دراسة الفولتية العالية المتولدة في خطوط نقل الطاقة الكهربائية عند حدوث العطل ألآرضي[+]

A STUDY ON HIGH VOLTAGE GENERATED IN TRANSMISSION LINE DUE TO EARTH FAILURE

مهدي فرحان بنيه [*]

المستخلص

تم في هذا البحث دراسة الفولتية العالية المتولدة في خطوط النقل الهوائية ذات الجهد الفائق وخاصة بسبب العطل ألارضي في الخطوط المتبادلة والتي يوجد فيها تعويض للقدرة غير الحقيقية مع ألاخذ بنظر ألآعتبار تأثير موقع العطل ولحظة حدوثه ومعالم مصدر التغذية وتم الحصول على نتائج توضح تأثير هذا العطل على الشبكة وبما يمكن أن يساهم في حسابات مستوى العازلية وكذلك أنظمة ألحماية لمنظومات نقل الطاقة .

Abstract

The paper studies high Voltage generated in over head transmission line especialy caused by earth fault in transposed line where there is componsation for reactive power and transmission the position of the fault and the time of fault are taken into account .The result explains the effect of the fault when the work can be utilized to attain economical system insulation and protection.

المقدمة

تنشأ الفولتية العالية في خطوط النقل الهوائية بسبب بعض العوامل منها ظاهرة البرق وعمليات غلق وفتح قواطع الدوره وكذلك ألآعطال التي تحدث في الشبكة. أن ظاهره البرق تعتبر مؤثرة في ظهور الفولتية العالية في خطوط النقل وتؤخذ بالحسبان عند تصميم أي شبكه كهربائيه [١] . أما بالنسبه لاعمال غلق وفتح قواطع الدورة والتي تؤدي الى نشوء فولتية عالية والتي تكون ذات تأثير كبير على منظومات القدرة الكهربائية [٢]توصلت الدراسات الى أمكانية تحديد وتقليل هذه الفولتيات الى حدود مقبولة قد تصل الى 1.5PU ، حيث نلاحظ أن فتح وغلق قاطع الدورة عندما يكون التيار عند القيمة الصفرية له يؤدي الى التقليل من الفولتية العالية وكذلك الحال في أعمال الغلق حيث تستخدم

[+]تاريخ استلام البحث ٢٠٠٤/٥/٥ ، تاريخ قبول النشر ٢٠٠٥/٦/٩

[*]مدرس مساعد /المعهد التقني كوت

تقنية مقاومات الغلق التي تعمل على تقليل التيار والطريقة الثانية تعتمد على القيمة الصفرية للفولتيـــة . أمـــا مـــايخص ألآعطال التي تحدث في الشبكة فتعتمد على نوع وطبيعة العطل وبالتالي على طريقة الفصل لقواطع الدورة عند حدوث العطل .

هنالك العديد من الدراسات والبحوث التي اهتمت بدراسه هذه الحالات وذلك لكون العطل ألآرضي مـــن أكثـــر ألاعطال شيوعا"في خطوط النقل ، وعند حدوث هذا النوع من العطل يهبط الجهد في ذلك الخط الذي تعـــرض للعطـــل حيث يكون قريب من الصفر ، وفي الوقت نفسه ترتفع قيمه الجهد في الخطوط ألآخرى وذلك بـــسبب التقـــارن الحثـــي والسعوي بين هذه ألآطوار والطور الذي حدث فيه العطل ويدخل أيضا" تأثير الموجات المنتقله في الشبكه

تم تناول الفولتيه العاليه الناشئه بسبب العطل ألآرضي [٣] حيث تم دراسه الحـــالات العـــابره للـــشبكات غيـــر المعوضة وغير المتبادلة .

تم دراسة الفولتية العالية الناشئة في أعمال الفتح والغلق [٤] والتي تعد أهم عامل محدد فـــي حـــساب مـــستوى العازلية للشبكة وأمكانية تطور العطل ألآرضي الى عطل متعدد ألآطوار للآرض. كذلك تم دراسه تأثير الفولتية العالية [٥] لدراسه العطل ألآرضي في خط النقل أحادي متبادل.

