

دراسة النموذج اللاخطي للمولد المتواقت أسطوانتي الدائر ببرنامج Fortran

الدكتور زيد بدر*

(تاريخ الإيداع 4 / 5 / 2009. قُبِلَ للنشر في 8/10/2009)

□ ملخّص □

يعمل المولد المتواقت بشكل عام على عتبة الإشباع المغناطيسي من منحنى الميزه على فراغ (الخصائص اللاخطية) ، مما يعقد دراسة مختلف دلائله أثناء التشغيل مع الشبكة العامة . يمكن حل هذه المسألة باللجوء إلى دراسة النموذج الخطي، وذلك باستخدام ميزتي العمل على الفراغ والقصر ثلاثي الطور ، ثم بعد معالجة هذه الدراسة تم كتابة برنامج حاسوبي بلغة Fortran للحصول على مختلف دلائل التشغيل لهذا المولد في النموذج اللاخطي من خلال صيغ رياضية مكافئة بين النموذجين .

الكلمات المفتاحية : المولد المتواقت اسطوانتي الدائر – النموذج اللاخطي .

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

Studying The Nonlinear Model of a Cylindrical rotor-Synchronous Generator With a FORTRAN Program

Dr. Zaid Bader*

(Received 4 / 5 / 2009. Accepted 8 / 10 / 2009)

□ ABSTRACT □

Generally, the synchronous generator works on The magnetic saturation edge of an open circuit Nonlinear characterized curve. This Will complicate the studying of different parameters during the operation with the General net-work. We can solve such Proplem Using a linear model, by working-on with an open and three phases shortness.

After That, we used a FORTRN Computer Program to obtain the different operation parameters in the Nonlinear model. Using an equivalent mathematical forms joining the two previous models.

Key words : Cylindrical rotor –Synchronous Generator, Nonlinear Model.

* Associate professor, Dept of electrical energy, Faculty of electrical and mechanical engineering, Tishreen University, Lattakia ,Syria

مقدمة:

يلعب الاستثمار الأمثل للمولدات المتوافقة دوراً مهماً في تحسين كفاءة توليد الطاقة الكهربائية في النظام الكهربائي الذي من شأنه الحد من هدر الطاقة الكهربائية من جهة ورفع موثوقية تزويد المستهلكين الكهربائيين من جهة أخرى.

أن من أهم أمور استثمار المولدات المتوافقة ، عدا صيانتها الدورية، هي دراسة العلاقة بين معامل تنظيم التوتر من جهة وتيارات التهيج من جهة أخرى مع تغيرات الحمل وذلك بثبات عامل الاستطاعة الاسمي . ثبات عامل الاستطاعة الاسمي أثناء التشغيل يؤدي إلى المحافظة على توازن الاستطاعتين الفعلية والردية في الشبكة الكهربائية مما يؤدي إلى رفع مردود خطوط نقل الطاقة الكهربائية علاوة عن رفع موثوقيتها ، إضافة إلى الاقتصاد بتوليد الطاقة الكهربائية وغيرها الكثير من الفوائد .

لتبسيط دراسة النموذج اللاخطي للمولد المتوافق العامل على عتبة الاشباع المغناطيسي [1] أثناء الاستثمار، يتم الاستفادة من أن جميع المولدات المتوافقة أسطوانية الدائر تملك ميزة واحدة على فراغ بالقيم النسبية [2] ، وبذلك نستطيع إيجاد ميل القسم الخطي لمنحني هذه الميزة $(\tan(\alpha))$.

يمكننا العامل $(\tan(\alpha))$ من إيجاد علاقة تيار التهيج النسبي (I_f^*) مع تغيرات حمولة المولد في النموذج اللاخطي عند تثبيت عامل الاستطاعة الاسمي، مستخدماً محددات النموذج الخطي $(E_{f\infty}^*)$ (القوة المحركة الكهربائية وكذلك مفاعله التوافق النسبية الخطية $(X_{d\infty}^*)$.

في نهاية البحث، سيتم رسم أهم منحنيات استثمار المولدات المتوافقة في النموذج اللاخطي، حسب واقعها الاستثماري وذلك وفقاً لنمذجته من خلال برنامج حاسوبي.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى دراسة النموذج اللاخطي للمولد المتوافق أسطوانية الدائر اعتماداً على خصائصه في النموذج الخطي ، كما يهدف إلى نمذجة العلاقة بين تيار التهيج النسبي والقوة المحركة الكهربائية النسبية من جدول الميزة على فراغ لنوع واحد من المولدات المتوافقة أسطوانية الدائر .

تكمن أهمية البحث فيما يلي :

1- تحديد النموذج الخطي واللاخطي للمولد المتوافق أسطوانية الدائر .
2- إمكانية الانتقال لحساب ميزات النموذج اللاخطي للمولد المتوافق أسطوانية الدائر بعد معرفة الميزات الخطية له .

3- مكافأة جدول الميزة على فراغ بالقيم النسبية للمولدات المتوافقة ذات الدائر الاسطوانية بكثير حدود .
4- الحصول على المنحنيات التي تبين تغيرات معامل تنظيم التوتر وتيارات التهيج بدلالة تغيرات الحمولة مع الأخذ بالاعتبار تغير الثغرة الهوائية وأيضاً معامل الاستطاعة طبقاً للواقع الاستثماري، ووفقاً لطريقة نمذجة النموذج اللاخطي للمولد المتوافق أسطوانية الدائر المقترحة .

