

تحسين تنظيم الجهد للمولد المتواقت ثلاثي الطور أسطواني الدائر بتخفيض فيض التسرب لملف الثابت

الدكتور زيد بدر*

(تاريخ الإيداع 14 / 9 / 2014. قُبِلَ للنشر في 30 / 12 / 2014)

□ ملخص □

يعرض البحث إمكانية تحسين معامل تنظيم الجهد النسبي المئوي للمولد المتواقت أسطواني الدائر عن طريق تخفيض مفاعلة التسرب X_{σ} لملف الثابت ، وذلك عند الحفاظ على ثبات الثغرة الهوائية ومعطيات الخرج. تبين أن تخفيض فيض التسرب بالظروف أعلاه يؤدي إلى زيادة احتياطي الاستقرار للمولد وكذلك إلى إمكانية التقليل من حجم ملف التهيج ، الذي ينعكس على انخفاض سعر المولدات المتواقتة عند نفس معطيات الخرج. وذلك بدلاً من الطريقة الاعتيادية لرفع استقرار المولدات المتواقتة وتحسين معامل جهدها عن طريق زيادة الثغرة الهوائية.

تم في البحث كتابة المخطط الانسيابي الذي يلخص عمليات حساب تنظيم الجهد النسبي المئوي ΔU^* % اعتماداً على المخطط العملي لتوترات المولد المتواقت باعتبار الإشباع المغناطيسي، حيث تم رسم منحنى معامل تنظيم الجهد النسبي المئوي ΔU^* % وعامل الاستقرار K_b بدلالة تغيرات مفاعلة التسرب X_{σ} ، وكذلك منحنى نسبة الدارة القصيرة S.C.R. والتغير المئوي لمقطع ملف التهيج A_2 % بدلالة تغيرات معامل تنظيم الجهد النسبي المئوي ΔU^* % .

الكلمات المفتاحية: معامل تنظيم الجهد النسبي المئوي - فيض التسرب في المولدات المتواقتة - استقرار المولدات المتواقتة.

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

Improving the Potential Regulation of the Three-Phase Non-Salient-Poles Synchronous Generator by Reducing the Flux Leakage of Fixed Coil of the Stator

Dr. Zaid Bader*

(Received 14 / 9 / 2014. Accepted 30 / 12 / 2014)

□ ABSTRACT □

The present research shows the possibility of improving the factor that regulates the relative potential ΔU^* % of the three -Phase Non-Salient-Poles Synchronous Generator by Reducing the Flux Leakage Reactance X_{σ} of fixed coil of the stator, at a fixed air gap and the out-put data.

We proved that the flux-leakage reduction at these conditions, leads to increase the generator circumspection stability, and possibility of the coil-volume excitation reduction. This reflexes the reduction of the generator price at the same out-put data, instead of the ordinary method to rise the stability of the synchronous generator and the potential regulation-factor by the air-gap volume increase.

We used the log-method to outline the relative potential regulation factor calculation depending on the practical map of the tension of the synchronous generator, considering the magnetic saturation and drawing the curves of the relative potential regulation ΔU^* % and the stability factor K_b by changing the leakage percentage reactance, the (S.C.R.) circuit, and the percentage change of the excitation coil cross-section (A_2 %), through changing the relative potential regulation ΔU^* % .

Keywords: Percentage Relative Potential Regulation Factor; Leakage Flux in Synchronous Generators; Synchronous Generators Stability.

* Professor; Department of Electrical Energy, Faculty of Electromechanically Engineering, University of Tishreen; Lattakia, Syria.

مقدمة :

يتطرق البحث إلى تحسين معاملات تنظيم الجهد % ΔU^* للمولدات المتواقة أسطوانية الدائر (تخفيض قيم هذه المعاملات) عن طريق تخفيض فيض التسرب، أو مفاعلة التسرب (X_{σ}) لملف الثابت. ينعكس تحسين معاملات تنظيم الجهد للمولدات المتواقة إيجاباً على سهولة تنظيم الجهد عند التحميل وكذلك إيجاباً على ثمن هذه المنظمات، وعلى ثمن الآلة نفسها. حيث يقل ثمن العناصر الإلكترونية المكونة لهذه المنظمات بتحسين معاملات تنظيم الجهد. يتجزأ فيض التسرب لملف الثابت في المولد المتواقت إلى أربعة أجزاء، فعند إمكانية التأثير على قيم بعض هذه الأجزاء بالزيادة أو النقصان يمكن التأثير على قيمة مفاعلة التسرب بالزيادة أو النقصان أيضاً. يمكن التأثير على قيمة فيض التسرب في مجاري الثابت عن طريق وصل نواقل الثابت ضمن المجرى الواحد على التوازي، فإذا تم إحداث (a) دارة توازي في مجرى معين لنواقل هذا المجرى، فإن فيض التسرب في المجرى يقل بمقدار (a) مرة [1] ومن ثمّ ستخفص مركبة مفاعلة التسرب في المجرى بنفس المقدار.

تمت الدراسة بالموديل اللاخطي (حالة المولد المتواقت على أرض الواقع)، ولذلك تمّ الاستعانة بالمخطط العملي للتوترات في المولد المتواقت [2] أثناء حساب تنظيم الجهد للمولد المتواقت. لقد رُسم هذا المخطط اعتماداً على منحنى الميزة على فراغ بالقيم النسبية، وكذلك على العلاقة الممثلة للمجموع الهندسي (الشعاعي) للقوى المحركة المغناطيسية في الثغرة الهوائية. حيث يتأثر هذا المجموع زيادة أو نقصاناً تبعاً لزيادة أو نقصان فيض التسرب، وبناءً على ذلك يمكن حساب القوة المحركة الكهربائية بالقيم النسبية أثناء التهييج الاسمي عند حالات مختلفة لتخفيض فيض التسرب ومن ثمّ إمكانية إيجاد معامل التنظيم عند هذه الحالات المختلفة.

تمت هذه الدراسة أثناء الحفاظ على ثبات الثغرة الهوائية ومعطيات خرج الآلة من توتر واستطاعة، وفي المقابل تزداد نسبة الدارة القصيرة (S.C.R.) للمولد ويرتفع استقراره كلما نقصت معاملات تنظيم الجهد أي كلما انخفضت قيم هذه المعاملات. كما أن تحسين معامل تنظيم الجهد للمولد سيؤدي إلى إمكانية التصغير في مقاطع ملف التهييج ومن ثمّ إمكانية التخفيض في حجم المولد مما سيؤدي إلى التقليل من سعر هذه المولدات أيضاً.

أهمية البحث وأهدافه:**الهدف من البحث:**

يهدف البحث إلى ما يأتي:

- 1- تحليل فيض التسرب في ثابت المولدات المتواقة وإمكانية تخفيض بعض المركبات من هذا الفيض عند المحافظة على ثبات الثغرة الهوائية ومعطيات خرج الآلة.
- 2- تحسين نسبة الدارة القصيرة للمولد المتواقت، وكذلك تحسين احتياطي الاستقرار له عند تخفيض بعض مركبات فيض التسرب، وأثر ذلك إيجاباً في حجم المولدات المتواقة.
- 3- برمجة المخطط العملي للتوترات وإيجاد منحنى تنظيم الجهد بدلالة تغيرات مفاعلة التسرب، وكذلك إيجاد منحنيات أخرى ناتجة عن تحسين تنظيم الجهد.

