استخدام الحاسوب في مقارنة المحركات التحريضية الغاطسة تصميمياً

الدكتور المهندس عبدا ساميز الدكتور المهندس نديم مخول

قسم الطاقة الكهربائية ـ كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

جامعة دمشق

الملخص

إن المضخات الغاطسة عملياً مستخدمة استخداماً واسعاً لضخ المياه واستخراجها من الآبـار، وهذه المضخات تكون مقادة بواسطة محركات تحريضية ذات قفص سنجابي، إذ إن المضخة تكون مرتبطة بشكل مباشر مع المحرك التحريضي الذي يقودها ويكونان بذلك مجموعة تسمى مجموعة محرك مضخة أو المجموعة الغاطسة.

من الناحية الاقتصادية فإن تكاليف حفر البئر يتناسب طردياً مع قطر فوهة الحفرة، ومن ثـم فإن التكاليف سوف تنخفض انخفاضاً ملحوظاً كلما كانت أبعاد المجموعة الغاطسة صـغيرة، من هذا المنطلق سوف نقوم في هذا البحث باختبار إمكانية تصميم محرك تحريضي غـاطس يعمل بتوتر ذي تردد f =150[HZ] بحجم أصغر وبسرعة مساوية ثلاثة أضعاف المحـرك التحريضي الذي يملك الاستطاعة نفسها ويعمل بتوتر ذي تردد f =50[HZ] وبحيـث تكـون المحددات الأساسية للمحرك المصمم ليست أسوأ من المحرك ذي التردد f=50[HZ] . لهـذا الهدف سوف نقوم بالإجراءات التالية:

- وضع النموذج الرياضي الذي يبين الحسابات كافة التصميمية والكهرومغناطيسية للمحرك التحريضي الغاطس الذي يعمل بتوتر ذي تردد f=150[HZ] وذلك عند الحالات التالية:

أ- عند تغيير نوعية المعدن المصنوع منه القفص السنجابي (نحاس - ألمنيوم).

ب- عند تغيير المحارضة في الثغرة الهوائية.

جـ- عند تغيير ارتفاع إغلاق المجاري.

- ايجاد الخوارزمية المقترحة للنموذج المذكور مبيناً عليها المخطط الانسيابي لتتابع العمليات الحسابية للمراحل المذكورة كافة.
- تنفيذ برنامج على الحاسوب باستخدام إحدى لغات البرمجة عالية المستوى للحصول على النتائج التصميمية للحالات السابقة كافة.

مقارنة النتائج الحاصلة وتحديد قيم المردود والانزلاق والانزلاق الحرج وتحديد نسبة كل من عزم الإقلاع والعزم الأعظمي إلى العزم الاسمي لكل حالة من الحالات المدروسة.

1- مقدمة Introduction:

إن المضخات المستخدمة لاستخراج السوائل ذات أنواع عديدة، ومن هذه الأنواع تلك التي توجد بحالة انغماس كلي ودائم خلال العمل، هذه المجموعة من المضخات تستخدم لضخ السوائل بأنواعها كافة (الحلوة - المالحة - الصناعية...) وعند درجات حرارة مختلفة .

هناك عدة أساليب لقيادة هذه المضخات نذكر منها الأساليب الشائعة الاستخدام وهي:

- المضخات المغمورة في الماء والمجهزة بمحرك قيادة كهربائي موجود على السطح ومربوط مع المضخة بواسطة محور طويل يصل طوله في بعض الحالات إلى عدة مئات من الأمتار، تسمى هذه المضخات المضخات المحورية.

تصنع وتستخدم هذه المضخات في أمريكا وبعض الدول المتطورة صناعياً.

- المضخات المغمورة في الماء والمجهزة بشكل مباشر بمحرك قيادة كهربائي، بحيث تكون المضخة مع المحرك مجموعة مغمورة في الماء، وفي الوقت نفسه مربوطة مع السطح بواسطة أنابيب لنقل الماء من الآبار إلى السطح.

هذه المضخات تصنع وتستخدم في الدول الأوربية ومعظم دول العالم وتسمى هذه المجموعات عادة بالمضخات الغاطسة.

المضخات الغاطسة ذات مجالات عديدة للاستخدام ونذكر منها:

- لاستخراج مياه الشرب من الآبار.
- في شبكات التمديد لنقل المياه من الخزانات إلى أماكن الاستهلاك.
- في المنشآت الصناعية، المناجم، منشآت المواصلات، الزراعة وغيرها وذلك لتخفيض مستوى المياه الجوفية.

كما يجب أن نشير إلى وجود استخدامات ذات أهمية خاصة للمضخات الغاطسة نذكر منها:

- استثمار المياه المعدنية الساخنة.
- استخراج الوقود السائل (النفط).
- الحفاظ على استقرار منصات الحفر.
- استخراج المعادن والفلزات من أعماق البحار والمحيطات.

لقيادة تلك المضخات غالباً ما تستخدم محركات تحريضية ذات قفص سنجابي أحادية أو ثلاثية الطور والتي تسمى أحياناً المحركات الغاطسة. وتكمن أهمية استخدام هذه المحركات لتمتعها بالمزايا التالية:

- قدرتها على العمل مباشرة دون الحاجة لإضافة أية تجهيزات أخرى.
- رخص ثمنها وسهولة استثمارها ومرونة عملها.
- سهولة إقلاعها وبساطة صيانتها.
- مردودها العالي وكلفتها القليلة.
- التحكم بها أكثر سهولة من الآلات الأخرى.
- إمكانية إنشاؤها بعدة سرعات.

وتعمل هذه المحركات الغاطسة على عمق يصل إلى 120 m، كما أن سرعة المياه التي تغمر المحرك الغاطس تكون أكبر من 1 m/sec، وذلك وفق بعض النشرات العالمية، وكذلك وفق معطيات بعض المنتجين.

حالياً تستخدم وبشكل شائع المحركات الغاطسة ذات البنى التصميمية التالية:

آ- المحركات الغاطسة الزيتية:

تصمم هذه المحركات بحيث تكون مملوءة بزيت خاص ذي ثابت عازلية كهربائية كبير جـداً، وبهـذه الحالة فإن الزيت الموجود داخل المحرك يقوم بعمليات التبريد والعزل والتشحيم للأجزاء المتحركة.

ب- المحركات الغاطسة نصف الجافة:

تصمم هذه المحركات بحيث تحوي أنبوباً محكمَ السد ذا سماكة صغيرة جـداً يفصـل وسـط الجـزء المتحرك عن وسط الجزء الثابت، وعادة يكون وسط الجزء الثابت حيث توجد الملفات مملوءاً بمركـب أوكسيدي في حين وسط الجزء المتحرك الموجود داخل الأنبوب الفاصل يكون مملوءاً في الماء نفسـه الذي يجب أن تضخه المضخة الغاطسة.

جـ- المحركات الغاطسة الرطبة:

تصمم هذه المحركات بحيث تكون مملوءة بمياه نظيفة أو بخليط من المياه مع الغلسيرين الـذي يقـوم بعمليات التبريد والتشحيم. ولما كانت المياه أو الخليط الموجود داخل المحرك سوف يلامس الأجـزاء الداخلية كافة للمحرك لذلك فإن هذا النوع من المحركات يتطلب استخدام أفضل أنواع العازلية لملفات الثابت وكذلك أفضل أنواع المواد غير القابلة للصدأ.

هذا النوع من المحركات الغاطسة شائع الاستخدام في الدول الأوربية.

ولما كانت تكاليف حفر الآبار تتعلق بقطر فوهة الحفر، فإن تصغير قطر هذه الفوهة سـوف يخفـض بشكل ملحوظ من تكاليف حفر البئر، كما أن قطر فوهة الحفر يتعلق بأبعاد المجموعـة المؤلفـة مـن المحرك الغاطس والمضخة.

ومن هذا المنطلق فإن الهدف من هذا البحث هو اختبار إمكانية بناءِ محـركٍ تحريضـي غـاطس ذي سـرعة دورانيـة أكبـر بـثلاث مـرات وبحجـم أصـغر ومغـذى بتـوتر ذي تـردد $f = 150[HZ]$، بحيث تكون المحددات الأساسية لهذا المحرك (عامل الاستطاعة، عـزم الإقـلاع، العزم الأعظمي، الانزلاق، الانزلاق الحرج) ليست أسوأ من المحرك التحريضي الغاطس الذي يملـك الاستطاعة نفسها وعدد الأقطاب نفسه والذي يعمل بتوتر ذي تردد $f = 50\ [HZ]$.

سوف نقدم في هذا البحث خوارزمية تقوم بمقارنة المحرك التحريضي الغاطس باسـتطاعة 22[Kw] ومغذى بتوتر 380[V] ذي تردد 150[HZ] مع محرك آخر له الاستطاعة نفسها، ويعمـل بتـوتر 380[V] إنما بتردد f=50[HZ] وسوف تكون هذه المقارنة مـن الناحيـة التصـميمية للمحـددات الأساسية لهذا المحرك ولعدة حالات مدروسة.

2- النموذج الرياضي Mathematical Model:

2-1- تحديد الضياعات الحديدية:

إن الضياعات الحديدية في الدارة المغناطيسية للمحرك الغاطس عبارة عن ضياعات ناتجة عن الإشباع، وهي تتناسب طرداً مع التردد وتعطى بالعلاقة التالية:

$$\Delta P_H = \delta_H \cdot \frac{f}{100}\left(\frac{B}{10000}\right)^2 \qquad (1)$$

وضياعات ناتجة عن التيارات الإعصارية وتعطى بالعلاقة التالية:

$$DP_W = \delta_W \cdot \left(\Delta \frac{f}{100} \cdot \frac{B}{10000}\right)^2 \qquad (2)$$

وكما هو ملاحظ من العلاقتين السابقتين أن الضياعات الحديدية سوف تزداد عنـد تصـميم المحـرك المغناطسي بتردد f=150[HZ] .