طرائق البحث ومواده:

تم اعتماد المنهجية التحليلية في البحث وفق التسلسل التالي :

- 1- دراسة خصائص كل من النموذج الخطي واللاخطي للمولد المتواقت أسطواني الدائر
- 2- استنتاج العلاقات الرياضية للربط بين النموذجين السابقين بعد الأخذ بالاعتبار تحويل جدول الميزة على فراغ بالقيم النسبية إلى كثير حدود لهذا النوع من المولدات .
- 3- تم كتابة برنامج حاسوبي لإجراء البحث والتوصيل إلى النتائج

النموذج الخطي للمولد المتواقت أسطواني الدائر:

تكون الدارة المغناطيسية في الموديل الخطي للمولد المتواقت غير مشبعة مغناطيسياً ويكون العمل على القسم الخطي من منحنى المغنطة وبالتالي يكون هناك تناسب طردي بين التيار والفيض المغناطيسي في هذه الدارة. عند ذلك يمكن تجزئة الفيض المغناطيسي في الثغرة الهوائية (ϕ_δ) للمولد المتواقت أسطواني الدائر إلى مركبتين أساسيتين [3،2،1] ودون أن تؤثر كل مركبة على الأخرى:

- مركبة فيض التهييج (ϕ_f)
 - مركبة فيض رد فعل المتحرض (ϕ_a)
- بحيث يمكن كتابة العلاقة التالية
- $$\overline{\phi_\delta} = \overline{\phi_f} + \overline{\phi_a} \quad (1)$$

تكتب علاقة الفيض الكلي (ϕ_e) الذي يولد التوتر الكلي (U) على أقطاب المولد بالشكل التالي :

$$\overline{\phi_e} = \overline{\phi_\delta} + \overline{\phi_\sigma} \quad (2)$$

حيث : (ϕ_σ) مركبة فيض التسرب لملفات المتحرض كل مركبة من مركبات الفيوض المغناطيسية السابقة تحرض قوة محركة كهربائية في ملفات الثابت، وبذلك وبالاعتماد على المعادلة (2) ، يمكن كتابة معادلة التوترات في المولد المتواقت أسطواني الدائر بالشكل التالي:

$$\overline{U} + \overline{I_a} R_a = \overline{E_{f\infty}} + \overline{E_a} + \overline{E_\sigma} \quad (3)$$

بعد معالجة المعادلة (3) نحصل على المعادلة العامة للتوترات كما يلي :

$$\overline{E_{f\infty}} = \overline{U} + \overline{I_a} R_a + \overline{J I_a} X_{d\infty} \quad (4)$$

حيث:

$X_{d\infty} = (X_a + X_\sigma)$ مفاعلة التواقت في النموذج الخطي ، X_a - مفاعلة رد فعل المتحرض لملفات الثابت، X_σ - المفاعلة التسريبية لملفات الثابت ، R_a - المقاومة الأومية لهذه الملفات ، $E_{f\infty}$ - القوة المحركة الكهربائية المتحرضة في ملفات الثابت بفعل تيار التهييج (I_f) في النموذج الخطي .

يمكن إيجاد مطال القوة المحركة الكهربائية ($E_{f\infty}$) أثناء العمل الاسمي من المعادلة (4)، اعتماداً على المخطط الشعاعي للمولد المتواقت أسطواني الدائر، بحيث تأخذ الشكل التالي:

$$E_{f\infty} = \sqrt{(U_n \cos \varphi_n + I_{an} R_a)^2 + (U_n \sin \varphi_n + I_{an} X_{d\infty})^2} \quad (5)$$

نحصل على قيمة ($E_{f\infty}$) بالقيم النسبية عند تقسيم طرفي المعادلة (5) على التوتر الاسمي (U_n) لتأخذ العلاقة السابقة الشكل التالي:

$$E_{f\infty}^* = \sqrt{(\cos \varphi_n + R_a^*)^2 + (\sin \varphi_n + X_{d\infty}^*)^2} \quad (6)$$

نكتب معامل تنظيم التوتر النسبي في النموذج الخطي عند العمل الاسمي كما يلي :

$$\Delta U^* = \frac{E_{f\infty} - U_n}{U_n} = (E_{f\infty}^* - 1) \quad (7)$$

هنا يجب الإشارة إلى أن علاقة معامل التنظيم في النموذج اللاخطي تملك نفس طبيعة العلاقة (7) ولكن بعد استبدال القوة المحركة الكهربائية النسبية في النموذج الخطي ($E_{f\infty}^*$) بالقوة المحركة الكهربائية النسبية في النموذج اللاخطي (E_f^*) وبذلك يكتب هذا المعامل بالشكل التالي :

$$\Delta U^* = (E_f^* - 1) \quad (8)$$

نمذجة النموذج اللاخطي للمولد المتواقت أسطواني الدائر :

إن الهدف الأساسي في هذا البحث هو نمذجة النموذج اللاخطي للمولد المتواقت أسطواني الدائر اعتماداً على خصائصه في النموذج الخطي ، لذلك يجب أولاً التعرف وبإيجاز على مفهوم النموذج اللاخطي :

مفهوم النموذج اللاخطي للمولد المتواقت أسطواني الدائر :

تكون الدارة المغناطيسية في النموذج اللاخطي للمولد المتواقت مشبعة مغناطيسياً، وبالتالي ينعدم التناسب الطردي بين التيار المار في الدارة والفيض المغناطيسي المتشكل فيها. عند ذلك لا يمكن تجزئة فيض الثغرة الهوائية (ϕ_δ) إلى مركبتيه، لأن كل منها يؤثر على الأخرى [3] .

