مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (3) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (3) 2011

نمذجة الضياعات في أمراس حماية خطوط نقل الطاقة الكهربائية

الدكتور جورج اسبر*
الدكتور فيصل شعبان**

(تاريخ الإيداع 12 / 4 / 2011. قُبِل للنشر في 20/ 6 / 2011)

□ ملخّص □

في أثناء تصميم خطوط نقل الطاقة الكهربائية ذات التوتر الاسمي (66-220-400) ك.ف، وجد أن تأريض أسلاك (أمراس) الحماية المتكرر والمباشر، يمكن أن يسبب ضياعات كبيرة في الطاقة الكهربائية، حيث تنشأ هذه الضياعات نتيجة ظهور تيارات في الدارات المغلقة لنظام (أمراس – أبراج) تسببها تأثير القوة المحركة الكهربائية، الداخلة إلى الأمراس بطريقة الحث الكهرومغناطيسية.

تم وضع النموذج الرياضي لحساب الطاقة الكهربائية الضائعة في أمراس الحماية بالإضافة إلى إنجاز برنامج حاسوبي بلغة $C^{\#}$ (C-sharp).

تم اعتماد طريقة لتأريض أمراس الحماية ثنائية الدارة. تنص هذه الطريقة على أن أحد مَرسيّ الحماية يؤرض بشكل متقطع، أما المرس الآخر فيؤرض على كل برج، وهذا سيؤدي إلى تخريب الدارة الكهربائية المتشكلة بين مَرسيّ الحماية أو بين مَرسيّ الحماية والأرض، مما سيساعد على تخفيض الضياعات الكهربائية الناتجة عن أمراس الحماية لعدة مرات.

الكلمات المفتاحية: الضياعات الكهربائية، أمراس الحماية، النمذجة الرياضية.

* **أستاذ – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**
** **أستاذ مساعد – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (3) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (3) 2011

Modeling Losses of Wires Protection Lines of The Electric Power

Dr. George Isber*
Dr. Faesal Shaapan**

(Received 12 / 4 / 2011. Accepted 20 / 6 / 2011)

□ ABSTRACT □

During the design of electric power Transmission line nominal voltage (66-220-400 k.v.), we found that the earthing protection wires could produce high loss in the power electricity, due to the currents formed by the electromotive forces Connected to those protection leads formed by the electromagnetic induction.

A mathematical model and its Solution have been adopted to calculate that power loss. We also adopted a new method for earthing the wire protection to reduce that loss as much as possible.

Key word: electrical loses, wires protection, mathematical modeling

*Professor, Department of Electric Power, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria
**Assistant Professor, Department of Electric Power, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

مقدمة:

حتى وقت قريب كان يتم تأريض أسلاك (أمراس) حماية شبكات نقل الطاقة الكهربائية لمختلف التوترات الاسمية، بشكل فعّال (مباشر إلى الأرض) في كل برج.

في أثناء تصميم خطوط نقل الطاقة الكهربائية ذات التوتر الاسمي 400 ك.ف. وجد أن، تأريض أمراس الحماية المتكرر، يسبب ضياعات كبيرة في الطاقة الكهربائية. تنشأ هذه الضياعات نتيجة ظهور تيارات في الدارات المغلقة لنظام (أمراس–أبراج) يُسببها تأثير القوة المحركة الكهربائية، الداخلة إلى الأمراس بطريقة الحث الكهرومغناطيسية [1].

إن أكثر أنظمة الحماية انتشاراً هو النظام الذي يستخدم الأمراس فوق الأبراج المعدنية، والذي يشكل دارة من خلال جسم البرج، حيث التيارات في الأمراس تكون أعظمية. أما في حالة تعليق مرس حماية مفرد فإن التيار يكون أقل بكثير نتيجة لكون الدارة مغلقة بين مرس الحماية والأرض.

وهكذا نرى أن هناك كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية تضيع، لذا يجب وضع الحلول اللازمة للتخفيف من ذلك. وهذا بحد ذاته يعد ترشيداً للطاقة الكهربائية مما يكسب البحث أهمية كبيرة.

دلت الدراسات خلال السنوات الأخيرة التي جرت في بلدان عديدة في هذا المجال أن أمراس الحماية يستخدم في مجالات أخرى، بالإضافة للحماية من الضربات الصاعقية، كنواقل للتيار الذي يغذي مستهلكين ذوي استطاعات صغيرة، بالإضافة إلى تغذية المحركات الكهربائية عند القيام بأعمال الصيانة والإصلاح على الخطوط الكهربائية. ولإذابة الجليد، وهناك خاصية مهمّة وهي استخدام أمراس الحماية للاتصالات وبالأخص في أثناء فترة تركيب خطوط نقل الطاقة الكهربائية. لذلك نشأت ضرورة لعزل خطوط الحماية (أمراس الحماية) عن الأرض، لأن العزل يسهل القيام بالإصلاحات على الخطوط ويسهل إجراء قياسات مقاومة الأرضي للأبراج[1].

