمة مقاومته تغير صيراً (لا تغير) فتصبح دائرة مفتوحة.

3- لماذا سمي اختبار عدم الحركة باختبار الدائرة المقصورة short circuit

حيث أن لعضو الدائرة صفر $(n = 0)$ وهذا يعني أن التزامن عددي للواحد $(1 = 1)$ وعند التحولين عن قيمة $\frac{R_1}{R_2}$ في الدائرة المكافئة نجد أن قيمة مقاومته صافير تقريباً وهذا يعني أن دائرة صافير صفرة هي ناتجة لتناقض.

اذكر/اذكري ما هي المميزات العامة للمحركات الحثية ؟ وكيفيه عملها ؟

الميزات العامة للمحركات الحثية وطريق عملها
- بساطة وخفالت التركيب

- انتظام التزامن - لا يتطلب اجهزة التزامن
(علم) عند درء مغناطيس ثابت يصدر جر تيار من ملفات لجهة التزامن
فينتج جمال مغناطيس في الملف الثابت يدور به تزامن n_s
السرعة التزامية تُسبب قوة دافعه كهربائي في ملفات لجهة التزامن
فثير تيار في لعضو الدائرة فتُسبب مجال حامده يدور به (n - n_s)
المجالين يدوران ببعضه البعض في اتجاه معين يولد بينهما عزم ازدوج
يرتدى لحمل المحرك .

5- لماذا يكون تيار البداء عالياً في المحركات الحثية؟

٥. ماذا يكون سيا البد على في لحظة المحطة ؟
 لـ كثرة عند بدء التسلق يمثل دائرة مقصورة ! -

$$n_0 \rightarrow S = 1 \Rightarrow R_2 \left(\frac{1-S}{S} \right) = 0$$

٣ طردي (المقاومة والسرعة) (التردد والانزلاق)

والباقي على

- فما يكى اهتماماً بالصحة :-
- ٩- إذا زاد تسلق المركب فإن التردد يزيد
- ٨- إذا زيدت عاصفة العضو الدائري على تيار البد يقل
- ٧- إذا زيدت مقاومة العضو الدائري فإن سرعة المركب تقل
- ٦- إذا أقل الانزلاق فإنه العبرة المقتصدة من العضو الدائري تقل
- ٥- إذا قلل المتصدر فإن سرعة الحال المفاضلة تقل
- ٤- إذا زاد التسلق فإن تيار التيار داير على العضو الدائري يزيد
- ٣- إذا زادت سرعة المركب فإن رقم التيار داير على العضو الدائري يقل
- ٢- إذا زاد عدد أقطاب العضو الدائري فإنه سرعة الحال المفاضلة المدار تقل

١٦- العضو الدائري المركب الذي ينطوي على الأدوات التي تؤدي إلى التسلق

١٧- قرم الدوان وسبعين صورة

١٨- أي من قيم الكميات الآتية للعضو الدائري لا تؤدي إلى الانزلاق :-

١- المعاوقة ٢- المعاوقة

١٩- أمثلة الفيزياء بعبارة مناسبة
 عند تحمل المركب حتى تلقي الأدوات ليروا صلا بدون حمل: خارج
 سرعته تقل $\downarrow n$ $\uparrow S$
 الانزلاق يزيد
 القوة الدافعة الكهربائية في العضو الدائري تزيد
 تيار العضو الدائري يزيد $\uparrow I_2$
 العزم المغول يزيد $\uparrow T$
 العضو الدائري يسمى الدوان بالانزلاق الذي يتساوى عزمه العزم المغول
 مع عزم الحبل

٤- يعرف الإنزلاق في المحركات الحثية بأنه:

- (١) النسبة بين فقد التحاسن في المضبو الداير ودخل المضبو الداير.
- (بـ) النسبة بين فقد التحاسن في المضبو الثابت ودخل المضبو الثابت.
- (تـ) النسبة بين فقد التحاسن في المضبو الداير وخرج المضبو الداير.
- (ثـ) النسبة بين فقد التحاسن في المضبو الداير وفقد التحاسن في المضبو الثابت.
- ٥- العزم المترولد في المحرك المثنى ثلاثي الأوجه يعتمد على العناصر الثلاثة:
- (١) السرعة والتردد، وعدد الأقطاب.
- (بـ) الجهد والتيار، ومقاومة المضبو الثابت.
- (تـ) سرعة التزامن وسرعة المضبو الداير، والتردد.
- (ثـ) القوة الدافعة الكهربائية المترولدة في المضبو الداير وتيار المضبو الداير ومعامل القدرة.

هل يمكن أن تصل سرعة العضو الرأز إلى سرعة التزامن
نعم وذلك من حالة اللاجل

عروف معاوعل الاترالاوم
هو سرعة النسبة من و به إلى سرعة التزامن

يتراكب المحرر المثنى ثلاثي الأوجه من ~~هزتين~~ هزتين رئيسين ...
٤- العضو الثابت والمضبو الداير

ما يتطلب الاترالاوم لتوليد مجال مغناطيس متغير
لتحويل مصدر جهد كهربائي إلى ألاوجي إلى ملفات العضو الثابت
بين كل وجهه وأخر ١٢ درجة لجهاته
بين كل ملف وأخر من ملفات العضو الثابت رأوية فراغية قدرها ٠٠٣٦ دارسي
وجود العضو الداير داخل العضو الثابت ~~على~~ #
لكن برتيرارات متزنة من الملفات ~~مما يودي~~ إلى حدوث مجال مغناطيس
دوار متزنة من الثغره الهوانه

عن المحرك الحثي ثلاثي الأوجه السرعة النسبية بين الحال الدوار
و.... تكون صفراء
ت - مجال العضو الداير

عن المحرك الحثي ثلاثي الأوجه الحال المترافق مع العضو الداير يدور
بسرعة التزامن بالنسبة ل
ـ ـ العضو الثابت

أى الجمل الآتية غير صحيح فيما يخص بالحال الدوار للجهاز الثابت
ـ ـ قيمته تعتمد على الجمل

اشرح كيف يتم توليد عزم فعال يؤدى الى دوران العضو الداير
عند توصيل أطراف العضو الثابت بمصدر المهدى فإنه سينشأ مجال مغناطيس
دوار، لهذا الحال المغناطيسي الدوار سرعة رافعة كهربائية في أى
موقع كهربائي يقع ضمن نظام تأثيره، وحيث أن العضو الداير ينبع منه تأثير
هذا الحال المغناطيسي فإنه سينشأ من موقعه قوة رافعة كهربائية أى وهم
يؤدى إلى صدور تيار كهربائي من ملفات الداير وبالتالي سينتوله مجال فنياً معاكس
دوار. أ. صريح لدينا مجال دوار فنياً معاكس لهما:

الأول: ناتج عن العضو الثابت ويدور بسرعة التزامن (١٦)
والثاني: ناتج عن العضو الداير ويدور بسرعة التزامن (١٧)
ـ ـ العضو الداير
ـ ـ ويدور بسرعة التزامن (١٨) المترافق مع العضو الثابت
ـ ـ وحيث أن هذين الحالين يدوران نفس السرعة والإتجاه فإنه سينتج عزم
فعال على العضو الداير يؤدى إلى دورانه

$$T = F \sin \theta$$

- ضع علامه (ص) أو علامه (خطأ) فيما يلى:

- (١) تكون الآلة الكهربائية في أبسط صور من عضو ثابت وعضو دوار (✓).
- (٢) من عيوب المحركات الحثية ثلاثية الأوجه أن تيار البدء عالي (✓).
- (٣) من معيزات المحركات الحثية ثلاثية الأوجه إنخفاض التشن وسهولة الصيانة (✓).
- (٤) يصنع العضو الداير والثابت من شرائط حديديه معزولة لتقليل التيار الشوائب (✓).
- (٥) المحركات الحثية يتاسب العزم تناسياً ~~طبقاً~~ مع شدة المجالين في العضو الثابت والدوار (X).
- (٦) إذا كان تردد العضو الدوار مساوياً لتردد العضو الثابت فإن الإنزلاق $S = 0$ (X).
- (٧) العضو الدوار ذو القفص السننجيي الملفات عبارة عن قضبان مصنوعة من النحاس (✓).
- (٨) من طرق التحكم في المحركات الحثية تغيير عدد الأقطاب (✓).

٨ تلائى

- ٩) يتربّك المحرّك الحثي أحادى الوجه من ثلاثة ملفات () .
- ١٠) تغذى المحرّكات الحثية من من مصدر تيار متعدد () .

المحرك الحثي ثلاثة الأوجه يدور بسرعة ثابتة طالما أن

العزم المتردّد فيه يظل ثابتاً.

جهد المصدر يظل ثابتاً.

العزم المتردّد فيه يساوي عزم الحمل.

مجال العضو الثابت يظل ثابتاً.

١٤) لماذا تحدّد R_m ، C_L باستخدام اختبار عدم الحمل وليس اختبار عدم الحركة؟
 لأن الملف هو جمهة الثنائي أمسحة مفتوحة فهنا يعني أن التيار سيمرّ من خلال R_m ، C_L فقط.

١٥) لماذا تحدّد R_m ، C_L باستخدام عدم الحركة وليس عدم الحمل؟
 لأن في اختبار عدم الحركة قد تم تسلّط جهد متّد منخفض على ملفات العضو الثابت ومن ثم فإن التيار (٠) أصبح صغير جداً، وهذا يعني أن $I = 0$ وبالتالي سيمار التيار خلال R_m ، C_L فقط.

