

تأثير المحولات المؤرضة على دقة قياس مرحلة حماية المسافة لخطوط النقل المزدوجة

السيد أحمد عطية البدراني
مدرس - قسم التقنيات الكهربائية
المعهد التقني - الموصل

د. عبد الغني عبد الرزاق عبد الغفور
أستاذ مساعد - كلية الهندسة - قسم الكهرباء
جامعة الموصل

الخلاصة

يتضمن هذا البحث دراسة تأثير المحولة المؤرضة في خطوط النقل المزدوجة ذات التفرع الوسطي تجهز أحمال على دقة قياس وأداء مرحلة حماية المسافة التقليدية العاملة ضمن هذا الترتيب من الخطوط عند حدوث الأعطال الأرضية بعد نقطة التفرع. إن حماية خطوط النقل ذات النهايات الثلاثة بوجود محولة مؤرضة أكثر صعوبة من حماية خطوط النقل ذات النهايتين بسبب المشاكل التي يمكن أن يسببها تيار التتابع الصفري للمحولة والذي يعمل كمصدر تغذية للخطأ إضافي فضلاً عن تأثير الاقتران التبادلي الناتج من هذا التيار لكون خط النقل مزدوج الدائرة. تمت هذه الدراسة بتمثيل ونمذجة الدائرة التي تمثل حالة عطل خط مع الأرض لإحدى خطوط النقل المزدوجة باستخدام برنامج (Matlab\Simulink) وإيجاد قيم التيار والفولتية لمرحلة حماية المسافة عند مواقع عطل وظروف تشغيلية مختلفة مع وبدون تأثير مقاومة العطل لجزء من منظومة خطوط النقل لشبكة كهرباء العراق للمنطقة الشمالية. وقد أظهرت نتائج البحث هناك تأثير لتيار التتابع الصفري للمحولة المؤرضة فضلاً عن تأثير الحث التبادلي، هذا التأثير يكون على قيمة وزاوية الممانعة المنظورة من قبل مرحلة المسافة التي سوف تميل أما إلى قصر في المدى الحثي أو بعد في المدى وذلك حسب اتجاه تيار التتابع الصفري بعد نقطة التفرع، وشدة تغير المدى الحثي تعتمد على مستوى القصر لقضبان العمومي وسعة المحولة المؤرضة.

Influence Of an Earthed Transformers On The Distance Protection Relay Measuring Accuracy For Double Transmission Lines

Dr. Abdul Ghani A. Abdul
Ghafoor
Electrical Department
College of Engineering
University of Mosul

Mr. Ahmed Ateya Al-
Badrani
Electrical Department
Institute of Mosul
Foundation of Technical Education

Abstract:

This paper investigates a study of the influence of an earthed transformer in a double circuit transmission lines have intermediate tapped to provide to loads on a measuring accuracy and performance of the conventional Distance Protection Relay (DPR) installed in this configuration when the ground faults occur beyond tee point. The protection of three-terminal lines is not as simple as that of two-terminal lines. They usually experience problems caused by the zero sequence current in-feed of an earthed transformer from the third terminal as well as mutual coupling due to this current. This study has been modeling and simulating by using (Matlab\Simulink) program to analyze a steady state of ground fault on single circuit to calculate the DPR voltage, current and apparent impedance with various fault locations under operational status for the Iraqi North Regional Grids (INRG) 132 kV system. The paper results shows that current in-feed and mutual coupling by zero sequence of earthed transformer may cause the distance relay to seriously under-reach or Under Reach according to zero sequence current direction. The values of short circuit levels ratio of system have major effect in this problem, So an apparent impedance as seen by DPR and length of protective zone will change.

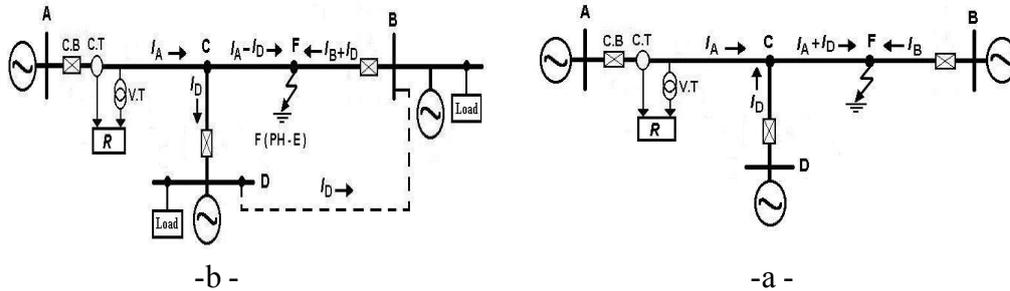
Keywords: Distance Protection Relay, Earthed Transformer, Mutual Coupling Effect, Fault location.