من هنا واضح أن عزل أمراس الحماية مناسب، ليس فقط من ناحية تخفيف الضياعات في خطوط نقل الطاقة الكهربائية، بل من ناحية تزويد المستهلكين بالطاقة الكهربائية عند الإصلاح الدوري لخطوط النقل الكهربائية.

أهمية البحث وأهدافه:

إن شروط استخدام أمراس الحماية المعزولة هي في إبقاء درجة الحماية نفسها كما لو أن هذه الأسلاك مؤرضة لذلك تؤرض الحماية من خلال ثغرات هوائية.

أكدت نتائج البحث في هذا المجال، ونتائج الدراسة على خطوط النقل الكهربائية (400 ك.ف) ذات الأمراس المعزولة الاقتراح القائل إن عزل الأمراس من خلال ثغرات هوائية لا يؤثر في درجة الحماية لهذه الأمراس بالمقارنة مع حالة تأريض تلك الأمراس بشكل مباشر إلى الأرض[1].

لقد أجرينا دراسة نظرية بواسطة الحاسوب، تم على أساسها حساب الضياعات الكهربائية، بالإضافة إلى التأكد من فعالية الطريقة المقترحة على التوتر 400 ك.ف، أما بالنسبة للتوترات 220 ك.ف و66 ك.ف فإن فعالية الطريقة المقترحة ستكون أقل، كذلك اقترحنا تعليق أمراس الحماية فوق خطوط النقل الكهربائية بواسطة عوازل، وهذه الأمراس يجب أن تكون متصلة مع الناقل الأرضي بواسطة ثغرات هوائية أطوالها مابين 35–50 مم.

طرائق البحث ومواده:

تم استخدام النمذجة الرياضية لحساب الضياعات الكهربائية الإضافية الناتجة من أمراس حماية خطوط نقل القدرة الكهربائية في حالة وجود مرس حماية مفرد أو أكثر، بالإضافة إلى برمجة المعادلات الرياضية بواسطة برنامج $C^{\#}$ (C-Sharp).

لقد انتشر نظام أمراس الحماية المعزولة قليلاً في بعض أجزاء الشبكة ويستخدم بشكل خاص في المنشآت التي تحتاج إلى استطاعة سعوية، أو لأجل تغذية دارات الحماية، أما في بقية أجزاء الشبكة الأخرى فيؤرض فيها سلك الحماية مباشرة، أو عن طريق ثغرة هوائية.

إذا كانت خطوط نقل الطاقة الكهربائية مزودة بمَرَسَي حماية، مؤرضّيْن عند كل برج. فإنه ينشأ على طول كل خطوة تبديل الأطوار دارة مغلقة لأمراس الحماية، حيث تؤدي التيارات السارية في هذه الدارة إلى نشوء ضياعات إضافية في الطاقة الكهربائية، وتزداد هذه الضياعات نتيجة لوجود التيارات في الدارة المغلقة الحاصلة بين الأبراج ونواقل التأريض. مثال: تبين أن شبكة كهربائية ثنائية الدارة توترها 400 ك.ف، وطولها 1000 كم وحملها 1100 ميغاوات لكلتا الدارتين، إن القوة المحركة الكهربائية التي تؤثر بها خطوط النقل في أمراس الحماية تصل إلى 52 فولت/كم، وتصل قيمة التيار في كل من مَرَسَي الحماية إلى 27 أمبيراً، ويبلغ ضياع الاستطاعة الفعلية في الأمراس المصنوعة من الفولاذ ذات المقطع 70 مم^2 حوالي 3 ميغاوات في كلتا الدارتين. وضياع الطاقة الكهربائية يصل إلى حوالي 10 مليون كيلوات ساعة في السنة عند قيمة τ (عدد زمن الضياع) تساوي إلى1600 ساعة[1].