هناك بعض الشروط التي يجب أن تتحقق لكي يكون مردود المحرك الغـاطس بتـردد f=150[HZ] مساوياً مردود المحرك التحريضي الغاطس الذي يعمل بتردد f=50[HZ] وهي:

$\Delta P_{Fe50} \approx \Delta P_{Fe150}$ الضياعات الحديدية

(3) $B_{\rho 50} < B_{\rho 150}$ التحريض المغناطيسي في الثغرة الهوائية

$B_{Z50} < B_{Z150}$ التحريض المغناطيسي في الأسنان

ولتحقيق هذه الشروط لابد من اختيار صفائح ذات ضياعات حقيقية (1,6w/kg) (2,3w/kg)أقل من ضياعات الصفائح المستخدمة (2.6w/kg) في المحرك المصمم والذي يعمل بتردد[HZ]50.

ومن ثَم يمكن حساب الضياعات الحديدية من العلاقة التالية:

$$\Delta P_{Fe} = \Delta P_H + \Delta P_W \qquad (4)$$

2-2- تحديد التحريض المغناطيسي في أسنان الثابت وفي الثغرة الهوائية:

بعد تحديد الضياعات الحديدية الكلية للمحرك الغـاطس عنـد التـردد f=150[HZ] يمكـن تحديـد التحريض في أسنان الثابت وفق العلاقة التالية:

$$\Delta P_{fe50} = 2{,}6 \cdot B^2_{Z1} \cdot G_{Z1} \qquad (5)$$

إذ إن الثابت 2,6 هو عبارة عن الضياعات الحديدية فـي صـفائح المحـرك الـذي يعمـل بتـردد f=50[HZ] . وكذلك يمكن تحديد الضياعات في أسنان الثابت وعند تردد 150[HZ] وفق العلاقـة التالية:

$$\Delta P_{fe150} = \Delta P_{Fe} . B`^{2}_{Z1} . G_{Z1} \qquad (6)$$

وفقاً للشرط الأول من جملة العلاقات (3) فإن:

$$2,6 . B^{2}_{Z1} = \Delta P_{Fe} . B`^{2}_{Z1}$$

$$\frac{B`_{Z1}}{B_{Z1}} = \sqrt{\frac{2,6}{\Delta P_{Fe}}} \qquad (7)$$

من ثَم:

$$\frac{B`_{P150}}{B_{P50}} = \sqrt{\frac{2,6}{\Delta P_{Fe}}} \qquad (8)$$

وبالمثل يكون:

من العلاقة (8) يمكن تحديد قيمة التصغير في التحريض للثغرة الهوائية:

$$B`_{P150} = B_{P50}\sqrt{\frac{2,6}{\Delta P_{Fe}}} \qquad (9)$$

وبهدف زيادة الإشباع في الدارة المغناطيسية يتم زيادة التحريض في الثغرة الهوائية إلى قيم أكبر مـن القيمة المحسوبة وفق العلاقة (9).

2-3- الحسابات التصميمية الميكانيكية:

2-3-1- تحديد عدد المجاري لكل طور تحت كل قطب:

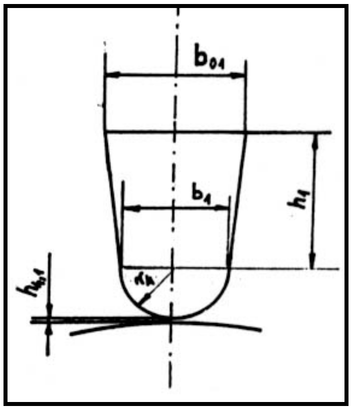
بعد إدخال عدد المجاري لكل من الثابت والمتحرك $\overline{Z}_1$, $\overline{Z}_2$ يمكن حساب q_1 من العلاقة:

$$q_1 = \frac{\overline{Z}_1}{2P.m_1} \qquad (10)$$

2-3-2- تحديد المساحة الصافية لمجرى الثابت:

يمكن حساب المساحة الصافية لمجرى الثابت وفق العلاقة التالية، وذلك بعد معرفة أبعاد مجرى الثابت وهي $(G_{iZ}, r_4, h_{4,1}, b_1, h_1, b_{01})$ كماهي مبينة على الشكل (2)

$$S_{z_1net} = \frac{(b_{01} - 2G_{iZ}) + (b_1 - 2G_{iZ})}{2}(h_1 - G_{iZ}) + \frac{\pi(r_4 - 2G_{iZ})^2}{2} \quad (11)$$



الشكل (2) أبعاد مجرى ثابت

3-3-2- تحديد عدد الملفات في الطور:

بمعرفة مقطع الناقل المستخدم يمكن معرفة القطر DNX، ومن ثم يمكن معرفة كيفية توضع النواقـل ضمن المجرى ومنه يمكن تحديد عدد النواقل Z، وبعد ذلك يمكن تحديد عدد الملفات في الطور وفـق العلاقة التالية:

$$Z_1 = Z \cdot q_1 \quad (12)$$

4-3-2- تحديد القطر الداخلي لصفائح الثابت:

بمعرفة الأبعاد المتعلقة بالثابت (h_{r1}, D_Z) وأبعاد المجرى المبينة على الشكل (2) يمكن حساب القطر الداخلي لصفائح الثابت من العلاقة التالية:

$$D = D_Z - 2\,(h_{r1} + h_1 + r_4 + h_{4,1}) \qquad (13)$$

ومن ثمّ يمكن تحديد الخطوة القطبية τ من العلاقة التالي:

$$\tau = \frac{\pi . D}{2P} \qquad (14)$$

2-3-5- تحديد السيالة المغناطيسية في الثغرة الهوائية:

يمكن تحديد السيالة المغناطيسية ϕ من العلاقة التالية:

$$\phi = \frac{K_E . U_f}{4 . K_B . f . K_u . Z_1} \qquad (15)$$

حيث:

K_u: ثابت اللف ويساوي $K_u = Ks\ .\ Kg \approx 0,958$

K_S: عامل تقصير الملفات ويساوي $K_s = 1$

K_g: عامل المجموعات ويساوي $K_g = 0,958$

K_B: عامل الشكل لمنحني الحقل ويساوي $K_B = 1,103$

K_E: عامل هبوط التوتر ويساوي $K_E = 0,96$

ومن ثمّ يمكن حساب طول حزمة الثابت من العلاقة التالية:

$$L = \frac{\phi}{B_P . \alpha_i . \tau} \qquad (16)$$

حيث: α_i: عامل توزع الحقل في الثغرة ويساوي $\alpha_i = 0,66$

وبهدف التقليل من الضياعات الناتجة عن التيارات الإعصارية في أطراف حزمة الصفائح يتم تطويـل حزمة الدوار بمقدار 5mm ومن ثمّ:

$$L_w = L + 5 \qquad (17)$$

بعد ذلك يمكن حساب طول الثغرة الهوائية وفق العلاقة التالية:

$$\delta = 0,15 + (0,02 \div 0,025)\sqrt{D . L} \qquad (18)$$

2-3-6- تحديد قطر المحور تحت حزمة الدوار:

بعد الأخذ بالحسبان القوة المحورية وقوة الدفع المغناطيسية الأحادية الاتجاه المؤثرة في الدوار يمكـن القبول أن قطر المحور تحت حزمة الدوار

$$D_w = (0.3 \div 0.35)D_5 \qquad (19)$$

2-4- الحسابات التصميمية الكهرمغناطيسية:

2-4-1- تحديد خطوة مجرى الثابت:

وفقاً للأبعاد المبينة على الشكل (3) يمكن تحديد مايلي:

- خطوة مجرى الثابت:

$$t_1 = \frac{\pi . D}{Z_1} \qquad (20)$$

- خطوة مجرى الثابت عند الرأس:

$$t_{Z_1} = \frac{\pi . D_2}{Z_1} \qquad (21)$$

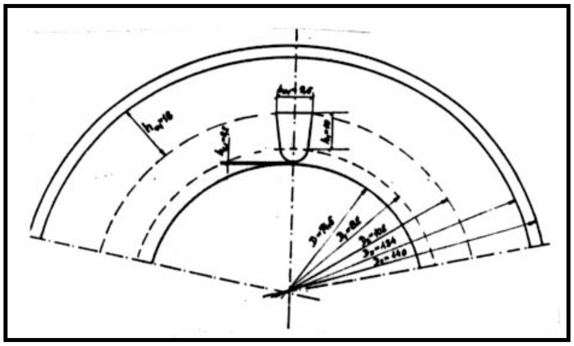
- خطوة مجرى الثابت عند الحذاء:

$$t_{Z_1} = \frac{\pi . D_1}{Z_1} \qquad (22)$$

ومن ثم يمكن تحديد عرض سن الثابت عند الرأس والحذاء وفق العلاقات التالية:

$$b_{Z_1} = t_{Z_1} - b_{01}$$

$$b_{Z_2} = t_{Z_2} - b_1 \qquad (23)$$



الشكل (3) أبعاد مقطع صفائح الثابت

2-4-2- تحديد ق . م. ك في قضبان المتحرك:

$$E_{Pr} = \frac{K_E . U_f}{2. K_u . Z_1} \qquad (24)$$

ومن ثَم فإن الاستطاعة في الثغرة الهوائية يمكن حسابها من العلاقة التالية:

$$P_i = P + \Delta P_{cu2} + \Delta P_m \qquad (25)$$

وذلك بفرض أن الاستطاعة الضائعة في ملفات الدوار تساوي 1,5% من الاستطاعة الاسمية للمحرك، في حين ΔP_m هي عبارة عن الضياعات الميكانيكية وهي تساوي:

$$\Delta P_m = \Delta P_w + 0{,}01\ P_n \qquad (26)$$

حيث:

ΔP_W: هي الضياعات بسبب دوران الماء واحتكاك اسطوانة المتحرك بالماء.