أهمية البحث:

تكمن أهمية البحث فيما يأتي:

- 1- إمكانية الحصول على منظمات للجهد للمولد المتواقت بثمن أقل وأفضل سلاسة بالتنظيم عند نفس معطيات الخرج.
- 2- إمكانية تصغير حجم المولد المتواقت بتصغير مقاطع ملف التهيج.
- 3- إمكانية الزيادة في احتياطي الاستقرار للمولد المتواقت بزيادة نسبة الدارة القصيرة.

طرائق البحث ومواده:

تم اعتماد المنهجية التحليلية في البحث وفقاً لما يأتي:

- 1- تحليل فوائد تحسين معامل تنظيم الجهد للمولدات المتواقتة من الناحية الفنية والاقتصادية خاصة عند الحفاظ على ثبات الثغرة الهوائية ومعطيات الخرج.
- 2- تم كتابة برنامج حاسوبي لإجراء البحث والتوصل إلى النتائج.

5- تحليل الفيض التسريبي لملف الثابت في المولد المتواقت أسطوانى الدائر

يتشكل الحقل المغناطيسي التسريبي في الآلة المتواقتة أو الآلة الكهربائية الدوارة بشكل عام بفعل تيارات الثابت أو الدوار اللذين لا يشكلان الحقل المغناطيسي الأساس، بمعنى آخر يتشكل الحقل المغناطيسي التسريبي في حالة أن المداريج الأساسية للتحريض المغناطيسي لحقلي الثابت والدوار يفنون بعضهم البعض [3]. الفيض المتشابك التسريبي (التشتتي)، هو جزء من الحقل المغناطيسي الكلي للآلة الكهربائية الذي يتشابك فقط مع ملفات الثابت أو الدوار الشكل (1).

ينقسم فيض التسرب المتشابك للطور (A) في الثابت $\Psi_{\sigma Am}$ إلى مجموعة من المركبات في أجزاء مختلفة من الآلة وهي: 1- فيض التسرب المتشابك في المجرى Ψ_{Sm1} . 2- فيض التسرب المتشابك في رؤوس الأسنان Ψ_{hml} . 3- فيض التسرب المتشابك في الأجزاء الجبهية للملف Ψ_{lm1} الشكل (1).

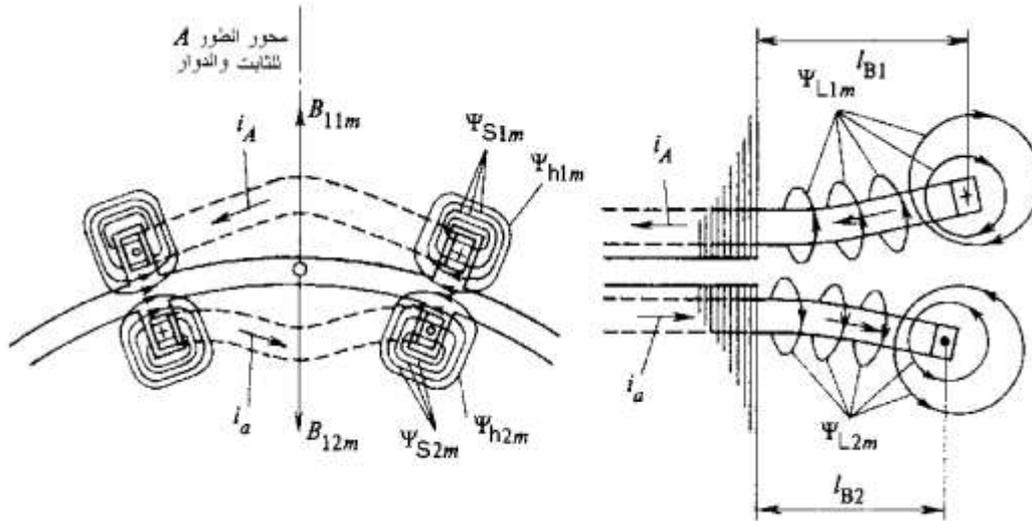
كما توجد مركبة رابعة Ψ_{Dm1} تدخل في عداد فيض التسرب لملفات الثابت وهي ناتجة عن المداريج العليا للقوة المحركة المغناطيسية، وبذلك نكتب علاقة فيض التسرب المتشابك مع الطور A لملف الثابت كما يأتي:

$$\Psi_{\sigma Am} = \Psi_{Sm1} + \Psi_{hml} + \Psi_{lm1} + \Psi_{Dm1} \quad (1)$$

$$L_{\sigma A} = \frac{\Psi_{\sigma Am}}{\sqrt{2}I_A}; X_{\sigma A} = \omega L_{\sigma A} = 2\pi f L_{\sigma A}$$

وبذلك يمكن تحديد معامل التحريضية التسريبية $L_{\sigma A}$ أو مفاعلة التسرب $X_{\sigma A}$ للطور (A) كما يأتي:

(2)



الشكل (1)-الحقل المغناطيسي التسريبي لملف متعدد الأطوار على الثابت والدوار

هنا يجب التنويه، إلى أن فيض التسرب لدوار المولد المتواقت لا يؤثر في العملية الكهرومغناطيسية الجارية في المولد المتواقت وذلك بسبب أن لهذا الفيض نفس سرعة الدوار ولا يحرض أية قوة محرّكة كهربائية في ملف الثابت إلا في حالات خاصة عابرة، لذلك لا توجد ضرورة لحسابه.

يتضح على الشكل (1) مركبات فيض التسرب لجزأي الآلة الكهربائية الدوارة ذات التيار المتناوب، حيث يوافق الدليل (1) الجزء الأول من الآلة (الثابت)، أما الدليل (2) فيوافق الجزء الثاني (الدوار) ذا الأطوار المتعددة. بما أن بنية ثابت الآلة المتواقتة تشبه تماماً بنية ثابت الآلة الكهربائية الدوارة غير المتواقتة [2]، لذلك يمكن حساب عامل التحريضية التسريبية، وكذلك المفاعلة التسريبية لملف ثابت الآلة المتواقتة بالعلاقة (2).

يمكن أن نكتب عامل التحريضية التسريبية لأحد أطوار ملف الثابت للمولد المتواقت للطور $L_{\sigma A}$ (A) بالعلاقة الآتية [1,3]:

$$L_{\sigma A} = 2\mu_0 w_A^2 \frac{L_\delta}{pq} \lambda_{\sigma A} \quad (3)$$

حيث: p - عدد أزواج الأقطاب لملف الآلة، q - عدد الوشائع في مجموعة الوشائع للملف، $-W_A$ - عدد لفات الطور

الواحد، $\lambda_{\sigma A}$ - عامل الناقلية المغناطيسية وهو بدون وحدة، L_δ - طول الثابت.

يتألف عامل الناقلية المغناطيسية من مجموع عدة عوامل للناقلية المغناطيسية كما يأتي:

$$\lambda_{\sigma A} = \lambda_{\sigma S} + \lambda_{\sigma h} + \lambda_{\sigma L} + \lambda_{\sigma D} \quad (4)$$

حيث: $\lambda_{\sigma S}$ - عامل الناقلية المغناطيسية في المجرى، $\lambda_{\sigma h}$ - عامل الناقلية المغناطيسية في رؤوس الأسنان، $\lambda_{\sigma L}$ - عامل الناقلية المغناطيسية في الأقسام الجبهية للملف، $\lambda_{\sigma D}$ - عامل الناقلية المغناطيسية للمدارج العليا للقوة المحركة المغناطيسية للملف.