عند ذلك نكتب معادلة التوترات كما يلي :

$$\overline{E_\delta} = \overline{U} + \overline{I_a}(R_a + jX_\sigma) \quad (9)$$

حيث : E_δ القوة المحركة الكهربائية تحت الحمل .

لكي نجد مطال القوة المحركة الكهربائية (E_f) في هذا النموذج نحتاج إلى منحنى الميزة على فراغ وإلى استخدام المعادلة العامة للقوى المحركة المغناطيسية للدارة المغناطيسية للمولد المتواقت أسطواني الدائر [4] التي تبدو على الشكل التالي :

$$\overline{F_\delta} = \overline{F_f} + \overline{F_a} \quad (10)$$

اعتماداً على منحنى الميزة على فراغ وعلى المخطط الشعاعي للمولد المتواقت أسطواني الدائر، نجد شعاع القوة المحركة المغناطيسية للتهييج ($\overline{F_f}$) من المعادلة (10) والتي تحرض القوة المحركة الكهربائية (E_f) .

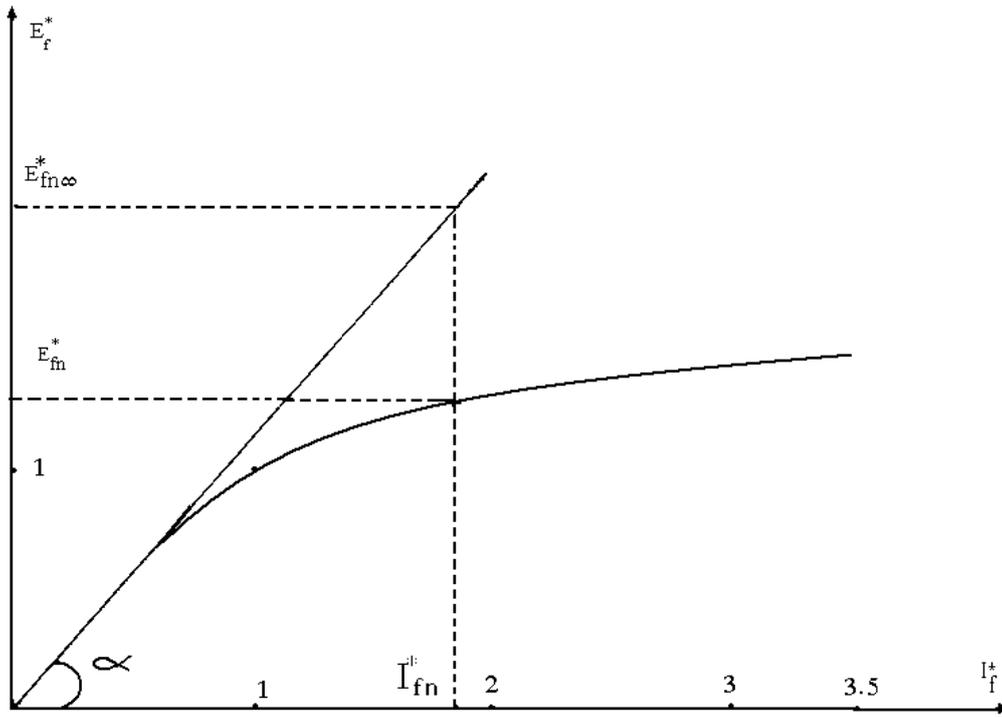
لأجل ذلك يجب إيجاد أشعة الحدين الآخرين من المعادلة (10): ($\overline{F_a}$) و ($\overline{F_\delta}$) ، حيث يمكن حساب القوة المحركة المغناطيسية لرد فعل المتحرض (F_a) تحليلياً ، بينما شعاعها يجب أن يوازي شعاع التيار الاسمي من المخطط الشعاعي، أما شعاع القوة المحركة المغناطيسية الكلية ($\overline{F_\delta}$) فيجب أن يتأخر (90) درجة عن شعاع القوة المحركة الكهربائية تحت الحمل (E_δ) والتي يمكن حسابها من العلاقة (9).

عادةً ، نجد مطال القوة المحركة الكهربائية في النموذج اللاخطي (E_f) لكي نحصل على معامل تنظيم التوتر (ΔU^*) بالعلاقة (8) ، حيث هذا المعامل يعطي فكرة هامة عن استثمار المولدات المتوافقة . إيجاد مطال (E_f) في النموذج اللاخطي معقد، ويحتاج إلى وسائل مساعدة أخرى ، لذلك سنقوم بالاستعاضة عن هذا الأمر بإمكانية إيجاد مطال (E_f) في النموذج اللاخطي اعتماداً على إيجاد ($E_{f\infty}$) في النموذج الخطي . لهذا الغرض يجب نمذجة منحنى الميزة على فراغ بالقيم النسبية أو مكافئاتها بكثير حدود، وهذا ما سنراه في الفقرة التالية .