$0{,}01\ P_n$: هي الضياعات الميكانيكية في الرولمانات.

2-4-3- تحديد المردود:

$$\eta_W = \frac{P}{P_i} \qquad (27)$$

2-4-4- تحديد تيار طور المتحرك عند الحمل الاسمي:

إن تيار الطور في المتحرك يمكن تحديده من العلاقة التالية:

$$I_2 = \frac{P.10^3}{m_2 E_{Pr} . \eta_W} \qquad (28)$$

ومن ثم يمكن حساب مقاومة ملفات المتحرك كمايلي:

$$R_2 = \frac{P_{cu2}}{m.I_2^2} \qquad (29)$$

عندها يكون التيار في قضبان المتحرك هو التالي:

$$I_{Pr} = \frac{I_2}{P} \qquad (30)$$

والتيار في حلقة القفص للمتحرك

$$I_{Pn`} = \frac{I_{Pr}}{\beta} \qquad (31)$$

حيث β: يسمى العامل الطوري لقفص المتحرك ويحسب وفق العلاقة التالية:

$$\beta = 2Sin\frac{\pi}{Z_2} \qquad (32)$$

2-4-5- كثافة التيار في قضبان المتحرك:

$$J_{Pr} = \frac{I_2.R_2}{\frac{(1+\alpha.\Delta\theta)L_{Pr}}{\lambda} + \frac{2(1+\alpha.\Delta\theta).\pi.D_{P`_n}}{1,3.\beta.\lambda.Z_2}} \qquad (33)$$

حيث:

L_{Pr} : طول قضيب المتحرك ويساوي طول قلب حديد المتحرك .

$D_{P`_n}$: القطر الأولي للحلقة ويساوي

$$D_{P`_n} = D_{W_2} - h_{P`_n} \qquad (34)$$

وتكون كثافة التيار في حلقة قفص المتحرك هي:

$$J_{P`_n} = \frac{I_{P`_n}}{S_{P`_n}} \tag{35}$$

حيث: $S_{P`_n}$ - سطح مقطع الحلقة

مقطع قضيب المتحرك يعطى بالعلاقة التالية:

$$S_{Pr} = \frac{I_{Pr}}{J_{Pr}} \tag{36}$$

ومن ثَم يمكن حساب قطر القضيب في مجرى المتحرك:

$$D_{Pr} = 2\sqrt{\frac{S_{Pr}}{\pi}} \tag{37}$$

ويتم اختيار قطر قضيب المتحرك المقرب لعدد صحيح بعد ذلك يتم حساب S_{Pr} الجديدة وكثافة التيـار المار في قضيب المتحرك بناءً على القيمة الجديدة لـ S_{Pr}:

$$J_{Pr} = \frac{I_{Pr}}{S_{Pr}} \tag{38}$$

2-4-6- تحديد قطر مجرى المتحرك وارتفاع حديده:

بهدف تسهيل ادخال قضبان قفص المتحرك في المجاري يُتْرَكُ فراغ حوالي 0.7mm ومن ثَم:

$$b_{Z_2} = D_{Pr} + 0.7 \tag{39}$$

ويمكن أيضاً حساب ارتفاع حديد المتحرك من العلاقة التالية وفق الأبعاد المبينة على الشكل(4)

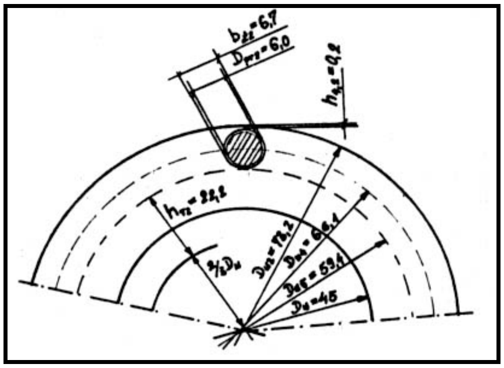
$$h_{r_2} = \frac{D_{W_5} - D_W}{2} + \frac{D_W}{3} \tag{40}$$

خطوة مجرى المتحرك يمكن حسابها كمايلي:

$$t_2 = \frac{\pi . D_{W_4}}{Z_2} \tag{41}$$

ومن ثَم فإن عرض سن المتحرك عند منتصف ارتفاع المجرى هو التالي:

$$b_{Z_{0.5}} = t_2 - b_{Z_2} \quad (42)$$



الشكل (4) أبعاد مقطع صفائح المتحرك

2-4-7- حساب التحريض المغناطيسي:

2-4-7-1- التحريض في أسنان الثابت:

$$B_{Z_1} = \frac{B_P . t_1}{0,93. b_{Z_1}}$$
$$B_{Z_2} = \frac{B_P . t_1}{0,93. b_{Z_2}} \quad (43)$$

ومن ثَم فإن التحريض المغناطيسي الوسطي لأسنان الثابت:

$$B_{Z_{\bar{S}r}} = \frac{B_{Z_1} + B_{Z_2}}{2} \quad (44)$$

2-4-7-2- التحريض في حديد الثابت:

$$B_{r1} = \frac{\phi}{0,93.2. L. h_{r2}} \quad (45)$$

2-4-7-3- التحريض في أسنان المتحرك وعند منتصف المجرى:

$$B_{Z2} = \frac{B_P.t_2}{0,93.b_{Z_{0.5}}} \quad (46)$$

2-4-7-4- التحريض في حديد المتحرك:

$$B_{r2} = \frac{\phi}{0,93.2.h_{r2}L_W} \quad (47)$$

بعد حساب قيم التحريض السابق يمكن الحصول على قيم الحقـول المغناطيسـية H_{r2} , H_{z2} , H_{r1} , $Hz_{\bar{sr}}$ الموافقة لكل من B_{r2} , B_{Z2} , B_{r1} , $B_{z\bar{sr}}$ وذلك من منحنيـات المغنطـة العائـدة للمعـدن المستخدم في حديد المحرك.

2-4-8- حساب هبوط التوتر المغناطيسي:

بعد الحصول على قيم الحقول المغناطيسية يمكن حساب قيم هبوط التوتر المغناطيسي التالية:

2-4-8-1- هبوط التوتر للثغرة الهوائية:

$$U_{mp} = 1,6 .K_c . B_P . \delta \quad (48)$$

2-4-8-2- هبوط التوتر لأسنان الثابت:

$$U_{m_{Z1}} = 2.h_{Z1}.H_{Z_{\bar{S}r}} \quad (49)$$

2-4-8-3- هبوط التوتر لحديد الثابت:

$$U_{mr1} = L_{r1}.H_{r1}.K_{r1} \quad (50)$$

حيث: K_r: ثابت يؤخذ من الجداول ويساوي $K_{r1} = 0,45$

L_{r1}: يعطى بالعلاقة التالية:

$$L_{r1} = \frac{\pi.D_Z}{2P} \quad (51)$$

2-4-8-4- هبوط التوتر في حديد المتحرك:

$$U_{mr2} = L_{r2} . H_{r2} . K_{r2} \quad (52)$$

حيث: K_{r2}: ثابت يؤخذ من الجداول ويساوي $K_r = 0,6$

L_{r2}: يمكن حسابه كمايلي:

$$L_{r2} = \frac{\pi.(D_W - 2h_{Z2})}{2P} \qquad (53)$$

2-4-8-5- هبوط التوتر في أسنان المتحرك:

$$U_{mZ2} = 2h_{Z2} . H_{Z2} \qquad (54)$$

2-4-9- حساب القوة المحركة المغناطيسية في ملفات الثابت:

$$\Sigma F_m = U_{mP} + U_{mZ1} + U_{mr1} + U_{mZ2} + U_{mr2} \qquad (55)$$

ومنه يمكن حساب تيار المغنطة وفق العلاقة التالية:

$$I_\mu = \frac{\Sigma F_m}{2.7.K_u.Z_1} \qquad (56)$$

ومن ثَم فإن النسبة بين تيار المغنطة إلى التيار الاسمي:

$$I_{\mu\%} = \frac{I_\mu}{I_n}.100 \qquad (57)$$

ويكون عامل إشباع الأسنان:

$$K_{nZ} = \frac{U_{mP} + U_{mZ1} + U_{mZ2}}{U_{mP}} \qquad (58)$$

2-4-9- تحديد المقاومات:

لكي نستطيع تحديد المقاومات يجب أن نحسب قيمة طول الجبهة وقيمة طول الملف

$$L_{cz} = 1{,}4 . \tau + 4 \ _{cm} \qquad (59)$$

$$L_{ZW} = 2 (L_{cz} + L) \qquad (60)$$

والمقاومات الكهربائية يمكن حسابها عند تغير في درجة الحرارة $\Delta\theta = 40\ c^\circ$ ودرجة حرارة خارجية $\theta z = 15c^\circ$

2-4-9-1- مقاومة طور واحد لملفات الثابت:

$$R_{I_{55}} = 1{,}16 \frac{L_W}{\lambda.S_{Pr}} \qquad (61)$$

2-4-9-2- مقاومة قضيب المتحرك:

$$R_{Pr\,55} = 1,16\frac{L_W}{\lambda . S_{Pr\,2}} \quad (62)$$

2-4-9-3- مقاومة حلقة قفص المتحرك:

$$R_{P`_n\,55} = 1,16\frac{t_2}{\lambda . S_{P`_n}} \quad (63)$$

ومن ثَم فإن مقاومة المتحرك تعطى بالعلاقة التالية:

$$R_{2_{55}} = R_{Pr\,55} + \frac{2R_{P`_n\,55}}{\beta^2} \quad (64)$$

2-4-9-4- مقاومة المتحرك منسوبة للثابت:

$$R`_2 = R_{ed} . R_{2\,55} \quad (65)$$

حيث: R_{ed}: عامل النسب ويساوي

$$R_{ed} = \frac{12(K_u . Z_1)^2}{Z_2} \quad (66)$$

2-4-10- تحديد الأوزان:

2-4-10-1- وزن ملفات الثابت:

$$G_{cu1} = 3\ Z_1 . L_{Zw} . S_{cu} . \gamma \quad (67)$$

حيث: γ - الوزن الحجمي للمادة المصنوع منها الملفات

2-4-10-2- وزن قضبان ملفات المتحرك:

$$G_{Pr} = Z_2 . L_w . S_{Pr2} . \gamma \quad (68)$$

2-4-10-3- وزن حلقات قفص المتحرك:

$$G_{P`n} = 2\pi\ D_{W2} . S_{P`n2} . \gamma \quad (69)$$

2-4-10-4-وزن حديد الثابت:

$$G_{r1} = \frac{\pi(D_Z^2 - D_2^2)}{4} K_{Fe} . L . \gamma` \quad (70)$$

حيث:

γ': الوزن الحجمي للمادة المصنوع منها الثابت.

