

النمذجة بمساعدة الحاسوب وإيجاد الأبعاد المثلى لتصميم مولد AC فائق الناقلية

د. غسان حايك*

(تاريخ الإيداع 13 / 10 / 2011. قُبِلَ للنشر في 26 / 12 / 2011)

□ ملخص □

نقدم في هذا البحث إمكانية الاستفادة من الطرق المنطقية بغية الوصول إلى الاستغلال الأمثل لمولد AC (Alternating Current) فائق الناقلية، حيث طورت طريقة جديدة في التصميم تهدف إلى تحقيق هذه الغاية من خلال برنامج حاسوبي يحدد بشكل منهجي بارامترات التصميم لمكونات الآلة، مع توصيف لحزمة البرامج من خلال بنية منطقية تراعي استخدام طريقة هوك - جيفيس (Hook-Jeeves) ونماذج نيلدر - ميد (Nelder-Mead). ثم تقديم نموذج عددي لتبيان فعالية التصميم مرفقاً بنموذج تحليلي يحدد سرعة الجزء الدوار من الآلة، دون إغفال باقي الخصائص الأخرى. استخدمت نتائج الطريقة كمحددات للأداء الميكانيكي، كما قدمت نماذج تحليلية لأداء آلات أخرى على شكل خصائص حدية للناقل فائق الجودة.

الكلمات المفتاحية: النمذجة والمحاكاة، الناقلية، طرائق التصميم، مكونات الآلة الكهربائية.

* أستاذ مساعد - قسم الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Computer-Aided Modelling of the Optimum Dimensions for Designing a Superconducting AC Generator

Dr. Ghassan Hayek*

(Received 13 / 10 / 2011. Accepted 26 / 12 / 2011)

□ ABSTRACT □

The feasibility of applying rational methods to a superconducting generator design is presented. A new method of designing is developed which permits the optimization of a superconducting generator to take place. The method is used in a computer program package which systematically determines the optimum design parameters of machine components. The optimization techniques and the logical structure of the computer package are described. The optimization problem is solved by using the interior penalty function method – a penalty function in which the direct search methods of Hook-Jeeves and Nelder-Mead are used. A numerical example demonstrating the effectiveness of the program is given. A new analytical method is also presented for the prediction of the inner rotor bursting speed, taking into account geometry, applied stresses, and material properties. The results of this method are used as mechanical performance constraints. Moreover, an analytical presentation of other machine performances such as the critical characteristics of the superconductor is also presented.

Keywords: Modeling and Simulation, Conducting, Design methods, Electrical Machine components.

* Associate Professor, Electrical Power Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

الوحدات ولائحة الرموز المستخدمة في البحث:

- Br = العنصر القطري لكثافة التدفق، T.
- D = القطر، m.
- J = كثافة التيار في مقطع عرضي للملف A/m^2 .
- K_c = معامل تركيز الكثافة.
- K_d = العوامل الهندسية المشتملة على ثابت التصميم.
- K_f = العامل الهندسي المرتبط بتأثير أبعاد ملف الحقل على كثافة التدفق عند ملف المتحرض.
- K_r = العامل الهندسي المرتبط بتأثير الحجاب البيئي على كثافة التدفق عند ملف المتحرض.
- L = الطول الفعال.
- r_c = نصف قطر القلب الداخلي للعضو الدوار، m.
- t = سماكة اللف، m.
- T = مقاومة خضوع جسم العضو الدوار، Mpa.
- T_0 = مقاومة خضوع ملف الحقل، Mpa.
- $X = r_c / r_{fi}$
- $Y = r_{f0} / r_{fi}$
- $\sigma_r =$ الإجهاد القطري، N/m^2 .
- $\sigma_\theta =$ الإجهاد المماسي، N/m^2 .
- P = كثافة كتلة الجسم الدوار، kg/m^3 .
- $P_0 =$ متوسط كثافة الكتلة لملف الحقل، kg/m^3 .
- $\mu_0 =$ نفوذية الحيز الحر (الثغرة الهوائية)،
- n = سرعة دوران الدوار r.p.m.
- الترميز أو الدليل
- a = عضو المتحرض.
- f = الحقل.
- x = الحجاب البيئي.

مقدمة:

إن أهم تطبيقات الناقلية الفائقة هو في صناعة توليد الطاقة، حيث تستخدم ملفات الحقل فائق الناقلية في الآلات الدوارة، ولا سيما المولدات الضخمة AC، مع مراعاة الاعتبارات الاقتصادية ودرجة الموثوقية في تصميم مكونات تلك المولدات. تم تطوير عناصر التصميم الأمثل من خلال التقنيات الحاسوبية ذات المعالجات المتعددة ليصبح التصميم متعدد الأبعاد ويؤمن الجدوى الاقتصادية المطلوبة، حيث تم تطبيق هذه التقنيات على صناعة الآلات الكهربائية أيضاً [1-2].