النتائج والمناقشة:

تحويل الميزة على فراغ بالقيم النسبية للمولدات المتوافقة أسطوانية الدائر إلى كثير حدود :

يتمتع كل صنف من المولدات المتوافقة بجدول للعلاقة بين تيار التهييج النسبي I_f^* أو القوة المحركة المغناطيسية النسبية (F_f^*) مع القوة المحركة الكهربائية النسبية في النموذج اللاخطي (E_f^*) . اعتماداً على هذا الجدول تم رسم التابع $E_f^* = f(I_f^*)$ الشكل (1)



الشكل (1) الميزة على فراغ بالقيم النسبية للمولدات المتوافقة أسطوانية الدائر

عند الحاجة إلى برمجة هذه الميزة وحلها على الحاسب يجب مكافئتها بكثير حدود مشابه لكثير حدود لاغرانج الذي يعبر عن معادلة بعدة حدود تكافئ قيماً جدولية [5,6] بعد معالجة جدول الميزة على فراغ وفق كثير حدود لاغرانج ، تم استنتاج كثير حدود الميزة على فراغ بالقيم النسبية للمولدات المتوافقة أسطوانية الدائر على الشكل التالي :

$$E_f^* = 0,06I_f^{*3} - 0,508I_f^{*2} + 1,438I_f^* - 0,02 \quad (11)$$

تعتبر العلاقة (11) بدقة كبيرة عن منحنى الميزة على فراغ بالقيم النسبية لصنف المولدات المذكور ، فقد تبين أن الخطأ بالمعادلة السابقة لا يتجاوز (0.6 %) من قسم المنحنى الموافق لمجال التهيج $(I_f^* = 1,05 \div 3,5)$. غالباً ، تيارات تهيج المولدات المتوافقة تقع ضمن المجال السابق أثناء الاستئثار ، لذلك يمكن إهمال الأخطاء الناتجة عن هذه المعادلة دون إحداث أخطاء معتبرة في الحساب ، كما أن الأخطاء الناتجة عن المعادلة السابقة عند التهيج بتيارات واقعة خارج المجال المذكور لا يتجاوز (2.6 %) .

طريقة إيجاد الدلائل اللاخطية للمولد المتوافق اعتماداً على دلائله الخطية :

نجد من الشكل (1) ، أنه عند نفس القيمة لتيار التهيج النسبي (I_f^*) من محور السينات، توجد قيمتان للقوة المحركة الكهربائية النسبية من محور العيّنات ، إحداهما توافق العمل بالنموذج الخطي $(E_{f\infty}^*)$ والأخرى تقابل العمل بالنموذج اللاخطي (E_f^*) [7] .

باعتبار أن المولدات المتوافقة أسطوانية الدائر، تملك ميزة واحدة على فراغ بالقيم النسبية ، أمكن إيجاد ميل القسم الخطي لهذه الميزة $(\tan(\alpha))$ ويبلغ حوالي القيمة (1,15) . عند العمل بأي تيار تهيج نسبي وليكن (I_f^*) ، يمكن كتابة العلاقة التالية :

$$\tan(\alpha) = \frac{E_{f\infty}^*}{I_f^*} \quad (12)$$

المعادلة (12) تكتب بالشكل التالي :

$$I_f^* = \frac{E_{f\infty}^*}{\tan(\alpha)}$$

يمكن إيجاد مطال $(E_{f\infty}^*)$ بالمعادلة (6) بعد إهمال (R_a^*) إذا كانت الدراسة تتم على مولد متوسط أو عالي الاستطاعة كما هو الحال في هذا البحث .

بعد إيجاد تيار التهيج النسبي (I_f^*) بالعلاقة (12) ، نعوض قيمته في العلاقة (11) لنجد قيمة القوة المحركة الكهربائية النسبية (E_f^*) في النموذج اللاخطي والموافقة لنفس قيمة تيار التهيج في النموذج الخطي، وبذلك يمكن إيجاد معامل التنظيم بالمعادلة (8) وفقاً للنموذج اللاخطي وإيجاد دلائل أخرى في هذا الموديل .

العلاقة التحليلية بين تيار التهيج وتحميل المولد المتوافق أسطواني الدائر في النموذج الخطي :

ندرس هذه العلاقة عند العمل بالحمولة الاسمية وعند العمل بحمولة مغايرة للحمولة الاسمية ، بحيث يبقى عامل الاستطاعة الاسمي محافظاً على ثباته .

يمكن كتابة الشكل الشعاعي للمعادلة العامة للتوترات للمولد المتوافق أسطواني الدائر بالقيم النسبية بالشكل

التالي :

$$\overline{E_{f\infty}^*} = 1 + J\beta X_{d\infty}^* \quad (13)$$

حيث (β) مقدار يشير إلى التحميل

هذا المقدار يساوي تيار الحمل النسبي (I_a^*) عند الحفاظ على عامل الاستطاعة الاسمي كما يلي:

$$P_n = mU_n I_{an} \cos \varphi_n \quad (14)$$

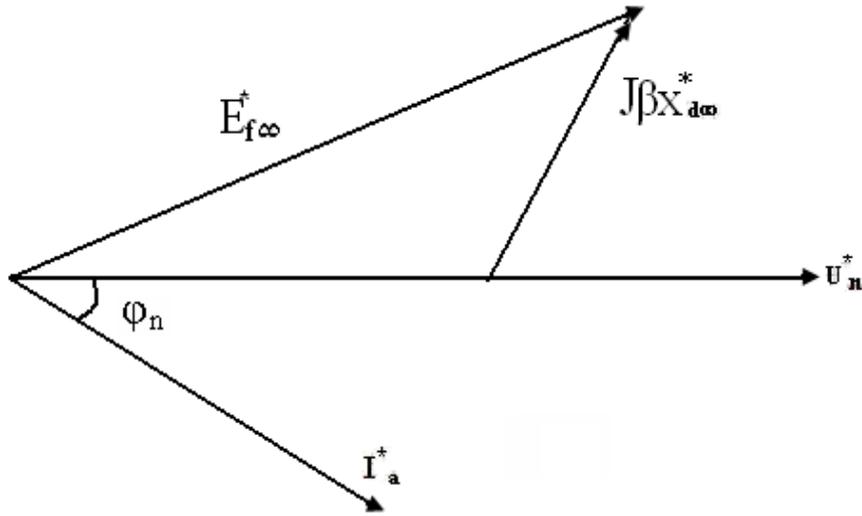
$$P = mU_n I_a \cos \varphi \quad (15)$$

عند نسب العلاقة (15) إلى العلاقة (14) نحصل على التالي :

$$\frac{P}{P_n} = \beta = I_a^* \quad (16)$$

باستخدام العلاقة (13) يمكن رسم المخطط الشعاعي للمولد المتواقت أثناء التحميل في النموذج الخطي، الشكل

(2)



الشكل (2) المخطط الشعاعي للمولد المدروس بالقيم النسبية عند العمل بحمولة مغايرة للحمولة الاسمية

يمكن إيجاد مطال ($E_{f\infty}^*$) عند التحميل من الشكل (2) وفق العلاقة التالية :

$$E_{f\infty}^* = \sqrt{(\cos \varphi_n)^2 + (\sin \varphi_n + \beta X_{do}^*)^2} \quad (17)$$

نعوض العلاقة (17) في العلاقة (12) لنجد قيمة تيار التهييج الموافق للعمل بالنموذج اللاخطي وبنفس الوقت

العمل بالنموذج الخطي :

$$I_f^* = \frac{\sqrt{(\cos \varphi_n)^2 + (\sin \varphi_n + \beta X_{do}^*)^2}}{\tan(\alpha)} \quad (18)$$

من الجدير الإشارة ، إلى أن ميزات النموذج الخطي عند نفس تيار التهييج بالنموذج اللاخطي تكون أكبر بكثير

من ميزات النموذج اللاخطي وذلك بسبب الإثباع المغناطيسي للمولد المتواقت في النموذج اللاخطي .

إيجاد أهم دلالات المولد المتواقت الاستثمارية في النموذج اللاخطي بتطبيق النمذجة المقترحة:

نستخدم الصيغ الرياضية المستنتجة في البحث للربط بين النموذجين الخطي واللاخطي لإيجاد أهم دلائل التشغيل بواقعها الاستثماري للمولد المتوافق أسطوانتي الدائر .

من أهم دلائل الاستثمار الجيدة للمولدات المتوافقة العلاقة بين كل من معامل تنظيم التوتر النسبي المثوي وطبيعة تيار المتحرض ونسبة التحميل وعامل الاستطاعة وأنظمة التهيج وغيرها [8] .

نصيغ هذه العلاقات على شكل ثلاثة توابع كما يلي :

• علاقة معامل تنظيم التوتر بنسبة التحميل (β) .

• علاقة تيار التهيج (I_f^*) أثناء التحميل (β)

• علاقة التيار في نظام التهيج الكامل (I_{f1}^*) من النسبة (β) .

عند إيجاد التوابع السابقة تم الأخذ بالاعتبار أثر عامل الاستطاعة ونسبة الدارة القصيرة على كل منهم .

لإيجاد التوابع السابقة تم كتابة برنامج حاسوبي يأخذ بالاعتبار كافة الصيغ الرياضية للربط بين النموذجين

الخطي واللاخطي لمولد متوافق أسطوانتي الدائر باستطاعة ظاهرية اسمية $S_n = 15Mva$ وتوتر اسمي

$U_n = 6,3Kv$ وتيار تهيج عند العمل على فراغ $I_{f\beta} = 163A$ وعامل استطاعة اسمي $\cos\phi_n = 0,8$.