في هذا البحث تم تناول شبكة نقل أحادية ذات جهد فائق 400KV نوع متبادل مع ألآخذ بنظر ألآعتبار تعويض القدرة الفاعلية ، حيث تم دراسة الفولتية العالية الناشئة بسبب العطل ألآرضي وأعتمد التمثيل الرياضي للشبكة على نظرية التطابق Superposition حيث يتم فرض وجود مصدر للفولتية مفاجئ مساوي بالقيمة ومعاكس بالقطبية للفولتية عند نقطة حدوث العطل وتكون جميع مصادر التغذية ألآخرى للمنظومة عند الجهد الصفري.

التمثيل الرياضي للمنظومه:-

أن دراسه المنظومه تتضمن حساب أستجابه المنظومه في حاله ألآستقرار وبعدها دراسة ألآستجابه عند الحاله العابره بأستخدام تحويل فورير السريع .

١- تم تمثيل مصدر التغذية بألآعتماد على تعريف النسبة بين المفاعلة والمقاومة لمصدر التغذية ، أي النسبه X / R وكذلك مستوى دائره القصر على طرف القضيب العمومي Bar – Bus ، وتم حساب مصفوفة ممانعـــة التغذية كما مبين أدناه [٦]

$$[E_s] = [Z_s]\ [I_s] + [V_s]$$

$$\begin{bmatrix} \bar{E}_{sa} \\ \bar{E}_{sb} \\ \bar{E}_{sc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{s1}+Z_{n1} & Z_{n1} & Z_{n1} \\ Z_{n1} & Z_{s1}+Z_{n1} & Z_{n1} \\ Z_{n1} & Z_{n1} & Z_{s1}+Z_{n1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_{sa} \\ \bar{I}_{sb} \\ \bar{I}_{sc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{V}_{sa} \\ \bar{V}_{sb} \\ \bar{V}_{sc} \end{bmatrix}$$

$$Z_{s1} = [V_L]^2 \ / \ S.c.L$$

S.c.L Short Circuit level

وقيمة S.C.L لمصادر التغذية في كل من جهة الارسال والاستلام GVA 35-5

$$Z_{s1} = R_{s1} + JX_{s1} = R_{s1} + Jw_L S_1$$

ويتم حساب Z_{n1} بواسطه حساب ممانعة المتابعة الطورية الموجبة Z_1 وممانعة المتابعة الطورية الصفرية Z_0

$$Z_1 = Z_{s1}$$

$$Z_0 = Z_{s1} + 3Z_{n1}$$

$$Z_0 = Z_1 + 3Z_{n1}$$

$$Z_{n1} = (Z_0 - Z_1)/3 = Z_1(Z_0/Z_1 - 1)/3$$

النسبة ZS0/Zs1 لمصادر التغذية هي 0.25 -0.2 وتكون معلومة ضمن المعالم الخاصة بالمصدر (source parameters)

ولغرض تمثيل مصدر التغذية يجب أن تكون المعالم الخاصه بالمصدر معلومة .

تمثيل مجموعه المفاعل التفرعي Shunt reactor

يتم حساب التقبلية الحثية للمفاعل التفرعي المستخدم في تعويض القدرة الفاعلية بألآستفادة من قيم التقبلية السعوية للخط حيث أن التقبلية الحثية تمثل نسبه التقبلية السعوية للخط وهذا يمثل مبدأ عملية تعويض القدرة الفاعلية في الخط .

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_{2a} \\ \bar{V}_{2b} \\ \bar{V}_{2c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_p + Z_n & Z_n & Z_n \\ Z_n & Z_p + Z_n & Z_n \\ Z_n & Z_n & Z_p + Z_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_{sa} \\ \bar{I}_{sb} \\ \bar{I}_{sc} \end{bmatrix}$$

$$Z_p = R_p + jwL_p \qquad L_p = \frac{X_0}{W_0} \qquad X_1 = X_p$$

$$Z_n = R_n + jwL_n \qquad L_n = \frac{X_n}{W_0} \qquad X_0 = X_p + 3X_n$$

التمثيل الرياضي لخط نقل الطاقة ألآحادي:

تم تمثيل خط النقل بحيث تكون معالم الخط المقاومة ، المحاثة والمتسعة موزعة بالتساوي وبصوره منتظمة على طول الخط وكذلك تم دراسه وتمثيل عمليه التبادل في مواقع موصلات الخط حيث تستخدم عمليه التبادل للمحافظة على هبوط ثابت في الجهد بالنسبه لجميع موصلات الخط عند العمل ألآعتيادي .