مقدمة:

نظراً للأهمية البالغة التي تتمتع بها مرحّلات حماية المسافة في حماية خطوط النقل الكهربائية، فإن التقنيات المتعلقة بطروف تشغيلها الصحيح قد تطورت تطوراً كبيراً منذ بداية استخدامها في حماية أنظمة القدرة، أن تقنية حماية منظومات القدرة الكهربائية الحديثة ليس في مقدورها منع حدوث الأعطال أو تقليل معدل حدوثها ولكن تظهر هذه التقنية قدرتها في إمكانية تقصير الفترة الزمنية لتواجد انخفاض الجهد في شبكة النقل من خلال تحسين الأداء واستخدام حماية تتصف بدقة عالية وسرعة تشغيل كبيرة جداً. إن المعضلة الأساسية في الحماية المعتمدة على المسافة تكمن في عدم التمكن من إحراز الدقة والضبط بشكل تام في إعطاء التغطية اللازمة لحماية الخط بأكمله، ويرجع السبب الأساسي في ذلك إلى عوامل عديدة [1]. إن المعضلات ذات التأثير المباشر على السلوكية الصحيحة لمرحّلات المسافة كثيرة، وخاصة في خطوط النقل المزدوجة المتداخلة (Interconnected Double Transmission Lines) [2]، ويمكن ذكر أهم العوامل المؤثرة بالآتي:

1. تأثير خط التفرّع الوسطي في خطوط النقل الكهربائية:

يفهم من خطوط النقل الهوائية ذات التفريعات (Tapped Line) أنها تلك الخطوط التي تزود بالقدرة الكهربائية من جهتين أو أكثر و تؤخذ منها تفريعات إلى محطة توليد وسطية (Intermediate Current Source)، أو محطة تحويل ثانوية كما هو الحال مع المحولات المؤرضة (Earthed Transformer) عند نقاط مختلفة على مسارها بغية تغذية منازل أو مصانع أو مشابه ذلك [3]. وإذا كان خط النقل مزوداً بمصدري قدرة كهربائية في نهايته، كما هو الحال في شبكات النقل الكهربائية ذات فولتية نقل (132 kV – 400 kV) فما فوق، فإنه ينشأ ما يسمى بالقياس الخطأ (Measuring Error) للممانعة الظاهرية في حالة قياس مرحلة حماية المسافة عند حدوث قصر بعد خط التفرّع، وهذا الخطأ ناجم عن وجود مصدر تغذية بين نقطة القصر وموقع المرحلة. إن خطأ القياس ممكن أن يكون موجباً أو سالباً ويعتمد في ذلك على شكل وتركيب الشبكة، ففي حالة كون تيار مصدر التغذية الوسطي (I_D) داخلاً إلى العقدة (C) أي حالة (Current in-feed) بين نقطة القصر (F) وموقع المرحلة عند العمومي (A) كما موضح بالشكل (1-a)، فإن خطأ القياس يكون موجب ويكن تيار العطل عند العقدة (C) حاصل جمع تيار العموميين (A و D) أي ($I_A + I_D$) وتكون الممانعة الظاهرية المقاسة بواسطة المرحلة أكبر من الممانعة الفعلية للخط المحمي وتعاني المرحلة من حالة قصر المدى (Under Reach) [6][8].



الشكل (1): رسم توضيحي لخط نقل ذو ثلاثة نهايات بوجود عطل ارضي

أما في حالة كون تيار مصدر التغذية الوسطي خارجاً من العقدة (C) أي حالة (Current out-feed) عند حدوث العطل فإن خطأ القياس يكون سالباً ويكن تيار العطل ($I_A - I_D$) وتكون الممانعة الظاهرية المقاسة أقل من الممانعة الفعلية للخط المحمي وتعاني مرحلة المسافة من حالة بعد المدى (Over Reach) كما موضح بالشكل (1-b) [6]، أن دخول التيار أو خروجه من العقدة (C) يعتمد على طبيعة سريان القدرة (Power Flow) في المنظومة.