٦) هل يصبح قيمة الانزلاق ($\mu_{N.A}$) يساوي صفر (0.5) وكذلك هي تصحيح (1.5)؟
 تصحيح (0.5) ← في حالة عندما يدور العضو الدائري بنفس السرعة التزامنية.
 تصحيح (1.5) ← عندما يأتمر العضو الدائري في حالة السلون (0.7):

لماذا يدور العضو الدائري للمحرّك الحثي الثلاثي دائمًا بسرعة أقل من سرعة المجال المقاطعي المدار؟

لكي يتولد العزم يجب أن يكون هناك فرق في السرعة

ماذا يحدث لسرعة وتيار الحمل الدائر للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه عند زيادة الحمل الميكانيكي؟

← عند زيادة الحمل الميكانيكي .. تقل سرعة العضو الدائري

وبالتالي تزيد السرعة النسبية .. مما يؤدي إلى زيادة قيمة الجهد المترد
فتزيد قيمة التيار المترد المار في الموصلات .. فتزداد شدة المجال
المغناطيسي

$$\text{فزيادة الحمل} \rightarrow n \downarrow \Rightarrow (n_s - n) \uparrow \rightarrow E_2 \uparrow \Rightarrow i_2 \uparrow \rightarrow T \uparrow$$

الجهد والتردد المتردان في العضو الدائري للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه يتضاعفان كلما زادت سرعة المحرك. ووضح السبب؟

← لأنه بزيادة سرعة المحرك n .. تقل السرعة النسبية ($n-n_s$) وبالتالي
تقل القوة الدافعة الكهربائية المتردة E فيقل التيار المترد بسبب القوة
الدافعة

ويقل العزم المترد فيقل التردد

$$n \uparrow \rightarrow (n_s - n) \downarrow \rightarrow E_2 \downarrow \rightarrow i_2 \downarrow \rightarrow T \downarrow$$

لماذا يصنع العضو الثابت وال دائري من شرائح من الحديد؟

← للتقليل من القدرة المفقودة نتيجة للتغيرات الدوامية

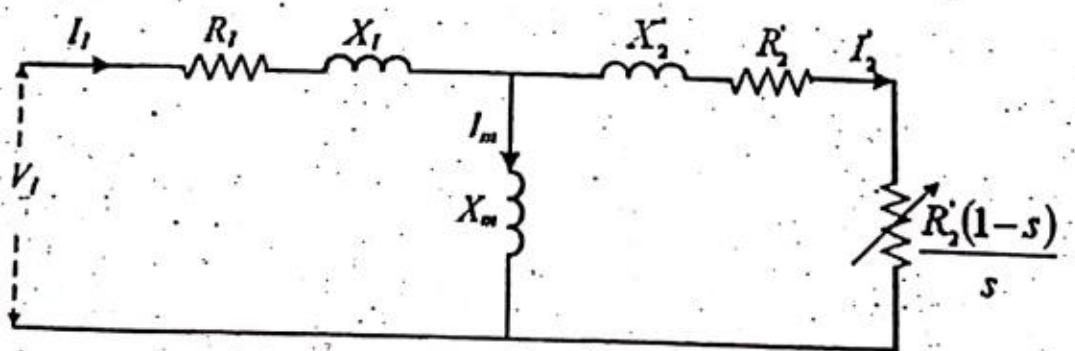
وبالتالي من حرارة الحديد التي تكون بسبب تعرض الحديد للمجال
المغناطيسي المتغير داخل المحرك.

اذكر فائدتين للمحرك الحثي ذي العضو الدائري المقاوم على المحرك ذي حلقات الانزلاق

← عدد أقطاب العضو الدائري = عدد أقطاب العضو الثابت

← تسمح الحلقات الثلاثة بإدخال أي دوائر تحكم عن طريق العضو الثابت

١- إرسم الدائرة المكافأة للمحرك الحثي ثلاثي الأوجه مع ذكر الرموز على الرسم واتجاه التيارات؟



٤- علل السبب سبب تسمية المحرك الحثي بهذا الاسم؟

لأن الجهد والتىارات المتولدة في ملفات العضو الدوار تتولد بالاحتكاك.

٥- هناك نوعان من العضو الدوار في المحركات الحثية ثلاثة الأوجه. أنكرها؟

- العضو الدوار ذو القفص السنجابي
- العضو الدوار ذو حلقات الانزلاق

٦- لماذا يسلط الجهد تدريجياً على المحرك في اختبار عدم الحركة؟
+ حق يصل التيار المدار في الملفات للmotor إلى القمة المقيدة عند الحمل الكامل وذلك لأن توصيل الجهد المقاومسوف يتسبّب في هرور تيار كبير جداً قد يتلف الملفات.

٧- ما هي صفات المحرك الذي يمكنه البقاء بطريقة (٥/٥)؟
* المحرك يكون هوصل إلى هفتيار ذاتي ناجح بنهاية توصيل ملفاته الثمانية على شكل ٥. اثناء التشغيل العادي، وتوصل ملفاته العصبية التالية عند بدء الحركة على شكل ٢.

٦ طازلا لا يجب توصيل مقاومات على التوالى مع ملفات العضو
الثابت للمحركات لاجل تقليل تيار البدء؟

* سبب حبر المفاتيح المخاسنة في المقاومة المضادّة ، بالإضافة
لانخفاض كبسن في عنم البدء للمحرك.

٧ ما هي مميزات استخدام المحول الناتج في عملية بدء الحركة
الحثية؟

* لأنه لا يوجد فرق في القدرة ، وهي الخيار الأفضل للمحركات التي
توصى على شكل Z.

محركٌ حثٌّ ثلاثي الأوجه م ملفاته موصولة على شكل دلتا يتندى من مصدر جهدٍ 240 فولت عناصر الدائرة المكافأة له كما يلي:

$R_1 = 0.4\Omega$	$R_2 = 0.6\Omega$	$X_1 = 1.0\Omega$	$X_2 = 1.0\Omega$
-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

فإذا كانت السرعة التزامنية لهذا المحرك 1800 لفة في الدقيقة وسرعة العضو الدائر عند الحمل الكامل 1710 لفة في الدقيقة، احسب ما يلي:

- أ) تيار الحمل الكامل.
- ب) عزم الحمل الكامل.
- ت) تيار البداء.
- ث) عزم البداء.
- ج) أقصى عزم للمotor وعند أي انزلاق يحدث.

١- جابة السؤال الرابع :- (الناتئ على شكل دلتا)

$$\therefore V_1 = V_L = 240 \text{ V}$$

$$S = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1800 - 1710}{1800} = 0.05$$

$$I_1 \approx I_2' = \frac{V_1}{Z_{eq}} = \frac{V_1}{\sqrt{(R_1 + R_2/S)^2 + (X_{eq})^2}} = \frac{240}{\sqrt{(0.4 + 0.6/1.5)^2 + (1+0)^2}} \\ = 19.11 \text{ A}$$

$$K = \frac{3 * 60}{2\pi n_s} = \frac{3 * 60}{2\pi * 1800} = 0.0159$$

$$T = K I_2'^2 \frac{R_2'}{S} = 0.0159 * (19.11)^2 * \frac{0.6}{0.05} = 69.74 \text{ Nm}$$

نحوه من $S=1$

$$I_1 = I_2' = \frac{240}{\sqrt{(0.4 + 0.6/1) + (2)^2}} = 107.33$$

$$T_{\text{starting}} = K I_2^2 \frac{R_2}{S} = 0.0159 \times (107.33)^2 \times \frac{0.6}{1} \\ = 109.9 \text{ Nm} \quad \#$$

$$T_{\text{max}} = K \frac{V_1^2}{2 X_2} = \frac{0.0159 \times (240)^2}{2 \times 1} = 457.92 \text{ Nm}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{R_2}{X_2} = \frac{0.6}{1} = 0.6$$

أوج عدد الأقطاب ومعامل الإتزان وتردد العضو الدائر لكل حالة لمحركات الحثية التالية:

Q5: Determine the number of poles (P), the Slip (S) and f_2 at rated load of three-phase 5-hp induction motors rated at:

1): $V_1 = 220 \text{ V}$, $f_1 = 50 \text{ Hz}$, $N_r = 935 \text{ rpm}$

2): $V_1 = 220 \text{ V}$, $f_1 = 50 \text{ Hz}$, $N_r = 1250 \text{ rpm}$

3): $V_1 = 220 \text{ V}$, $f_1 = 50 \text{ Hz}$, $N_r = 1350 \text{ rpm}$

4): $V_1 = 220 \text{ V}$, $f_1 = 50 \text{ Hz}$, $N_r = 1450 \text{ rpm}$

1- $V_1 = 220 \text{ V}$, $f_1 = 50 \text{ Hz}$, $N_r = 935 \text{ rpm}$

①

$$n_s > n_r \therefore \frac{120 f}{P} > n_r$$

$$\therefore \frac{120 \times 50}{P} > 935$$

$$P = 2 \quad n_s = 3000$$

$$P = 4 \quad n_s = 1500$$

$$P = 6 \quad n_s = 1000$$

$$P = 8 \quad n_s = 750 \quad \text{not because } n_s < n_r \times$$

$$\therefore P = 6 \quad \therefore n_s = 1000 \text{ rpm}$$

$$\therefore S = \frac{1000 - 935}{1000} = 0.065$$

$$\therefore f_r = S f_s = 0.065 \times 50 = 3.25 \text{ Hz}$$

2 - $V_1 = 220V$, $f_1 = 50 \text{ Hz}$, $N_r = 1250 \text{ rpm}$

$\therefore n_s > n_r$

$$\frac{120 * 50}{P} > 1250$$

$P=2 \rightarrow n_s = 3000$ $P=4 \rightarrow n_s = 1500$ $P=6 \rightarrow n_s = 1000 \times$ $P=8 \rightarrow n_s = 750 \times$	$\therefore P = 4$ $\therefore n_s = 1500$ $\therefore s = \frac{1500 - 1250}{1500} = 0.16$ $\therefore f_r = 0.16 * 50 = 8.3 \text{ Hz}$
---	--

3 - $V_1 = 220V$, $f_1 = 50 \text{ Hz}$, $N_r = 1350 \text{ rpm}$:-

$$\frac{120 * 50}{P} > 1350$$

$P=2 \rightarrow n_s = 3000$ $P=4 \rightarrow n_s = 1500$ $P=6 \rightarrow n_s = 1000 \times$	$\therefore P = 4$ $\therefore n_s = 1500$ $\therefore s = \frac{1500 - 1350}{1500} = 0.1$ $\therefore f_r = 0.1 * 50 = 5 \text{ Hz}$
---	--

4 - $V_1 = 220V$, $f_1 = 50 \text{ Hz}$, $N_r = 1450 \text{ rpm}$

$\therefore n_s > n_r$

$$\frac{120 * 50}{P} > 1450$$

$P=2 \rightarrow n_s = 3000$ $P=4 \rightarrow n_s = 1500$ $P=6 \rightarrow n_s = 1000 \times$	$\therefore P = 6$ $\therefore n_s = 1500$
---	---