يمكن أن نكتب عوامل الناقلية المغناطيسية الثلاثة الأولى في العلاقة (4) بالشكل الآتي:

$$\lambda_{\sigma S} = C_1 \left(\frac{3\beta + 1}{4} \right); \lambda_{\sigma h} = C_2 \left(\frac{3\beta + 1}{4} \right); \lambda_{\sigma L} = 0.3 \frac{\beta \tau q}{L_\delta} \quad (5)$$

حيث: τ - الخطوة القطبية لملف الثابت، β - خطوة الملف النسبية، C_1 - ثابت يتعلق بأبعاد المجرى الواقع في حقل التسرب، C_2 - ثابت يتعلق بعامل الثغرة الهوائية وقيمتها وأيضاً يتعلق بعرض فتحة المجرى على الثغرة الهوائية. نلاحظ من العلاقة (5)، بأن المركبات الثلاثة الأولى للناقلية المغناطيسية الكلية λ_{ol} لملف الثابت وهي $\lambda_{os}; \lambda_{oh}; \lambda_{ol}$ تتعلق بشكل مباشر بخطوة اللف النسبية (β) ومن ثم قيم هذه العوامل تتعلق بقيم عامل خطوة اللف النسبية (β).

الآن نورد مثالاً على إمكانية تخفيض مفاعلة التسرب (X_σ) بفعل تقصير خطوة اللف بمجرى واحد: ليكن لدينا ملف بخطوة قطبية ($\tau = 6$) وخطوة لف ($y = 5$)، فعند إجراء تقصير على اللف بمجرى واحد أي أصبحت ($y = 4$) فإن قيم خطوة اللف النسبية (β) تأخذ القيمتين الآتيتين: [0.666-0.833]. عند حساب عوامل الناقلية المغناطيسية بالعلاقات (4,5) ثم عامل التحريضية التسربية بالعلاقة (3) في حالتنا تقصير وعدم تقصير خطوة اللف نجد أن مفاعلة التسرب (X_σ) قد انخفضت بمقدار (15%) بعد تقصير خطوة اللف. وبهذا الشكل يمكن أن يتم إنقاص قيم مفاعلة التسرب (X_σ) دون تغيير في تصميم أبعاد أو مواصفات الآلة، كما توجد طرق أخرى لإمكانية إنقاص مفاعلة التسرب لملف الثابت على سبيل المثال ربط نواقل المجرى الواحد بعدة دارات توازي. عند حساب عوامل الناقلية المغناطيسية وعامل التحريضية التسربية بالعلاقات السابقة أثناء ربط نواقل المجرى بدراتي توازي، فإن المفاعلة التسربية الكلية للآلة (X_σ) تنقص بحدود 22%.

إذا أتبعنا هذه الطريقة وطريقة اختصار خطوة اللف بمقدار مجرى واحد عن الخطوة التصميمية للملف، فإنه يمكن للمفاعلة التسربية الكلية (X_σ) أن تنقص بمقدار (37%). على كل حال البحث لا يتطرق بشكل مفصل إلى طرق خفض المفاعلة التسربية لملف ثابت الآلة وإنما يتطرق إلى دور هذا الانخفاض في تحسين تنظيم الجهد للمولد المتواقت وما يتبع عن ذلك.

6- الحساب العملي لمعامل تنظيم الجهد في المولد المتواقت أسطواني الدائر باعتبار الإشباع المغناطيسي

يمكن إيجاد معامل تنظيم الجهد النسبي المثوي ΔU^* للمولد المتواقت عند نزع الحاملة شعاعياً وفقاً للمخطط العملي للتوترات عند الإشباع المغناطيسي. تُعتبر القوة المحركة المغناطيسية الكلية في الثغرة الهوائية \overline{F}_δ المجموع الهندسي لمركبتين هما: الأولى لرد فعل المتحرض \overline{F}_a والثانية القوة المحركة المغناطيسية للتهيج \overline{F}_f ، ويُعبر عن ذلك بالعلاقة الآتية:

$$\overline{F}_\delta = \overline{F}_f + \overline{F}_a \quad (6)$$

حيث تُعبر الإشارة (-) عن الحمل ذا الطبيعة التحريضية، وتكون الإشارة (+) للحمل ذي الطبيعة السعوية. أثناء الإشباع المغناطيسي لا يمكن تجزئة الفيوض المغناطيسية في الثغرة الهوائية [4,5] وذلك لأن المركبتين السابقتين تؤثران بعضهما في بعض، لذلك أثناء رسم المخطط للتوترات يجب معرفة الميزة على فراغ بالقيم النسبية وكذلك يجب معرفة مميزة القصر ثلاثي الطور التي تتحدد بنسبة الدارة القصيرة S.C.R.

نكتب معادلة التوترات بالقيم النسبية في هذه الحالة بناءً على العلاقة (6) بالشكل الآتي:

$$\overline{E}_\delta^* = \overline{E}_f^* \pm jI_{an}^* X_a^* \quad (7)$$

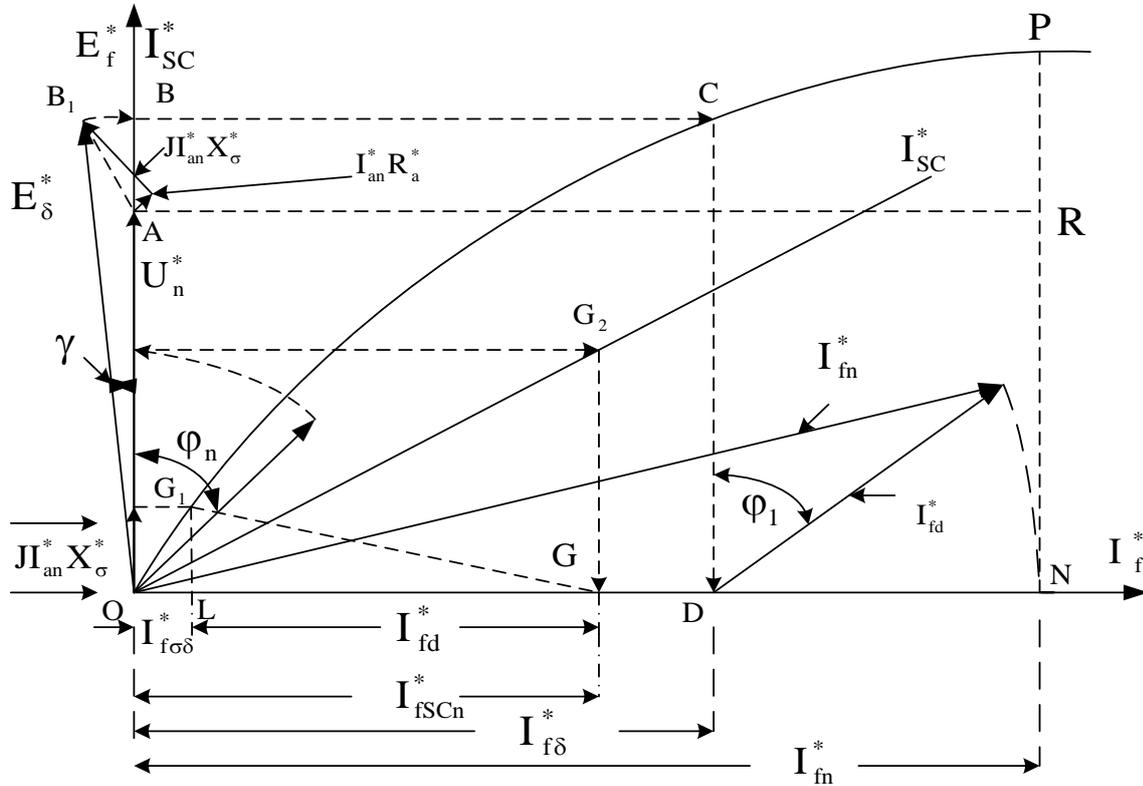
حيث X_a^* - مفاعلة رد فعل المتحرض النسبية.