K_{Fe}: ثابت يؤخذ من الجداول ويساوي $K_{Fe} = 0,93$.

2-4-10-5- وزن أسنان الثابت:

$$G_{Z_1} = (\frac{\pi(D_2^2 - D^2}{4}) - Z_1.S_{ZtBr})K_{Fe}.L.\gamma \quad (71)$$

حيث: S_{ztBr}: المساحة الإجمالية لمجرى الثابت وتحسب كمايلي:

$$S_{ZtBr} = (\frac{b_{01} + b_1}{2})h_1 + \frac{\pi.r_4^2}{2} \quad (72)$$

ومن ثم فإن وزن حزمة الثابت هي التالية:

$$G_{st} = G_{r1} + G_{Z1} \quad (73)$$

2-4-10-6: وزن حزمة المتحرك:

$$G_{WIR} = (\frac{\pi(D_{W2}^2 - D_W^2)}{4} - Z_2 S_{Zt2})K_{Fe} L_W.\gamma \quad (74)$$

حيث: S_{Zt2}: المساحة الإجمالية لمجرى المتحرك وتحسب كمايلي:

$$S_{Zt2} = \frac{\pi.b_{Z_2}^2}{4} \quad (75)$$

2-4-10-7- وزن النحاس الصافي:

$$G_{cuN} = G_{cu1} + G_{pr} + G_{p'n} \quad (76)$$

2-4-10-8- وزن الحديد الصافي:

$$G_{StN} = G_{st} + G_{wIR} \quad (77)$$

2-4-10-9- وزن المواد الفعالة:

$$G = G_{cuN} + G_{stN} \quad (78)$$

ومن ثم فإن وزن النحاس لكل 1kw هو:

$$G_{Cu\,Kw} = \frac{G_{cuN}}{Pn} \quad (79)$$

ووزن المواد الفعالة لـ 1kw هو

$$G_{kw} = \frac{G}{Pn} \qquad (80)$$

2-4-11- تحديد الضياعات:

2-4-11-1- الضياعات النحاسية في ملفات الثابت:

$$\Delta P_{cu1} = 3.I_1^2.R_{1_{55}} \qquad (81)$$

2-4-11-2- الضياعات النحاسية في ملفات المتحرك:

$$\Delta P_{cu2} = Z_2.I_{Pr}^2.R_{Pr55} \qquad (82)$$

2-4-11-3- الضياعات الحديدية في الثابت:

$$\Delta P_{r1} = \Delta P_{Fe150}.K_j.\frac{(B_{r1})^2}{10000}G_{r1} \qquad (83)$$

2-4-11-4- الضياعات الحديدية في أسنان الثابت:

$$\Delta P_{Z1} = \Delta P_{Fe150}.K_Z\frac{(B_{Z1})^2}{10000}G_{Z1} \qquad (84)$$

حيث: K_Z ثابت من الجداول ويساوي $K_Z = 2$.

2-4-11-5- الضياعات الميكانيكية:

ويتم حسابها كما في العلاقة (26) وبعد ذلك يمكن حساب مجموع الضياعات الكلية كمايلي:

$$\Delta P = \Delta P_{Cu1} + \Delta P_{cu2} + \Delta P_{r1} + \Delta P_{Z1} + \Delta P_m \qquad (85)$$

ومن ثم فإن مردود المحرك يعطى بالعلاقة التالية:

$$\eta = \frac{P}{P + \Delta P} \qquad (86)$$

2-4-12- تحديد الضياعات في حالة اللاحمل:

الضياعات النحاسية في ملفات الثابت عند اللاحمل.

$$\Delta P_0 = 3.I_\mu^2 . R_{1_{55}} \qquad (87)$$

ومن ثم فإن الضياعات الثابتة هي التالية:

$$\Delta P_{St} = \Delta P_0 + \Delta P_{r1} + \Delta P_{Z1} + \Delta P_m \qquad (88)$$

المركبة الفعالة لتيار اللاحمل

$$I_{0W} = \frac{\Delta P_{st}}{3U_f} \qquad (89)$$

عندئذ يمكن أن نحسب تيار اللاحمل وفق العلاقة التالية:

$$I_0 = \sqrt{I_\mu^2 + I_{ow}^2} \qquad (90)$$

وعامل الاستطاعة عند اللاحمل

$$\cos\varphi_0 = \frac{I_{ow}}{I_0} \qquad (91)$$

وتكون قيمة الانزلاق هي التالية:

$$S\% = \frac{\Delta P_{cu2}}{P + \Delta P_m + \Delta P_{cu2}} \% \qquad (92)$$

والسرعة الدورانية تعطى بالعلاقة التالية:

$$n = n_s (1\text{-}S) \qquad (93)$$

2-4-13- حساب النفاذيات:

2-4-13-1- نفاذية مجاري الثابت:

$$\lambda_{Z_1} = 1,256(K_{h4} + \frac{h_1}{3b_1} K_{tr}) \qquad (94)$$

حيث:

K_{h4}: ثابت يؤخذ من جداول خاصة وذلك عند المحددات التالية:

$$\frac{h_{u,1}}{b_1} \quad , \quad \frac{I_{Pr_1}}{b_1}$$

K_{tr}: ثابت يؤخذ من جداول خاصة وذلك عند المحددات التالية: $\frac{b_1}{b_{01}}$

2-4-13-2- نفاذية السيالة المتسربة حول الوصلات الجبهية للثابت:

$$\lambda_{c1} = 1,256\frac{q_1}{L}K_{c2}K_s.L_{c2} \qquad (95)$$

حيث:

K_{c2}: عامل يؤخذ من جداول خاصة للآلات ذات التوتر [v] 500 يؤخذ $K_{c2} = 0,2$

2-4-13-3- نفاذية الوصل المضاعف للثابت:

$$\lambda_{h1} = 1,256.0,304\frac{\tau}{\delta.K_c.K_{nz}}q_1.\delta_h \qquad (96)$$

حيث: δ_h عامل يؤخذ من جداول خاصة ويساوي $\delta_h = 8,2\ 10^{-3}$

ومن ثم فإن النفاذية الكلية للثابت هي:

$$\lambda_1 = \lambda_{\bar{Z}1} + \lambda_{c1} + \lambda_{h1} \qquad (97)$$

وبالأسلوب نفسه يمكن حساب النفاذية الكلية للمتحرك:

$$\lambda_2 = \lambda_{Z2} + \lambda_{c2} + \lambda_{h2} \qquad (98)$$

حيث: $\lambda_{\bar{Z}2}$ هي النفاذية لمجاري المتحرك وتعطى بالعلاقة التالية:

$$\lambda_{\bar{Z}2} = 0,66 + 1,256\ K_{h4} \qquad (99)$$

حيث: K_{h4} عامل يؤخذ من الجداول عند النسب التالية:

$$\frac{P_{Pr}}{b} \quad , \quad \frac{h_{4,2}}{b}$$

λ_{c2}: هي النفاذية لحلقة قفص المتحرك وتعطى بالعلاقة التالية:

$$\lambda_{c2} = 0,46 \log \frac{1,5 D_{P`n}}{2(L_{P`n} + h_{P`n})} \qquad (100)$$

λ_{h2}: نفاذية الوصل المضاعف للمتحرك:

$$\lambda_{h2} = 1,256 \frac{t_2}{11,9 K_c . \delta} \qquad (101)$$

2-4-14- تحديد المفاعلات للمحرك:

2-4-14-1- المفاعلة التحريضية للثابت:

$$X_1 = 0,1256 . \frac{f_1}{100} (\frac{Z_1}{100})^2 . \frac{L}{P . q_1} \lambda_1 \qquad (102)$$

2-4-14-2- المفاعلة التحريضية لملفات المتحرك منسوبة للثابت:

$$X'_2 = 0.251 \frac{f_1}{100} . \frac{m_1}{Z_2} (\frac{Z_1 . kg}{100})^2 . L_w . \lambda_2 \qquad (103)$$

2-4-15- تحديد ممانعة القصر:

إن ممانعة القصر يمكن حسابها من العلاقة التالية:

$$Z_{zw} = \sqrt{R_{zw}^2 + X_{zw}^2} \qquad (104)$$

حيث: R_{zw}: هي مقاومة القصر وتحسب من العلاقة التالية:

$$R_{zw} = R_{1_{55}} + (1 + \tau_1) R'_{255} \qquad (105)$$

حيث: τ_1: عامل تباعد هيلاند للدارة الأولية ويحسب كمايلي:

$$\tau_1 = \frac{I_\mu . X_1}{U_f - I_\mu . X_1} \qquad (106)$$

X_{zw}: هي مفاعلة القصر:

$$X_{zw} = X_1 + (1 + \tau_1) X'_{255} \qquad (107)$$

ومن ثم يمكن حساب تيار القصر من العلاقة التالية:

$$I_{zw} = \frac{U_f}{Z_{zw}} \tag{108}$$

وتكون نسبة تيار القصر إلى تيار الثابت:

$$\nu_I = \frac{I_{zw}}{I_1} \tag{109}$$

عامل الاستطاعة عند القصر:

$$\cos\varphi_{zw} = \frac{R_{zw}}{Z_{zw}} \tag{110}$$

ومن ثم فإن الاستطاعة الأعظمية هي:

$$P_{max} = \frac{3.U_f.(I_{zw} - I_o)}{2(1 + \cos\varphi_{zw})} \tag{111}$$

والتحميل الزائد يمكن حسابه كمايلي:

$$\nu_P = \frac{P_{max}}{P} \tag{112}$$

2-4-16- حساب العزوم:

2-4-16-1- حساب العزم الاسمي:

$$M_{zn} = \frac{P_n}{n_s}.9,8 \tag{113}$$

2-4-16-2- عزم الإقلاع:

$$M_{roz} = \frac{3U_f^2}{R_{zw}^2 + X_{zw}^2}.R_2^{`}.\frac{0,975}{n_s}.9,8 \tag{114}$$

وتكون النسبة بين عزم الإقلاع والعزم الاسمي هي:

$$\nu_M = \frac{M_{max}}{M_{zw}} \tag{115}$$

2-4-16-3- الانزلاق الحرج:

$$S_K = \frac{R'_2}{X_1 + X'_2} \qquad (116)$$

2-4-16-4- العزم الأعظمي:

$$M_{max} = \frac{m_1 . U_f^2}{\sigma_1} . \frac{1}{2[R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + \sigma_1 X'_2)^2}} . \frac{0,975}{n_s} .9,8 \qquad (117)$$

حيث: σ_1 يعطي بالعلاقة التالية:

$$\sigma_1 = 1 + \tau_1 \qquad (118)$$

وتكون نسبة العزم الاعظمي إلى العزم الاسمي

$$\nu'_M = \frac{M_{max}}{M_{zn}} \qquad (119)$$

بعد هذه الدراسة يجب رسم المخطط الدائري للمحرك حيث إن المعطيات الأساسية اللازمة لرسم هـذا المخطط هي ($R`_2$, R_1 , φ_{zw} , φ_o , I_{zw} , Io) ومن المخطط الدائري المرسوم يمكن قراءة القـيم التالية (M_{zn} , P_{max} , I_{1f} , φ_n) وعندها يمكن مقارنة القيم المحسوبة وفق العلاقات (119 , 115 , 112) مع القيم المقروءة عندها يكون التصميم المنفذ ضمن الحدود المسموح به.

2-5- تكبير عزم الإقلاع:

إن ملفات كل من الثابت والمتحرك في الحالة العامة مصنوعة من النحاس، إلا أنه في بعض الحـالات وبهدف تكبير عزم الإقلاع للمحرك يمكن استخدام الألمنيوم لصناعة ملفات قفص المتحرك. عندها قيمة كمية الضياعات في ملفات المتحرك تسـاوي 2.5% مـن الاسـتطاعة الاسـمية وتعـاد الحسـابات الكهرمغناطيسية ابتداءً من العلاقة (25) وحتى النهاية وبالأسلوب نفسه المذكور سابقاً، وكما هو مبين على المخطط الانسيابي المبين على الشكل (1)، مع العلم أن المحددات كافة التابعة للجزء الثابت تبقى دون تغيير.

2-6- تكبير المحارضة في الثغرة الهوائية:

إن تكبير المحارضة في الثغرة الهوائية يزيد من إشباع الدارة المغناطيسية للمحرك وهذا بدوره يـؤدي إلى تصغير أبعاد المحرك، لهذا وبهدف الحصول على محركات غاطسة تعمل بتوتر ذي تـردد 150

[HZ] أكثر اقتصادية من المحركات التي تعمل بتـوتر ذي تـردد [HZ] 50 ، لابـد مـن تكبيـر المحارضة في الثغرة الهوائية مع البقاء على قيم ثابتة لكل من أبعاد صـفائح الثابـت، قيمـة الثغـرة الهوائية، سماكة العازلية في مجاري الثابت، عدد المجاري للثابت والمتحرك وقطر محور المتحرك.

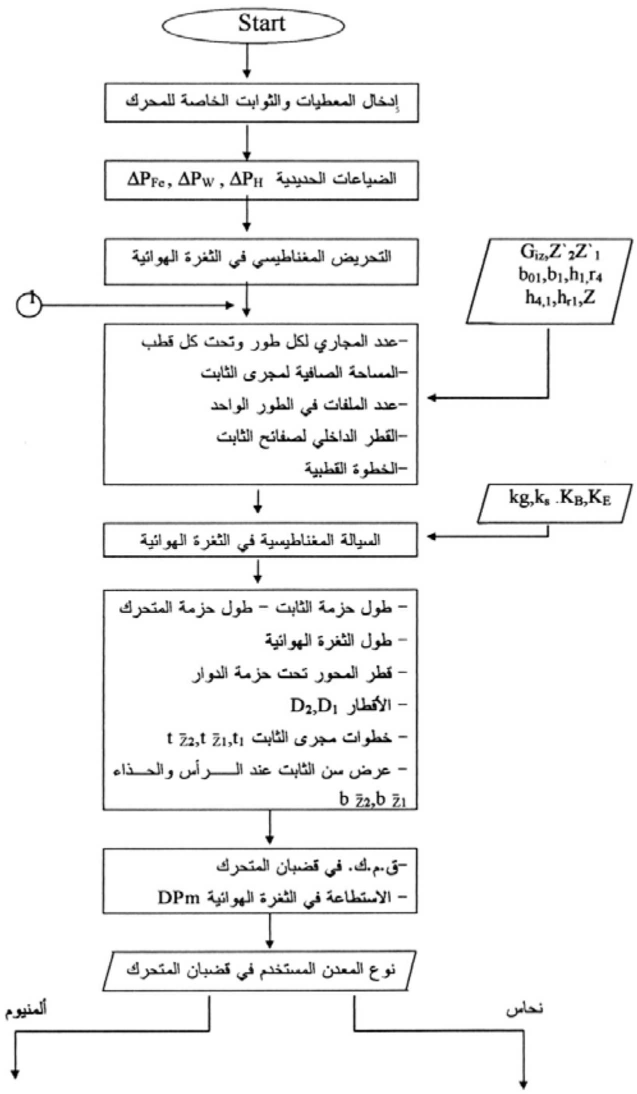
عندئذ يمكن إعادة الحسابات التصميمية والكهرمغناطيسية كاملة بدءاً من العلاقة (10) وحتى النهايـة وبالأسلوب نفسه كما هو مبين على المخطط الانسيابي للخوارزمية المبينه علـى الشـكل (1). إلا أن تكبير المحارضة في الثغرة الهوائية يؤدي إلى زيادة ملحوظة في قيمة تيار المغنطة مما ينتج عنه زيادة في الضياعات الحديدية لذا لا يمكن تكبير المحارضة في الثغرة الهوائية إلى قيمة كبيرة تؤدي إلى زيادة في الضياعات فوق القيمة المسموح بها.

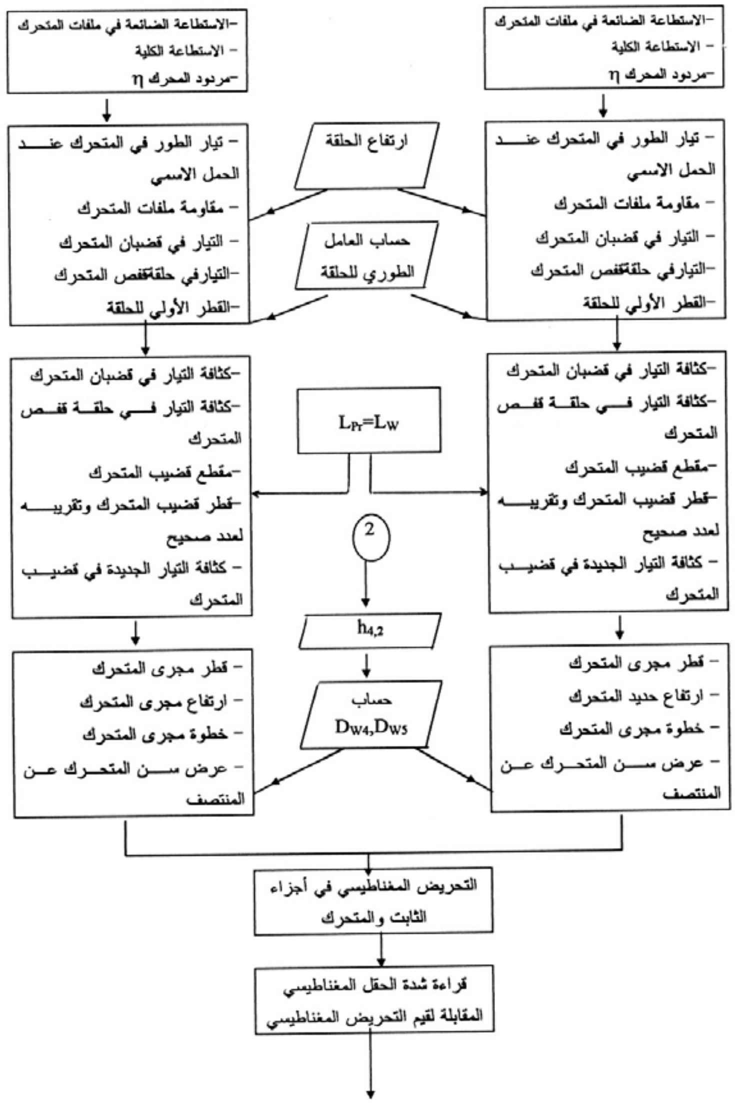
2-7- تحديد أثر ارتفاع إغلاق مجاري الثابت والمتحرك في عزم الإقلاع:

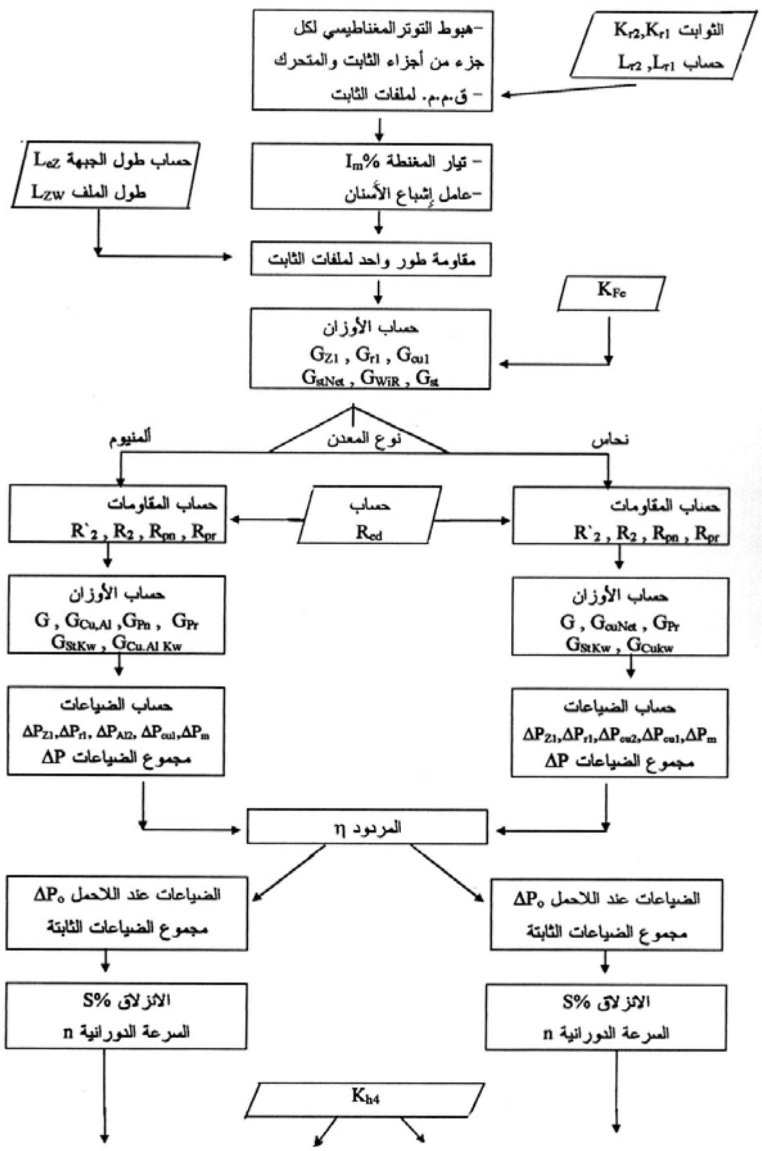
في الحسابات السابقة كانت $h4,1 = h4.2 = 0.2$ mm، ويمكن أيضاً أن نغير في هذه القيمة زيادة أو نقصاناً، وهذا بدوره سوف يؤثر في قيم النفاذيات المحسوبة في الفقرة (2-4-13) وكذلك في قـيم المفاعلات المحسوبة في الفقرة (2-4-15) .

لذاك يمكن تغيير قيمة $h4.1 = h4.2$ وإعادة الحسابات الكهرمغناطيسية بدءاً من العلاقة (94) وحتى النهاية وبالأسلوب نفسه، كما هو مبين على المخطط الصندوقي للخوارزمية المقترحـة المبينـة علـى الشكل (1).

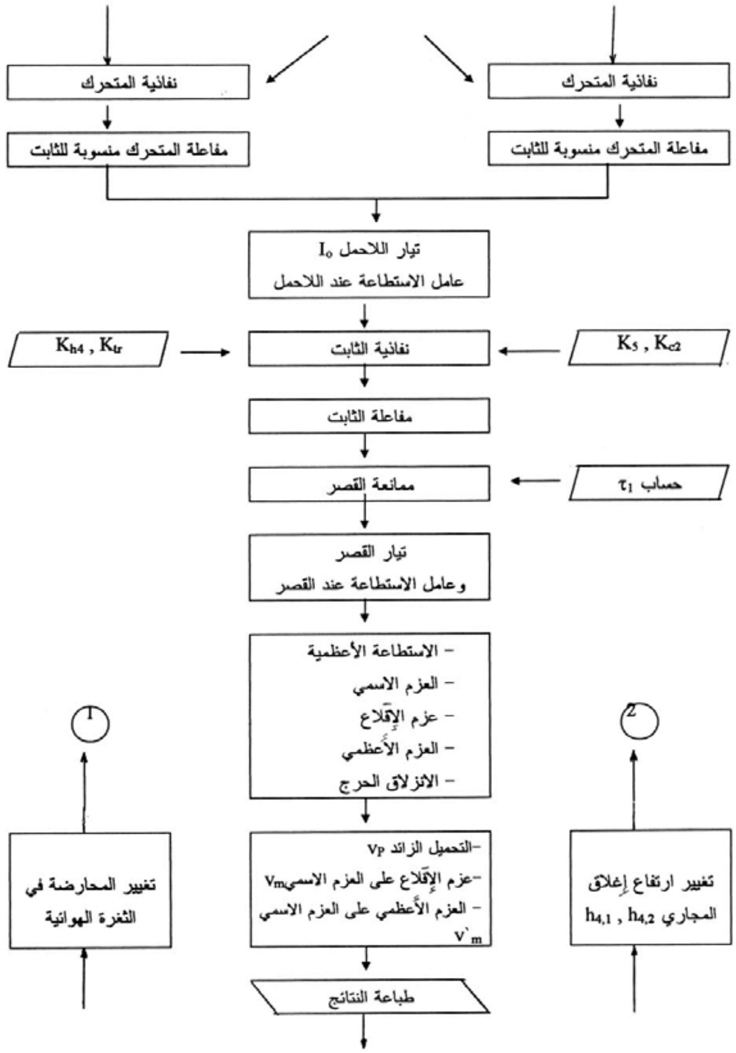
3- الخوارزمية المقترحة Algorithm:

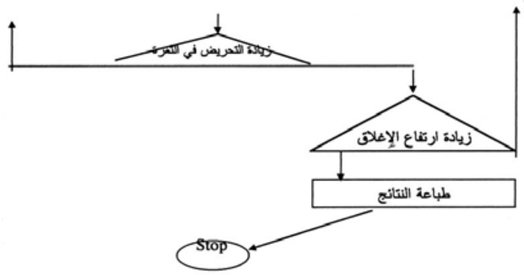



-الاستطاعة الضائعة في ملفات المتحرك
- الاستطاعة الكلية
-مردود المحرك η
- تيار الطور في المتحرك عند الحمل الاسمي
- مقاومة ملفات المتحرك
- التيار في قضبان المتحرك
-التيارفي حلقةقفص المتحرك
-القطر الأولي للحلقة
ارتفاع الحلقة
حساب العامل الطوري للحلقة
-كثافة التيار في قضبان المتحرك
-كثافة التيار في حلقة قفص المتحرك
-مقطع قضيب المتحرك
-قطر قضيب المتحرك وتقريبه لعدد صحيح
- كثافة التيار الجديدة في قضيب المتحرك
L_{Pr}=L_W
2
h_{4,2}
حساب D_{W4},D_{W5}
- قطر مجرى المتحرك
- ارتفاع مجرى المتحرك
- ارتفاع حديد المتحرك
- خطوة مجرى المتحرك
- عرض سن المتحرك عن المنتصف
التحريض المغناطيسي في أجزاء الثابت والمتحرك
قراءة شدة الحقل المغناطيسي المقابلة لقيم التحريض المغناطيسي



الثوابت K_{r2}, K_{r1}
حساب L_{r2}, L_{r1}
-هبوط التوتر المغناطيسي لكل جزء من أجزاء الثابت والمتحرك
- ق.م.م. لملفات الثابت
حساب طول الجبهة L_{eZ}
طول الملف L_{ZW}
- تيار المغنطة I_m%
-عامل إشباع الأسنان
مقاومة طور واحد لملفات الثابت
K_{Fe}
حساب الأوزان
G_{Z1} , G_{r1} , G_{cu1}
G_{stNet} , G_{WiR} , G_{st}
نوع المعدن
ألمنيوم
نحاس
حساب المقاومات
$R`_2$, R_2 , R_{pn} , R_{pr}
حساب R_{ed}
حساب المقاومات
$R`_2$, R_2 , R_{pn} , R_{pr}
حساب الأوزان
G , $G_{Cu.Al}$, G_{Pn} , G_{Pr}
G_{StKw} , $G_{Cu.Al\,Kw}$
حساب الأوزان
G , G_{cuNet} , G_{Pr}
G_{StKw} , G_{Cukw}
حساب الضياعات
$\Delta P_{Z1}, \Delta P_{r1}, \Delta P_{Al2}, \Delta P_{cu1}, \Delta P_m$
مجموع الضياعات ΔP
حساب الضياعات
$\Delta P_{Z1}, \Delta P_{r1}, \Delta P_{cu2}, \Delta P_{cu1}, \Delta P_m$
مجموع الضياعات ΔP
المردود η
الضياعات عند اللاحمل ΔP_o
مجموع الضياعات الثابتة
الضياعات عند اللاحمل ΔP_o
مجموع الضياعات الثابتة
الانزلاق S%
السرعة الدورانية n
الانزلاق S%
السرعة الدورانية n
K_{h4}