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0.033$$

$$\therefore f_r = s f_s = 0.033 * 50 = 1.67 \text{ Hz}$$

#

أ - حق Verify رياضيا من المعادلة التالية ما هو شرط الحصول على أقصى عزم T_{max}

$$T = K \cdot \frac{V_1^2}{(R_1 + R_2 / S)^2 + X_{eq}^2} \cdot \frac{R_2}{S}$$

إيجاد معادلة أقصى من لسلسلة حتى على المعلمات

$$T = k \cdot \frac{V_1^2}{(R_1 + \frac{R_2}{S})^2 + (X_{eq})^2} \cdot \frac{R_2}{S}$$

$$T = k \cdot \frac{V_1^2}{(R_1^2 + 2R_1R_2 + \frac{R_2^2}{S^2} + X_{eq}^2) \cdot \frac{R_2}{S}} = \frac{k V_1^2 R_2}{R_1^2 S + 2R_1 R_2 + \frac{R_2^2}{3} + X_{eq}^2 S}$$

$$= \frac{k V_1^2 R_2 S}{S [R_1^2 S + 2R_1 R_2 + \frac{R_2^2}{3} + X_{eq}^2 S]} = \frac{k V_1^2 R_2 S}{R_1^2 S^2 + 2R_1 R_2 S + R_2^2 + X_{eq}^2 S^2}$$

$$\frac{dT}{ds} = \frac{k V_1^2 R_2 [R_1^2 S^2 + 2R_1 R_2 S + R_2^2 + X_{eq}^2 S^2] - k V_1^2 R_2 S [2R_1^2 S + 2R_1 R_2 + 0 + 2X_{eq}^2 S]}{[R_1^2 S^2 + 2R_1 R_2 S + R_2^2 + X_{eq}^2 S^2]} = 0$$

$$k V_1^2 R_2 [R_1^2 S^2 + R_2^2 + X_{eq}^2 S^2 - 2R_1^2 S - 2X_{eq}^2 S] = 0$$

$$k V_1^2 R_2 [R_2^2 - R_1^2 S^2 - X_{eq}^2 S^2] = 0 \quad (X_{eq} < R_1 \rightarrow P_2)$$

$$k V_1^2 R_2 [R_2^2 - X_2^2 S^2] = 0 \quad (\div k V_1^2 R_2) \quad \leftarrow \begin{matrix} 1 \\ 1 \end{matrix}$$

~~$$k V_1^2 R_2^2 - k V_1^2 R_2 X_2^2 S^2 = 0$$~~

$$R_2^2 - X_2^2 S^2 = 0 \Rightarrow R_2^2 = X_2^2 S^2 \Rightarrow R_2 = X_2 S$$

$$\therefore T = k \cdot \frac{V_1^2}{(R_1 + \frac{R_2}{S})^2 + (X_{eq})^2} \cdot \frac{R_2}{S} = k \cdot \frac{V_1^2}{(\cancel{R_1} + \frac{\cancel{R_2}}{S})^2 + (X_1 + X_2)^2} \cdot \frac{R_2}{S}$$

$$= k \cdot \frac{V_1^2}{(\cancel{R_1} + \frac{\cancel{R_2}}{S})^2 + X_2^2} \cdot \frac{R_2}{S} = k \cdot \frac{V_1^2 \cdot X_2 S}{(X_2^2 + X_2^2)} \Rightarrow T_{max} = k \cdot \frac{V_1^2}{2X_2}$$

$$\left(\frac{S X_1}{S} \right)^2 \leftarrow \begin{matrix} 2 \\ 2 \end{matrix}$$

إذا كان العضو الدائر لمحرك حتى ثلاثي الأوجه ذي تردد 60 هرتز و 4 أقطاب يسحب قدره تبلغ 120 كيلووات عند تردد 3 هيرتز أوجد:

- سرعة العضو الدائري.
- المفقودات النحاسية في العضو الدائري.
- القدرة الميكانيكية المتولدة.

السؤال السادس

$$f_S = 60 \text{ Hz} ; P = 4 ; P_g = 120 \text{ kW}$$

$$f_r = 3 \text{ Hz} ;$$

$$\varsigma = \frac{f_r}{f_S} = \frac{3}{60} = 0.05 \quad \therefore n_S = \frac{120 f_S}{P} = \frac{120 \times 60}{4}$$

$$n_S = 1800 \quad \therefore n = (1 - \varsigma) n_S$$

$$\therefore n = (1 - 0.05) \times 1800 = 1710 \text{ rpm}$$

$$P_{Cu_2} = \varsigma \cdot P_g = 0.05 \times 120 = 6 \text{ kW}$$

$$P_m = (1 - \varsigma) P_g = (1 - 0.05) \times 120 = 114 \text{ kW}$$

أ- مmotor حتى ثلاثي الأوجه ذو أربعه أقطاب ($P=4$) يعمل على مصدر جهد 380 V وتردده 60 Hz وعناصر الدائري المكافئه لهذا المmotor كما يلي:

$$R_1 = 0.12\Omega \quad R_2 = 0.16\Omega$$

$$X_1 = 0.45\Omega \quad X_2 = 0.52\Omega$$

فإذا كانت ملفات المmotor موصله على شكل نجمة (Y) والسرعه التزامنيه $N_s = 1800 \text{ r.p.m}$ وسرعة العضو الدوار $N_r = 1710 \text{ rpm}$ احسب مايلي:

- (1) تيار الحمل الكامل I_F (2)-عزم الحمل الكامل T_F (3) - تيار البداء I_S (4)- عزم البداء T_S

$$P=4, N=3800 \quad F=60$$

السؤال الرابع

$$R_1 = 0.12 \quad R_2 = 0.16 \quad X_1 = 0.45 \quad X_2 = 0.52$$

$$N_r = 1710 < N_s = 1800 \quad \text{موجة مترادفة، وتحتاج لمحرك}$$

$$\therefore S = \frac{N_s - N}{N_s} = \frac{1800 - 1710}{1800} = 0.05$$

$$I = \frac{V_1}{\sqrt{(R_1 + R_2/S)^2 + X_{eq}^2}} = \frac{380 / \sqrt{3}}{\sqrt{(0.12 + 0.16/0.05)^2 + 0.45^2}} = 93.895 \text{ A}$$

$$K = \frac{3 * 60}{2\pi N_s} = \frac{3 * 60}{2\pi * 1800} = 0.0159$$

$$T = K I_1^2 \frac{R_2}{S} = 0.0159 * (93.895)^2 * \frac{0.16}{0.05} = 443.807$$

$$I_1 = \frac{V_1}{Z_{eq}} = \frac{V_1}{\sqrt{(R_1 + R_2/S)^2 + X_{eq}^2}} = \frac{380 / \sqrt{2}}{\sqrt{(0.12 + 0.16/1)^2 + (0.45 + 0.52)^2}} = 18.33 \text{ A}$$

$$T = K I_1^2 \frac{R_2}{S} = 0.0159 * (18.33)^2 * \frac{0.16}{0.05} = 17.09$$

- محرك حثي ثلاثي الأوجه قدرته 20 حصان ملفاته موصولة على شكل Y عند إجراء تجربتي اللاحمل والقصر له أعطى النتائج التالية:

380 V	16.5 A	1050 W	تجربة اللاحمل
86 V	32 A	1854 W	تجربة القصر

احسب مكونات الدائرة المكافئة لهذا المحرك إذا كانت $X_1 = X_2$ و $R_1 = R_2$

النوع الأول

لطفاً ، المقاومات متساوية

$$\Rightarrow V_1 = \frac{V_{\text{Line}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219.393 \text{ V}, I_o = I_{ph} = I_L = 16.5$$

$$P = 3V_1 I_o \cos \phi_0 \Rightarrow \cos \phi_0 = \frac{1050}{3 + 219.393 * 16.5} = 0.0967$$

$$\therefore \phi_0 \cos^{-1}(0.0967) = 84.45^\circ \quad \therefore \sin \phi = 0.995$$

$$R_C = \frac{V_1}{I_C} = \frac{V_1}{I_o \cos \phi_0} = \frac{219.393}{16.5 * 0.0967} = 137.503 \Omega$$

$$X_m = \frac{V_1}{I_m} = \frac{V_1}{I_o \sin \phi_0} = \frac{219.393}{16.5 * 0.995} = 13.363$$

نوع الثاني

$$V_1 = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{86}{\sqrt{3}} = 49.652 \text{ V}, I_1 = I_L = 32 \text{ A}$$

$$P = 3 I_2^2 R_{eq} \rightarrow R_{eq} = \frac{P}{3 I_2^2} = \frac{1854}{3 * (32)^2} = 0.60355 \Omega$$

$$\therefore R_1 = R_2 \Rightarrow \frac{R_{eq}}{2} = \frac{0.6035}{2} = 0.3017 \Omega$$

$$Z_{eq} = \frac{V_1}{I_1} = \frac{49.652}{32} = 1.552 \Omega$$

$$X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2} = \sqrt{(1.552)^2 - (0.6035)^2} = 1.4298 \Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_{eq}}{2} = \frac{1.4298}{2} = 0.7149 \Omega$$

السؤال السادس: (٥ درجات)

محرك حتى ثلاثي الأوجه سرعته التزامنية $n_s = 1000 \text{ rpm}$ يعطي قدره ميكانيكية متحولة قدرها 5 hp عندما تكون سرعة العضو الدوار $n = 935 \text{ rpm}$ ، احسب القدرة الداخلة إلى هذا المحرك إذا كانت مفقودات العضو الثابت 400 W .

$$n_s = 1000 \text{ rpm} \quad P_m = 5 \text{ hp} \quad n = 935 \text{ rpm} \quad - 18$$

$$P_{st} = 400 \text{ W}$$

$$S = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1000 - 935}{1000} = 0.065$$

$$P_g = \frac{P_m}{(1-S)} = \frac{5 \times 716}{(1-0.065)} = 3989.304$$

$$P_i = P_g + P_{st} = 3989.304 - 400 = 3589.304$$

٤٤٣

مثال (١ - ٢) :

محرك حتى ثلاثي الأوجه ذو ستة أقطاب يعمل على مصدر جهد 120 فولت وتزدده 120 هيرتز فإذا كانت القدرة الداخلة إلى العضو الدائر 80 أمبيرات وتردد التيار في العضو الدائر 77.7 هيرتز احسب ما يلي:

(أ) الانزلاق

(ب) سرعة العضو الدائر

(ج) القبرة الميكانيكية المتولدة

(د) القدرة المفقودة في العضو الدائر

(هـ) مقاومة ملفات العضو الدائر لكل وجه إذا كان التيار المار في ملفات العضو الدائر 15 آمبير .