أما في خطوط 220 ك.ف وبطول 360 كم وباستطاعة نقل 350 ميغاوات في كلتا الدارتين، فإن ضياع الاستطاعة في الأمراس يصل إلى 380 كيلوات، وضياع الطاقة في السنة حوالي1.8 مليون كيلوات ساعة [1]. لو عزلت الأمراس في تلك الخطوط لأعطيت نتائج اقتصادية واضحة في تخفيض الطاقة الكهربائية الضائعة. إذا اعتبرنا أن كلفة الكيلوات ساعي حسب التعرفة السورية تساوي إلى 4 ل.س، فإن قيمة الطاقة الضائعة في الحالة الأولى تساوي إلى 40 مليون ليرة سورية، وفي الحالة الثانية 7.2 مليون ليرة سورية.

أما في خطوط نقل الطاقة الكهربائية ذات التواترات المتوسطة فإن فعالية عزل أمراس الحماية إن وجدت فهي قليلة، وهذا ناتج عن كون أطوال خطوط النقل قصيرة، والتيارات المارة في الأمراس صغيرة، وبالتالي تكون الضياعات قليلة جداً يمكن إهمالها.

جرى الاهتمام في هذا العمل ببرمجة العلاقات الرياضية، والتي بواسطتها تم حساب القدرة الكهربائية والطاقة الضائعة في أمراس الحماية عند حالات مختلفة، بالإضافة إلى إجراء مقارنة تأثير التوترات المختلفة 400 ك.ف، 220 ك.ف و66 ك.ف في قيمة الضياعات الناتجة عن أمراس الحماية.

النتائج والمناقشة:

1- النموذج الرياضي لحساب الطاقة الكهربائية الضائعة في دارة الحماية (عروة الحماية):

إذا كانت التيارات في خطوط النقل الكهربائي تشكل نظام التتابع المباشر I_p فعند التردد50 هرتز تحسب القوة المحركة الكهربائية في أمراس الحماية بالعلاقة الآتية:

$$\dot{E}_T = \dot{j}.0.145\sum_{p=1}^{z}\dot{I}_p \lg\frac{D_{pt}}{D_z}, \qquad (1)$$

حيث:

D_{pT}: المسافة بين كل طور p ومرس الحماية T،

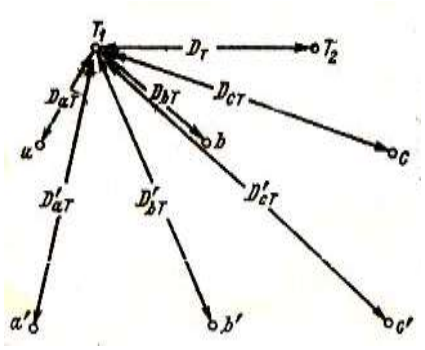
D_z: مسافة مرور تيار الرجوع المكافئ إلى الأرض،

I_p: تيار الطور، حيث إن:

$$\dot{I}_a = \dot{a}\dot{I}_b = \dot{a}^2\dot{I}_c \qquad (2)$$

وبالتالي، فإن القوة المحركة الكهربائية المتشكلة في مرس الحماية T_1 شكل (1) تحسب بالعلاقة الآتية:

$$\dot{E}_T = j.0.145\dot{I}_a\left(\dot{a}^2\lg\frac{D_{bT}}{D_{aT}} + \dot{a}\lg\frac{D_{cT}}{D_{aT}}\right), \qquad (3)$$



شكل (1): توضع النواقل على البرج المزود بمَرَسي حماية.

وفي المرس الثاني T_2

$$\dot{E}'_T = j.0.145\dot{I}_a\left(\dot{a}^2\lg\frac{D_{bT}}{D_{aT}} + a\lg\frac{D_{cT}}{D_{aT}}\right), \qquad (4)$$

حيث:

I_a: تيار ناقل الطور a،

D_{aT}: المسافة بين ناقل الطور a ومرس الحماية ،

D_{bT}: المسافة بين ناقل الطور b ومرس الحماية،

D_{cT}: المسافة بين ناقل الطور c ومرس الحماية.

عندئذٍ نفترض، أن مرسَ الحماية والنواقل متوضعان على البرج بشكل متناظر بالنسبة للمحور العمودي.

إذا كانت الأمراس مؤرضة عند كل برج فإن القوة المحركة الكهربائية على طول خطوة تبادل الأطوار ستؤثر في الدارة نظام (:أمراس – أبراج) وتولد في الأمراس والأبراج وفي الأرض تيارات تحريضية.