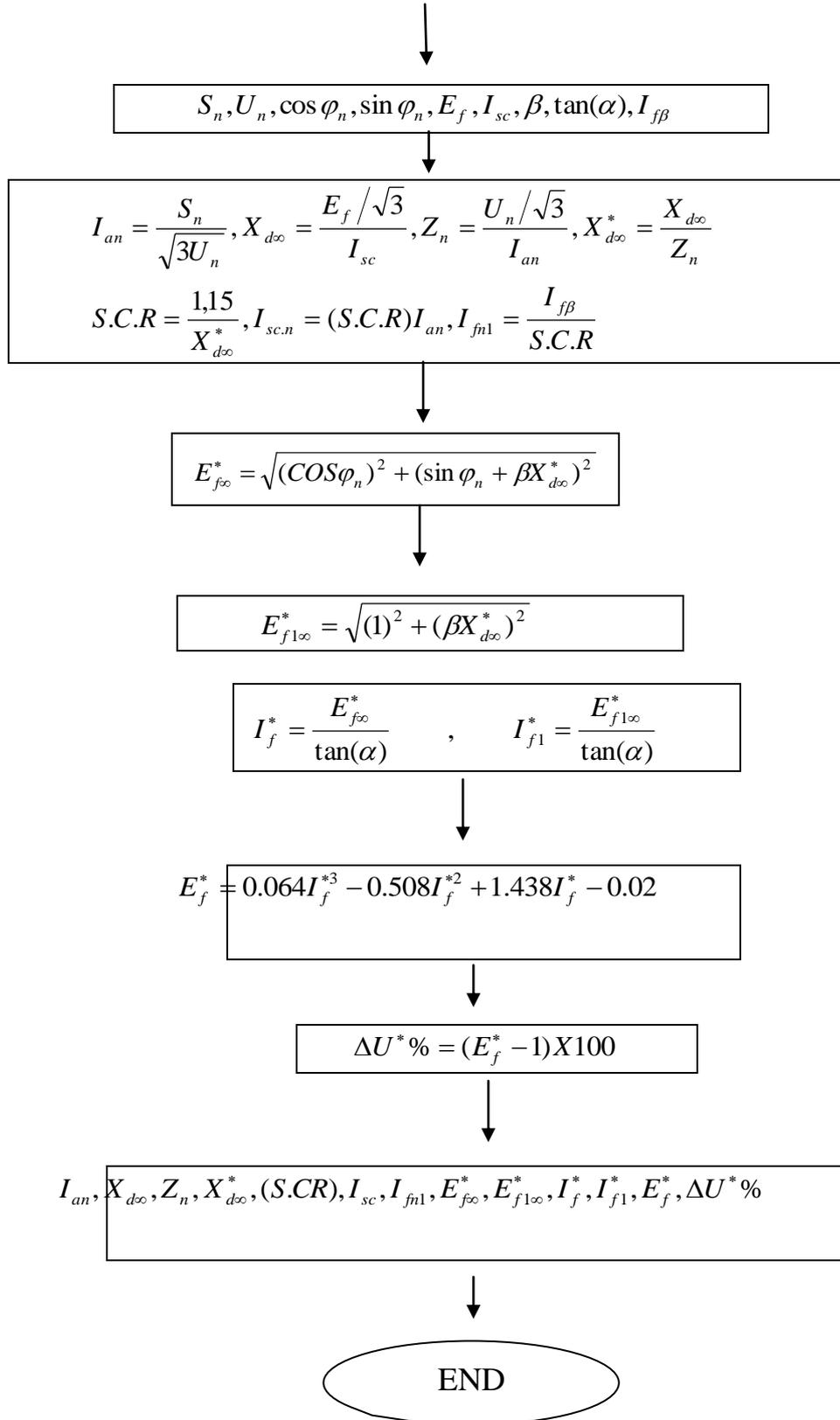
للتكليف مع لغة البرنامج ثم تغيير بعض الرموز في نص البرنامج

المخطط الصندوقي للبرنامج المستخدم في البحث :

في البحث ، كتب برنامج بلغة الفورتران 77 ، ونوضح المخطط الصندوقي له كما يلي . الرموز الواردة في

المخطط كتبت بحالتها العادية وليست بلغة الفورتران .

START



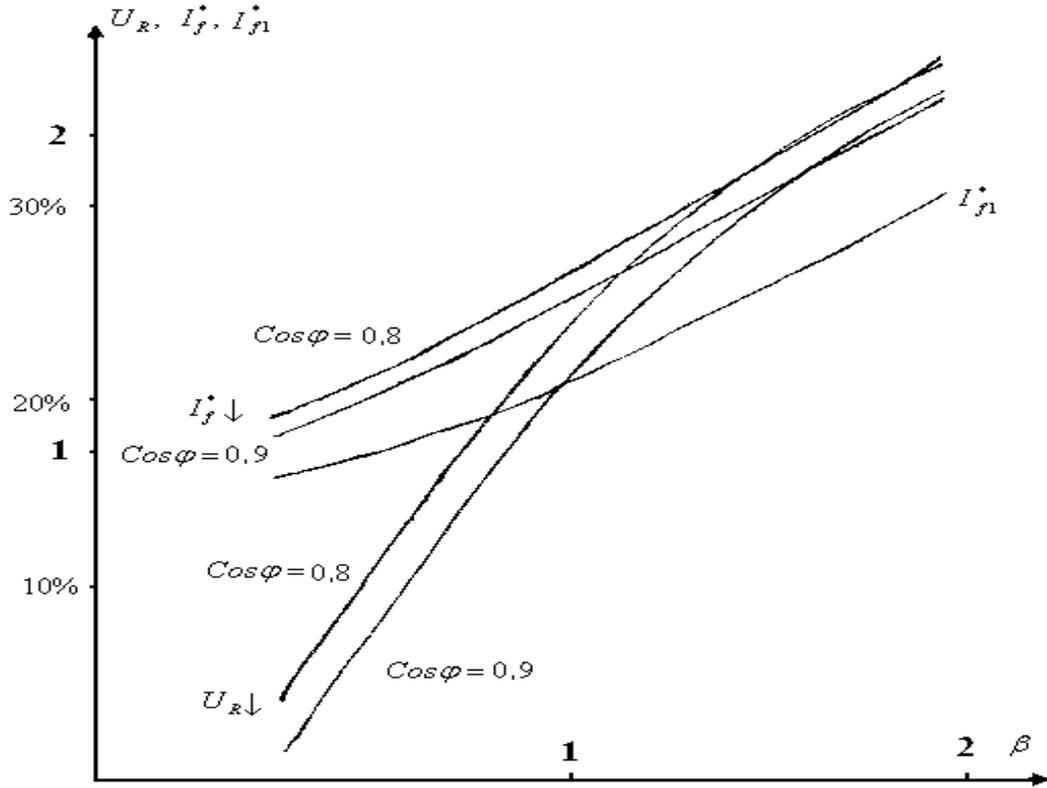
سُعرّف الرموز الواردة في المخطط الصندوقي التي لم تُعرّف بعد : (I_{fB}^*) - تيار التهيج الأساسي عند العمل على فراغ ، (I_{f1}^*) - تيار التهيج الأساسي عند التحميل ، $(I_{sc,n})$ - تيار القصر الاسمي ، (I_{f1}) - تيار التهيج عند القصر ، (I_{sc}, E_f) - القوة المحركة الكهربائية و تيار القصر أثناء العمل بتيار تهيج معين من تجربتي العمل على فراغ والقصر ثلاثي الطور ، $E_{f1\infty}$ - القوة المحركة الكهربائية الموافقة للتهيج الكامل في النموذج الخطي .