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_s \\ \bar{I}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{SR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_3 & B_3 \\ C_3 & D_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{SR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_R \\ \bar{I}_R \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_s \\ \bar{I}_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_R \\ \bar{I}_R \end{bmatrix}$$

في حاله عدم تعويض القدره الفاعليه للخط فأن المصفوفه $[Y_{SR}]$ الخاصه للمفاعل التفرعي تصبح مصفوفة أحادية .

٤ - تمثيل حالة العطل في المنظومة ألآحادية :

أن المعادلات النهائية التي تمثل حاله العطل للعلاقة بين الجهد المضاف عند نقطة العطل وتيار العطل.

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_{fa}F \\ \bar{V}_{fb}F \\ \bar{V}_{fc}F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_{Fa} \\ \bar{I}_{Fb} \\ \bar{I}_{Fa} \end{bmatrix}$$

وبفرض وجود عطل أحادي الطور للارض في الطور a فأن Vfa^f تمثل فورير للجهد المضاف بصوره مفاجئة عند نقطة العطل

$$\bar{Vfa}^f = -\bar{Vfa}^s \sin(wot + B)$$

Vfa^s : جهد القمة للجهد في الطور a عند نقطة العطل وقبل حدوثة

B : ألازاحة الطورية بين الجهد ماقبل العطل المرجعي V_s عند طرف المرسل .

النتائج :-

أن معظم حسابات مستوى العازلية لمنظومات النقل كانت تعتمد على أعمال فتح وغلق قواطع الدورة ، وبسبب التطور الذي حصل في هذا الجانب حيث أدى الى التقليل من الفولتيات العالية الناشئة من أعمال الغلق والفتح ، ولذلك أصبح ألآعتماد في حسابات العازلية يعتمد على الفولتيات العالية التي تنشأ بسبب حدوث ألآعطال في المنظومة .

تم أجراء الدراسة على منظومة نقل الجهد فائق 400 KV وحساب الفولتيات الناشئة أثناء حدوث ألآعطال في المنظومة آحادية الدائرة . وكذلك معرفة تأثير موقع العطل ، ولحظة حدوث العطل ومعالم جهه ألآرسال في قيم هذه الفولتيات بألآضافة الى تأثير هذه العوامل على شكل الموجة المتحركة على الخط والمتولدة بسبب حدوث العطل . وتمت الدراسة بأعتبار الخط غير متبادل ومتبادل وذلك بأجراء دورة كاملة من عملية التبادل وكذلك من ناحية التعويض للقدرة الفاعلية حيث يمكن أعتبار الخط غير معوض أو معوض بأستخدام مجموعتين للمفاعل التفرعي واحد في كل نهاية من نهايات الخط ، عند حدوث العطل ألآرضي في جهة ألآرسال فأن جهد الطور (A) الذي حصل فيه العطل يهبط الى الصفر في لحظة حدوث العطل أما تيار نفس الطور فأنه يزداد الى قيمة تصل الى 75.75 KA .

(ويمكن أن نحصل على هذه القيمة من معرفة أقصى جهد للطور والذي يساوي 326.6KV وكذلك Zs_1 التي تساوي 4.57Ω حيث تكون قيمة التيار 71.46 KA) أما تيارات الطورين C,B فتتعرض الى أضطراب وذلك بسبب التقارن الكهرومغناطيسي الموجود بين هذه ألآطوار والطور الذي حدث فيه العطل . كما نلاحظ أن تاثير الموجة المتحركة يكون أكثر تأثير كلما أبتعدنا عن موقع العطل من جهه ألآرسال .

كما في الشكل (١) تزداد قيم الفولتيات العالية الناشئة بسبب حدوث العطل مع زيادة موقع العطل وتكون أقصى قيمة لها تكون عند حدوث العطل في منتصف الخط وتزيد بحدود 34% عن قيم الجهود العالية لحالة العطل في جهة ألآرسال وألآستلام .