الحل:

$$s = \frac{f_r}{f_s} = \frac{1.67}{50} = 0.0334 \quad 6^{\circ}$$

$$n_r = \frac{120 \cdot f_r}{P} = \frac{120 \times 50}{6} = 1000 \text{ rpm}$$

$$n = (1-s) \cdot n_r = (1-0.0334) \cdot 1000 = 966.6 \text{ rpm}$$

$$P_s = (1-s) \cdot P_r = (1-0.0334) \times 80 = 77.33 \text{ kw}$$

$$P_{ad} = s \cdot P_r = 0.0334 \times 80 = 2.67 \text{ kw}$$

$$R_2' = \frac{P_{ad}}{3 \cdot I_2'^2} = \frac{2670}{3 \times (65)^2} = 0.21 \Omega$$

٢٠٢١ مبر

مثال (١٠ - ١)

محرك خطي ثلاثي الأوجه ذو ثمانية أقطاب يتغذى من مصدر تردد ٥٠ هيرتز ويدور بسرعة ٧٢٢ لفة في الدقيقة، فإذا كانتقدرة الدائرة إلى المحرك ٤٠ كيلووات و مقايد العضو الثابت ١٩٠ كيلووات و مقايد الميكانيكية بسبب الاحتكاك ٢٠ كيلووات احسب ما يلي:

(أ) معامل الانزلاق

(ب) القدرة الميكانيكية الخارجة (المستفاد منها) بالحصان

(ج) المقاييس التحاسية في العضو الدائر

(د) كفاءة المحرك

الحل:

أ) نوجد أولاً السرعة التزامنية:

$$n_r = \frac{120f_t}{p} = \frac{120 \times 50}{8} = 750 \text{ rpm}$$

$$s = \frac{n_r - n}{n_r} = \frac{750 - 732}{750} = 0.024$$

ب) نستطيع إيجاد القدرة الميكانيكية الخارجة (المستفاد منها) P_2 كما يلي:

$$P_s = P_i - P_a = (40 - 1) = 39 \text{ kw}$$

$$P_a = (1 - s) \cdot P_s = (1 - 0.024) \times 39 = 38.064 \text{ kw}$$

$$P_i = P_s - P_a = 38.064 - 2 = 36.064 \text{ kw}$$

$$P_i = \frac{36.064}{746} = 48.343 \text{ hp}$$

ج) المقاييس التحاسية في العضو الدائر:

$$P_{out} = s \cdot P_s = 0.024 \times 39 = 0.936 \text{ kw}$$

$$\eta = \frac{P_i}{P_s} \times 100 = \frac{36.640}{40} \times 100 = 90.16\%$$

د) كفاءة المحرك:

-٢٤- محرك خطي ثلاثي الأوجه له ٦ أقطاب يتغذى من مصدر تردد ٦٠ هيرتز ويدور (أ) عند اللاحمل بسرعة ١١٦٠ لفة في الدقيقة (ب) عند الحمل الكامل بسرعة ٩٢٠ لفة في الدقيقة. أوجد معامل الانزلاق وتعدد تيار العضو الدائر عند حالتي اللاحمل والحمل الكامل.

الإجابة:	(أ) ٣٨٠٪، ٢٠ هيرتز	(ب) ٣٩٠٪، ٢٠ هيرتز
----------	--------------------	--------------------

$$P=6 \quad f_s = 60 \text{ Hz} \quad f_r = ??, S = ??$$

أ - عند الأصل $n = 1160 \text{ rpm}$

ب - عند الحمل الكامل $n = 1092 \text{ rpm}$

ج - $\frac{1}{3}$

$$n_s = \frac{120 f_s}{P} = \frac{120 \times 60}{6} = 1200 \text{ rpm}$$

$$S = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1200 - 1160}{1200} = \frac{40}{1200} = 0.033$$

$$f_r = S f_s = \frac{1}{30} \times 60 = 2 \text{ Hz}$$

د - عند الحمل الكامل

$$S = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1200 - 1092}{1200} = 0.09$$

$$f_r = S f_s = 0.09 \times 60 = 5.4 \text{ Hz}$$

٢٢- محرك حثي ثلاثي الأوجه تردد 60 Hz ، له 6 قطاب، ويعمل عند انزلاق 0.05 . عند حمل معين. احسب ما يأتي بوحدة لغة في الدقيقة:

(أ) سرعة دوران العضو الدائر بالنسبة للعضو الثابت.

(ب)

سرعة دوران العضو الدائر بالنسبة للمجال المغناطيسي للعضو الثابت.

(ج)

سرعة المجال المغناطيسي للعضو الدائر بالنسبة للجسم العضو الدائر.

(د)

سرعة المجال المغناطيسي للجسم العضو الدائر بالنسبة للعضو الثابت.

(هـ)

سرعة مجال العضو الدائر بالنسبة للمجال الناشئ عن العضو الثابت.

(ز)

الإجابة: (أ) ٨٥٥ (ب) ٤٥ (ج) صفر (د) ٩٠٠ (هـ) ٤٥

$$f_s = 60 \text{ Hz} \quad P = 8 \quad S = 0.05$$

أ - سرعة دوران العضو الدائر بالنسبة للجسم العضو الدائر

$$n_s = \frac{120 f_s}{P} = \frac{120 \times 60}{8} = 900 \text{ rpm}$$

$$n = n_s (1 - S) = 900 (1 - 0.05) = 855 \text{ rpm}$$

ب - سرعة دوران العضو الدائر بالنسبة للمجال المغناطيسي للجسم العضو الدائر

$$n_g - n = 900 - 855 = 45 \text{ rpm}$$

ت - سرعة دوران المجال المغناطيسي للجسم العضو الدائر بالنسبة لجسم العضو الدائر

$$n_g - n = 45 \text{ rpm}$$

ث - سرعة المجال المغناطيسي للجسم العضو الدائر بالنسبة لجسم العضو الدائر

$$n = 900 \text{ rpm}$$

السرعة

$$\text{سرعة المحا ل المغناطيسي سفنو ثابت} = \text{سرعة المحا ل المغناطيسي سفنو الدوار} = n_s$$

الفل بالية \rightarrow
لأى قسم ثابت

$$\text{سرعة المغناطيس} \rightarrow \text{نسبة سفنو ثابت} = n$$

$$\text{السرعة المسبقة} = n_s - n$$

العمر البالى
العنوان

سرى المغناطيس بالنسبة للمجال المغناطيسي

- ١٩- محرك حتى ثلاثي الأوجه ذو قطبين يتقدى من مصدر تردد ٦٠ هيرتز، احسب سرعة العضو الدائري إذا كان تردد التيارات في العضو الدائري ٢٠ هيرتز.
- ٢٠- محرك حتى ثلاثي الأوجه ذو شريحة أقطاب يتقدى من مصدر تردد ٥٥ هيرتز، وسرعته عند الحمل الكامل ٧١٦ لفة في الثانية، احسب سرعة العزم الازلاقي ومعدل الازلاقي عند الحمل الكامل.
- ٢١-

$$P=12, f_s = 60 \text{ Hz}, f_r = 2 \text{ Hz} \quad n=?$$

$$n_s = \frac{120 f_s}{P} = \frac{120 \times 60}{2} = 3600 \text{ rpm}$$

$$f_r = S f_s \Rightarrow S = \frac{f_r}{f_s} = \frac{2}{60} = \frac{1}{30}$$

$$n = n_s (1-S) = 3600 \left(1 - \frac{1}{30}\right) = 3480 \text{ rpm}$$

$$P=8, f_s = 50 \text{ Hz}, n=716, n_{slip}=?, S=?$$

$$n_s = \frac{120 f_s}{P} = \frac{120 \times 50}{8} = 750 \text{ rpm}$$

$$n_{slip} = n_s - n = 750 - 716 = 34 \text{ rpm}$$

$$S = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{750 - 716}{750} = 0.0453$$

محرك احادي الأوجه
النظري

٣- ذكر طرق بدء الحركة في المحركات الحثية الأحادية؟ و مجالات استخدامها؟

٣- ذكر أربعة أنواع من المحركات الحثية أحادية الأوجه؟
ثم قارن بينهم من حيث الخواص و مجالات الاستخدام لكل نوع؟

الحل واحد لهم

* كاره. سن كل من محرك ذو طور المحرك ذو مكثف به، والمحرك ذو المكثف له، والمحرك ذو المكثف ذو المكثفين؟
 ٢١) * جدول يوضح طور ونوع المحركات المذكورة

مجالات المحرك	خواص المحرك (المختبرات)	الدائرة	النوع
يستخدم في المراوح والشطاطرات ومضخات العازل المركبي ومحركات الترددية والمكثفية.			المحرك ذو طور الوجه
يتحقق هنا التبعي الصناعي والمفاتيح والرادعات ذو التيار المتناوب والذكي وهي الرحال التي تطلب عزمًا أكبر لبدء حركتها.			المحرك ذو مكثف البداء
يتحقق هنا انفع من المكثفات ذو الطبقات التي تتطلب هدوءاً في الصعود أو نزولها.			المحرك ذو المكثف الاسم
يتحقق التبعي الطيفي الذي يتطلب تشغيله بحداد مع عزم يسرى بعدد المركبة.			المحرك ذو المكثف الشامل

١- لماذا تحتاج المحركات أحادي الوجه لوسيلة معايدة لبدء حركتها؟

T
 b
 S لأنّه ليس لديّ عزم بدء

المسائل
 (اللائحة)

مثال ١٤:

محرك جي أحادي الوجه، ٣٠٠ فولت، ٦٠ هيرتز، ذو أربعة أقطاب يعمل عند الحمل الشامل بانزلاق مقداره ٤٪ احسب:

i. الانزلاق للمجال الخلقي s_1

ii. السرعة التزامنية n_s

iii. سرعة المحرك عند الحمل الشامل.