البرنامج التنفيذي بلغة Fortran

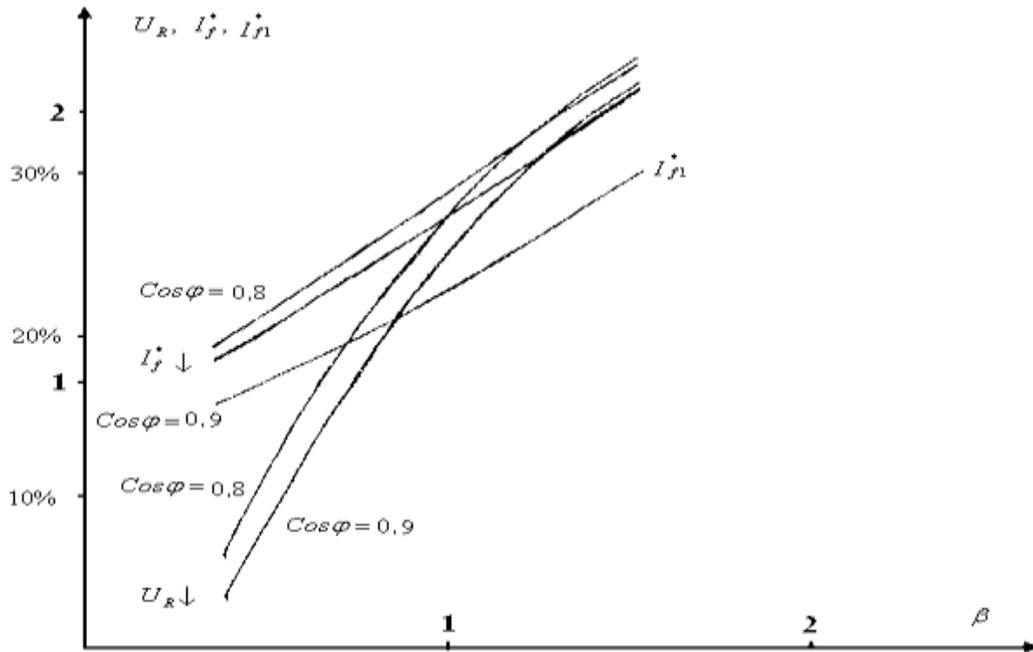
```

PROGRAM MACHIN
REAL SN,UN,EF1,IK,B,IFB,IAN,IF,XD2,EF2,EF3,UR,IKN,IFN1,IF1
WRITE(*,*)'SN=?','UN=?','EF1=?','IK=?','B=?','IFB'=?=
READ(*,*)SN,UN,EF1,IK,B,IFB
IAN=SN/(1.732*UN(
XD1=EF1/(1.732*IK(
ZN=UN/(1.732*IAN(
XD2=XD1/ZN
WRITE(*,*)'IAN=',IAN,'XD1=',XD1,'ZN=',ZN,'XD2=',XD2
EF4=SQRT(1+(B*XD2)**2(
IFB1=EF4/1.13
IF1=IFB1*IFB
WRITE(*,*)'EF4=',EF4,'IF1=',IF1
EF2=SQRT((0.9)**2+(0.436+B*XD2)**2(
WRITE(*,*)'EF2=',EF2
IF=EF2/1.13
WRITE(*,*)'IF=',IF
EF3=0.064*IF**3-0.508*IF**2+1.438*IF-0.02
WRITE(*,*)'EF3=',EF3
UR=(EF3-1)*100
SCR=1/XD2
IKN=SCR*IAN
IFN1=IFB/SCR
WRITE(*,*)'UR=',UR,'SCR=',SCR,'IKN=',IKN,'IFN1=',IFN1,'IF=',IF
IF1=',IF1$ ' ،
END

```



الشكل (3) منحنيات تيار تهيج (I_f^*) - تيار التهيج الأساسي عند التحميل (I_{f1}^*) وتنظيم التوتر النسبي المنوي (U_R) مع تغير حمولة المولد المدروس عند $S.C.R=1,31$.



الشكل (4) منحنيات تيار تهيج (I_f^*) - تيار التهيج الأساسي عند التحميل (I_{f1}^*) وتنظيم التوتر النسبي المنوي (U_R) مع تغير حمولة المولد المدروس عند $S.C.R=1,05$.