كما يمكن أن نكتب علاقة تنظيم الجهد النسبي المثوي بالشكل الآتي:

$$\Delta U_n^* \% = (E_{fn}^* - 1) \times 100 \quad (8)$$

الآن نوضح طريقة إيجاد معامل تنظيم الجهد كما يأتي:

نرسم الشعاع E_δ^* الذي يتقدم U_n^* (محور العينات) بالزاوية (γ) وفق الشكل (2).



الشكل (2)-المخطط العملي للتوترات في المولد المتواقت أسطوانى الدائر

يمثل الشكل (2) منحنى مميزة العمل على فراغ ومنحنى مميزة القصر ثلاثي الطور للمولد المتواقت بالقيم

النسبية. عند إهمال المقاومة

$$E_\delta^* = \sqrt{(\cos \phi_n)^2 + (\sin \phi_n + X_\sigma^*)^2} \quad \text{ملفات الأومية}$$

الثابت ($r_a \approx 0$)، فإن مطال

الشعاع E_δ^* يكتب بالعلاقة الآتية:

$$(9)$$

نسقط نقطة تقاطع مطال هذا الشعاع مع منحنى الميزة على فراغ على محور السينات لنحصل على شعاع

تيار التهيج $I_{f\delta}^*$ اللازم للحصول على (ق.م.ك.) تحت الحمل E_δ^* . أن ال (ق.م.ك.) أكبر من ال (ق.م.ك.) .

تحت الحمل E_δ^* بمقدار رد فعل المتحرض $E_a^* [2]$ أي:

$$\overline{E_f^*} = \overline{E_\delta^*} + \overline{E_a^*} \quad (10)$$

لحساب رد فعل المتحرض E_a^* ، يجب تحديد تيار التهيج I_{fd}^* الموافق لرد فعل المتحرض المزيل للمغنطة. يمكن إيجاد هذا التيار من مثلث القصر OGG_1 الشكل (2)، حيث الطول OG يوافق تيار التهيج عند القصر الاسمي I_{fscn}^* وذلك لأنه يكون سبباً في تمرير I_{an}^* أثناء القصر ($GG_2 = I_{an}^*$). يُذكر أنه يمكن حساب تيار التهيج الاسمي عند القصر من نسبة الدارة القصيرة كما يأتي :

$$S.C.R. = \frac{I_{fb}}{I_{fscn}} = \frac{1}{I_{fscn}^*} \quad (11)$$

حيث I_{fb} - تيار التهيج الأساسي.

يوافق الطول OL تيار التهيج $I_{f\sigma\delta}^*$ عند القصر والموافق لهبوط الجهد على مفاعلة التسرب $I_{an}^* X_\sigma^*$ في مثلث القصر. عندئذ يمكن إيجاد مطال تيار التهيج الموافق لرد فعل المتحرض المزيل للمغنطة I_{fd}^* كما يأتي:

$$I_{f\sigma\delta}^* = I_{fscn}^* - I_{fd}^* \quad (12)$$

بعد ذلك ننشئ من النقطة D على محور السينات المستقيم DM الذي يساوي مطال تيار التهيج I_{fd}^* وفقاً للعلاقة (6)، ينحرف هذا التيار عن محور العينات بالزاوية (φ_1) التي تساوي مجموع زاويتين كما يأتي:

$$\varphi_1 = \varphi_n + \gamma \quad (13)$$

يمكن إيجاد قيمة هذه الزاوية بالعلاقة الآتية:

$$\cos\varphi_1 = \frac{U_n^* \cos\varphi_n}{E_\delta^*} \quad (14)$$

ومن ثم، نرسم من مركز الإحداثيات للشكل (2) دائرة بنصف قطر قدره DM لينتقاطع قوسها مع محور السينات في النقطة N وبذلك نحصل على تيار التهيج النسبي $ON = I_{fn}^*$. يوافق هذا التيار تحريض القوة المحركة الكهربائية الاسمية $NP = E_{fn}^*$. الآن ننشئ من النقطة A على محور العينات الممثلة للتوتر الاسمي $U_n^* = 1$ المستقيم AR الموازي لمحور السينات وبذلك نحصل على القيمة العملية (الحسابية) لتنظيم الجهد:

$$\Delta U_n^* \% = \frac{NP - NR}{NP} \times 100 = (E_{fn}^* - 1) \times 100 \quad (15)$$

هنا نشير إلى أن العلاقة السابقة تحسب معامل تنظيم الجهد في أي نظام تشغيل بما فيه العمل الاسمي.

النتائج والمناقشة:

- أثر مفاعلة التسرب X_σ في معامل تنظيم الجهد النسبي المئوي للمولد المتواقت أسطوانى الدائر

كُرست الأبحاث في الآونة الأخيرة، إلى زيادة الثغرة الهوائية للمولد المتواقت بهدف تحسين معامل تنظيم الجهد النسبي المئوي (التقليل من قيمه)، وكذلك من أجل زيادة احتياطي الاستقرار [6]. تؤدي هذه الزيادة بالثغرة الهوائية إلى إنقاص مفاعلة التواقت X_C ، مما ينعكس إيجاباً على تخفيض قيم معامل تنظيم الجهد النسبي المئوي $\Delta U_n^* \%$. لكن من جهة تؤدي هذه الزيادة إلى تكبير في مقاطع ملف التهيج وذلك لتأمين تيار التهيج اللازم للتغلب على زيادة المقاومة المغناطيسية للثغرة الهوائية، التي زِيدت بالقيمة، وهذا بدوره سيؤدي إلى تكبير حجم المولد المتواقت وزيادة سعره عند نفس معطيات الخرج.

في الحقيقة، يمكن تحسين معامل تنظيم الجهد للمولد المتواقت وبنفس الوقت زيادة احتياطي استقراره عند التفكير بمنهجية أخرى:

نلجأ إلى تخفيض فيض التسرب لملف الثابت وإبقاء الثغرة الهوائية محافظة على ثباتها. عند الحفاظ على ثبات الثغرة الهوائية تبقى مفاعلة رد فعل المتحرض X_a ثابتة، بينما تتخفف مفاعلة التواقت X_c وذلك بسبب الانخفاض في مفاعلة التسرب X_σ وفق العلاقة الآتية:

$$X_c = X_a + X_\sigma \quad (16)$$

بانخفاض مفاعلة التواقت X_c سترتفع نسبة الدارة القصيرة S.C.R. للمولد وذلك بنتيجة العلاقة العكسية بين مفاعلة التواقت النسبية وهذه النسبة، حيث كلما انخفضت مفاعلة التواقت النسبية ازدادت نسبة الدارة القصيرة وبنفس الوقت يزداد عامل استقرار المولد المتواقت

$$K_{bn} = \frac{E_m^*}{X_c^*} \times \frac{1}{\cos \phi_n} \quad \text{الاسمي وفق العلاقة الآتية [6]:} \quad (17)$$

كما أن تخفيض مفاعلة التسرب وبقاء الثغرة الهوائية ثابتة وكذلك معطيات الخرج، سيؤدي إلى التقليل بقيم معامل التنظيم (تحسين معامل التنظيم). تم في الفقرة (5) التطرق إلى إمكانية تخفيض مفاعلة التسرب X_σ ، بينما في هذه الفقرة سنبين بوساطة المخطط العملي للتوترات في المولد المتواقت انعكاس هذا الانخفاض على تحسين معامل تنظيم الجهد أي التقليل بقيمه.