نحسب أكبر قيمة ضياع في الطاقة الكهربائية ناتجة عن التيارات الموجودة في دارة الأمراس (الدارة المتشكلة من مَرَسَي الحماية) من العلاقة الآتية:

$$\dot{I}_T = \frac{\dot{E}_T - \dot{E}'_T}{2\dot{Z}_T}, \qquad (5)$$

حيث:

$\dot{Z}_T$: ممانعة مرس الحماية.

$$\dot{Z}_T = r_T + j0.145 \lg \frac{D_T}{\rho_T}, \qquad (6)$$

حيث:

D_T: المسافة بين الأمراس،

ρ_T: نصف القطر المكافئ للمقطع العرضاني لمرس الحماية.

نحسب ضياع الاستطاعة الفعلية على طول 1 كم من العروة (الدارة المتشكلة):[1]

$$\Delta P_T = -\mathrm{Re}\left(\hat{E}_T - \hat{E}_T\right)\dot{I}_T = 1.5\left(0.145 I_a \lg \frac{D_{cT}}{D_{aT}}\right)^2 g, \qquad (7)$$

حيث:

$$g = \frac{r_T}{r_T^2 + \left(0.145 \lg \frac{D_T}{\rho_T}\right)^2},$$

وبشكل تقريبي نحسب ضياع الطاقة الكهربائية في أمراس الحماية لشبكة ثنائية النواقل.

$$\Delta A = 2\Delta P_T \ell \tau, \qquad (8)$$

حيث:

τ: زمن الضياع لأجل منحني الحمل للشبكة، ساعة؛

ℓ : طول الشبكة، كم.

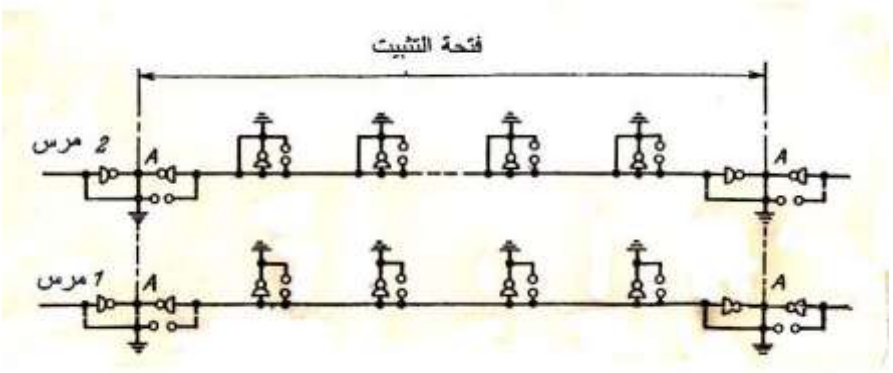
وبالنهاية نحصل على علاقة عامة لحساب ضياع الطاقة في مرس الحماية:

$$\Delta A_t = \frac{3\left(0.145 I \lg \frac{D_{cT}}{D_{aT}}\right)^2 r_T \tau \ell}{r_T^2 + \left(0.145 \lg \frac{D_T}{\rho_T}\right)^2} \quad . \qquad (9)$$

حيث:

I:تيار الحمل لدارة خط واحد، A.

إذا كان أحد الأمراس (مرس 1 شكل 2) معزولاً بالكامل أو مقسماً إلى عدة أجزاء، ضمن فتحة التثبيت، عند ذلك ينشأ تيار في مرس واحد فقط وينغلق خلال الأرض. ومع أن طول خطوة تبديل الأطوار في شبكات التوتر العالي كبيرة نوعاً ما عندئذٍ يمكن عدم الأخذ بالحسبان ظهور التيارات في نهايات الأجزاء، لذلك يمكن اعتبار النظام مؤرضاً (أمراس – أبراج) ويشكل خطاً وحيداً (مرس – أرض). إن استخدام هذا النظام يؤدي إلى تخفيض في ضياعات الطاقة الكهربائية الإضافية الناتجة عن الأمراس بمقدار 1.8 مرة[4,1].



شكل (2): منظر لدارة الحماية تركيب مرس الحماية بين برجي تثبيت.

2- حساب الطاقة الكهربائية الضائعة في دارة (عروة) "ناقل-أرض":

إن مقاومة الخط "أمراس-أرض" على طول خطوة تبديل الأطوار أكبر بكثير من مقاومة الانتشار لأوتاد التأريض للأبراج في النهايات، بحيث يمكن اعتبار العروة "أمراس-أبراج" مغلقة في نهاياتها، عندئذٍ تحسب قيمة القوة المحركة الكهربائية كما يلي:

$$\dot{E}_э = \dot{E}_T - \dot{I}_T \dot{Z}_{Tz} = \dot{E}'_T + \dot{I}_T \dot{Z}_{Tz} = \frac{\dot{E}_T + \dot{E}'_T}{2} \qquad (10)$$