أما بالنسبه لتاثير لحظة حدوث العطل ألآرضي فأن التأثير يكون مؤثر عندما يحدث العطل في الفترة الزمنية التي يمر فيها جهد الطور بقيمتة العظمى حيث يؤدي الى حدوث أقصى تشوية للموجة المتحركة ، أما عند حدوث العطل عندما يكون جهد الطور عند القيمة الصفرية فيقل التشوية الحاصل في الموجة المتحركة وذلك لعدم حدوث تغير مفاجئ وكبير في قيمة جهد الطور عند نقطة العطل .

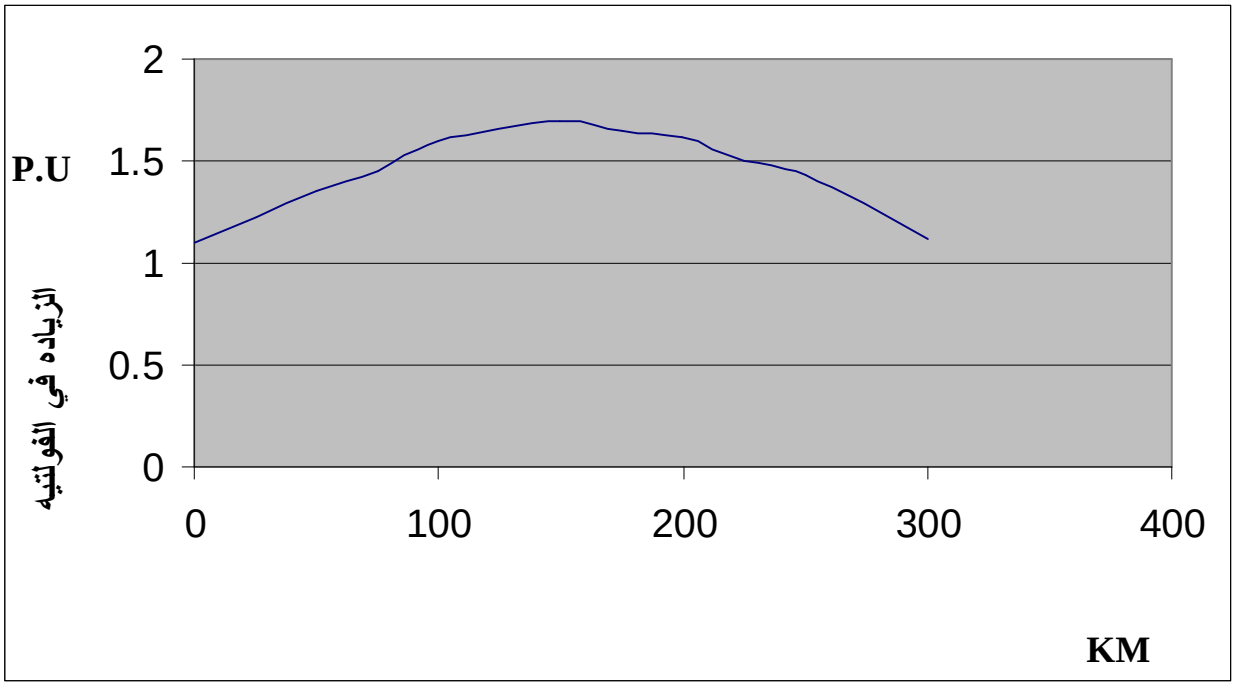
يكون تأثير سعه مصدر التغذية واضح في قيم الفولتيات العالية الناشئة في المنظومة عند حدوث العطل ألآرضي ، أن صغر سعة مصدر التغذية في جهة ألآرسال يؤدي الى زيادة التشوية في شكل موجة الفولتية والتيار وذلك لآن المصدر ذا السعة القليلة تكون ممانعتة عالية وبذلك يشكل نقطة رئيسية من نقاط عدم ألآستمرارية للموجة المتحركة والتي يتم عكسها بنسبه عالية وبالتالي يزداد التشوية في الموجة .

كذلك تظهر النتائج أن موقع النقطة التي يحدث فيها أقصى الجهود العالية على الخط تعتمد على سعة مصادر التغذية الموجودة في الخط .