سيلعب تخفيض مفاعلة التسرب X_σ دوراً في تقليل الـ (ق.م.ك.) تحت الحمل النسبية E_δ^* وفق العلاقة (9). ومن ثم سينخفض تيار التهيج النسبي I_{fd}^* اللازم لتوليد هذه القوة انظر الشكل (2)، وبنفس الوقت سينخفض هبوط الجهد على مفاعلة التسرب $X_\sigma^* I_{an}^*$ مما سيؤدي إلى انخفاض تيار التهيج النسبي $I_{fd\delta}^*$ من مثلث القصر. كما أن تيار التهيج النسبي I_{fd}^* اللازم للتغلب على رد فعل المتحرض سينخفض بدوره أيضاً، وذلك بنتيجة الانخفاض بتياري التهيج:

الانخفاض الأول في تيار التهيج القصر الاسمي I_{fscn}^* الناتج عن الارتفاع بنسبة الدارة القصيرة العلاقة (11)، أما الانخفاض الثاني فهو بتيار التهيج $I_{fd\delta}^*$ الناتج عن الانخفاض في هبوط الجهد على مفاعلة التسرب $X_\sigma^* I_{an}^*$ وبذلك يمكن كتابة علاقة حساب تيار التهيج I_{fd}^* بالعلاقة الجبرية الآتية (انظر الشكل (2)):

$$I_{fd}^* = I_{fscn}^* - I_{fd\delta}^* \quad (18)$$

بما أن تيار التهيج الاسمي النسبي I_{fn}^* أو في أي نظام عمل عند التشغيل هو المجموع الهندسي لشعاعي تياري التهيج $I_{fd}^* : I_{fd\delta}^*$ ، لذلك سيؤثر انخفاض كل من التيارين السابقين على الانخفاض بتيار التهيج الاسمي ومن ثم ستنخفض الـ (ق.م.ك.) للتهيج التي تلعب دوراً أساساً في حساب معامل تنظيم الجهد النسبي المئوي حسب العلاقة (15) عند العمل الاسمي أو عند العمل بأي نظام تشغيل.

-المخطط الانسيابي لحساب معامل تنظيم الجهد النسبي المئوي للمولد المتواقت أسطواني الدائر-

يتم في هذه المرحلة، تحويل عمليات حساب معامل تنظيم الجهد النسبي المئوي ΔU_n^* وفقاً للمخطط العملي للتوترات المبين على الشكل (2) إلى مخطط انسيابي حاسوبي، حيث يضم هذا المخطط دورتين حسابيتين. يسمح هذا المخطط برسم منحنى معامل تنظيم الجهد النسبي المئوي بدلالة التغير المئوي لمفاعلة التسرب X_σ % الشكل (3)، ويقوم هذا المخطط أيضاً بعد تحويله إلى تابع بلغة الماتلاب برسم منحنيات أخرى مثل منحنى نسبة الدارة

القصيرة S.C.R. ومنحني عامل الاستقرار K_b الشكل (4) وكذلك منحني التغير المئوي لمقطع ملف التهيج $A_2\%$ الشكل (3) بدلالة التخفيض المئوي لمفاعلة التسرب $X_o\%$. يتم رسم منحني الميزة على فراغ للمولد المتواقت أسطواني الدائر بالقيم النسبية الشكل (2) اعتماداً على الجدول الآتي [5]:

جدول الميزة على فراغ للمولد المتواقت أسطواني الدائر

E_f^*	0.58	1.0	1.21	1.33	1.4	1.45	1.51
I_f^*	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5

تم تحويل الجدول السابق إلى معادلة من الدرجة الثالثة بواسطة تحويلات لاغرانج، ومن ثم يمكن كتابة هذه المعادلة بالشكل الآتي:

$$E_f^* = 0.064I_f^{*3} - 0.508I_f^{*2} + 1.438I_f^* - 0.02 \quad (19)$$

يُرفق المخطط الانسيابي الحاسوبي في الملحق بنهاية البحث.

- أثر تحسين معامل تنظيم الجهد النسبي المئوي ΔU_n^* للمولد المتواقت على حجم ملف التهيج

يحدد حجم ملف التهيج بشكل أساس بمقاطع نواقل هذا الملف، التي تتعلق بدورها بكبر أو صغر تيارات التهيج المارة في هذه النواقل اللازمة لتهييج القوة المحركة الكهربائية، المطلوب تحريضها في ملف الثابت. سنبين في هذه الحالة، أنه كلما تحسّن معامل تنظيم الجهد (انخفضت قيمته) كلما انخفضت مقاطع ملف التهيج ومن ثمّ انخفض حجم هذا الملف، الذي بدوره يخفّض من حجم الآلة بشكل عام. نعيد كتابة معامل تنظيم الجهد النسبي المئوي ΔU_n^* للمولد المتواقت بالشكل الآتي:

$$\Delta U_n^* \% = (E_m^* - 1) \times 100 \Rightarrow E_m^* = \frac{\Delta U_n^* + 100}{100} \quad (20)$$

نستطيع من خلال العلاقة السابقة إيجاد الـ (ق.م.ك.) بالقيم النسبية عند معرفة معامل تنظيم الجهد المحسّن، وبهذا نستطيع إيجاد تيارات التهيج الموافقة لكل حالة تنظيم، وذلك اعتماداً على جدول الميزة على فراغ بالقيم النسبية والذي يربط ما بين الـ (ق.م.ك.) وتيارات التهيج بالقيم النسبية.

الآن نورد مثلاً على ذلك نوضّح فيه أثر معامل التنظيم $\Delta U_n^* \%$ على تخفيض مساحة مقاطع نواقل ملف التهيج عند ثبات برامترات الخرج للمولد المتواقت أسطواني الدائر.

نفرض أن لعامل التنظيم القيمة الآتية $\Delta U_n^* \% = 40\%$ ، باستخدام العلاقة (20) نجد القوة المحركة الكهربائية بالقيم النسبية $E_f^* = 1.4$ ، علماً بأن لهذه القيمة تيار التهيج النسبي الآتي $I_{f1}^* = 2.5$ وفق جدول الميزة على فراغ. عند تحسين هذا المعامل إلى $\Delta U_n^* \% = 33\%$ ، فإن القوة المحركة الكهربائية تتخفّف وتأخذ القيمة الآتية وفق العلاقة (20) $E_f^* = 1.33$ ، بينما يصبح لتيار التهيج النسبي الجديد القيمة الآتية $I_{f2}^* = 2$ وفق جدول الميزة على فراغ.

حالياً، نجد العلاقة الرياضية بين مقاطع ملف التهيج وتيارات التهيج المارة فيها، حيث نكتب العلاقات الآتية:

$$(21)$$

$$I_{f1} = \frac{U_f}{R_{f1}} = \frac{U_f}{\rho \frac{L}{A_1}} = \frac{U_f \times A_1}{\rho L}; I_{f2} = \frac{U_f}{\rho \frac{L}{A_2}} = \frac{U_f \times A_2}{\rho L}$$

حيث U_f - توتر التهيج، R_{f1}, R_{f2} - مقاومة ملف التهيج بحالتي التنظيم الوارد ذكرها، ρ - المقاومة النوعية للمادة المكونة لملف التهيج، A_1, A_2 - مساحة مقطع ناقل ملف التهيج عند حالتي التنظيم الوارد ذكره، L - طول ناقل ملف التهيج.