2. تأثير الحث التبادلي في خطوط النقل الهوائية المزدوجة الدائرة:

إن خطوط النقل الهوائية ذات الدائرة المزدوجة (Double Circuit) على نفس البرج يحدث فيها اقتران حثي تبادلي (Mutual Inductive Coupling) بين مسارات التيارات في هذه الخطوط. إن تأثير الحث التبادلي في حالة الأعطال الأرضية لنظام التتابع الموجب والسالب يكون قليلاً جداً لأن قيمة ممانعة الحث التبادلي لمركبة التتابع الموجب والسالب تكون بحدود (5%) من قيمة ممانعة الحث الذاتي لنفس المركبة، وعليه يمكن إهمال تأثيرهما، أما تأثير الحث التبادلي في حالة الأعطال الأرضية لنظام التتابع الصفري فإن ممانعة الحث التبادلي (Z_{0M}) لمركبة التتابع الصفري (Zero Sequence Mutual Impedance) تكون قيمتها بحدود (50% - 70%) من قيمة ممانعة الحث الذاتي لنفس المركبة، وعليه سوف تؤثر على قيمة تيار العطل وبالتالي تتحسس بالاتجاه الخاطئ للتيار. إن حساب ممانعة الحث

التبادلي بين نظامي التتابع الصفري بدون تأثير سلك التأسيس المعتمد في هذا البحث يكون وفق الأسلوب المتبع لشركة (Siemens) الألمانية والتي يمكن أن يعطى من خلال المعادلة الآتية [5],[6]:

$$Z_{0M} = 3.R_E + (j. \omega. 6. \ln \frac{D_e}{A_L}) . 10^{-4} \quad [\Omega / \text{km}] \quad \dots (1)$$

حيث تمثل (A_L) معدل البعد الهندسي (Geometrical Mean Distance) و ($\omega = f\pi 2$) تمثل التردد الزاوي (Angular Frequency) للنظام، وتمثل (R_E) مقاومة الأرض (Ground Resistance) وهي معادلة تجريبية تعتمد على تردد النظام وتكون وفق العلاقة الآتية [6]:

$$R_E = (\pi / 2). \omega . 10^{-4} \quad [\Omega / \text{km}] \quad \dots (2)$$

أما (D_e) فتمثل مدى النفوذ (Penetration Depth) والذي يمثل بدوره عمق الاختراق المكافئ لمسار التيار العائد للأرض ويمكن التعبير عنه بالمعادلة الآتية [6]:

$$D_e = 1650 \sqrt{\frac{\rho}{m}} \quad \dots (3)$$

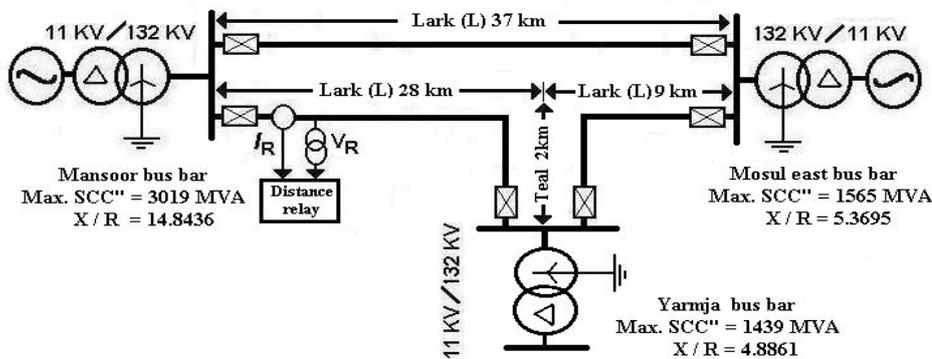
حيث إن (ρ) تمثل المقاومة النوعية للأرض (Specific Resistance of Earth)

3. تأثير مقاومة العطل:

إن وجود مقاومة العطل (Fault Resistance) أثناء حالة القصر والتي تنشأ بفعل الاختلافات الزمنية لمرور تيار المرحلة وتيار القصر الفعلي في خط النقل بالقيمة صفر تؤدي إلى إبعاد الممانعة الكلية للعطل عن حافة المسار الهندسي لخاصية المرحلة، ويؤدي ذلك بدوره إلى عدم تمكن المرحلة من التحسس بوجود العطل وهو ما يطلق عليه مصطلح قصر المدى للمرحلة، وكذلك لا يمكن تلافي هذه المشكلة بجعل التنظيم للمرحلة (Replica Impedance) أكبر من ممانعة الخط (Line Impedance) حيث تتحسس المرحلة بالعطل الواقع خارج الخط المحمي من قبلها وهو ما يطلق عليه مصطلح بعد المدى للمرحلة، إذ أن قيمة الممانعة المنظورة تعتمد على اتجاه تيار التتابع الصفري وهذا يعتمد على موقع العطل ونقاط التأسيس ونسبة مستوى القصر في الدائرة [4],[7].

ظروف تشغيل مرحلة قياس المسافة بوجود محولة مؤرضة في خط التفرع:

لأجل دراسة تأثير المحولة المؤرضة على دقة قياس مرحلة حماية المسافة العاملة في خطوط النقل الهوائية (Over Head Transmission Lines OHTL) المزدوجة لشبكة كهرباء العراق للمنطقة الشمالية (Iraqi North Regional Grids INRG) ذات جهد (132 kV)، تم اختيار جزء من هذه المنظومة وكما هو موضح في الشكل (2).