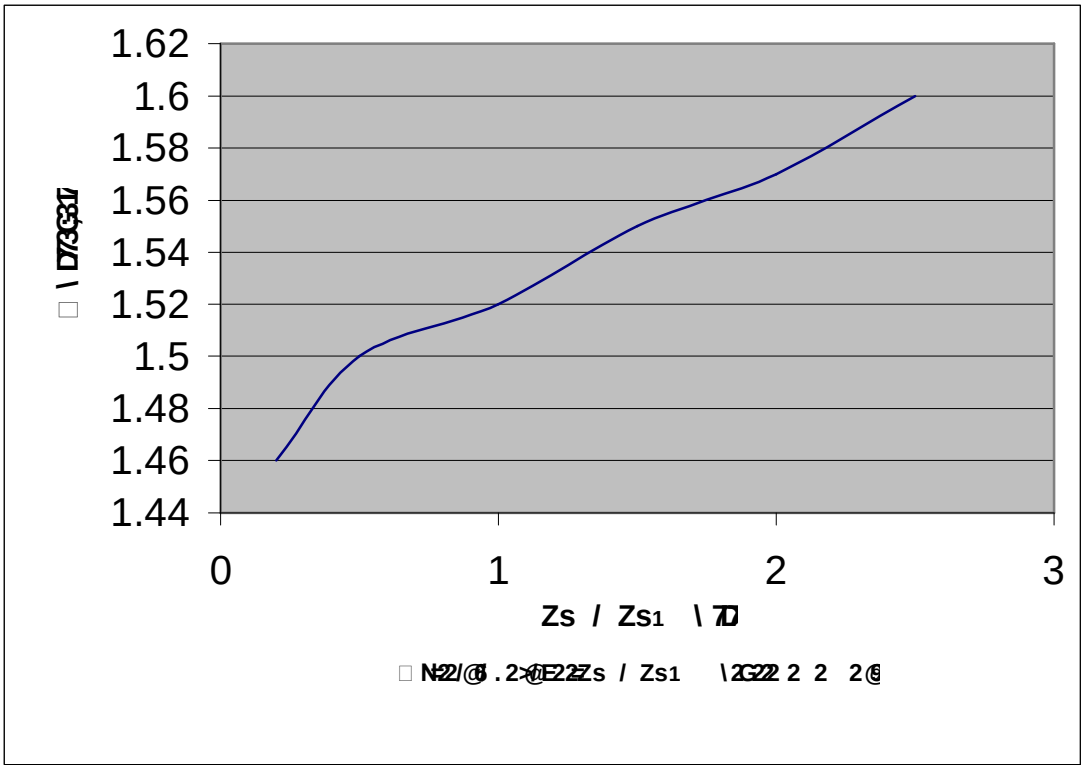
بالنسبه للنسبه Zs_0 / Zs_1 (والتي تمثل النسبة بين الممانعة المتتابعة الصفرية الممانعة المتتابعة الموجبة لمصدر التغذية) عندما تكون النسبة عالية فأنها تؤدي الى زياده قيمة الفولتيات العالية في المنظومة بينما القيمة القليلة تؤدي الى تقليلها ويلاحظ ذلك في الشكل (2) . كما أن حالة مصادر التغذية غير المتماثلة السعه تؤدي الى ظهور أقصى فولتية عالية في جزء الخط الممتد بين نقطة العطل والطرف المتصل بمصدر التغذية القليل السعة وخاصة عند نقطة أتصال مصدر التغذية القليل السعه بالخط أما تأثير طول الخط (شكل 3) على قيم الفولتيات العالية الناشئة التي تحدث بسبب العطل ألآرضي فتظهر بشكل واضح ان هذه القيم تقل عند استخدام خط نقل قصير وتزداد مع زيادة طول الخط .