الحل:

$$i - \text{Slip for the backward field} = s_1 = 2 - s = 2 - 0.04 = 1.96$$

$$ii - \text{The synchronous speed} = n_s = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 60}{4} = 1800 \text{ rpm}$$

$$iii - \text{The motor speed} = n = (1 - s) n_s = 0.96 \times 1800 = 1728 \text{ rpm}$$

مثال ١ - ١٥ :

محرك حي أحادي الوجه، ١١٠ فولت، ٥٥ هيرتز من النوع المشطور الوجه، له التوابع الآتية عند بدء الحركة:

$$Z_m = 1.2 + j 25 \quad \Omega \quad \text{معاون الملف الرئيسي}$$

$$Z_a = 12 + j 5 \quad \Omega \quad \text{معاون الملف المساعد}$$

احسب عند بدء الحركة: التيار في كل من الملف الرئيسي والملف المساعد، التيار الكلي للمحرك، معامل القدرة، الفرق الزمني بين تياري الملف الرئيسي والملف المساعد.

الحل:

التيار في كل من الملف الرئيسي والملف المساعد:

$$I_m = \frac{V}{Z_m} = \frac{110 \angle 0^\circ}{1.2 + j 25} = \frac{110 \angle 0^\circ}{25.03 \angle 87.252^\circ} \quad \text{تيار الملف الرئيسي}$$

$$I_a = 4 \angle -87.252^\circ \quad A$$

$$I_a = \frac{V}{Z_a} = \frac{110 \angle 0^\circ}{12 + j 5} = \frac{110 \angle 0^\circ}{13 \angle 22.62^\circ} \quad \text{تيار الملف المساعد}$$

$$I_a = 8.46 \angle -22.62^\circ \quad A$$

التيار الكلي المسحوب من المصدر:

$$I_s = I_m + I_a$$

$$I_s = 4 \angle -87.25^\circ + 8.46 \angle -22.62^\circ$$

$$I_s = (0.192 - j3.995) + (7.81 - j3.254)$$

$$I_s = 8.02 - j7.25 = 10.8 \angle -42.11^\circ \quad A$$

$$\text{معامل القدرة} = \cos(-42.11^\circ) = 0.742$$

الفرق الزمني بين تياري الملف الرئيسي والملف المساعد:

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

I_m lags I_a by 64.62°

محرك حي أحادي الوجه، من النوع ذي مكثف بده الحركة، جهده ١٢٧ فولت وتردد ٦٠ هيرتز، ثوابت الملفات الرئيسية والمساعدة عند البدء:

$$Z_s = 4.2 + j3.8 \quad \Omega$$

$$Z_e = 8.8 + j3.3 \quad \Omega$$

عين قيمة مكثف البدء اللازمة للحصول على زاوية مقدارها تسعون درجة كهربائية بين قيادي الملفات الرئيسية والمساعدة عند بدء الحركة.

الحل:

زاوية معاوقة الملفات الرئيسية:

$$\phi_s = \tan^{-1} \left(\frac{3.8}{4.2} \right) = 42.14^\circ$$

زاوية معاوقة الملفات المساعدة يجب أن تكون:

$$\phi_e = 90^\circ - \phi_s = 47.86^\circ$$

معانع المكثف X_e يجب أن تتحقق العلاقة:

$$\tan^{-1} \left(\frac{X_e - 3.2}{8.8} \right) = 47.86^\circ$$

$$\frac{X_e - 3.2}{8.8} = \tan(47.86^\circ) = 1.1$$

$$X_e = 1.1 \times (8.8) + 3.2 = 12.93$$

$$\Omega$$

سعة المكثف يمكن حسابها من:

$$X_e = \frac{1}{\omega \cdot c} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot c}$$

$$c = \frac{1}{\omega \cdot X_e} = \frac{1}{377 \times 12.93} = 205$$

$$\mu F$$

المحول

النظري

٤- كيف يمكن التحكم بمقدار القوة الدافعة الكهربائية المترولة في ملفات الابتدائي والثانوي للمحول؟

$$E_1 = n_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

→ عن طريق عدد ملفات الملف n_1

$$E_2 = n_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

→ عن طريق عدد ملفات الملف n_2

5- ما هي أوجه التشابه وكذلك أوجه الاختلاف بين كل من المحرك الحشبي والمحول؟

- أوجه التشابه:
 - نفس التركيب
 - نفس نظرية التشغيل
- دوائر مكافئة للمرجع بدون جعل = المحول
- أوجه الاختلاف:
 - المحرك يعتمد على الاتزان \Rightarrow المحول لا
 - المحرك $F_2 = 2F_1$ المحول P_E من المحول
 - إنتاج في المحرك P_M ، إخراج من المحول

5) أذكر/أذكري أنواع المحولات الكهربائية من وجهة نظر الخدمة التي تقدمها تلك المحولات؟

[5] أنواع المحولات المزدوجة من وجهة نظر خدمة تلك المحولات

١- محولات لقوى: هي محولات ذات لعارات عاليه التي تستعمل في رفع أو فرictionات أو خطوط النقل.

٢- محولات التوزيع: هي محولات التي تستعمل في استلام الطاقة الالكترونية منه شبكات التفريغ وسلطا إلى الأجهزة وهي عادة محولات خففة

٣- محولات الأجهزة: تستعمل في إجزاء قيادة الملاحة والبيانات العالمي وستعمل في إجزاء القيادة كحساس للملاحة والبيانات من انتقام يتم حتى تعمل تلك الأجهزة على جود ومتانة ٩٨%

٤- محولات التأمين: تستعمل لإيجاد مسار آمن في مختلف مساراتها وتحتاج حماية من احتفاظ الأرضي

٥- محولات طارمية: هي محولات التي تستعمل بطرق خاصة مثل محولات الكهرباء

٦- محولات الصغير: هي محولات ذات أحجام صغيره مثل محولات المصارف ولا جراس ولعب الأطفال.

أنواع المحولات من جهة نوع الشكل

- ١- النوع القلبي: Core type

يستخدم النوع القلبي في محولات القدرة متوسطة الحجم والتي تتراوح قدراتها ترقيباً بين 500 kVA و 100MVA. يوضح شكل ٥ - ٢ محولاً قلبياً ثلاثي الأوجه، ويحتوي على ملف ابتدائي و ملف ثانوي.

- ٢- النوع البيكلي (القشرى): Shell type

يستخدم النوع البيكلي في محولات القدرة كبيرة الحجم و ذات القدرة العالية. يوضح شكل ٦ - ٣ محولاً قشرياً ثلاثي الأوجه، ويحتوي على ملف ابتدائي و ملف ثانوي ل كل وجه ملفوفين معاً على نفس الساق، بينما شكل ٥ - ٢ النوع البيكلي لمحل ثلاثي الأوجه، حيث تلف ملفات الابتدائي والثانوي لكل وجه في القشرة الداخلية، وبالتالي فهو يشبه ثلاثة محولات أحادية من هذا النوع مرتبة في صفين واحد.

المسائل

محول أحادي الوجه قدرته $S = 25 \text{ KVA}$ والتتردد $f = 50 \text{ Hz}$ و عدد ملفات الملف الابتدائي $N_1 = 500$ و عدد ملفات الملف الثانوي $N_2 = 50$ وصل الملف الابتدائي إلى مصدر جهد قيمته $V_1 = 3000 \text{ V}$ فإذا كان أقصى تدفق من الفيض المغناطيسي يمر في الدائرة المغناطيسية ($\phi = 0.035 \text{ wb}$) احسب مايلي:

١- تيار الملف الابتدائي I_1

٢- تيار الملف الثانوي I_2

٣- القوة الدافعة الكهربائية في الملف الابتدائي E_1

٤- القوة الدافعة الكهربائية في الملف الثانوي E_2

$$KVA=25, \quad N_1=500, \quad N_2=50, \quad V_1=3000V$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{500}{50} = 10$$

$$E_2 = V_2 = \frac{3000}{10} = 300$$

Volt

$$I_1 = \frac{V_A}{V_1} = \frac{25000}{3000} = 8.33$$

Amp.

$$I_2 = \frac{V_A}{V_2} = \frac{25000}{300} = 83.8$$

Amp

$$\text{OR, } I_2 = I_1 \frac{N_1}{N_2} = 8.33(10) = 83.8$$

Amp

$$E_1 = 4.44 f \phi N_1$$

$$E_1 = 4.44 f \phi N_1$$

$$E_1 = 4.44 \times 50 \times 0.035 \times 500$$

$$E_1 = 3885 V$$

$$E_2 = 4.44 f \phi N_2$$

$$E_2 = 4.44 f 50$$

$$\phi E_2 = 4.44 \times 50 \times 0.035 \times 30 = 388.5 V$$

أقصى تدفق في الدائرة المغناطيسية .

$$\phi_I = \frac{E_1}{4.44 \times f \times N_1} = \frac{3000}{4.44 \times 50 \times 500} = 0.027 wb$$

مثال ٤ - ٢ - محول أحادي الوجه قدرته ٥ كيلوفولت أمبير، جهده $110/440$ فولت ويعمل على تردد ٦٠ هيرتز ويتدنى جمل بتيار مقداره ٢٥ أمبير عند معامل قدرة ٠.٨، متقدم وعند الجهد المتنبأ باعتبار المحول مثالياً، أوجد الآتي: - جهد وتيار الابتدائي - معاوقة الحمل -

الحل

$$KVA = 5, \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{440}{110} = 4 \quad f = 60 \text{ Hz}, \quad I_2 = 35 \text{ A}, \quad P.F = 0.8 \text{ leading}$$

$$V_2 = 110 \angle 0^\circ \text{ volt} \quad I_2 = 35 \angle \cos 0.8 = 35 \angle 36.87^\circ \text{ Amp.}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{V_1}{110} = 4$$

Thus:

$$V_1 = 440$$

V

$$I_1 = I_2 \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{4} \times 35 \angle 36.87^\circ = 8.75 \angle 36.87^\circ$$

Amp

معارضة الحمل:

$$Z_L = \frac{V_2}{I_2} = \frac{110 \angle 0^\circ}{35 \angle 36.87^\circ} = 3.14 \angle 36.87^\circ$$

Ω

-٢٨

عند اختبار محول أحادي الوجه قدرته ٢٥ كيلوفولت أمبير ونسبة تحويل الجهد ٣٣٠٠/٢٠٠
أعطي النتائج التالية:

$$V_o = 3300V, \quad I_o = 0.8A, \quad P_o = 300W$$
$$V_{sc} = 100V, \quad I_{sc} = 7.5A, \quad P_{sc} = 580W$$

احسب ثوابت المحول موضحة على الدائرة المكافئة ، وكذلك احسب معامل التبظيم والكافأة عند
الحمل الكامل ومعامل قدرة ٨، متاخر، كرر الحل عند نصف الحمل. وتفس معامل القدرة.