الشكل (2): جزء من خطوط النقل الهوائية المزدوجة (132 kV) بوجود محولة مؤرضة في خط تفرع لشبكة

كهرباء العراق للمنطقة الشمالية

أي يكون ترتيب الشبكة من نوع (Looped Network Interconnection) لغرض إجراء هذا البحث. ونظراً لكون خط النقل المزدوج الدائرة الذي تم اختياره ذا تغذية بمصدري قدرة بوجود خط تفرّع مع محولة مؤرضة، فإنه ينشأ ما يسمى بالقياس الخاطئ لبعدها نقطة القصر عن موقع مرحلة قياس المسافة والذي ينجم عن جمع تيار التتابع الصفري في نقطة القصر والتي حدثت بعد نقطة التفرّع، مما يؤدي بالتالي إلى حدوث قصور في الأداء (Mal-Operation) بالنسبة لمرحلة قياس المسافة. إن لمستوى القصر عند قضبان العمومي للمحطات تأثيراً كبيراً على تيارات الحث التبادلي لخطوط النقل المزدوجة الدائرة، وقد تم اعتماد أعظم قيمة لمستوى القصر (Maximum Short Circuit Level) لإيجاد قيم الممانعات المكافئة للمصادر عند قضبان العمومي والمعنية وكما مبينة في الجدول (1).

الجدول (1) : قيم ممانعات التتابع الموجبة (أو السالبة) والصفريّة للمصادر المكافئة مع النسبة $(X / R)^*$

X \ R	$Z_{0S} [\Omega]$	$Z_{1S} [\Omega]$	قبضان العمومي
14.843	$2.073+j2.979$	$0.383+j5.749$	المنصور الغازية
5.369	$4.931+j16.08$	$2.038+j10.94$	موصل الشرقية
-	$5.035+j17.47$	-	يارمجة

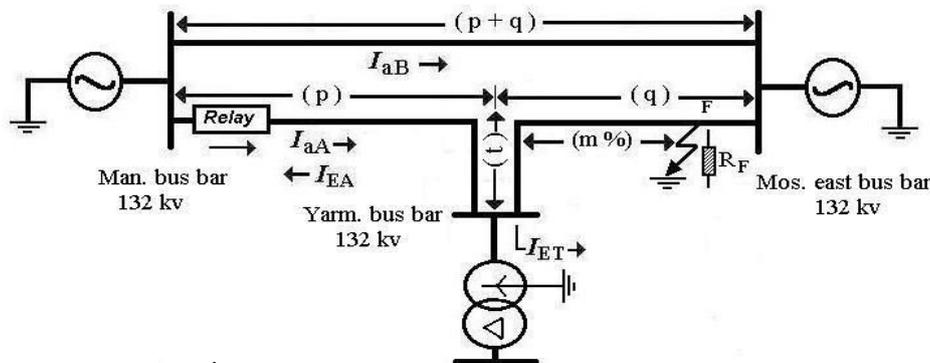
(* ملاحظة: البيانات في الجدول أعلاه مأخوذة من الشركة العامة لإنتاج الطاقة الكهربائية للمنطقة الشمالية وكانت بتاريخ 2001/12/4.

ففي حالة حدوث قصر طور (a) مع الأرض في مسار الدائرة الأولى (A) لخط النقل المزدوج والمزود بالقدرة من جهتين وبحالة عدم التحميل وكما هو موضح في الشكل (3)، وكون نقطة حياض المجموعة مؤرضة من جهة الفولتية العالية للخط، ويكون موقع العطل في النقطة (F) وعلى بعد (m) والتي تمثل نسبة بعد موقع العطل عن خط التفرّع المرتبط بالمحولة المؤرضة إلى طول الخط (q) بالكيلو متر أما (p) فيمثل بعد خط التفرّع بالكيلو متر عن موقع مرحلة المسافة، ويمثل (t) طول خط التفرّع بالكيلومتر، وكما يتضح في الشكل (3). إن تأثير تيار المحولة المؤرضة في نظام التتابع الموجب أو السالب للشبكة لا يظهر لأن المحولة تكون مبربوطة إلى أحمال، وليس كما هو الحال عندما تكون مبربوطة إلى محطة توليد، ولذلك فإن فولتية المرحلة للخط الأول (V_{1A}) لنظام التتابع الموجب والذي يظهر عبر مرحلة حماية المسافة يمكن التعبير عنه بالعلاقة الآتية [6]، [9]:

$$V_{1A} = (p + 2t + m.q). Z_{1L}. I_{1A} + V_{1F} \quad \dots(4)$$

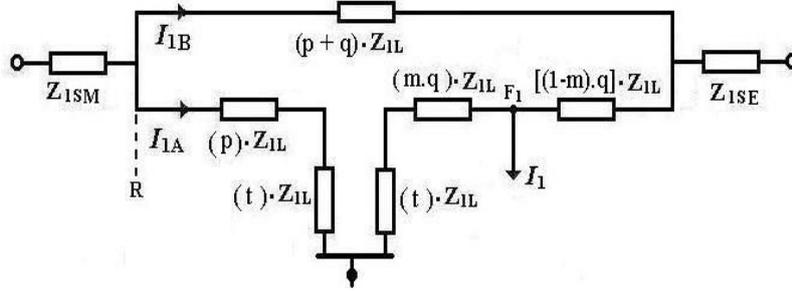
وكذلك الحال بالنسبة لفولتية المرحلة (V_{2A}) لنظام التتابع السالب للمرحلة وكالاتي [6]:

$$V_{2A} = (p + 2t + m.q). Z_{2L}. I_{2A} + V_{2F} \quad \dots(5)$$



الشكل (3) : خط نقل مزدوج الدائرة مع حالة عطل طور مع الأرض للدائرة (A) بعد قضبان العمومي المحولة مؤرضة

حيث أن تيار التتابع الموجب للمرحلة يكون مساوياً لتيار التتابع السالب ($I_{1A}=I_{2A}$) وكذلك الحال مع ممانعتي التتابع الموجب والسالب ($Z_{2L} = Z_{1L}$) لخط النقل وفولتية العطل لشبكة التتابع الموجبة والسالبة ($V_{1F}=V_{2F}$)، ولذلك يكون تمثيل شبكة التتابع الموجب في حالة حدوث قصر مع الأرض في مسار الدائرة الأولى (A) لخط النقل المزدوج بوجود خط تفرّع كما في موضح في الشكل (4) [5],[6].

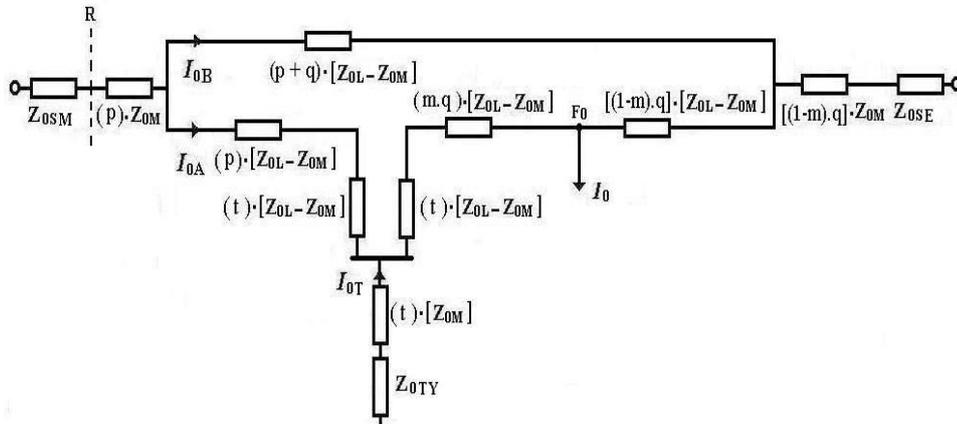


الشكل (4): شبكة التعاقب الموجب في حالة حدوث قصر مع الأرض في

إذ أن مسار الدائرة (A) لخط النقل المزدوج بوجود خط تفرّع صفريّة للتيار ناتجة عن بعضه الساريص بمحايد المحوّه، حيب ان السيار الارصي لنموه سوف يوند هبوط بصافي في فولتية التتابع الصفري مما يؤدي إلى زيادة ممانعة العطل المقاسة وبالتالي يؤثر على دقة قياس مرحلة حماية المسافة، أن مقدار هذه الزيادة في الممانعة المقاسة يزداد بزيادة مقننات المحولة، أو من خلال ربط أكثر من محولة مؤرضة على خط النقل، وبما أن تأثير الحث التبادلي للممانعة الاقتران بين تيار التتابع الصفري (I_{0A}) للدائرة الأولى (A) وتيار التتابع الصفري (I_{0B}) للدائرة الثانية (B) في شبكة نفسها سوف يؤثر على قياس المرحلة، فإن تيار التتابع الصفري للمحوّلة (I_{0T}) بدوره، والذي يكون عبارة عن مصدر تغذية وسطي إضافي لتيار التتابع صفري، سوف يسبب حثاً تبادلياً بين الخطوط المتجاورة أيضاً، لذلك فإن فولتية المرحلة للخط الأول (V_{0A}) لنظام التتابع الصفري تكون وفق العلاقة الآتية [6]:

$$V_{0A} = [(p + 2t + m \cdot q) \cdot Z_{0L} - (2 \cdot t) \cdot Z_{0M}] \cdot I_{0A} + [(p + m \cdot q) \cdot Z_{0M}] \cdot I_{0B} \dots \\ [(t + m \cdot q) \cdot Z_{0L} - (t) \cdot Z_{0M}] \cdot I_{0T} + V_{0F} \dots (6)$$