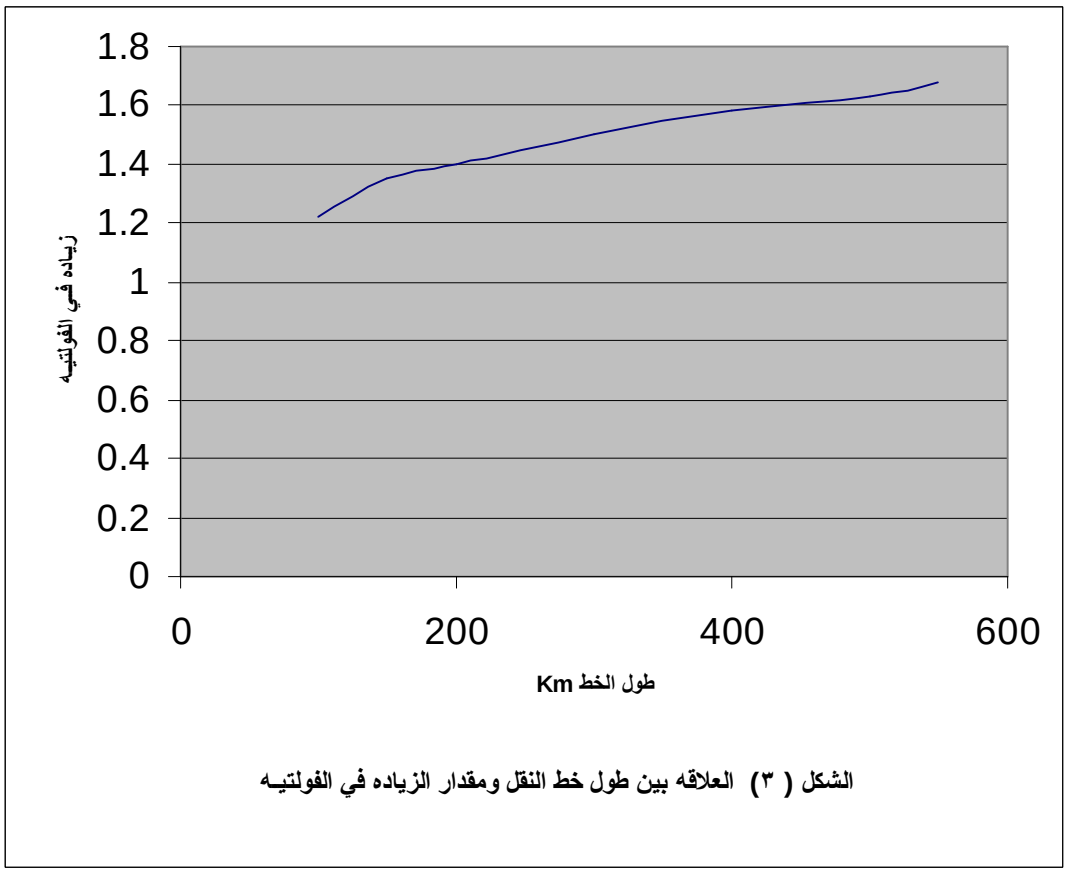
أن تأثير التعويض للقدرة الفاعلية يظهر ان التعويض وبأي نسبه كانت لايغير في شكل موجة الفولتية والتيار ولاتغير كذلك في قيم الفولتيات العالية الناشئة ، ألا ان التأثير يظهر في تقليل تيارات الشحن والتي تساهم في حالة أستقرار المنظومة .

أما عملية التبادل فتؤدي الى التقليل من قيم الجهود العالية الناشئة من حدوث العطل ألآرضي ويكون التقليل بحدود 10% عن الخط غير المتبادل ، ويكون التبادل باستخدام دوره تبادل كاملة . تم أستخدام تكنيك فوربير السريع للحل وألاعتماد على نظرية التطابق وكتابة البرامج الرئيسية والمساعدة بلغة فورتران ٩٠ حيث يتم حساب الزيادة في الفولتية عند تغير موقع العطل وكذلك بتغير النسبة Zs0/Zs1 وكذلك طول الخط .



الشكل (١) العلاقة بين موقع العطل والزيادة في الفولتية





الشكل (٣) العلاقه بين طول خط النقل ومقدار الزياده في الفولتيـه

ألاستنتاجات :

من دراسة النتائج التي حصلنا عليها نلاحظ ان الفولتيات العالية المتولدة بسبب العطل الآرضي تتـــأثر بموقـــع العطل ، معالم مصدر التغذية ، طول الخط وتعويض الخط ، وكذلك نلاحظ أن التعويض يؤثر في تقليل قـــيم تيـــارات الشحن المارة في أجزاء المنظومة وخاصة في حاله الآستقرار حيث تقل قيم هذه التيـــارات بزيـــادة درجـــة التعـــويض للمتتابعة الطورية الموجبة.