نفاذية المتحرك
نفاذية المتحرك
مفاعلة المتحرك منسوبة للثابت
مفاعلة المتحرك منسوبة للثابت
تيار اللاحمل I_o
عامل الاستطاعة عند اللاحمل
K_{h4} , K_{tr}
نفاذية الثابت
K_5 , K_{c2}
مفاعلة الثابت
ممانعة القصر
حساب τ_1
تيار القصر
وعامل الاستطاعة عند القصر
– الاستطاعة الأعظمية
– العزم الاسمي
– عزم الإقلاع
– العزم الأعظمي
– الانزلاق الحرج
1
2
تغيير المحارضة في الثغرة الهوائية
–التحميل الزائد Vp
–عزم الإقلاع على العزم الاسمي Vm
– العزم الأعظمي على العزم الاسمي V`m
تغيير ارتفاع إغلاق المجاري $h_{4,1}$, $h_{4,2}$
طباعة النتائج



الشكل (1) المخطط الإنسيابي للخوارزمية المقترحة

4- مثال حسابي Numerical Example:

المطلوب تصميم محرك تحريضي غـاطس اسـتطاعته 22kw ومغـذى بتـوتر 380[v] وتـردد f=150[HZ] ومقارنتة مع محرك تحريضي غاطس له الاستطاعة نفسها إنما يعمـل تحـت تـردد f=50 [HZ] مع العلم أن المعطيات التصميمية هي التالي:

الرقم	الرمز	الواحدة	المعطيات
1	P	Kw	22
2	U	v	380
3	I_{1f}	A	49.5
4	cos φ	-	0.82
5	η	-	0.82
6	D_Z	mm	170
7	D	mm	90
8	D_{W2}	mm	87.6
9	D_W	mm	60
10	n	r.p.m	285^{o}
11	L	mm	700
12	$\bar{Z}_1$	-	24

تتمة الجدول السابق

13	$\bar{Z}_2$	-	18
14	q_1	-	4
15	Z_{1f}	-	28
16	δ	mm	1.2
17	α_i	-	0.68
18	K_C	-	1
19	K_{nz}	-	1.03
20	نوع الصفائح	-	2,6-0,5w/kg

لقد تم تنفيذ برنامج حسابي على الحاسوب بلغة TP7 وفقاً للخوارزمية المقترحة والنموذج الرياضي، ويقوم بحساب المحددات التصميمية الكهرمغناطيسية كافة للمحركات التحريضية ولعدة حالات مختلفة وذلك وفق نوع الصفائح المستخدمة ووفق نوع المعدن المصنوع منه القفص السنجابي وعند قيم مختلفة للتحريض المغناطيسي في الثغرة الهوائية وارتفاع إغلاق مجاري الثابت والتحرك.

- **الحالة الأولى:** محرك غاطس ذو قفص مصنوع من النحاس والمحارضة في الثغرة الهوائية 0.482 [Ts].
- **الحالة الثانية:** محرك غاطس ذو قفص مصنوع من الألمنيوم والمحارضة في الثغرة الهوائية 0.482 [T] .
- **الحالة الثالثة:** محرك غاطس ذو قفص مصنوع من النحاس والمحارضة في الثغرة الهوائية 0.52 [T].
- **الحالة الرابعة:** محرك غاطس ذو قفص مصنوع من الألمنيوم والمحارضة 0.52 [Ts]
- **الحالة الخامسة:** محرك غاطس ذو قفص مصنوع من النحاس والمحارضة 0.52 [Ts] وارتفاع إغلاق من الجاري 0.5 mm .

وكانت النتائج على الشكل التالي كما في الجدول

البارامتر	**الواحدة**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**المصمم**
B_P	Ts	0.482	0.482	0.52	0.52	0.52	0.532
L_{Fe}	Mm	550	550	505	505	505	700
D_Z	Mm	134	134	134	134	134	170
D_{W2}	Mm	73.2	73.2	73.2	73.2	73.2	87.6

Connec.	-	Δ	Δ	λ	λ	λ	λ
Z_{lf}	-	28	28	16	16	16	28
R155	Ω	0.273	0.273	0.0944	0.0944	0.0944	0.22
Red	-	480	480	156	156	156	480
$R`_2$	Ω	0.212	0.3206	0.089	0.136	0.089	0.185
R_{ZW}	Ω	0.39	0.602	0.185	0.234	0.185	0.414
$h_{4,1}=h_{4,2}$	Mm	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.7
X_1	Ω	1.115	1.115	0.340	0.340	0.467	0.62
$X`_2$	Ω	1.37	1.38	0.448	0.424	0.560	0.65
X_{ZW}	Ω	2.222	2.532	0.800	0.776	1.043	1.3
Z_{ZW}	Ω	2.26	2.60	0.821	0.809	0.821	1.36
I_μ%	%	31.5	31.5	36.2	36.2	36.2	28.4
S	-	0.012	0.01947	0.1575	0.0261	0.1575	0.042
n_{zn}	r.p.m	8890	8820	8860	8780	8860	2850
S_K	-	0.0853	0.1284	0.1128	0.1780	0.0866	0.1445
η	-	0.834	0.827	0.828	0.822	0.828	0.848
D_{pr2}	Mm	6.0	6.0	5.0	5.0	5.0	7.0
$G_{cu\ N}$	Kg	6.44	4.51	4.97	3.68	4.97	9.84
G_{stN}	Kg	36.67	36.67	34.41	34.41	34.41	62.36
G	Kg	43.11	41.18	39.38	38.09	39.38	72.0
$G_{cu\ KW}$	kg/kw	0.292	0.205	0.226	0.167	0.226	0.447
G_{KW}	kg/kw	1.96	1.87	1.79	1.68	1.79	3.28
M_{zn}	N.m	23.98	23.98	23.98	23.98	23.98	23.98
M_{roZ}	N.m	19.16	21.40	20.23	31.86	12.20	-
M_{max}	N.m	80.3	79.60	91.66	92.39	72.10	-
M_{max}/M_{zn}	-	3.35	3.32	3.82	3.85	3.00	1.94
M_{roZ}/M_{zn}	-	0.8	0.894	0.844	1.320	0.531	0.66
P_{max}/P_n	-	3.49	2.71	3.04	2.94	2.41	-

5- تحليل النتائج والاستنتاجات :Results Analysis And Conclusion

أ- في المحرك الغاطس المصمم من النحاس وعند محارضة في الثغـرة الهوائيـة Bp=0.482 [Ts] تمكنا من تصغير طول المعدن الفعال من 700 وحتى 550 أي بنسبة 21.4%، وعند رفع المحارضة في الثغرة الهوائية حتى 0.52[Ts] تمكنا أيضاً من تصغير طـول المعـدن حتى 505 أي بنسبة 27.9%، إلا أنه لايمكن تكبير المحارضة في الثغرة الهوائية أكبر مـن

القيمة الأخيرة وذلك بسبب الزيادة الكبيرة لتيار المغنطة والـذي يسـاوي عنـد المحارضـة 0.52[T] حتى 36.2%.

ب- إن تصغير أبعاد المحرك سبب وبشكل ملحوظ تخفيض استخدام المواد الفعالة. ففي المحـرك المصمم ذي القفص السنجابي النحاسي فإن طول المعدن الفعال 550 mm ومن ثم فإن وزن النحاس المستخدم انخفض بمقدار 40.4% وفي المحرك ذي القفص المصنوع من الألمنيـوم فإن وزن الألمنيوم انخفض بمقدار 43% وفي المحرك المصمم بطول معـدن فعـال مسـاوٍ 505mm فإن وزن النحاس ينخفض بمقدار 45.6% ووزن الألمنيوم أيضاً ينخفض بمقـدار 47.4% .

جـ - إن المحرك الغاطس يجب أن يملك عزم إقلاع لا يقل عن $1.3M_{zn}$.

في المحرك المصمم للعمل على توتر تغذية ذي تردد f=50[HZ] يسـتخدم مجـارٍ مغلقـة بارتفاع h4.1 = h4.2 = 0.7mm وهذا ما يسبب ظهور فيض متسرب كبير في المجاري ونتيجـــة لـــذلك فـــإن عـــزم الإقـــلاع يســـاوي تقريبـــاً $M_{roZ} = 0.66\ M_{zn}$.

في المحرك الغاطس المصمم على توتر تغذية ذي تردد f=150 [HZ] وبارتفـاع مجـاري مغلقة يساوي $h_{4.1} = h_{4.2} = 0.5$ mm فإن عزم الإقلاع يساوي تقريباً $0.53\ M_{zn}$ وعنـد استخدام محرك يعمل بتوتر تغذية ذي تردد [HZ] 150 وبارتفاع مجارٍ يسـاوي 0.7mm فإن قيمة عزم الإقلاع سوف ينخفض أيضاً إلى قيمة أقل من $0.5\ M_{zn}$ وهـذا الأمـر غيـر مسموح به في الآلات التحريضية.

عند استخدام مجارٍ مغلقة للثابت والمتحرك وبارتفـاع $0.3 < h_{4.1} = h_{4.2} < 0.4$ وقفـص سنجابي للمتحرك مصـنوع مـن الألمنيـوم فإننـا نحصـل علـى عـزم إقـلاع بحـدود $0.5M_{zn}<M_{roZ}<0.8M_{zn}$.