وقيمة ممانعة أمراس-أرض":

$$Z_{T_z} = \frac{r_T}{2} + 0.05 + j.0.145 \lg \frac{D_z}{\rho_{eq}}, \qquad (11)$$

حيث:

$$\rho_{eq} = \sqrt{\rho_T D_T}.$$

التيار في العروة:

$$\dot{I}_p = \frac{\dot{E}_{eq}}{Z_{T\cdot z}}$$

ومنها قيمة الاستطاعة الفعلية الضائعة في 1كم من الخط:

$$\Delta P_p = -\mathrm{Re}\,\hat{\dot{E}}_{eq}\dot{I}_p \qquad (12)$$

نحسب ضياع الطاقة الإضافية:

$$\Delta A_p = 2\Delta P_p \tau\ell = 2\left(0.145\frac{I}{2}\lg\frac{D^2{}_{bT}}{D_{aT}D_{cT}}\right)^2 \times \frac{(0.5r_T + 0.05)\tau\ell}{(0.5r_T + 0.05)^2 + \left(0.145\lg\frac{D_z}{\rho_{eq}}\right)^2}. \qquad (13)$$

إذا كانت خطوط النقل تملك مرس حماية وحيد ومؤرض بشكل متتالٍ، فإن:

$$\Delta A'_p = 2\left(0.145 I \lg\frac{D_{cT}}{D_{aT}}\right)^2 \frac{(r_T + 0.05)\tau\ell}{(r_T + 0.05)^2 + \left(0.145\lg\frac{D_z}{\rho_T}\right)^2}. \qquad (14)$$

إن التخفيض في ضياع الطاقة الكهربائية يمكن تحقيقه بطريقة تقسيم المرس الثاني إلى أجزاء، وبعدها تأريض بداية فتحة التثبيت ونهايتها [2].

إذا كان قسم من مرس الحماية مؤرض عند كل برج تثبيت ولا يملك اتصالاً كهربائياً بالمرس الآخر، عند ذلك، ولأجل إيجاد الضياع في الطاقة الكهربائية من الضروري الأخذ بالحسبان تسرب التيار في الدارة (أمراس – أبراج).

لنفرض أن مرس الحماية المؤرض بشكل متتالٍ يملك n فتحة استقامة، أي أنه يؤرض بعد كل (n+1) برج، مع أن مقاومة تسرب التيار لأجل كل مؤرضات الأبراج، واحدة ومساوية إلى R. وبالتالي تحسب ممانعة العروة (مرس – أرض) لأجل كل فتحة استقامة كما يلي:

$$Z_{p.T} = \dot{Z}_{T.z}\ell_T, \qquad (15)$$

حيث: ℓ_T طول فتحة الاستقامة.

يمكن حساب قيمة التيار في أي قسم من مرس الحماية بين الأبراج K و K+1:

$$\dot{I}_{K,K+1} = -\dot{I}_{n-K-1,n-K} = \frac{E_T}{\dot{Z}_T}\left(1 - B\frac{A^{K-n} + A^{-K}}{1-B}\right), \qquad (16)$$

حيث:

$$A = \frac{\dot{Z}^2}{R\dot{Z}_{pT}}, \qquad (17)$$

وهو عامل تخفيض التوتر على كل برج حتى آخر نقطة في الدارة.

$$Z = -\frac{\dot{Z}_{pT}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\dot{Z}_{pT}}{2}\right)^2 + \dot{Z}_{pT}R}, \qquad (18)$$

$$B = \frac{Z}{\widehat{Z}_{pT}}A^n\left(1-\dot{A}\right), \qquad (19)$$

وهي نسبة الممانعات في نهايات الدارة (العروة).

نحسب ضياع الاستطاعة الفعلية في العروة المدروسة:

$$\Delta P = \sum_{K=0}^{n-1}\Delta P_{K,K+1} = E_T^2\,\mathrm{Re}\frac{1}{Z_{p.T}}\left(n - 2\dot{B}\frac{\sum_{K=0}^{n-1}A^{K-n}}{1-\dot{B}}\right) = \qquad (20)$$

$$= E_T^2\,\mathrm{Re}\frac{1}{\dot{Z}_{p.T}}\left[n - \frac{2\dot{B}\left(1-A^{-n}\right)}{\left(1-B\right)\left(1-A^{-1}\right)A}\right].$$