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى تقديم فلسفة خاصة لتصميم وتنفيذ الحسابات الرياضية بالطريقة المثلى للحصول على مولد AC فائق الناقلية. شملت الأبحاث السابقة في هذا المجال إجراء اختبارات ميدانية وتطبيقاً لنماذج هوك وجيفس[3] وطريقة البحث المبسطة لكل من نيلدر وميد[4]. طبقت طريقة التخفيض التسلسلي غير المقيد (SUMT) والوظائف الداخلية لتحديد محددات التصميم. أما هذا البحث فيشرح عملية رفع سوية الأداء والبنية لبرنامج الاستفادة المثلى من التصميم. جرى البرهان على فعالية البرنامج من خلال مثال عددي يوضح الاستفادة القصوى من تصميم العضو الدوار فائق الناقلية، وذلك بصياغة مشكلة التصميم على شكل برمجة لا خطية وحددت متغيرات التصميم الأساسية على أساس متغيرات العضو الدوار الداخلي والحجاب البيئي وكثافة تيار العضو الدوار والإجهاد الميكانيكي بسبب القوى النابذة والأداء والتشبع المغناطيسي لقلب العضو الثابت والذي يخلق محددات غير متعادلة يجب أن يلبها التصميم كلياً.

طرائق البحث ومواده:

جرى تطوير نموذج تحليلي للتنبؤ بسرعة العضو الدوار الداخلي والإجهاد وخواص المواد المستخدمة مع النظر في الأبعاد المثالية للعضو الدوار ودرجة تشبع القلب للجزء المركزي(الدوار).

1. إجراءات التصميم:

يتم الأخذ بالحسبان سرعة المولد ومعدل الجهد عند توصيله مع شبكة كهربائية وتكون مهمة المصمم اختيار الأبعاد المناسبة للآلة لكي يلبى المواصفات المطروحة ضمن جملة من المحددات المتعلقة بمواد التصميم المتوفر. يبدأ التصميم من خلال معادلة طاقة الخرج.

$$P_r = K_g \cdot J_f \cdot J_a \cdot D^2 \cdot L \cdot n \quad (1)$$

حيث إن: $K_g = K_d \cdot K_f \cdot K_r$ هو العامل الذي يضم كافة العوامل الهندسية التي تحدد توزيع التدفق المغناطيسي في نموذج ثنائي الأبعاد للآلة ويؤثر في توزيع الملفات على خرج الطاقة. يشار إلى الناتج $K_f \cdot K_r \cdot J_f$ بوصفه القوة المغناطيسية للجزء الدوار الداخلي. تقتضي الطريقة المنطقية لتصميم الآلة بتحديد نسب العضو الدوار وقد لوحظ أن علاقة نصف قطر العضو الدوار والعزم المغناطيسي هو الذي يحدد نصف القطر المثالي للعضو الدوار، ثم يتم تحديد العوامل D, L, n و J_f في المعادلة (1). إن اختيار قيمة معينة لنصف قطر العضو الدوار وأبعاد الملف هو الذي يسمح بتحديد K_g ضمن مجال ضيق من القيم التي تحدد في نهاية المطاف قيمة K_g الحقيقية.

إن تحقيق معدل معين يتطلب معرفة الأبعاد المثالية للعضو الدوار والملفات والطاقة المغناطيسية للعضو الدوار الداخلي. تدخل هنا الاعتبارات الاقتصادية والكلفة في التصميم من حيث دراسة مقاومة الخضوع لمواد العضو الدوار وخصائص المواد فائقة الناقلية والتشبع المغناطيسي في مادة العضو الثابت. إن زيادة الطاقة المغناطيسية للعضو الدوار الداخلي هو من محددات التصميم مما يدعم الشروط المطلوبة بين العضو الداخلي المولد للحرارة ودرجة حرارة الجو المحيط. أما كلفة التصنيع فتؤخذ دالة مهمة في تحديد الطاقة المغناطيسية للعضو الدوار الداخلي ولذلك يتم العمل على الاستفادة القصوى من هذه الطاقة عند إجراء التصميم.

التقنيات التحليلية:

1. محددات الأداء الناتج: من الضروري توصيف وتحليل محددات الأداء مثل الإجهادات النابذة وأداء الناقل وتشبع العضو الثابت قبل التفكير بطريقة الاستفادة المثلى من التصميم ومن هنا كانت أهمية القيام بتحليل كافة هذه العناصر نظراً لأنه يجعل هذا النموذج قابلاً للتطبيق على طائفة واسعة من خواص الآلات المختلفة.

2. الأداء الميكانيكي للعضو الدوار الداخلي:**1. 2. الإجهاد الميكانيكي الناتج عن القوة النابذة:**

يشكل العضو الدوار العنصر الأهم في أي تصميم لمولد فائق الناقلية ويشكل الإجهاد الميكانيكي محدداً لحجم هذا العضو مما يؤثر في محددات ملف التهييج وتصميم العضو الدوار الداخلي. تكمن الأهمية القصوى أثناء التصميم في اختيار أبعاد العضو الدوار والخواص الميكانيكية للعضو الدوار الداخلي التي تقاوم العناصر الإجهادية الناتجة بسبب السرعة الحدية [5]. يجب تحديد القوة النابذة بدقة نظراً لأهميتها في اختيار أبعاد العضو الدوار الداخلي من أجل تحقيق الخصائص التشغيلية المطلوبة وهذا هو الهدف من البحث الذي يحاول إيجاد التصميم الذي لا يتجاوز الإجهادات المسموح بها عند التشغيل.