لذلك يمكن تمثيل شبكة التتابع الصفري مع تأثير الحث التبادلي لتيار التتابع الصفري بالممانعة (Z_{0M})، فضلاً عن خط التغذية الوسطي لتيار التتابع الصفري للمحوّلة، وكما يمثل (Z_{0L}) ممانعة التتابع الصفري لخط النقل و تمثل (V_{0F}) فولتية العطل لشبكة التتابع الصفري، ولذلك يكون تمثيل شبكة التتابع الصفري في حالة حدوث قصر مع الأرض في مسار الدائرة الأولى (A) لخط النقل المزدوج بوجود خط تفرّع كما في موضح في الشكل (5).



الشكل (5): شبكة التعاقب الصفري في حالة حدوث قصر طور مع الأرض

في مسار الدائرة (A) لخط النقل المزدوج بوجود خط تفرّع

وعليه فإن الفولتية التي تظهر عبر مرحلة قياس المسافة (V_R) والتي تشمل هبوط الجهد لمركبات التتابع الثلاثة بما فيها مركبات الفولتية لمقاومة العطل تكون وفق العلاقة الآتية [6]:

$$V_R = V_{I_{0A}} + V_{2A} + V_{0A} + 3 \cdot I_F \cdot R_F \quad \dots(7)$$

وحيث يمثل (I_F) تيار العطل بينما تمثل (R_F) مقاومة العطل (Fault Resistance) والتي تشمل كل من مقاومة القوس الكهربائي (Arc Resistance) ومقاومة التأسيس للبرج (Tower Footing Resistance). أما التيار الذي المار بمرحلة قياس المسافة (I_R) مبين في المعادلة التالى [6]:

$$I_R = (I_{1A} + I_{2A} + I_{0A}) + \left(\frac{Z_{0L} - Z_{1L}}{Z_{1L}} \right) \cdot I_{0A} \quad \dots (8)$$

و عليه يكمن حساب الممانعة الظاهرة (Z_R) التية، تقيسها مرحلة المسافة من خلال المعدلات السابقة وكالاتهم، [6],[5]:

$$Z_R = \frac{V_R}{I_{aA} + K_E \cdot I_{EA}} \quad \dots(9)$$

حيث يمثل (I_{aA}) تيار الطور (a) العاطل وهو حاصل جمع تيارات التتابع الموجبة والسالبة والصفريية ($I_{1A} + I_{2A} + I_{0A}$) وتيار العطل الأرضي للدائرة الأولى (A) و (K_E) يمثل عامل التعويض المتبقي (Residual Compensation Factor) [6],[5] وكما في المعادلة الآتية:

$$K_E = \frac{Z_{0L} - Z_{1L}}{3 Z_{1L}} \quad \dots(10)$$

وقد تم استخدام برنامج (Matlab\Simulink + M-File) لتمثيل و نمذجة مرحلة قياس المسافة العاملة في خطوط النقل الهوائية المزدوجة (132kV) لشبكة كهرباء العراق للمنطقة الشمالية من خلال تحليل حالة عطل أرضي لإحدى خطوط النقل المزدوجة واستخدام تقنية سلسلة فوريير (Fourier Series) لإيجاد قيم تيارات وفولتيات التتابع والمنظومة فضلاً عن الممانعة الظاهرة المقاسة.

النتائج والمناقشة:

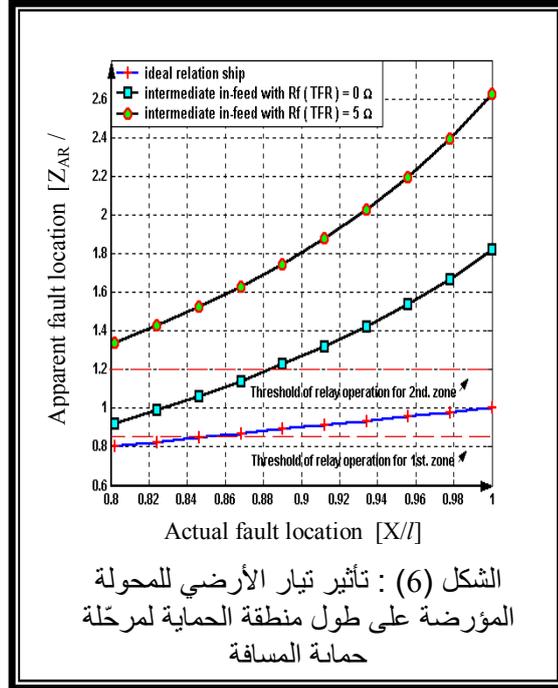
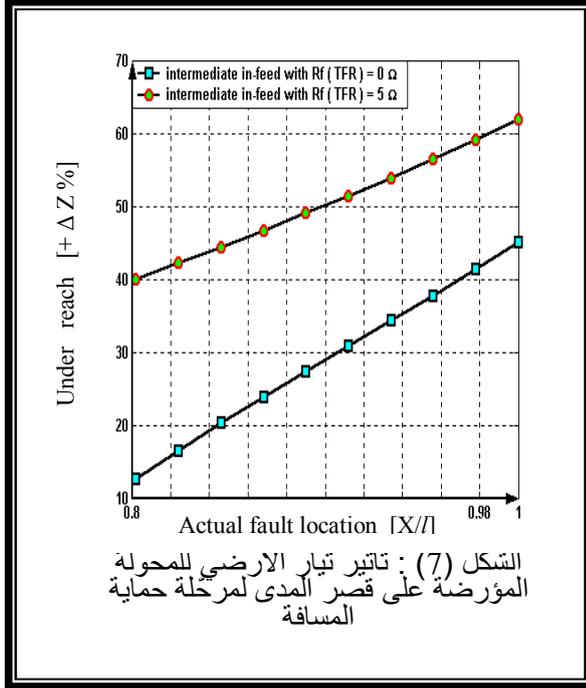
تم في هذه الدراسة بيان تأثير تيار التتابع الصفري للمحولة المؤرضة والواقعة بين موقع مرحلة حماية المسافة وموقع العطل على قيمة الممانعة الظاهرة المقاسة من قبل تلك المرحلة وكذلك تأثير كل من الحث التبادلي بين المسارين المتوازيين لتيارات مركبة التتابع الصفري لخطوط النقل ذات الدائرة المزدوجة وتأثير مقاومة العطل.

تأثير المحولة المؤرضة في خط التفرع على مرحلة حماية المسافة:

ينشأ خطأ القياس في مرحلة حماية المسافة لهذه الحالة بسبب التيار الأرضي للمحولة المؤرضة المرتبطة في خط التفرع والذي يعمل كمصدر تغذية وسطي إضافي لتيار التتابع الصفري في المسار العاطل وكما مبين سلفاً في الشكل (5)، فضلاً عن تأثير الحث التبادلي لنظام التتابع الصفري في خطوط النقل المزدوجة الدائرة، وسيتم بيان هذا التأثير في حالة وجود وعدم وجود مقاومة العطل.

1. حالة عدم وجود مقاومة العطل:

في هذه الحالة وعلى اعتبار أن مقاومة العطل ($R_F = 0 \Omega$)، فإن الجدول (2) يبين قيمة وزاوية الممانعة الظاهرة التي تقيسها المرحلة (Z_R)، والممانعة الفعلية (Z_F) وممانعة الخطأ (Z_E) الناتجة مع تأثير مصدري القدرة للعمومي القريب والبعيد عن المرحلة ولمواقع عطل مختلفة. نلاحظ من خلال الجدول (2) أن مرحلة قياس حماية المسافة سوف تقيس ممانعة عطل اكبر من الممانعة الفعلية للعطل لأن مقدار ممانعة الخطأ يكون موجبا، حيث أن قيمة وزاوية ممانعة الخطأ في هذه الحالة تنتج عن عدة تأثيرات وكما مبين في الجدول (3) إذ نلاحظ أن تأثير تيار التتابع الصفري للمحولة المؤرضة (I_{0T}) مع تيار التتابع الصفري (I_{0B}) بسبب الاقتران التبادلي الأثر الأكبر على قيمة ممانعة الخطأ وبالتالي على قيمة الممانعة الظاهرة المقاسة مقارنة بتأثير تيار التتابع الصفري (I_{0A}) بسبب الحث التبادلي في خط التفرع. إن هذه التأثيرات سوف تقلل من طول منطقة الحماية بشكل كبير وعليه فإن مرحلة المسافة سوف تعاني من قصر في المدى والذي يصل إلى (45 %) وكما يتضح في الشكل (6) والشكل (7)، وهذا يعني أن مرحلة حماية المسافة سوف تحتاج إلى ضبط مقداره بمقدار (181.5 %) من طول مساره لكي يغطي (100 %) من الطول الفعلي لخط النقل.