ضياع الطاقة في الدارة المزدوجة:

$$\Delta\dot{A} = 2\Delta P\tau N = 2E_T^2\tau N\,\mathrm{Re}\frac{1}{\dot{Z}_{p.T}}\left[n - \frac{2B\left(1-\dot{A}^{-n}\right)}{\left(1-B\right)\left(1-A^{-1}\right)\dot{A}}\right], \qquad (21)$$

حيث:

N: عدد فتحات التثبيت لدارة خط واحدة وبشكل تقريبي:

$$N = \frac{\ell}{\ell_a}, \qquad (22)$$

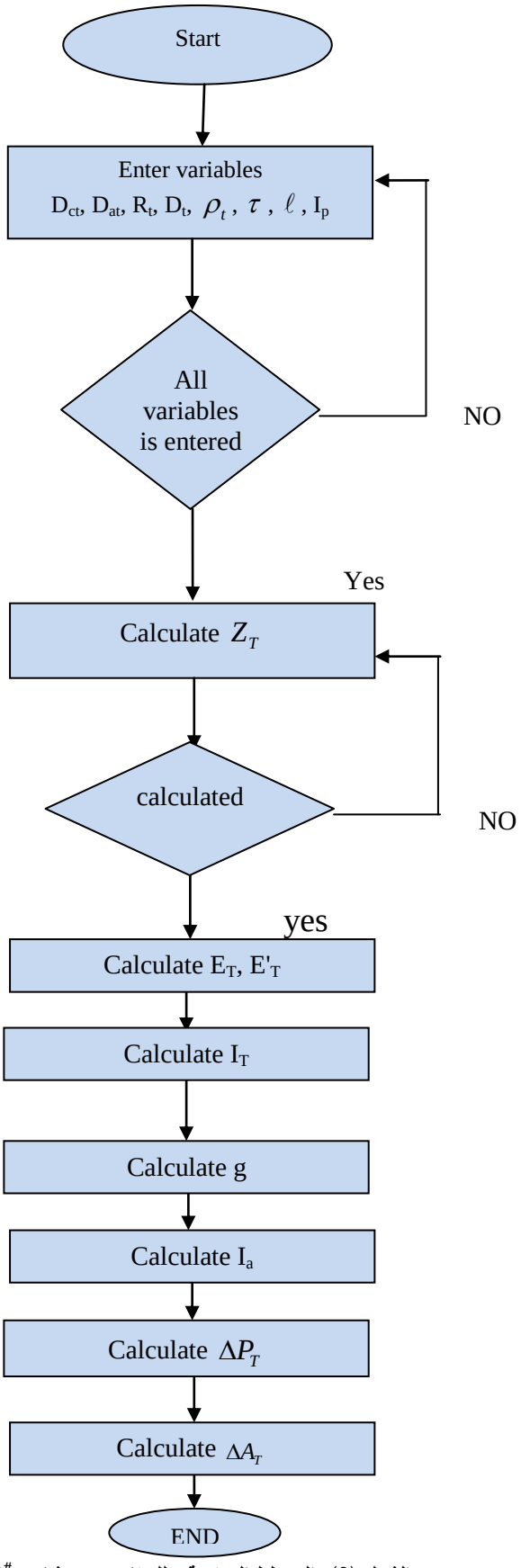
حيث: ℓ_a : طول فتحة التثبيت (كم).

إن هذه الطريقة المقترحة لنظام تأريض مرس الحماية تؤدي إلى خفض الضياعات في الطاقة الكهربائية بمقدار كبير مقارنة بحالة التأريض المتكرر لكلتا دارتي الحماية.

جدول (1) نتائج حساب ضياعات الاستطاعة الفعلية والطاقة الكهربائية حسب التوتر الاسمي

نظام تأريض الأمراس	التوتر الاسمي للخط ك.ف	طول الخط كم	طول فتحة التثبيت كم	ضياع الاستطاعة الفعلية في كلتي الدارتين ميغاوات	ضياع الطاقة الكهربائية في كلتي الدارتين مليون كيلوات ساعي
نظام التأريض متكرر لمرسي الحماية على طول خطوط نقل القدرة الكهربائية	400	670	–	2.6	8.78
	220	237	–	0.32	1.024
	66	95	–	0.11	0.35
نظام التأريض متكرر لمرس حماية واحد والآخر معزول على طول خط نقل القدرة الكهربائية	400	670	–	1.45	4.64
	220	237	–	0.23	0.825
	66	95	–	0.17	0.544
نظام التأريض متكرر لمرس حماية واحد في كل برج تثبيت	400	670	5	0.55	1.76
			10	0.91	2.91
			20	1.1	3.52
	220	237	5	0.21	0.672
			10	0.34	1.25
			20	0.45	1.44
	66	95	5	0.095	0.31
			10	0.15	0.48