ننسب تيارات التهيج في حالتي التنظيم الوارد ذكره حسب العلاقة (21) لنحصل على العلاقة الآتية:

(22)

$$\frac{I_{f1}}{I_{f2}} = \frac{U_f \times A_1}{\rho \times L} \times \frac{\rho \times L}{U_f \times A_2} = \frac{A_1}{A_2}$$

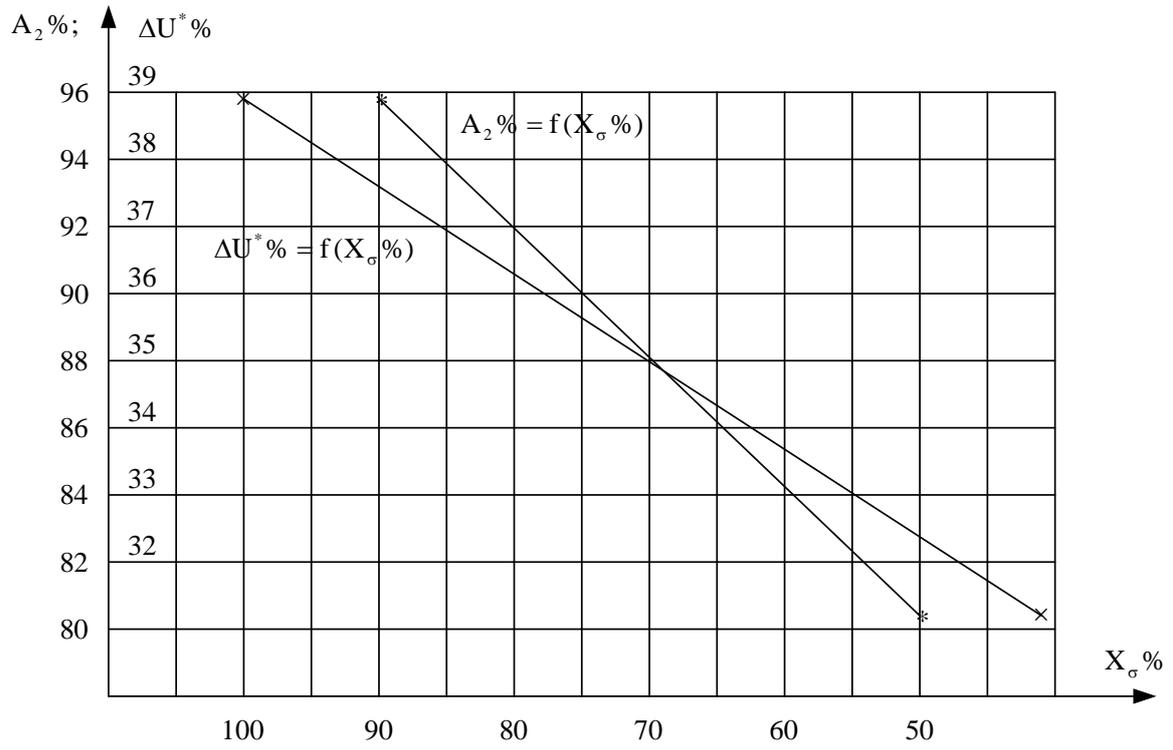
نقسّم طرفي الحد الأيسر من العلاقة السابقة على تيار التهيج الأساسي I_{fB} لنحصل على العلاقة الآتية:

$$\frac{I_{f1}^*}{I_{f2}^*} = \frac{A_1}{A_2} \quad (23)$$

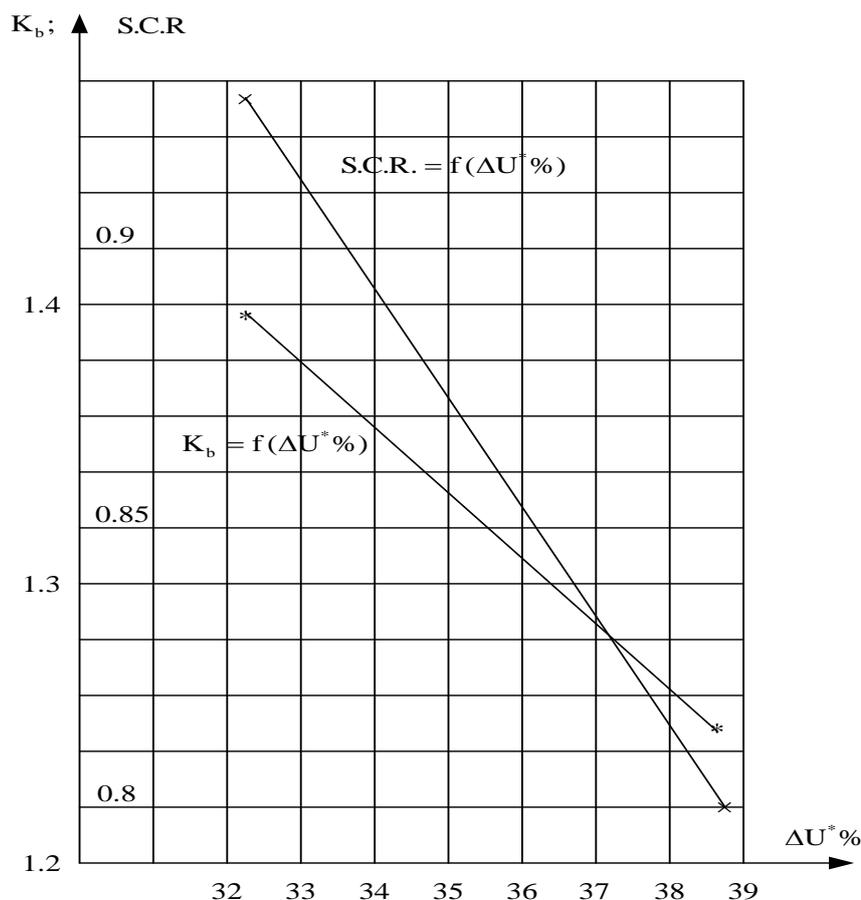
إذا عوضنا القيم السابقة الناتجة عن تحسين معامل تنظيم الجهد بمقدار 7% في العلاقة (23) نجد أن مقطع ناقل ملف التهيج A_2 بعد تحسين معامل التنظيم، يكتب بالعلاقة الآتية:

$$A_2 = A_1 \times \frac{I_{f2}^*}{I_{f1}^*} = A_1 \times \frac{2}{2.5} = 0.8 \times A_1 \quad (24)$$

تُشير العلاقة السابقة إلى أنه يتم انخفاض مقطع ناقل ملف التهيج بمقدار 20% للمولد المتواقت أسطواناني الدائر بنتيجة تحسين تنظيم الجهد النسبي المئوي بمقدار 7% .



الشكل (3) - منحنيات معامل تنظيم الجهد $\Delta U^* \%$ ومقطع ناقل ملف التهيج المنوي $A_2 \%$



الشكل (4)-منحنيات نسبة الدارة القصيرة S.C.R. ومعامل الاستقرار K_b

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- تم تخفيض فيض التسرب لملفات الثابت في المولد المتواقت أسطواني الدائر بعدة طرق على سبيل المثال: بطريقة وصل وشائع المجرى الواحد بدراتي توازٍ على الأقل وكلما ازدادت هذه الدارات بمقدار (a) مرة، كلما انخفض فيض التسرب بنفس المقدار وكذلك بطريقة تقليل عرض الوشاعة ومن ثم بتصغير خطوة اللف النسبية β .
- 2- تم حساب معامل تنظيم الجهد النسبي المئوي $\Delta U^* \%$ للمولد المتواقت أسطواني الدائر عند الإشباع المغناطيسي وفق الشكل (2) آخذاً بالاعتبار رد فعل المتحرض المتمثل بال (ق.م.ك.) E_a^* وكذلك مفاعلة التسرب النسبية X_σ^* التي تحدد ال (ق.م.ك.) تحت الحمل E_δ^* .
- 3- يتحسن معامل تنظيم الجهد النسبي المئوي $\Delta U^* \%$ للمولد المتواقت أسطواني الدائر (التقليل من قيمه) بطريقة تخفيض مفاعلة التسرب X_σ رغم الحفاظ على ثبات الثغرة الهوائية ومعطيات الخرج.
- 4- إن لتخفيض مفاعلة التسرب X_σ ملف الثابت للمولد المتواقت فوائد أخرى كارتفاع نسبة الدارة القصيرة S.C.R. للمولد وكذلك زيادة احتياطي الاستقرار وإمكانية التخفيض من حجم ملف التهيج. ومن ثم إمكانية التخفيض من حجم الآلة بشكل عام، مما ينعكس على التقليل من ثمنها وذلك عند عدم تغير معطيات الخرج للمولد المتواقت.