ملحوظة : حساب معامل التبظيم للمحول غير مقرر

[28]

$$KVA = 25 \times 10^3 \text{ V}$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{2300}{200}$$

ΔN_1 is greater

$$V_o = 3300 \text{ V}$$

$$I_o = 0.8 \text{ A}$$

$$P_o = 300 \text{ W}$$

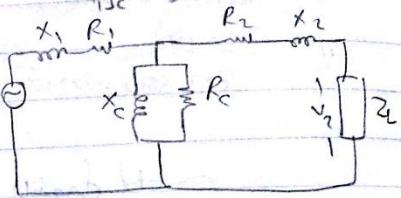
$$V_{sc} = 100 \text{ V}$$

$$I_{sc} = 7.5 \text{ A}$$

$$P_{sc} = 580 \text{ W}$$

$$\cos \phi = \frac{P_o}{V_o I_o} = \frac{300}{3300 \times 0.8} = 0.11$$

$$\phi = 83.5^\circ$$



$$R_c = \frac{V_o}{I_o \cos \phi} = \frac{3300}{0.8 \times 0.11} = 37500 \text{ ohms}$$

$$X_m = \frac{V_o}{I_o \sin \phi} = \frac{3300}{0.8 \sin 83.5^\circ} = 4151.7 \text{ ohms}$$

$$R_{eq} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2} = \frac{580}{(7.5)^2} = 10.3 \text{ ohms}$$

real is

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

$$\approx Z_{sc} = \frac{V}{I} = \frac{100}{7.5} = 13.3$$

$$\approx (13.3)^2 = X_{eq}^2 + (10.3)^2$$

$$\therefore X_{eq} = 8.4 \text{ ohms}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{R_{eq}}{2} = \frac{10.3}{2} = 5.15$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_{eq}}{2} = \frac{8.4}{2} = 4.2$$

$$R_2 = R_2 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 = 5.15 \left(\frac{2}{23} \right)^2 = 0.039$$

$$R_2 = X_2 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 = 4.2 \left(\frac{2}{23} \right)^2 = 0.031$$

$$V_F = \frac{|V_2 \text{ no load}| - |V_2 \text{ rated}|}{|V_2 \text{ no load}|} = \frac{3300 - 100}{3300} = 0.969 = 96.9\%$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + P_i + P_{cu}} \times 100\%$$

$$P_o = V_2 I_2 \cos \phi = KVA \cos \phi$$

$$\approx P_o = 25 \times 10^3 \times 0.8 = 20 \times 10^3$$

$$P_i = P_r = 300 \text{ W}$$

$$P_{cu} = P_{sc}$$

$$= 580 \text{ W}$$

$$\approx \eta = \frac{20 \times 10^3}{300 + 580 + 20 \times 10^3} \times 100 = 95.78\%$$

95.78%

$$\eta = \frac{20188W}{20,88} \times 100 = 95.7$$

- JZ1 (cont) is

$$P_{out}(th) = 2.0 \text{ kW} \times 0.5 = 1.0 \text{ kW}$$

$$P_{C412} = \frac{1}{4} * (P_{out}) = \frac{1}{4} * 580 = 145 \text{ W}$$

$$P_{IN} = 145 \text{ W} + 10000 \text{ W} + 300 \text{ W} =$$

$$P_{IN} = 104445 = 10.445 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{10.445 \text{ kW}}{10.445} \times 100 = 95.73 \times$$

- JZ1 (cont) is

$$\Delta V = V_p - V_s$$

$$\Delta V = 202$$

$$U.R = \frac{V_2 \text{ natural} - V_2 \text{ rated}}{V_2 \text{ natural}}$$

$$\frac{3300 - 1000}{3300} = 0.96$$

$$P.U.R = 96.96\%$$

محول أحادي الوجه يعمل على جهد ذي تردد ٦٠ هيرتز، فإذا كان القلب الحديدي على شكل مستطيل المقطع أبعاده ٢٥x٢٠ سم وكتافة الفيش المسموح به للمرور في القلب الحديدی ١٠٠٠ وبيه/سم^٢، احسب عدد اللفات المطلوب وضعها لكل من الملف الابتدائي والثانوي لتكون نسبة تحويل الجهد ٢٣٠٠/٢٢٠ فولت.

(23)

$$f = 60 \text{ Hz} \quad A = 0.2 \times 0.25 = 0.05 \text{ m}^2 \quad B = 0.0001 \text{ wb} = 1 \text{ (T)}^2$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{3000}{220} \quad N_1, N_2 ? \quad f = 60$$

$$\approx \phi = BA = 1 \times 0.05 = 0.05$$

$$\approx E_1 = 4.44 f \phi N_1$$

$$\therefore 3000 = 4.44 \times 60 \times 0.05 \times N_1$$

$$\therefore N_1 = 225 \text{ turns}$$

$$\approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{3000}{220} = \frac{225}{N_2}$$

$$\therefore N_2 \approx 17 \text{ turns} \quad \text{or} \quad E_2 = 4.44 f \phi N_2$$

-٢٧- أجري اختبار اللاحمel واختبار القصر على محول توزيع أحادي الوجه ٥٠٠ كيلووات، ونسبة تحويل الجهد ٢٣٠٠/٢٢٠ فولت، فكانت نتائج الاختبارات كما يلي:

١- اختبار اللاحمel

$$V_o = 230 \text{ V}, \quad I_o = 94 \text{ A}, \quad P_o = 2250 \text{ W}$$

٢- اختبار القصر

$$V_{sc} = 100 \text{ V}, \quad I_{sc} = 228 \text{ A}, \quad P_{sc} = 9.2 \text{ KW}$$

احسب ثوابت الدائرة المكافئة منسوبة للجهد العالي

21

$$KVA = 500 \times 10^3 \text{ V} \quad \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{2300}{230}$$

$$V_o = 230 \text{ V}$$

$$I_o = 94 \text{ A}$$

مدة 100% من

$$P_o = 2250 \text{ W}$$

وهي القدر المطلوب

$$V_x = 100 \text{ V}$$

$$I_{sc} = 228 \text{ A}$$

$$R_c = 9.2 \times 10^3 \text{ ohm}$$

لذلك X_c, R_c ينبعوا من ذلك

$$\cos \phi = \frac{P_o}{V_o I_o} = \frac{2250}{230 \times 94} = 0.1$$

$$\phi = 84^\circ$$

$$R_g = \frac{V_o}{I_o \cos \phi} = \frac{230}{94 \times 0.1} = [24.5 \text{ ohm}]$$

$$X_m = \frac{V_o}{I_o \sin \phi} = \frac{230}{94 \sin 84^\circ} = [2.5 \text{ ohm}]$$

لذلك X_m ينبع

$$R_{eq} = \frac{P_c}{I_{sc}^2} = \frac{9.2 \times 10^3}{(228)^2} = [0.18 \text{ ohm}]$$

$$Z_{sc} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} = \frac{100}{228} = [0.44 \text{ ohm}]$$

$$\therefore Z_{sc} = \sqrt{R_g^2 + X_{eq}^2} \Rightarrow (0.44)^2 = (0.18)^2 + X_{eq}^2$$

$$\therefore X_{eq} = 0.4 \text{ ohm}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{R_{eq}}{2} = \frac{0.18}{2} = [0.09 \text{ ohm}] \checkmark$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_{eq}}{2} = \frac{0.4}{2} = [0.2 \text{ ohm}] \checkmark$$

$$R_1 = R_2 \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

$$\therefore 0.09 = R_2 \left(\frac{2300}{230} \right)^2 \Rightarrow R_2 = 0.009 \text{ ohm}$$

$$X_2 = X_1 \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \Rightarrow X_2 = 0.012 \text{ ohm}$$

خطوط النقل القصيرة

النظري

١- باختصار وضح أهمية خطوط النقل للطاقة في الشبكة الكهربائية؟ وما هي أنواعها؟

تعتبر خطوط وشبكات النقل الكهربائية بمثابة الشرائين لنظمomas القوى الكهربائية حيث يمكن عن طريقها نقل الطاقة الكهربائية عبر مسافات طويلة من أماكن التوليد إلى مراكز الاستهلاك بتكلفة اقتصادية وتقنيات فنية عالية ، وتصمم معظم خطوط النقل الكهربائي ل تعمل بالنظام الثلاثي الأوجه أو الثلاثي البtour على أحد شكلين مما :

- دائرة ثلاثية الأوجه مفردة Three phase single circuit system
- دائرة ثلاثية الأوجه مزدوجة Three phase double circuit system

وتنقسم خطوط النقل الكهربائي لخطوط نقل (قصيرة - متوسطة - طويلة)

١- ما هي العناصر التي يعتمد عليها أداء خطوط النقل الكهربائي؟

تمثل خواص خطوط النقل الكهربائي في المعاملات التي تحدد الأداء الكهربائي للخطوط حيث يمكن التعبير عن هذا الأداء بمعاملات أربع هي المقاومة المئادية للخط (R) ، ومواصلة التوازي للخط (G) ، والمقاومة الحشية للخط (X_L) ، و السعة الكهربائية للخط (C) .