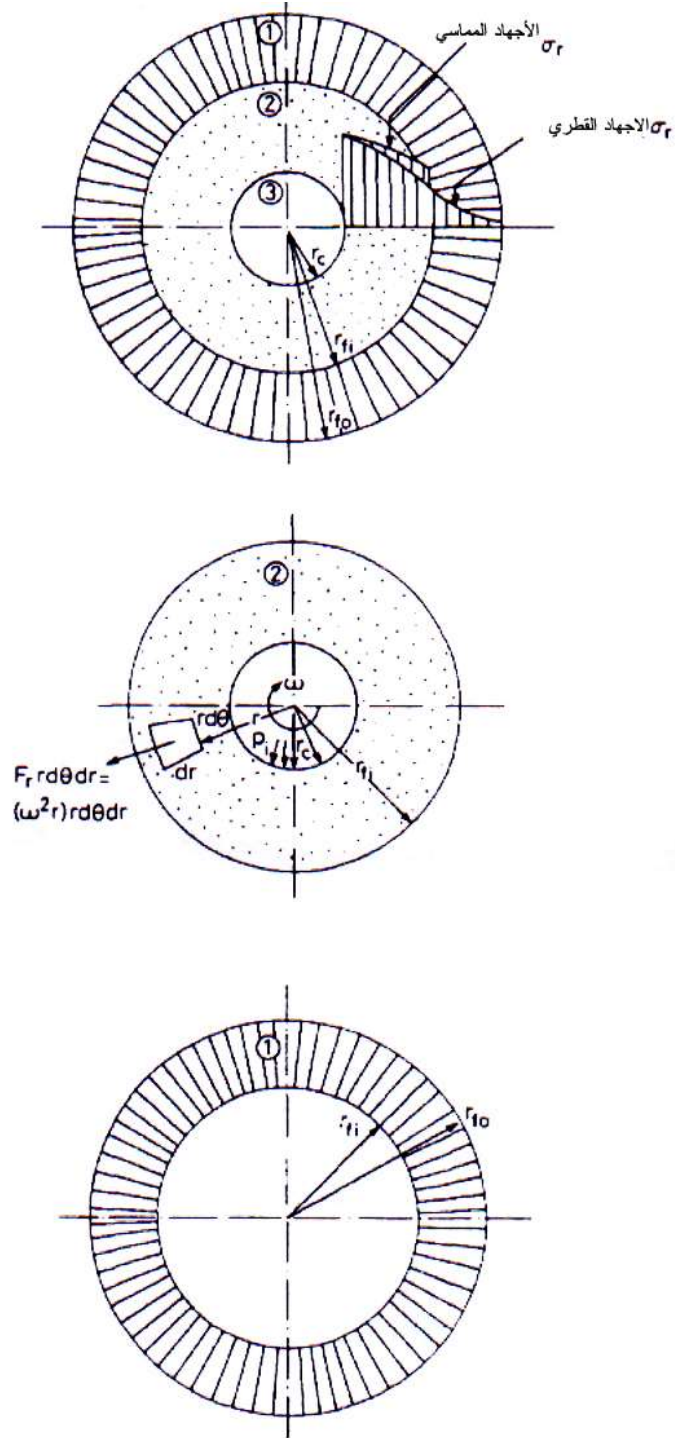
2. 2. التمثيل الرياضي لتحليل الإجهادات:

يوضح الشكل الهندسي (1) مشكلة المرونة المبينة من خلال منطقة دائرية وقلب أملس وفتحة تحتوي على سائل ذي سطح حر. وتعتمد هذه الطريقة على استبدال العضو الدوار الداخلي بثلاث مناطق ذات أبعاد متفاوتة، إضافة إلى خواص المواد التي تلبى الحالات الحدية حيث يتم التعبير عن الإجهادات القصوى عند $r = r_c$ وعند $r = r_{fi}$ في المناطق المسننة والمثقوبة (مزودة بشق) كما هو مبين بالمعادلات (2) و(3) و(4) [6].

$$T_0 \geq -\frac{P_0 \Omega^2}{3} [1 - y^3] \quad (2)$$

$$T \geq \left(\frac{1}{12(1-x^2)} \right) \left\{ \begin{array}{l} 12(1+x^2)p_i + 8\omega^2 r_{fi}^2 p_0 (y^3 - 1) \\ + 3\omega^2 r_{fi}^2 p (1-x^2) [(1-\nu)x^2 + (3+\nu)x^2 + (3+\nu)] \end{array} \right\} \quad (3)$$

$$T \geq \left(\frac{1}{12(1-x^2)} \right) \left\{ \begin{array}{l} 24p_i x^2 + 4\Omega^2 p_0 (y^3 - 1)(1+x^2) \\ + 3\Omega^2 p (1-x^2) [(1-\nu)x^2 + (3+\nu)] \end{array} \right\} \quad (4)$$



الشكل (1) الموديل الهندسي لتحليل الإجهادات

3. أداء الناقل الفائقة التوصيلية:

المحدد الرئيسي الآخر للتصميم هو الملف الذي له علاقة بحالة التوصيلية الفائقة. إن كثافة التيار الأعظمية هي تابعة لكثافة التدفق عند الملف ولذلك يتم تحديد القيمة العظمى لكثافة التيار نظراً لتركيز التدفق حول حافة الزاوية المفتوحة للملف [7]. على سبيل المثال، كثافة التدفق نصف القطرية عند الحافة المفتوحة لزاوية الملف هي 1.32 من ضعف قيمة هذا العنصر عندما $\theta = 0$ [5].