لقد تم الحصول على النتائج الموضحة في الجدول (1) يدوياً، وبواسطة برنامج حاسوبي بلغة سي شارب C# حيث يوضح الشكل (2) المخطط الصندوقي للبرنامج. لقد تبين أن الضياعات الكهربائية الإضافية في الشبكة الكهربائية، والناتجة عن التحريض المتبادل بين الخطوط والأمراس، تكون أكبر ما يمكن عندما يكون التأريض متكرراً لمرسي الحماية على طول خطوط نقل القدرة الكهربائية، وأقل قيمة عندما يكون التأريضُ لمرس حماية واحداً في كل برج تثبيت والمرس الآخر غير مؤرض، أو مؤرض عن طريق شرر، وبالإضافة إلى ذلك تلعب طول فتحة التثبيت دوراً في كمية الضياعات فهي تقل كلما كانت طول الفتحة أقل.



الشكل (2): المخطط الصندوقي للبرنامج سي شارب C#

إذا كان مرس الحماية معزولاً بالكامل، فإن عازليته يجب أن تختار على أساس أكبر قيمة لتوتر العمل، الذي يمكن أن يظهر على مرس الحماية في أثناء استثمار خطوط نقل القدرة الكهربائية. يمكن إيجاد التوتر على أمراس الحماية، إذا اعتبرنا خطوط الرجوع وهمية ومنعكسة عن الخطوط الفعلية وبالتوتر نفسه مع إشارة معاكسة. عندئذٍ ولأجل كل دارة خط، ينشأ نظام مؤلف من ستة نواقل، مع توتر بالنسبة للأرض في الحقل الناشئ حيث يوجد مرس الحماية المعني شكل (1).

نوجد الشحنات $\dot{q}_c, \dot{q}_b, \dot{q}_a$ على الخطوط من معادلات ماكسويل الست، وفي حالة كون النظام متناظراً بالنسبة لتوتر التتابع المباشر، ومتناظراً بالنسبة لتوضع النواقل على البرج. في هذه الحالة يمكن تصور نظام المعادلات بالشكل الآتي:

$$\left.\begin{aligned} \dot{U}_a &= \dot{g}_a h_1 + \dot{g}_b h_2 + \dot{g}_c h_3; \\ a^2 \dot{U}_a &= \dot{g}_a h_2 + \dot{g}_b h_1 + \dot{g}_c h_2; \\ \dot{a}\dot{U}_a &= \dot{g}_a h_3 + \dot{g}_b h_2 + \dot{g}_c h_1; \end{aligned}\right\} \quad , \qquad (23)$$

حيث:

$$h_1 = \ell g \frac{2H}{\rho_э}; \dot{g}_a = -\frac{\dot{q}_a}{\varepsilon_0 . 2\pi};$$
$$h_2 = \ell g \frac{D_1}{D}; \dot{g}_b = -\frac{\dot{q}_b}{\varepsilon_0 . 2\pi};$$
$$h_3 = \ell g \frac{D_2}{2D}; \dot{g}_c = -\frac{\dot{q}_c}{\varepsilon_0 . 2\pi}.$$

نحل المعادلة (23) نحصل على:

$$\dot{g}_a = \dot{U}_a \frac{\dot{h}'}{h}; \dot{g}_b = \dot{U}_a \frac{\dot{h}''}{h}; \dot{g}_c = \dot{U}_a \frac{\dot{h}'''}{h}, \qquad (24)$$

حيث:

$$h = \begin{vmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_2 & h_1 & h_2 \\ h_3 & h_2 & h_1 \end{vmatrix}; \quad h' = \begin{vmatrix} 1 & h_2 & h_3 \\ \dot{a}^2 & h_1 & h_2 \\ \dot{a} & h_2 & h_1 \end{vmatrix};$$
$$h'' = \begin{vmatrix} h_1 & 1 & h_3 \\ h_2 & \dot{a}^2 & h_2 \\ h_3 & a & h_1 \end{vmatrix}; \quad h''' = \begin{vmatrix} h_1 & h_2 & 1 \\ h_2 & h_1 & \dot{a}^2 \\ h_3 & h_2 & \dot{a} \end{vmatrix}$$

يمكن إيجاد التوتر على مرس الحماية المتوضع أعلى خطوط النقل بالنسبة إلى الأرض.