5- إيجاد علاقة رياضية ما بين تيارات التهيج النسبية المارة في ملف التهيج عند تحسين تنظيم الجهد للمولد المتواقت ومساحة ناقل هذا الملف وفقاً لأية حالة من حالات تنظيم الجهد.

6- تم كتابة مخطط انسيابي يلخص تسلسل عمليات حساب معامل تنظيم الجهد النسبي المئوي ΔU^* لمولد متواقت أسطواني الدائر بالمعطيات الآتية: $X_{\sigma} = 0.08$, $\cos\varphi_n = 0.8$, $P_n = 600\text{Kw}$, $U_n = 400\text{v}$ ، ثم بعد ذلك تم تحويل هذا المخطط إلى برنامج حاسوبي بلغة الماتلاب لإيجاد ورسم منحنى معامل تنظيم الجهد النسبي المئوي ΔU^* ومنحنى التغير المئوي لمقطع ملف التهيج A_2 بدلالة التغيرات المئوية لمفاعلة التسرب X_{σ} وكذلك منحنى نسبة الدارة القصيرة S.C.R. ومعامل الاستقرار K_b بدلالة تغيرات معامل تنظيم الجهد النسبي المئوي ΔU^* الأشكال (3,4).

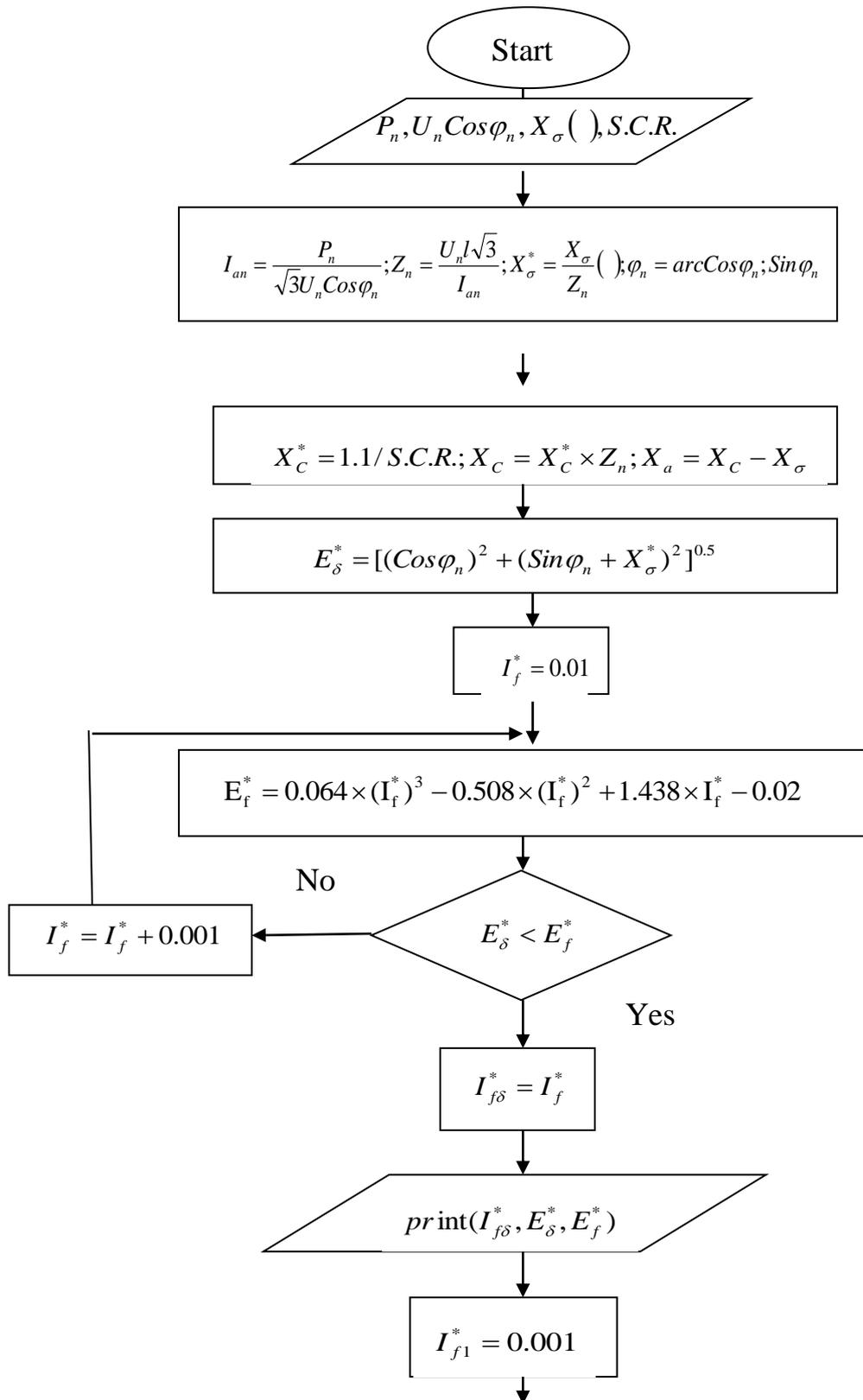
7- يُشير الشكل (3) إلى أن معامل تنظيم الجهد النسبي المئوي ΔU^* يكون ذا قيمة كبيرة نسبياً 39% عندما لا يحصل أي تخفيض على مفاعلة التسرب، أما عندما يحصل تخفيض على هذه المفاعلة بمقدار 50%، فإن معامل تنظيم الجهد النسبي المئوي يتحسن بمقدار 8%، كما أن مقطع ناقل ملف التهيج ينخفض بمقدار 5% عندما يحصل تخفيض على مفاعلة التسرب بمقدار 10%، أما عندما يحصل تخفيض على هذه المفاعلة بمقدار 50%، فإن مقطع ملف التهيج ينخفض بمقدار 20%.