يمكن إدخال عوامل إضافية لتفسير الحجاب البيئي الوافي ومدى تأثير ملف المتحرض في الآلة على الناقلية. الخيار متاح هو دائرة قصر ثلاثية الطور حيث تتم إزالة المغنطة من حقل دائرة المتحرض بالكامل وبالتالي يكون مجال التحريض في حده الأقصى عند استخدام الحجاب الحديدي. إن تحقيق درجة عالية من الموثوقية يتطلب أن يكون ملف الحقل قادراً على التغلب على تأثيرات تركيز التدفق وتفاعلات المتحرض ونمط حجاب الآلة بحيث تكون كثافة التيار الأعظمية في ملف الحقل أدنى من كثافة التيار الحدية المطابقة للحقل المغناطيسي السائد وبالتالي فإن معادلة كثافة التيار المطلوبة لتقييم أداء ملف الحقل تستخدم من العوامل التجريبية التي تأخذ بالحسبان كثافة التيار العامة ونعبر عنها بالعلاقة التالية [6]:

$$J_f \leq \frac{p}{\mu_0 k_c k_g + q} \quad (5)$$

حيث p و q هما ثابت الناقلية الفائقة، K_g هو العامل الذي يشمل كافة العوامل الهندسية التي تحدد الحقل الاعظمي المجاور لملف الحقل وهذه الصيغة تعطي هامش الأمان المطلوب في التصميم.

4. أداء الحجاب البيئي:

المحدد الإضافي للبعد الهندسي التابع للحجاب البيئي هو تشبع قلب العضو الثابت ويمكن حساب الأبعاد النصف قطرية للقلب بوساطة كثافة التدفق الاعظمي في نصف القطر الداخلي (B_{rxi}) وكثافة التدفق الأعظمي المسموح به في القلب (B_{max}) (المعادلة 6).

$$t_x \leq \frac{4\mu_0 J_f \sin \frac{\sigma_f}{2}}{\pi(2+p)B_{max}} r_{xi}^2 \left(\frac{r_{f0}}{r_{xi}} \right)^{2+p} \left[1 - \left(\frac{r_{fi}}{r_{xi}} \right)^{2+p} \right] \quad (6)$$

حيث (B_{max}) هي كثافة التدفق الأعظمي المسموح بها في القلب (B_{rxi}) وهي قيمة B_r عند ($r = r_{xi}$).
صياغة المسألة التصميمية المثلى:

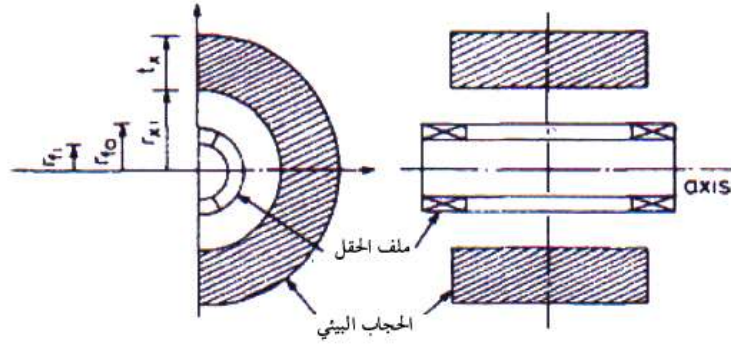
تشتمل المسألة التصميمية على تحديد متغيرات التصميم والمحددات والوظيفة التصميمية وبيحث هذا القسم كيفية صياغة المسألة التصميمية بكافة جوانبها.

1. متغيرات التصميم:

إن أية مسألة تصميمية تهدف إلى تحقيق الهدف الأمثل من التصميم من خلال تحديد متغيرات التصميم وتأثيرها في الأداء والطاقة المغناطيسية للجزء الدوار الداخلي. تشكل المتغيرات التالية صياغة للمسألة التصميمية

(\bar{X}) انظر الشكل (2).

- نصف القطر الداخلي للدوار ، r_c .
- نصف القطر الداخلي لملف الحقل، r_{fi} .
- نصف القطر الخارجي لملف الحقل، r_{f0} .
- كثافة تيار ملف الحقل، J_f .
- نصف القطر الداخلي للحجاب البيئي الحديدي، r_{xi} .
- سماكة الحجاب البيئي الحديدي، t_x .