$$\dot{U}_T = \sum_{K=a}^{c} \dot{g}_k \lg \frac{D'_{KT}}{D_{KT}}. \qquad (25)$$

يتعلق التوتر على المرس في النظام غير كامل الأطوار بحالة الطور المقطوع. فإذا كان الطور معزولاً، فإنه في البداية يجب إيجاد التوتر الوسطي، الذي ينشأ في هذا الناقل على طول الخط أو على طول خطوة تبديل الأطوار، وبعد ذلك نستخدم المعادلات، لإيجاد قيم $\dot{g}_a, \dot{g}_b, \dot{g}_c$. فإذا كان الناقل مؤرضاً (متصلاً مع الأرض)، فإن التوتر على

الناقل يمكن أن يساوي الصفر. بالإضافة إلى ذلك يجب أن تختبر عازلية مرس الحماية على شروط زيادة التوتر، الناتجة عن القوة المحركة الكهربائية الطولانية، والتي بدورها تؤدي إلى ظهور تيارات القصر.

إن أكبر قيمة للقوة المحركة الكهربائية التي يتلقاها مرس الحماية، ناتجة من عدم تناظر التيارات المتسربة إلى الأرض.

نوجد العلاقة الحسابية لأجل نظام العمل عند حدوث دارة قصر أحادية.

$$\dot{E} = j0.145 \lg^3 \frac{D_{aT}}{D_z}. \qquad (26)$$

إن هذه العلاقة صحيحة لكل أقسام مرس الحماية.

إن أكبر توتر من خلال السعات على طول خطوة واحدة لتبديل الأطوار يمكن حسابه على مثال: في حالة العمل الطبيعي لخط نقل 400 ك.ف، فإن التوتر على الأمراس يعادل 31 ك.ف، ولأجل خط 220 ك.ف، فإن التوتر يصل إلى 9 ك.ف[4].

ونظراً لوجود توترات كبيرة على مرس حماية خطوط النقل الكهربائية 400 ك.ف، مما يصعب عملية الاستثمار، لذلك لابد من تأريض المرس في نقاط محددة.

تبلغ قيمة محصلة القوة الكهربائية لخط النقل 400 ك.ف. وعلى طول خطوة تبديل الأطوار بطولها 250 كم، وعند تيار حمل 500 أمبير حوالي 45 ك.ف. عند ذلك من الضروري تزويد مرس الحماية بثغرة هوائية بحيث تؤمن في الحالة الطبيعية عزل المرس وفي حالة الإصابة بالانفراغات الجوية تعمل على تسريب الشحنة إلى الأرض[4].

بينت الدراسات العالمية أن قيمة القوة المحركة الكهربائية لخط نقل الطاقة الكهبائية 400 ك.ف، حيث مرس الحماية مؤرض كل 10 كم صغيرة وغير كافية لتوليد توتر في مرس الحماية بالنسبة للأرض قيمته أكثر من 1 ك.ف، لذلك يمكن تعليق مرس الحماية على سلسلة عازلة مؤلفة من عازل واحد مزود بثغرة هوائية طولها 40 مم [4].

الاستنتاجات والتوصيات:

فقد بينت الدراسة على شبكات كهربائية ثنائية الدارة ذات توترات 400 ك.ف و220 ك.ف و66 ك.ف مزودة بمرسي حماية، أن عدم التأريض المتكرر لأحد مَرسي الحماية ضمن فتحة التثبيت وإبقاء الآخر مؤرضاً بشكل متكرر في الأبراج ضمن فتحة التثبيت من أفضل الطرق، لأنه يخفض من الضياع الإضافي في الطاقة الكهربائية، كما هو مبين في الجدول (1)، كما بينا من الدراسة أن الطريقة المقترحة غير فعالة بالنسبة للتوترات الأقل من 220 ك.ف. لذلك نقترح تطبيق هذه النتيجة على شبكات التوتر العالي 400 و220 ك.ف في القطر العربي السوري.

المراجع:

[1]- MELNIKOV, H.A.; ROKATIAN, C.C. SHEREHTSIS A.N. *Proektirovanie Electrichickie tshast Vazdushnikh Linie Electroperedatchi 330-500 kv*. A.H. Energia, Mockva, Novaya izdatelstva 1996, 472.

[2]- VENIKOV, B.A. *Electrichichie systemi. Matinatitcheckie Zadatchi Electroenergetiki*. Mockva, 1999, 306.

[3]- VENIKOV, B.A. *Perekhodnie protsesi V Electritcheskikh system*. Moskva, 1995, 486.

[4]- ZABALOTNI, I.P. – *DTU Donetsk. Vliynie Trosof Na Potiri Mochnasti*. V Liniakh Electroperedach, 2005, 221.