ملحق رقم (١)

معالم الخط

الخط موضع الدراسة هو خط نظري ومعالم الخط ومواصفاتة هي :-

الفولتية: 400 KV

الطول : 300 KM

فولتية الارسال : 1.04-1.05 pu

فولتية الاستلام : 1.01-1.05 pu

مواصفات الاسلاك 2x 550mm سبيكة المنيوم يحتوي على 37 شعيرة بقطر 4.356mm والقطر الكلي 30.5mm وبوزن 1.519 Kg/m

المعالم الاساسية المحسوبة:

مصفوفة الممانعة المتوالية

$$Z=\begin{bmatrix} 0.0877+j0.558 & 0.0673+j0.3029 & 0.0703+j0.2526 \\ 0.073+j0.3029 & 0.09046+j0.556 & 0.72+j0.2871 \\ 0.073+j0.2526 & 0.072+j0.2871 & 0.0976+j0.550 \end{bmatrix} \times 10^{-3}\ \Omega/m$$

$$Y=\begin{bmatrix} 0.376 & -0.0793 & -0.02816 \\ -0.0793 & 0.3604 & -0.0786 \\ -0.02816 & -0.0789 & 0.3851 \end{bmatrix} \times j10^{-8}\ /m$$

$$\gamma=\begin{bmatrix} 0.1651+j1.6242 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0412+j1.0729 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0466+j1.0 \end{bmatrix} \times 10^{-6}\ /m$$

ملحق (٢)

حساب ثوابت الخط ABCD

يتم حساب ثوابت الخط ABCD كمايلي :-

$$\begin{bmatrix} \overline{VS} \\ \overline{IS} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} SCOSh(\gamma_i)S^{-1} & SSINH(\gamma_i)S^{-1}Z_0 \\ Y_o\, S\overline{SI}Nh\,(\gamma_i)S^{-1} & Y_0\, SCOS\overline{h}(\gamma_i)S\, Z_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overline{VR} \\ \overline{IR} \end{bmatrix}$$

حيث أن :-

$\overline{V_S}$ = مركبة الجهد في جهه الارسال

$\overline{I_S}$ = مركبة التيار في جهه الارسال

S = مصفوفة متجهات الـــ eign

γ = مصفوفة ثابت الانتشار

$\overline{Y_o}$ = مصفوفه المسامحه التفرعية لوحدة الطول من الخط

$\overline{Z_0}$ = مصفوفة الممانعة الذاتية

$\overline{V_R}$ = مركبة الجهد في جهة الاستلام

$\overline{I_R}$ = مركبة التيار في جهة الاستلام

γ_i = ثابت الانتشار

$\acute{\alpha}_i$ = معامل التوهين

β_i = معامل الازاحه

$\gamma_i = \acute{\alpha}_i + J\,\beta_i$

المصادر

1-Razevig.D.V., *High Voltage Engineering* , Khanna Dublishers 1982.

2-ELGERD , OLLE 1, *Electric Energy Systems theory* ,MCGRAW- Hill Publishing company .

3-kimbark , E.W. and Legate ,A.C. " *Fault Surge Versus Switehing Surge , a study of transien over voltge caused by line - to- ground faults*". IEEE Trans. PSA-87 NO.9,1968 , PP . 1762 - 1769.

4-Clerict ,A.and Tashini , A . "*over voltage duc to line energisation and reenergisation versus over voltage caused by fault and fault clcaring in EHV line ",* IEEE Trans ., PAS - 89 , 1970 . PP . 932 - 939 .

5- Boonyubol , C . , calabresc , C.,Tubor , J . R . "*Amathematical analysis of transmission line transients related to fault surges* ", IEEE trans . , PAS - 89 . 1970 , P.P. 1207 - 1213 .

6- AL-RAWI , A.W. *Secondary are simulation for EHV/ UHV transmission system design . PH.D.Thesis* , university of bath , 1981.