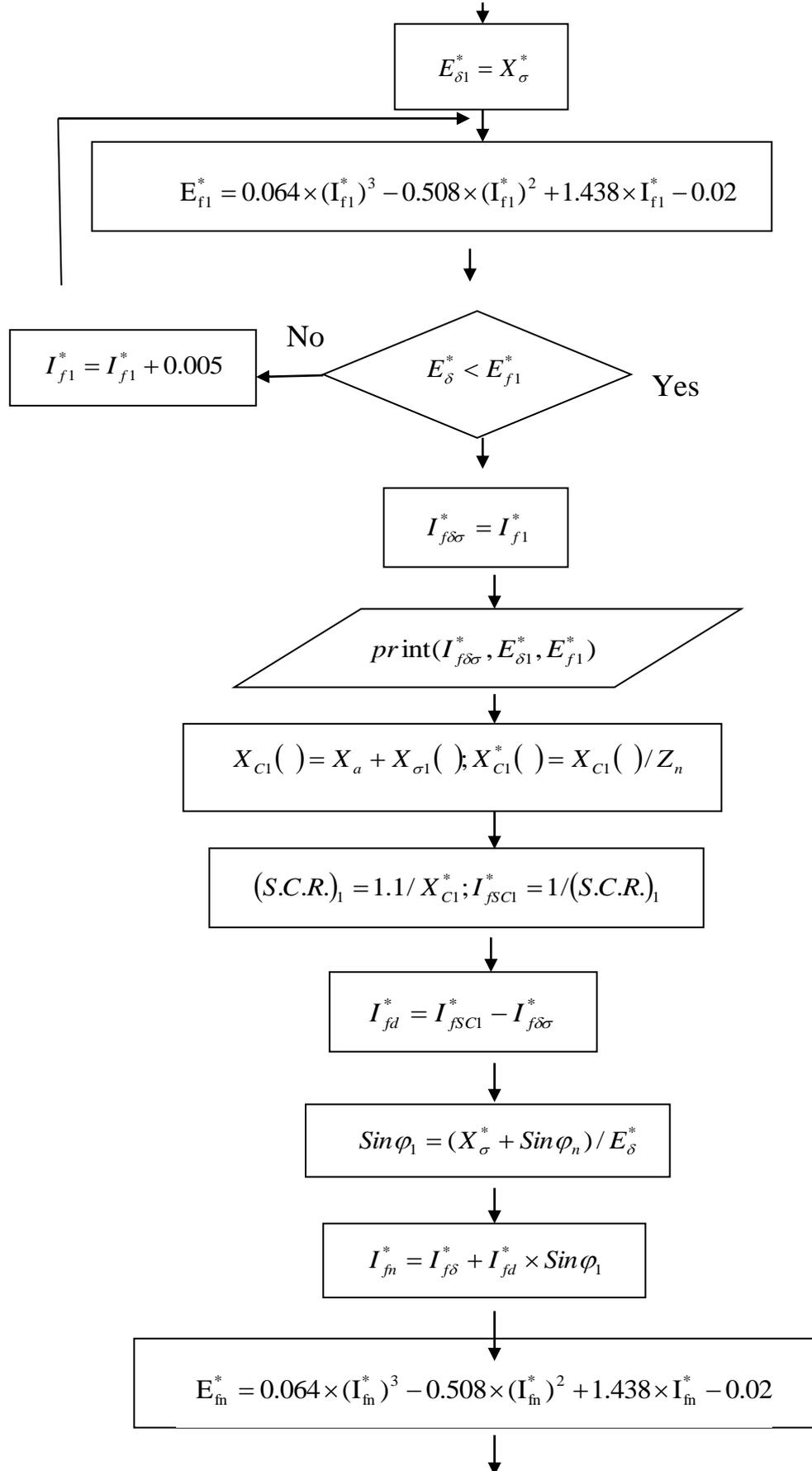
8- يوضح الشكل (4) إلى زيادة في نسبة الدارة القصيرة S.C.R. بمقدار 15% عند تحسين معامل تنظيم الجهد النسبي المئوي بمقدار 7%، بينما يرتفع احتياطي الاستقرار للمولد بمقدار 10% عند نفس التحسين بتنظيم الجهد.

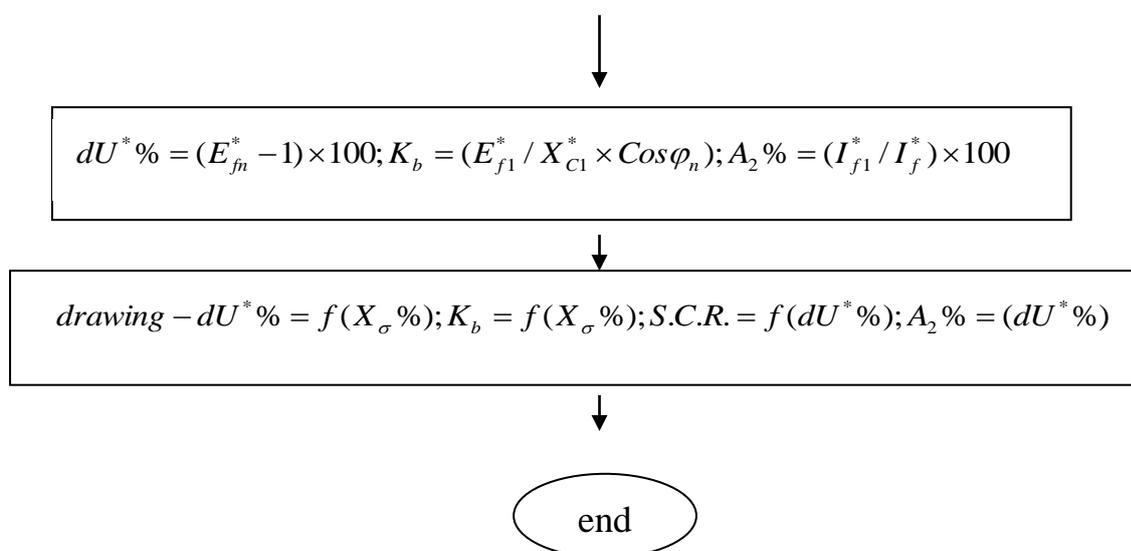
9- يستخدم البرنامج الحاسوبي في البحث للحصول على المنحنيات السابقة عند أية استطاعة للمولد المتواقت أسطواني الدائر، وذلك بعد معرفة قيمة مفاعلة التسرب X_{σ} للمولد قبل أي تحسين بتنظيم الجهد، ثم إجراء سلسلة من التخفيض على هذه المفاعلة للحصول على تحسينات لتنظيم الجهد متتالية.

10- نوصي بأن تُجرى دراسة مستقلة خاصة بالطرق العملية الواردة في البحث وغير الواردة أيضاً حول تخفيض مفاعلة التسرب X_{σ} لملف الثابت للمولدات المتواقتة، لما لهذه المفاعلة دور كبير في تحسين تنظيم الجهد النسبي المئوي ΔU^* لهذه المولدات وغيرها من الفوائد كما ورد أعلاه وذلك عند الحفاظ على ثبات الثغرة الهوائية ومعطيات الخرج.

ملحق بالمخطط الانسيابي للبحث







المراجع:

- [1]-VOLDEK,A.E. ,*Electrical machines* ,Ezdatelstva,Energy,Moscow,1974,840.
 [2]-KATSMAN,M.M., *Electrical machines* ,9-e , EzdatelskytenterAkademea ,Moscow,2008,496.
 [3]-IVANOV-SMALENSKY,A.B., *Electrical machines*,Vol.1, Ezdatelsky Dom, Mei,Moscow,2006,642.
 [4]-IVANOV-SMALENSKY,A.B., *Electrical machines*,Vol.2, Ezdatelsky Dom, Mei,Moscow,2006,525.
 [5]-TOKEROF,B.V.,*Electrical machines* ,Energoatomazdat, Moscow,1990,624.
 [6]-جبور، الياس؛جازي،علي، الآلات التزامنية، منشورات جامعة دمشق، 2009، 532.
 [7]-TIN,W.M.;MYO,M.A., *Simulation of Synchronous Machine in Stability Study for Power System*, Word Academy of Science ,Engineering and Technology,39,2008,128-133.
 [8]-DALLIRROOY FARD,R.;KARRARI,O.P.;MALIK, *Synchronous Generator Model Identification Using Volterra Series*, IEEE,PES-GeneralMeeting,June,2004, 2, 1344-1349.