الشكل (2) البارامترات (المحددات) الهندسية المثلى

2. محددات التصميم:

تمثل محددات التصميم الحقيقية المفروضة على تصنيع ناقل فائق الأداء. إن تحديد أبعاد ملف الحقل سيؤدي إلى مقاومة الإجهادات النابذة التي تنشأ من زيادة السرعة للعضو الدوار. إن تفاوت الإجهادات σ_r و σ_θ على طول نصف القطر الداخلي للعضو الداخلي لا يلغي إمكانية إدخال القيم الأعظمية لها في التحليل الحالي والتي يتوجب أن تكون أقل من مقاومة الخضوع المحددة للمواد. هذا الشرط يؤدي إلى المحددات المبينة في المعادلتين 2 و 3 السابقتين. المحدد الآخر المهم للأداء هو معرفة كثافة التيار كنتيجة لمنحني الناقل والمعطى بالمعادلة (5). إن تفاوت المحددات معطى بالعلاقة (6) والتي تأخذ بالحسبان هندسة الحجاب البيئي من خلال كثافة التدفق الأعظمي وكثافة تدفق التشبع. يتم إدخال المعادلات 7 و 8 و 9:

$$\bar{x}_{\min} \leq \bar{x} \leq \bar{x}_{\max} \quad (7)$$

$$g(\bar{x}) = \bar{x} - \bar{x}_{\min} \geq 0 \quad (8)$$

$$g(\bar{x}) = \bar{x}_{\max} - \bar{x} \geq 0 \quad (9)$$

ولمعالجة الحالات غير المتطابقة مع محددات التصميم وذلك لمنع المحددات الثانوية من أخذ قيم صفرية أو قيم سالبة حيث إن المطلوب هو إن تكون متغيرات التصميم موجبة (المعادلة 10).

$$g(\bar{x}) = \bar{x} \geq 0 \quad (10)$$

يمكن إدخال المحددات من خلال متغيرات متعادلة عن طريق تحديد نصف قطر القلب، بحيث يعادل 0.2 [5] من قيمة نصف القطر الخارجي لملف الحقل، وهذا يمثل محدداً متساوي القيمة (المعادلة 11).

$$h(\bar{x}) = r_c - 0.2r_{fo} = 0 \quad (11)$$

إن محددات التصميم المتعادلة تؤمن خفض أبعاد المشكلة التصميمية حيث أن المحددات لها علاقات وظيفية متبادلة مع محددات أخرى. إن المسألة التصميمية هنا يمكن التعبير عنها بمحددات أخرى تصاغ بنصف القطر الخارجي للعضو الدوار كمتغير وحيد مما يقلل من درجة صعوبة التصميم وهذا يتم من خلال تعويض المعادلة (11) بالمعادلة (3).

3. الوظيفة الموضوعية للتصميم:

لهذه المسألة التصميمية العديد من الحلول التي قد تلبى المتطلبات الوظيفية المحددة بشكل مناسب. ويمثل هذا الأساس في اختيار بدائل مقبولة للتصميم، حيث إن الهدف التصميمي هو رفع مستوى الاستفادة من الطاقة المغناطيسية للعضو الدوار الداخلي، أي رفع كفاءة الناتج $K_f K_r J_f$.

الاستفادة المثلى بطريقة منهجية:

حالما يتم تحديد متغيرات المسألة التصميمية (\bar{x}) ومحددات التصميم $(g(\bar{x}))$ والوظيفة التصميمية $(F(\bar{x}))$ ، يمكن صياغة التصميم من خلال أنموذج رياضي له شكل قياسي. إيجاد الكمية الموجهة لمتغيرات التصميم (\bar{x}) بحيث $(F(\bar{x}))$ تعطي جملة المحددات التصميمية $g_m(\bar{x}) \geq 0$. يمكن حل مشكلة الاستفادة المثلى من محددات التصميم بواسطة سلسلة من التقنيات غير الخاضعة لمحددات التصميم أيضاً (SUMT) [8] وذلك باستخدام تابع التصميم الداخلي وتعديل التابع الموضوعي للتصميم (المعادلة 12).

$$P(\bar{x}, r_k) = F(\bar{x}) + r_k \sum_{m=1}^M \frac{1}{g_m(\bar{x})} \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (12)$$

حيث r_k هو المتغير الداخلي الذي يضمن عدم خرق قيمة $(g_m(\bar{x}))$. يجب رفع سوية التابع الموضوعي المعدل $P(\bar{x}, r_k)$ من خلال خفض متتالي للمتغير r حتى الوصول إلى الحل الأمثل بشكل دقيق. إن المسألة الحالية قد حلت من خلال نموذج هوك وجيفيس وكذلك تقنية نيلدر وميد (طريقة سيمبلكس) وهما يمثلان حلولاً رياضية للتصميم، حيث تم حل المسألة باستخدام تقنيات مختلفة ونقاط بداية مختلفة للحل لتبيان الحل الأمثل النهائي [9]. تم إدخال حزمة برامج حاسوبية لتنفيذ إجراء الاستفادة المثلى من التصميم من خلال رسم المخطط الانسيابي كما هو مبين في الشكل (3). ونجد في الجدولين (1) و (2) بيانات ثابتة ونتائج الدراسة في حالة تصميم مثالية.