وعند استخدام مجاري مغلقة للثابت والمتحرك وبارتفاع $h_{4.1} = h_{4.2} = 0.2$ وقفص سنجابي مصنوع من النحاس يكون عزم الإقلاع $M_{roz} = 0.8\ M_{zn}$.

يمكن الحصول على عزم إقلاع يساوي $1.3\ M_{zn}$ فقط عند استخدام مجارٍ مغلقة بارتفاع $h_{4.1} = h_{4.2} \leq 0.2$ mm وعند استخدام قفص متحرك مصنوع من الألمنيوم.

ومن هنا نلاحظ أن المحرك الغاطس، المصمم للعمل بتوتر تغذية ذي تردد $f=150[HZ]$ ذو قفص سنجابي مصنوع من الألمنيوم وعند استخدام مجـارٍ مغلقـة بارتفـاع $h_{4.1} = h_{4.2} =$ 0.2mm يملك القيم التالية:

$$n_{zn} = 8780 \text{ r.p.m} \;,\; \eta = 0.822 \;,\; S_{zn} = 0.0261 \;,\; M_{roZ} = 1.3\, M_{zn}$$

د- في الحالات المدروسة كافة للمحرك الغاطس نلاحظ أن التحميل الزائد في العزم هي التالية:

$\nu_m = 3.86$ للمحـرك ذي القفـص المصـنوع مـن النحـاس وعنـد $Bp = 0.482$ [Ts]

$\nu_m = 3.27$ للمحرك ذي القفص المصنوع من النحاس وعند $Bp = 0.52$

$\nu_m = 3.32$ للمحرك ذي القفص المصنوع من الألمنيوم عند 0.482 [Ts]

$\nu_m = 3.85$ للمحـرك ذي القفـص السـنجابي المصـنوع مـن الألمنيـوم وعنـد 0.52 [Ts]

إن الارتفاع الملحوظ لزيادة التحميل في العزوم يعود لنقصان المفاعلة التحريضـية لملفـات الثابت والمتحرك، ففي المحرك المصمم للعمل بتوتر تغذية ذي تردد $f = 50[HZ]$ نلاحـظ أن زيـادة التحميـل فـي العـزم هـي أقـل وتسـاوي $\nu_m = 1.94$.

هـ - إن استخدام صفائح بضياعات $\Delta P_{Fe50} = 1.6$ w/kg وبسـماكة 0.5 mm يـؤدي إلـى انخفاض وزن المواد الفعالة وسطياً بمقدار % 44.1، كما أن ارتفاع التردد بمقـدار ثـلاث مرات يسمح بالحفاظ على الضياعات في الحديد الناتجة عن التيارات الإعصـارية والإبطـاء المغناطيسي ضمن المجال الذي يمكننا من الحصول على مردود $\eta = 0.82$ فـي الحـالات المدروسة كافة.

و- في المحركات التحريضية التقليدية فإن الانزلاق الحرج يكون ذا قيمة تتراوح $0.06 \div 0.02$ إلا أنه في المحرك الغاطس المصمم فإن قيمة هذا الانزلاق أكبر من قيمتـه بالمقارنـة مـع المحركات التحريضية المصنعة حالياً، فقط في حالة المحـرك ذي القفـص المصـنوع مـن الألمنيوم.

إن تحقق شرط الانزلاق $S_{zn} \le 0.03$ يسمح بالحصول علـى سـرعات دورانيـة اسـمية للحـالات المدروسة كافة ضمن المجال $8870 \div 8780$

من الضروري القول هنا: إن الشرط $S_{zn} \leq 0.03$ هو شرط يمكن أن يكون متغيراً ومحدداً على مستوٍ آخر وقيمته يجب أن تكون متوافقة مع المضخة المصممة .

على ضوء ماتم الحصول عليه من نتائج يمكن استخلاص الاستنتاجات التالية:

1- إن تصميم محرك تحريضي غاطس يعمل على توتر تغذية ذي تردد f=150[HZ] ومحقق للمتطلبات الموضوعة كافة هو أمر ممكن الحصول عليه.

2- إن الحصول على $M_{roZ} \geq 1.3\ M_{zn}$ في المحركات المذكورة أمر ممكن الحدوث عند تنفيذ مايلي:

- إغلاق مجاري الثابت المتحرك على ارتفاع $h_{4.1} = h_{4.2} \leq 0.2$ mm .
- استخدام قفص سنجابي لملفات المتحرك مصنوع من الألمنيوم أو من معدن آخر بحيث تكون نفاذيته أصغر من نفاذية الألمنيوم.

3- إن استخدام توتر التغذية ذي التردد f=150[HZ] يؤدي إلى التقليل من كمية المواد الفعالة، ومن الحالات المدروسة نلاحظ أنه هناك إمكانية تقليل المواد الفعالة حتى % 47.4 .

4- إن زيادة السرعة الدورانية حتى $n_{zn} = 8780$r.p.m يؤدي وبشكل ملحوظ إلى التقليل من أبعاد المحرك وكذلك المضخة، وهذا بدوره يؤدي إلى فتح الأبواب أمام محركات الضخ دون تقليل عطائها لأن توضع في فتحات محفورة بقطر أصغر مما كانت عليه في حالة المحركات الغاطسة التي تعمل بتوتر ذي تردد f = 50[HZ].

جدول المصطلحات والرموز المستخدمة في البحث

δ_H ثابت لحساب التباعد عن التوافقيات العليا ويؤخذ من الجداول تبعاً لنوع الصفائح.

δ_w ثابت لحساب التباعد عن التوافقيات العليا ويؤخذ من الجداول تبعاً لنوع الصفائح.

Δ سماكة الصفائح .

B_{Z1} التحريض في أسنان الثابت.

G_{Z1} وزن أسنان الثابت.

B_p التحريض في الثغرة الهوائية.

m_1 عدد الأطوار للثابت.

G_{iz} سماكة العازلية للمجرى للجهة الواحدة.

Z عدد النواقل في المجرى الواحد للثابت.

D_Z القطر الخارجي لمقطع الثابت .

D_s القطر الخارجي للمحرك

U_f توتر الطور

m_2 عدد أطوار المتحرك

D_{w2} القطر الخارجي للمتحرك

α العامل الحراري للمقاومة

$\Delta\theta$ الفرق في درجة الحرارة

λ الناقلية النوعة للمعدن

k_c ثابت كارتر

h_{Z1} ارتفاع أسنان الثابت

h_{z2} ارتفاع أسنان المتحرك

k_r عامل تكبير الضياعات في الحديد الناتجة عن التباطؤ المغناطيسي

n_{zn} السرعة الدورانية الاسمية .

n_s السرعة الدورانية التزامنية

Kc_Z عامل النفاذية حول الوصلات الجبهية .

λ_{h1} نفاذية الوصلات المضاعفة للثابت .

λ_{h2} نفاذية الوصلات المضاعفة للمتحرك.

المراجع

1- Miroslaw Dabrowski , Prjektowanie Maszyn Elektrycznych Pradu Przemiennego WNT,Warzsawa 1988,

2- Porownac Silnika Asynchroniczny Glebinowy F =50[HZ] Z Silnikiem Zaprojektowanym O Czestotliwosci F=150[HZ], Magisterska Praca Dyplomowa, Wroclaw ,1972,

3- Projekt Silnika Asynchronicznego Glebionowego O Mocy 300 [Kw], Magisterska Praca Dyplomowa, Wroclaw, 1982,

4- P.C. Sen, Principles Of Electric Machines And Power Electronics, Second Edition, Queens University, Ontario, Kanada, 1997,

5- Saed Naser , Electric Machines And Power System, Vol.1 Mc-Graw Hill, New York, 1995,

6- Leander W. Matsch, J. Derald Morgan, Electromagnetic And Electromachanical Machines, Third Edition, New Mexico State Univer., 1987,

7- I. Boldea , Reluctance Synchronous Machines And Drives, University Of Kentucky , Oxford , 1996.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 1999/6/7.

Computer Aided Comparing Deep-Well Indcution Motors

Abdullah Samiz **Nadim Makhol**

Electrical Power Department - Mech.& Elec. Engineering Faculty
Damascus University

Abstract

The deep-well pumps are practically and widely used to pump water up from wells. These pumps are driven by squirrel-cage induction motors where the pump is directly connected with the induction motor it drives. They form a pump-motor set or a deep-well set.

Economioally, the cost of digging a well proportionates with the diameter of the hole opening.

This diameter is related to the deep-well set dimensions. Whenever the dimensions of the deep-well set are small, the cost of digging a hole will be notably less.

From here, in this research we shall test the possibility of desiging a deep-well induction motor with a voltage of f =150 Hz frequency in a small size. and in trifold speed of the induction motor which has same power and functions as the motor with a voltage of f = 50 Hz frequency and where the essential parameters of the motor aren't worse than the motor with f = 50 Hz Frequency. To achieve this aim we shall do the following procedures:

- Designing the mathematical model which shows all design calculations and the electromognetism of the deep-well induction motor of a voltage of f = 150 Hz frequency cases:

a) when changing the quality of the squirrel-cage metal (copper, allminum)

b) when changing the induction in the air-gap .

c) when changing the height of the slot close.

- Finding the suggested algorithm for the above - mentioned model showing the flowchart the calculation processes for the mentioned stages.
- Execting a program in the computer by using one of the program languages of high standard to get the design results for all previous cases.
- Comparing the results and defining the efficiency values, the slip and the critical slip and defining the percentage of the start moment and the maximum moment to the nominal moment for each case in study.

For the paper Arabic Language see the pages ( ).