٢- ما هي خصائص خطوط النقل وكذلك خصائص المواد المستخدمة في خطوط النقل الطاقة ؟

وخطوط النقل يجب أن تتوافق لها الخصائص الآتية :

- يجب أن يكون الجهد ثابتًا على طول الخط
- يجب أن يكون الفقد في القدرة أقل ما يمكن حتى تكون كفاءة النقل عالية وتكلفة النقل أقل ما يمكن
- يجب أن لا يتسبب الفقد في القدرة في تسخين الموصى لدرجة تسبّب تغييرًا في الخواص الكهربائية والميكانيكية للموصل
- يجب أن يتحمل الموصى الإجهاد الميكانيكي الواقع عليه نتيجة وزنه وكذلك نتيجة لتراسيم الثلوج أو تأثير ضغط الرياح عليه

وكون الموصل معلقاً يجعله دائماً واقعاً تحت تأثير وزنه الذي يؤثر رأسياً إلى أسفل مسبباً لجهاد شد في الموصل، ولذلك فإنه يجب أن تكون المادة التي يصنع منها الموصل ذات متانة ميكانيكية عالية تجعلها تحمل الإجهاد الواقع عليها، وأن تكون خفيفة الوزن حتى تكون قوة الشد المؤثرة على الموصل قليلة وحتى يمكن زيادة المسافة بين الأبراج لتقليل تكلفة إنشاء الخط، وعموماً فإن اختيار مادة الموصل في خطوط النقل يخضع لعدة اعتبارات:

- المسافة بين البرجين و مقدار الترخيم المسموح به
- الشد في الموصلات
- ما إذا كان الجو المحيط يحتوي على مواد أكاليل أي تسبب تآكل الموصلات أم لا
- هل سيكون الخط معرضاً للإهتزازات أم لا
- فقد في القدرة على الخط
- البيوط في الجهد على الخط
- الطقس والعوامل المناخية في موقع الخط
- مساحة مقطع الموصل أو حجم الموصل ويتم تحديد حجم الموصل بناءً على مجموعة من الاعتبارات كالبيوط في الجهد والسبة الحرارية للموصل واعتبارات اقتصادية خاصة بتكلفة الموصل.

3- أنكر/أذكر بعض الظواهر التي تحدث على خطوط النقل للطاقة؟ ومدى تأثيرها على الطاقة؟

١٣ المظواهر المترتبة على خلوذ التقل الكهربائي

Skin effect

ظاهرة تيار الكهرباء على السطح الخارجي للوصى بقيمة وعى داخل وخارج مقطع البار يزيد من مقاومة الوصل، وظاهرها يكون ذات ملحوظة عالي

ظاهرة الترميز المعاكس

تشخص المظواهر المترتبة بصورة كبيرة في الحالات الكهربائية (العوازم، الفرسان، CO₂، N₂)، سادس فلوريد الكربون) وعندما يطبق جهد تيار على مسار تيار صغير بين الأقطاب الكهربائية مثل معاكس بالغاز ويستعمل كموديل لبيان توزيع التيار، فإذا كان الجهد كثيفاً جداً (كذلك الجهد) فيحدث تأثير توزيع التيار بين الأقطاب وأقطاب الكهربائي وتصبح المقاومة موزعة في جميع أنحاء بين الأقطاب، فإذا كان الجهد غير متساوٍ يحدث تغيرات في التوزيع، مما ينعكس على المعاكس (وهي مسافة بين نقاط طلاق العازف) وبهذا التغير ينخفض مجال كهربائي ويزداد كوكومي من الجهد، مما ينبع من مدخل للزورقة معاكس بجهة الجهد وتصدر هذه المظواهر العائدة إلى المعاكس الكهربائي وقد تؤدي لتلف العازف الكهربائي كما يوضحها تفاصيل في جدول التردد.

ظاهرة الـLightning effect

تتغير ظاهرة الصواعق الكهربائية تغيرات كبيرة للمعدات (اطير، اكتاف، خلية) في العصب إلى سطح مجاورة أو للأرض وفي هذه الحالة ينبع طلاق العازف بين الأقطاب الكهربائية تكون كبيرة جداً كي تكون السطح داخل العصب وتغيرها تكون ملحوظة جداً، وتظهر التيار البرق جميع تأثيرات التيار الكهربائي كحالاته إذا صرخ في خلطة ولا التقل برفع درجة حرارة المعاو، المولدة وتحسن المولدات وتصرف المعاو، وكما يوضح العرس (الجلد) ما يزيد تصريح متابعة العصب ووضع ضغط عالي أو غيره واستعمال ماسات الـLightning effect.

مثال ١ - ٣ : خط نقل كهربائي قصير ثلاثي الأوجه ، تردد $f = 60 \text{ Hz}$ ، له مقاومة $R = 5 \Omega$ ومحاثة $L = 30 \text{ mH}$ ، يغذي حملا متوازناً ثلاثي الأوجه مقداره $P = 1000 \text{ kW}$ بمعامل قدرة 0.8 تأخر تحت جهد 11 kV بين الخطوط والخط ، احسب :

أ - الجهد ومعامل القدرة عند جهة الإرسال .

ب- كفاءة الخط .

ج- تنظيم الجهد للخط .

د- ارسم مخطط المتجهات للخط .

الحل

جهد الوجه عند الاستقبال :

$$V_R = \frac{V_{R_L}}{\sqrt{3}} = \frac{11000}{\sqrt{3}} = 6350 \text{ V.}$$

$$I_L = \frac{P_R}{3V_R \cos \phi_R} = \frac{1000 * 10^3}{3 * 6350 * 0.8} = 65.6 \text{ A.}$$

$$\phi_R = \cos^{-1}(0.8) = 36.87^\circ \text{ lag}$$

$$I_L = |I_L| \angle \phi_R^\circ = 65.6 \angle -36.87^\circ \text{ A.}$$

معاوقة الخط :

$$Z_L = R + j X_L = 5 + j 2\pi * 60 * 0.03 = 5 + j 9.4 = 10.65 \angle 62^\circ \Omega.$$

الهبوط في الجهد للكل وجه :

$$\Delta V = Z_L \cdot I_L = (65.6 \angle -36.87^\circ)(10.65 \angle 62^\circ) = 698.64 \angle 25.13^\circ \text{ V.}$$

أ - جهد الوجه عند جهة الإرسال :

$$V_S = V_R + \Delta V = 6350 + (698.64 \angle 25.13^\circ) = 6988 \angle 2.4^\circ \text{ V.}$$

$$V_{SL} = \sqrt{3} V_S = \sqrt{3} * 6988 = 12100 \text{ V.} = 12.1 \text{ kV.}$$

معامل القدرة عند جهة الإرسال :

$$\phi_S = \phi_R + \theta_S = 36.87 + 2.4 = 39.3^\circ \text{ lag}$$

$$\cos \phi_S = 0.774 \text{ lag}$$

ب - القدرة الفعالة المفقودة على الخط :

$$P_{Loss} = 3 R I_L^2 = 3 * 5 * (65.6)^2 = 64.55 \text{ kW}$$

القدرة الفعالة عند جهة الإرسال :

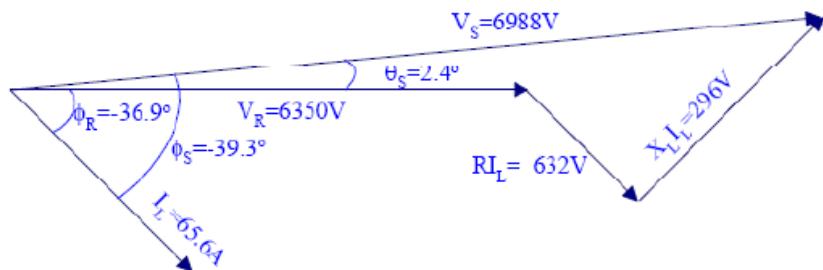
$$P_S = P_R + P_{Loss} = 1000 + 64.55 = 1064.55 \text{ kW}$$

كفاءة الخط :

$$\eta \% = \frac{P_R}{P_S} * 100 = \frac{1000}{1064.55} * 100 = 93.94 \%$$

ج - تنظيم الجهد على الخط :

$$V.R \% = \frac{V_{R_{n,L}} - V_{R_L}}{V_{R_L}} * 100 = \frac{V_S - V_R}{V_R} * 100 = \frac{12.1 - 11}{11} * 100 = 10 \%$$



السؤال ٣

خط نقل كهربائي قصير ثلاثي الأوجه أحطى البيانات التالية له:

طول الخط 40 Km و التردد 50 Hz

$R = 0.1/\text{km}$, $f = 50 \text{ Hz}$ و المسافة بين أي موصى نتساوي $r = 0.5 \text{ cm}$

$D = 1\text{m}$ ونصف قطر الموصل $\eta = 0.5 \text{ cm}$ ويعنى حمل قدرته 1 MW و جهد 33 KV و معامل قدره متاخر 0.8

أ- احسب العناصر المقاومة والمحاثة L لكامل الخط

ب- الجهد ومعامل القدرة عند جهة الإرسال $(\cos \phi_s, V_s)$

ج- كلفة الخط η

د- احسب معامل التنظيم $V.R.$

هـ ارسم المخطط الاتجاهي للخط . Phasor Diagram

اجابتك في السؤال الثالث

Given: short T.L , $L = 40 \text{ Km}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $R = 0.1 \Omega/\text{Km}$