الجدول (1) البيانات الثابتة لمشاكل التصميم المثالي

الاسم	الرمز	الواحدة	القيمة
عدد أقطاب الدوار	P	-	2
الاستطاعة الاسمية	P_r	MVA	1300
السرعة	n	rpm	3000
السرعة الأعظمية	n_{max}	rpm	5100
كثافة التدفق الأعظمية المسموحة في الثابت	B_{max}	T	1.5
مقاومة الخضوع الأعظمية لملفات الحقل	T_o	MP_a	600
مقاومة الخضوع الأعظمية في الدائر	T	MP_a	300
متوسط كثافة الكتلة لملفات الحقل	P_o	Kg/m^3	7400
كثافة الكتلة للدائر	P	Kg/m^3	7950
عامل	v	-	0.3

الجدول (2) المتحولات الأولية والمثالية للتصميم ($T = 300MP_a$)

الطريقة	متحولات التصميم	الحدود		متحولات التصميم المثالية			
		منخفض	عالي	نقطة الإقلاع الأولية	نقطة الإقلاع الثانوية	النقطة	النقطة
				النقطة	النقطة	البدائية	المثالية
هوك	r_c نصف قطر قلب الدوار	-	-	-	0.764	-	0.076
وجيفيس	r_{fi} نصف القطر الداخلي لملفات الحقل	0.000	0.670	0.200	0.322	0.300	0.323

	r_{fo} نصف القطر الخارجي لملفات الحقل	0.000	0.685	0.275	0.382	0.375	0.382
	J_f كثافة تيار ملف الحقل	0.000	4.4×10^8	0.88×10^8	1.031×10^8	1.0×10^8	1.039×10^8
	r_{xi} نصف القطر الداخلي للحجاب البيئي	0.000	1.600	0.800	0.985	0.825	0.985
	t_x سماكة الحجاب البيئي	0.000	0.800	0.500	0.649	0.600	0.645
نيدلر وميد	r_c نصف قطر قلب الدوار	-	-	-	0.770	-	0.075
	r_{fi} نصف القطر الداخلي لملفات الحقل	0.000	0.670	0.200	0.337	0.300	0.301
	r_{fo} نصف القطر الخارجي لملفات الحقل	0.000	0.685	0.275	0.385	0.375	0.375
	J_f كثافة تيار ملف الحقل	0.000	4.4×10^8	0.88×10^8	1.04×10^8	1.0×10^8	0.906×10^8
	r_{xi} نصف القطر الداخلي للحجاب البيئي	0.000	1.600	0.800	0.900	0.825	1.034
	t_x سماكة الحجاب البيئي	0.000	0.800	0.600	0.643	0.600	0.620

4. لغة البرمجة وسير عمل البرنامج:

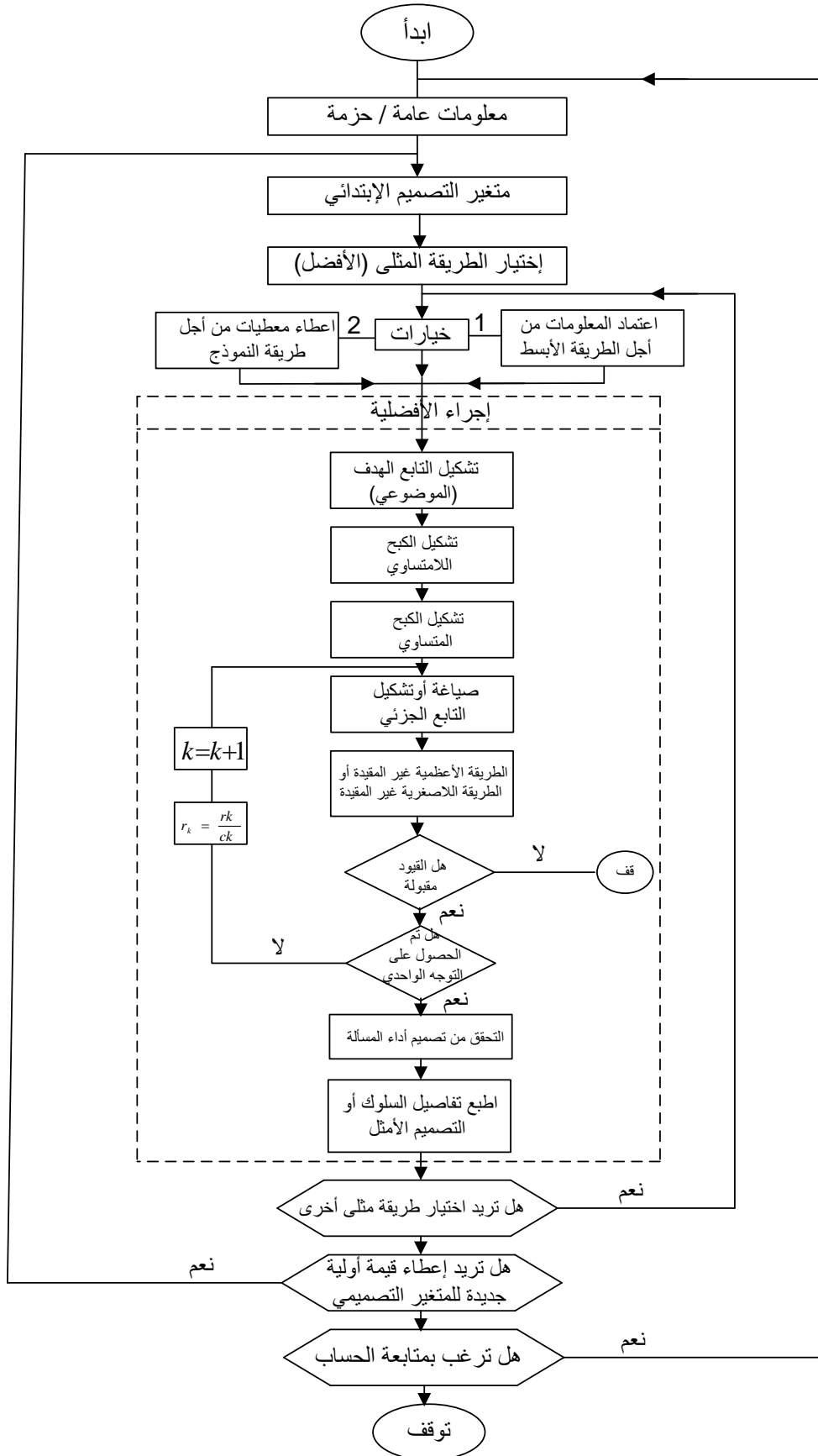
إن لغة البرمجة المستخدمة لنمذجة المسألة المطروحة هي MATLAB 6.0 وقد تم وضع الخوارزمية المبينة في الشكل (3) ونفذ البرنامج على عدة مراحل، أو مجالات عمل رئيسة وما يلزم كل مرحلة. بعد بدء البرنامج يتم توضيح وتحليل المعلومات العامة لحل المسألة المطروحة، ثم وضع قائمة بالبارامترات المطلوبة لعملية التصميم. تنتقل إلى مرحلة جديدة وهو النظر في إيجاد الطريقة الأنسب، وتتضمن التقييم الفني والاقتصادي لمحاولات الطريقة المثلى.