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- إمكانية حساب دلائل النموذج اللاخطي للمولد المتواقت أسطواني الدائر ، بعد معرفة الدلائل الخطية له . لهذا الغرض، تم استنتاج بعض الصيغ الرياضية للربط بين النموذجين الخطي واللاخطي وكذلك تم استنتاج كثير الحدود المكافئ للميزة على فراغ بالقيم النسبية لهذا النوع من المولدات .
- 2- أمكن من خلال نتائج البرنامج الحاسوبي المستخدم لبرمجة النموذج المقترح ، رسم منحنيات أهم دلائل الاستثمار في نظام العمل الحقيقي (اللاخطي) لهذا النوع من المولدات، الشكلين (3) و(4) ، حيث رسمت تلك المنحنيات لمولد متواقت يملك استطاعةً ظاهرية وتوتراً معينين ولكن بحالتي امتلاكه لشغرات هوائية مختلفة أي لنسب دائرة قصيرة مختلفة .
- 3- يظهر الشكل (3) المنحنيات السابقة، ولكن عند نسبة للدائرة القصيرة قدرها (1.31) حيث كلما ارتفع عامل تحميل المولد المتواقت (β) ، كلما ارتفع معامل تنظيم التوتر (U_R) وذلك بنتيجة ارتفاع هبوط الجهد أثناء زيادة التحميل، ويرتفع هذا العامل أيضاً كلما كان عمل المولد المتواقت بتيار أكثر تحريضية (أي كلما انخفض عامل الاستطاعة) وذلك بسبب ارتفاع شدة رد فعل المتحرض [9] . كما أن تيار التهيج عند التحميل (I_f^*) يسلك نفس سلوك معامل تنظيم التوتر عند ارتفاع نسب التحميل وأيضاً عند انخفاض عامل الاستطاعة وذلك بسبب وجود تناسب طردي بين تيار التهيج ومعامل التنظيم .
- أما منحنى تيار التهيج في نظام التهيج الكامل (I_{f1}^*) فلا يتعلق بعامل الاستطاعة مهما بلغت نسبة التحميل لأن طبيعة تيار المتحرض في هذه الحالة من التهيج أومية بحتة ولكن يملك هذا المنحني نفس الطبيعة التصاعدية لمنحنيات معامل التنظيم وتيار التهيج عند التشغيل (I_f^*) بدلالة تزايد نسبة التحميل (β) .
- 4- يظهر الشكل (4) المنحنيات السابقة، ولكن عند نسبة للدائرة القصيرة أقل من نسبة الدائرة القصيرة في الاستنتاج رقم (3) ، حيث تبلغ المقدار (1.05) .
- بسبب انخفاض نسبة الدائرة القصيرة ترتفع عينات جميع المنحنيات المرسومة، كما في الشكل (3) وذلك بسبب أن معامل تنظيم التوتر يتناسب عكساً مع نسبة الدائرة القصيرة .
- حيث بانخفاض نسبة الدائرة القصيرة للمولدات المتواقتة تزداد مفاعلة التواقت، وهذا يؤدي إلى تصغير في الشغرة الهوائية لهذه المولدات، وبالتالي تزداد شدة رد فعل المتحرض، ولذلك من أجل الحفاظ على ثبات التوتر الاسمي للمولد يجب زيادة تيارات التهيج وبالتالي زيادة القوة المحركة الكهربائية (E_f) التي من شأنها زيادة معامل التنظيم .
- 5- بنتيجة تطابق نتائج البحث مع الواقع الاستثماري للمولدات المتواقتة أسطوانية الدائر ، فإن نمذجة نموذجها اللاخطي اعتماداً على خصائص النموذج الخطي تثبت صحتها .

المراجع:

- 1- YVANOV, SMALENSKI,A.V. *Electrical Machines-* Moscco, 1980, 928
- 2- TOKAREF, B.V. *Electrical Machines* Moscco , Energo-atmoezdat, 1990,624
- 3- OCEN, E.L.;SHKAREN, U.G. *Electrical Machines- Synchronous Machines*, Moscco, veshia school, 1990,304
- 4- DALLIRROOy FARD, R;KARRARI,O.P;MALIK.*Synchronous Generator Model Identification Using Volterra Series*, IEEE,PES-General Meeting , June 2004, 2, 1344-1349
- 5- KRYG,K.A.-*Fundamentals of Electrotechnica-* Guu , Moscco, 1972,945
- 6- AGUIRRE, M; KRUSE -*General Tranformation Theory of Langrangion Mechanics And The Lagrange Group-*International Journal Of Thoretical physics, Volume 30, Issue4, August8,1990,495-509
- 7-CUI,Y.; H.W.DOMMEL;W.XU..*A Comparative Study of Two Synchronous Machine Modeling Techniques for EMTP Simulation* ,IEEE Trans on Energy Conversion, 19,No,2, 2004, 462-465.
- 8-CHAN,K.H.;E.ACHA;M.MADRIGAL;J.A.PARLE . *The Use of Direct Time-Phase Domain Synchronous Generator Model in Standard EMTP-Type Industrial Packages*, IEEE Power Energy Rev., 2001, 63-65.
- 9- KARAYAKA, H.B., A. KEYHANI, G.T. HEYDT, BL. AGRAWAL, D.A. *Synchronous generator model identification and parameter estimation from operating data*, IEEE Trans. On Energy Conversion, 18, No. 1, Selin -2003 ,121-126.