$r = 0.5 \text{ cm}$, $D = 1\text{m}$, $P_1 = 10 \text{ MW}$

$V_L = 33 \text{ KV}$, $P_f = 0.8$ lagging

المطلوب

① R, L for line

② $V_s, \cos \phi_s$

③ η

④ $V.R$

⑤ Phasor diagram

$$\textcircled{1} \quad R = 0.1 \times 40 = 4 \Omega$$

$$\approx L = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{D}{r} \right)$$

$$\approx \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$$

$$\approx L = \frac{4\pi \times 10^{-7}}{2\pi} \left(\frac{1}{4} + \ln \left(\frac{1}{0.5 \times 10^2} \right) \right) = 1.109 \times 10^{-6} \text{ H/m}$$

$$\approx L = 1.109 \times 10^{-6} \times 40 \times 10^3 = 0.044 \text{ H} \quad \leftarrow \begin{array}{l} \text{line } \Rightarrow \\ 40 \text{ km} \end{array}$$

$$\textcircled{2} \quad Z = R + jX_L = 4 + j(2\pi \times 50 \times 0.044) = 4 + j13.45 \Omega$$

$$\approx I_L = \frac{P_L}{V_L P_F} = \frac{10 \times 10^6}{33 \times 10^3 \times 0.8} = 378.8 \text{ A}$$

$$\phi = \cos^{-1} 0.8 = 36.8^\circ$$

$$\approx \bar{I}_L = 378.8 \angle -36.8^\circ \text{ A} \text{ - lagging}$$

$$\approx \bar{V}_S = \bar{V}_L + \bar{I}_L \times \bar{Z}$$

$$\bar{V}_S = 33 \times 10^3 \angle 0^\circ + (378.8 \angle -36.8^\circ)(4 + j13.45) = 37.53 \angle 50.8^\circ$$

$$\approx |V_S| = 37.53 \angle 50.8^\circ \text{ KV}$$

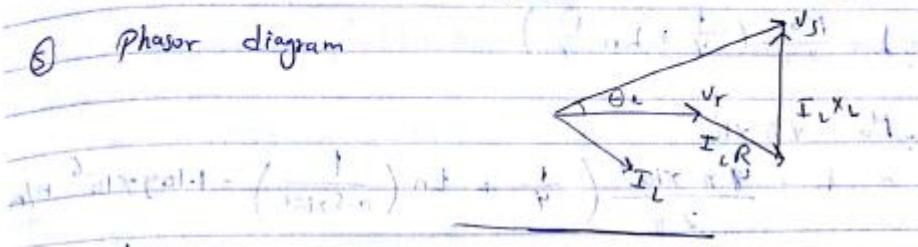
$$\approx P.F_s = \cos \phi_f = \cos(\theta_V - \theta_i) = \cos(-5.08 + 36.8) = 0.745 \text{ leading}$$

$$\textcircled{3} \quad \eta = \frac{P}{P_F} = \frac{10}{\sqrt{3} V_L I_L P.F} = \frac{10}{\sqrt{3} \times 37.53 \times 10^3 \times 378.8 \times 0.745}$$

$$\approx \eta = 59.56 \% \rightarrow 54.56 \%$$

$$\textcircled{4} \quad V.R = \frac{V_S - V_R}{V_S} = \frac{37.53 - 33}{37.53} \times 100 = 12.07\%$$

⑤ Phasor diagram



خطوط النقل المتوسطة

النظري

لا يوجد نظري منفصل بل تابع لخطوط النقل العامة.

المسائل

٣- المسؤال

A Medium Transmission Line of a 3-phase, 100 km, 50 Hz Y-connection and delivering (يغذي حمل ثالثي) a Load with a power ($P_L = 10 \text{ MW}$) at a power factor of ($\cos \phi_r = 0.8$) lagging and $V_L = 11 \text{ kV}$.

وخطصر الخط (كامل الخط) هي:

$$R = 10 \Omega, L = 50 \text{ mH}, C = 0.1 \mu\text{F}$$

أوجد التسلسلي واستخدم الشكل T-circuit: T-circuit: -1

- إحسب المقاومة لكامل الخط ثم X_L

- إحسب� السعة لكامل الخط X_C

-3- الجهد ومعامل القدرة عند جهة الارسال ($\cos \phi_s, V_s$)

-4- كثافة الخط η

-5- ارسم المخطط الاتجاهي للخط

Phasor Diagram

question 2

Given $L = 100 \text{ km} , f = 50 \text{ Hz} , Y \text{ connect} , P_L = 10 \text{ Hw}$
 $P_f = 0.8 , V_L = 11 \text{ kV} , R = 10 \Omega , L = 50 \text{ mH}$
 $C = 0.1 \mu\text{F}$

- With T-circuit find
 ① X_L ② C, X_C ③ V_s, P_f, I_s ④ η ⑤ Phasor diagram

$$\textcircled{1} X_L = 2\pi f L = 2\pi * 50 * 10^3 = 15.71 \Omega$$

$$\textcircled{2} X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi * 50 * 0.1 * 10^{-6}} = 31830.58 \Omega$$

$$\textcircled{3} \text{ For T-circuit } V_s = \left(1 + \frac{\bar{Z}_L}{2}\right) \bar{U}_r + \frac{\bar{Z}}{2} \left(1 + \frac{\bar{Z}_L}{4}\right) \bar{I}_r$$

$$\bar{Z} = R + jX_L = 10 + j15.71$$

$$\textcircled{4} \bar{I} = \frac{P}{V_L \cos \phi_f} = 6560.8 \angle -36.8^\circ \text{ A}$$

$$Y = j\omega C = j(2\pi * 50 * 0.1 * 10^{-6}) = j3.142 \times 10^{-5}$$

$$\textcircled{5} \bar{V}_s = \left(1 + \frac{(10 + j15.71)(j3.142 \times 10^{-5})}{2}\right) \times 11 \times 10^3 \angle 0 + (10 + j15.71) \times \left(1 + \frac{(10 + j15.71)(j3.142 \times 10^{-5})}{4}\right) \times 5560.8 \angle -36.8^\circ$$

$$\boxed{\bar{V}_s = 132.51 \angle 140.4^\circ \text{ kV}}$$

$$\bar{I}_f = \bar{V}_{fr} + \left(1 + \frac{\bar{Z}_T}{2}\right) \bar{I}_r$$

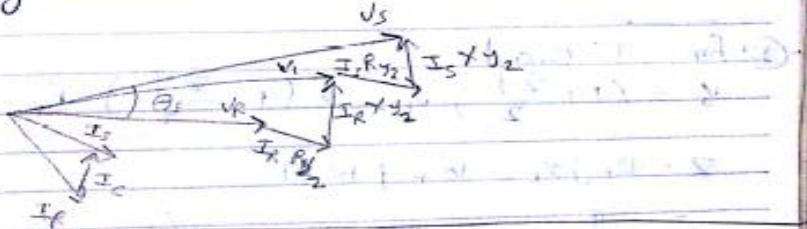
$$= (j3.142 \times 10^5)(11 \times 10^3 / 0^\circ) + \left(1 + (10 + j15.71)(j3.14 \times 10^3)\right) \times (6560 - j36.79)$$

$$= 6560 - j36.79 \text{ A}$$

$$P-f_s = \cos \phi_s = \cos(\theta_V - \theta_i) = \cos(19.04 + 36.79) = 0.562 \text{ (leading)}$$

$$\textcircled{1} \eta_{T.L} = \frac{P_L}{P_s} \times 100\% = \frac{100 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 132.51 \times 10^3 \times 6558 \times 0.562} = 11.82\%$$

(b) Phasor diagram



٤ - المُوَلَّ سِعَةً

أحسب كل من الكفائة η ومعامل التنظيم لخط نقل طاقة طوله 100 km وبتردد $f = 50 \text{ Hz}$ يغذي حملًا قدرته 20MW، ومعامل فرقه متغير 0.8 وجهد 66kV حيث: موصلات خط النقل مصنوعة من النحاس و $R = 0.1 \Omega/\text{Km}$ والمسافة بين أي موصلين $D = 2\text{m}$ وقطر الموصل (Nominal-T) أي $d = 1.5 \text{ cm}$.

question ٤

Given: $L = 100 \text{ km}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $P_L = 20 \text{ MW}$, $P_f = 0.8$ lagging

$V_L = 66 \text{ kV}$, $R = 0.1 \Omega/\text{km}$, $D = 2\text{m}$, $d = 2r = 1.5 \text{ cm}$.

$$C = 0.1 \mu\text{F}$$

للحلوبي

① η ② V, R

$$\eta = \frac{P_L}{P_s} \quad P_s = \sqrt{3} V_s I_s \cos(\theta_{V_s} - \theta_{I_s})$$

قيمة θ يساوي 2° من ذكرها في السؤال

$$Z = R + j\omega L$$

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{D}{r} \right) = \frac{2\pi \times 10^{-7}}{2\pi} \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{2}{0.75 \times 10^{-2}} \right)$$

$$R = 0.1 \times 100 = 10 \Omega \quad (\text{ Resistive })$$

$$L = 5.836 \times 10^{-7} \text{ H/m} = 5.836 \times 10^{-7} \times 100 \times 10^3 = 0.0584 \text{ H}$$

$$Z = R + j\omega L = 10 + j(2\pi \times 50 \times 0.0584) = 10 + j18.35 \Omega$$

$$Y = j\omega C = j(2\pi \times 50 \times 0.1 \times 10^{-6}) = j3.142 \times 10^{-5} \Omega^{-1}$$

$$I_r = \frac{P_s}{\sqrt{3} V_p f} = \frac{20 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 66 \times 10^3 \times 0.8} = 218.6 \text{ A} \quad | -36.8^\circ |$$

$$V = \left(1 + \frac{jZ}{2} \right) V_r + \frac{j}{2} \left(1 + \frac{jZ}{4} \right) I_r$$

$$\begin{aligned} \therefore v_s &= \left(1 + \frac{(10+j18.35)(j3.142 \times 10^5)}{2} \right) \times 66 \times 10^3 \\ &+ (10+j18.35) \left[1 + \frac{(10+j18.35)(j3.142 \times 10^5)}{4} \right] \cancel{\times 1.563} \\ &\times 218.6 \angle -36.8^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore |v_s| &= 70.16 \angle 1.563^\circ \text{ V} \\ \bar{I}_s &= Y \bar{v}_r + \left(1 + \frac{\bar{Z} \bar{Y}}{2} \right) \bar{I}_r \\ &= (j3.142 \times 10^5) (66 \times 10^3) + \left[1 + \frac{(10+j18.35)(j3.142 \times 10^5)}{2} \right] \\ &\times (218.6 \angle -36.8^\circ) = 217.4 \angle -36.35^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

① $P_{fs} = \cos(\theta_v - \theta_i) = \cos(1.563 - 36.35) = 0.789$ leading

$$① \eta = \frac{P_L}{P_s} = \frac{20 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 70.16 \times 10^3 \times 217.4 \times 0.789} \times 100\% = 98.95\%$$

$$② V.R = \frac{v_s - v_r}{v_s} \times 100\% = \frac{70.16 - 66}{70.16} \times 100\% = 5.73\%$$