تنتهي هذه المرحلة بخيارين، حيث يتعلق الخيار (1) باعتماد المعلومات من أجل الطريقة الأبسط، ويمثل الخيار (2) المعطيات من أجل طريقة الأنموذج. يؤكد كلا الخيارين تحقيق وتشكيل التوابع الأساسية والجزئية وكتابة العلاقات ذات الصلة بالموضوع. في نهاية هذه المرحلة يطرح السؤال هل ما تم الاتفاق عليه من قيود مقبولة موجود ويناسب ذلك؟

في حالة النفي نقف عند هذا الإجراء، وفي حالة الإيجاب نتابع لخيار جديد والسؤال المطروح هل تم الحصول على التوجه الواحد؟ عند النفي نعود للمرحلة السابقة مع الأخذ بالحسبان الثابت K ونصف قطر القلب الداخلي للعضو

الدائر r_c ، وفي حال الإيجاب ننطلق إلى مرحلة جديدة وهي التحقق من أداء طريقة التصميم، ووضع المخططات النهائية للتصميم الأمثل ثم الطباعة.

وبعدئذ ندخل بخيار جديد وهو هل نريد اختيار طريقة أخرى أنسب؟ عند الإيجاب نعود إلى الخيار (1) و(2) وفي حال النفي ننتقل إلى خيار آخر وهو هل نريد إعطاء قيمة أولية جديدة لبارامترات التصميم؟ ففي حالة الإيجاب نعود من جديد إلى متغيرات التصميم في بداية البرنامج، وفي حالة النفي نذهب إلى الخيار الأخير، وهو هل نرغب بمتابعة عملية الحساب؟ نعود في حالة الإيجاب عندئذ إلى العمل بالبرنامج من جديد، وعند النفي نصل إلى نهاية البرنامج. وبذلك نكون قد قمنا بانجاز مراحل التصميم كافة باستخدام الحاسوب وحصلنا على النظام المطلوب.



الشكل (3) المخطط الانسيابي

النتائج والمناقشة:

تم إيجاد الحل التصميمي بتطبيق مستويات متفاوتة من الإجهاد. قمنا في هذه المسألة بزيادة مقاومة الشد لجسم العضو الدوار الداخلي من 300 إلى 400 MP_a. نتائج البحث تبعاً لهذه الحالة مبينة بالجدول (2) و(3). إن زيادة مقاومة الشد لمادة العضو الدوار قد أدت إلى زيادة الأبعاد نصف القطرية له، وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة في الحجاب البيئي الحديدي نظراً لأن ملفات العضو الدوار تعمل في حقل أعلى من ناحية الطاقة المغناطيسية. يظهر لدينا أن تفاوت خصائص مادة العضو الدوار يؤدي إلى تفاوت في الأداء وقدرة المولد ويؤثر ذلك في الأبعاد الداخلية للعضو الدوار وخرج الطاقة المغناطيسية. أظهر الحل المقدم في هذا البحث أن مقاومة مواد العضو الدوار ومدى تشبع قلب العضو الثابت هما المؤثران في عملية رفع سوية الاستفاداة المثلى من التصميم أكثر من قدرات الناقلية الفائقة. يظهر الجدول (2) و(3) أن نتائج كلا الطريقتين تؤدي إلى الاستفاداة المثلى من التصميم مع فروقات طفيفة بينهما، إلا إن طريقة سيمبلكس هي الأكثر حساسية لمسألة دقة النتائج حيث إن معيار التغطية هو 1×10^4 عند تنفيذ تلك الطريقة الحاسوبية.

الجدول (3) المتحولات الأولية والمثالية للتصميم (T = 400MP_a)

الطريقة	متحولات التصميم	الحدود		متحولات التصميم المثالية			
		منخفض	عالي	نقطة الإقلاع الأولية النقطة البداية	نقطة الإقلاع الثانوية النقطة البداية	نقطة الإقلاع الثانوية النقطة المثالية	نقطة الإقلاع الأولية النقطة المثالية
هوك	r_c نصف قطر قلب الدوار	-	-	-	0.090	-	0.0902
وجيفيس	r_{fi} نصف القطر الداخلي لملفات الحقل	0.000	0.670	0.200	0.4071	0.300	0.410
	r_{fo} نصف القطر الخارجي لملفات الحقل	0.000	0.685	0.275	0.4509	0.375	0.451
	J_f كثافة تيار ملف الحقل	0.000	4.4×10^8	0.88×10^8	1.3033×10^8	1.0×10^8	1.347×10^8
	r_{xi} نصف القطر الداخلي للحجاب البيئي	0.000	1.600	0.800	1.329	0.825	1.302
	t_x سماكة الحجاب البيئي	0.000	0.800	0.600	0.649	0.600	0.649
	r_c نصف قطر قلب الدوار	-	-	-	0.090	-	0.088
نيدلر وميد	r_{fi} نصف القطر الداخلي لملفات الحقل	0.000	0.670	0.200	0.4076	0.300	0.379
	r_{fo} نصف القطر الخارجي لملفات الحقل	0.000	0.685	0.275	0.4505	0.375	0.442
	J_f كثافة تيار ملف الحقل	0.000	4.4×10^8	0.88×10^8	1.3031×10^8	1.0×10^8	1.047×10^8
	r_{xi} نصف القطر الداخلي للحجاب البيئي	0.000	1.600	0.800	1.320	0.825	1.510
	t_x سماكة الحجاب البيئي	0.000	0.800	0.600	0.649	0.600	0.623

من النتائج الحسابية المطروحة، نجد أن الطريقة التسلسلية في البحث مفضلة على تقنية سيمبلكس نظراً لأنها مشتملة على توابع بعدد أقل وتعطي الحل الأمثل بطريقة أسرع. ومرد ذلك إلى القدرة على ضبط خطوات الحل وتحديد مراحلها، مما يؤدي إلى استفاداة مثلى من التابع الموضوعي للتصميم. على أية حال يجب تطبيق هذا الاستنتاج بحذر وحرص نظراً للخبرة المحدودة بهذا البرنامج.

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- أن درجة الموثوقية بهذه التقنية تابعة بشكل رئيسي لنوع المسألة، أو المشكلة التصميمية المراد حلها.
- 2- تم تطوير مقارنة جديدة للحل حيث إن الطاقة المغناطيسية للعضو الدوار الداخلي تابعة لمقاومة مادة هذا العضو أكثر منها لكثافة التيار أو القدرة المغناطيسية حيث يقوم برنامج حاسوبي بتحديد النسب بينهما واختيار متغيرات الطاقة المغناطيسية.
- 3- تبين من خلال نتائج البحث بأن الطريقة التسلسلية في التصميم مفضلة على تقنية سيمبلكس نظراً لأنها مشتملة على توابع بعدد أقل، وتعطي الحل الأمثل بطريقة أسرع.
- 4- بينت نتائج الدراسة والبحث أن تطبيق الحزمة البرمجية باستخدام MATLAB تعتبر وسيلة جيدة لبرمجة الخوارزمية المطروحة، وبالتالي إنجاز العملية التصميمية حاسوبياً والوصول إلى الاستغلال الأمثل لمولد تيار متناوب فائق الناقلية.

المراجع:

1. NAGRIAL, M.H., and LAWRENSON, P.,J.: *Comparative performance of direct search methods of minimization for design electrical machine*, Electr. & Electromech., 1970,3, pp. 315-324.
2. ERLICKI, M.S., and APPELLBAUM, J.: *Optimised parameter analysis and of an induction machine*, IEEE Trans. 1975,11, pp. 1017-1024.
3. HOOK, R., and JEEVES, T.A.: *Direct search solution of numerical and statical problems*, J. AGM Comp. 1971, pp. 212-229.
4. NELDER, J.A., and MEAD, R.: *Simplex method for minimization*, Comput. J., 1978, pp. 1449-1454.
5. BUMBY, J.R.: *Superconducting rotating electrical machines*, Oxford 1993, pp. 115-121.
6. SAFI, S.K.: *Application of optimization algorithms in the design of a super conducting a.c. generator rotor*, Thesis, University of Durham, 1990, pp. 68-75.
7. SCHROEDER, D.: *Elektrische Antrieberegelung von Antiebsystemen*, Berlin, 2005, pp. 681-695.
8. ONG, CHEE-MUN.: *Dynamic Simulation of electric Machinery*, New Jersey, 2004, pp. 487-495.
9. SALAVIOF, VG.: *The theoretical principles of design by computer for mechanisms of machines*, 2008, pp. 360-375.