الجدول (2) : تأثير تيار الأرضي للمحولة المؤرضة والحث التبادلي على الممانعة الظاهرية لمرحلة حماية المسافة في حالة كون مقاومة العطل ($R_F = 0 \Omega$)

ممانعة الخطأ للتعطل $[\Omega]$	الممانعة الفعلية للتعطل $[\Omega]$	الممانعة الظاهرية للمرحلة $[\Omega]$	النسبة المئوية لموقع العطل
73.7 \angle 02.845	69.8 \angle 14.404	70.4 \angle 17.244	m = 20 %
73.8 \angle 04.740	69.8 \angle 15.171	70.7 \angle 19.902	m = 40 %
74.1 \angle 07.092	69.8 \angle 15.938	71.1 \angle 23.017	m = 60 %
74.2 \angle 10.134	69.8 \angle 16.705	71.4 \angle 26.902	m = 80 %
74.4 \angle 10.304	69.8 \angle 17.472	71.9 \angle 31.751	m = 100 %

الجدول (3) : قيم وزوايا ممانعات الخطأ بسبب التيار الأرضي للمحولة المؤرضة وممانعة الاقتران التبادلي بسبب تيارات التعاقب الصفرية في حالة مقاومة عطل ($R_F = 0 \Omega$)

الممانعة الناتجة عن (R_F) $[\Omega]$	الممانعة الناتجة عن (I_{0A}) $[\Omega]$	الممانعة الناتجة عن (I_{0T}) $[\Omega]$	الممانعة الناتجة عن (I_{0B}) $[\Omega]$	النسبة المئوية لموقع العطل
0.00	-101.8 \angle 0.420	68.3 \angle 1.321	78.2 \angle 1.954	m = 20 %
0.00	-101.9 \angle 0.401	69.6 \angle 2.379	77.1 \angle 2.775	m = 40 %
0.00	-102.1 \angle 0.376	70.3 \angle 3.602	77.8 \angle 3.882	m = 60 %
0.00	-102.2 \angle 0.342	70.8 \angle 5.067	77.7 \angle 5.427	m = 80 %
0.00	-1027 \angle 0.291	71.1 \angle 6.916	77.5 \angle 7.701	m = 100 %

في هذه الحالة تم اخذ مقاومة عطل بقيمة ($R_F = 5 \Omega$)، وعليه فإن الجدول (4) سوف يبين قيمة وزاوية الممانعة الظاهرية التي تقيسها المرحلة (Z_R)، مع الممانعة الفعلية (Z_F) وممانعة الخطأ (Z_E) الناتجة ولمواقع عطل مختلفة. إذ نلاحظ من الجدول (4) أن قيمة ممانعة الخطأ في هذه الحالة سوف تزداد مقارنة بالحالة السابقة أما زاويتها فإنها سوف تقل بسبب تأثير مقاومة العطل، وهذا التأثير بالتالي سوف ينعكس على قيمة وزاوية الممانعة الظاهرية للمرحلة، إن ممانعات الخطأ الناتجة بسبب تأثير تيارات التتابع الصفرية (I_{0T}) و (I_{0B}) و (I_{0A}) سوف لا تتأثر بوجود مقاومة العطل لأن النسبة بين هذه التيارات و التيار المجهز للمرحلة ثابتة وكما مبين في الجدولين (4) و(5).
 إن طول منطقة الحماية بوجود مقاومة العطل سوف يقل بشكل كبير مقارنة بالحالة السابقة وبالتالي فإن قصر المدى لمرحلة المسافة سوف يصل إلى (62 %) وكما يتضح في الشكل (6)، لذلك فإن مرحلة قياس المسافة سوف تحتاج إلى ضبط مقداره بمقدار (262.5 %) من طول مسار لكي يغطي (100 %) من الطول الفعلي لخط النقل.

الجدول (4) : تأثير تيار الأرضي للمحولة المؤرّضة والحث التبادلي على الممانعة الظاهرية

لمرحلة حماية المسافة في حالة كون مقاومة العطل ($R_F = 5 \Omega$)

النسبة المئوية لموقع العطل	الممانعة الظاهرية للمرحلة [Ω]	الممانعة الفعلية للعطل [Ω]	ممانعة الخطأ للعطل [Ω]
m = 20 %	39.2 ∠ 24.882	69.8 ∠ 14.404	8.80 ∠ 14.471
m = 40 %	39.8 ∠ 28.433	69.8 ∠ 15.171	13.4 ∠ 17.069
m = 60 %	40.1 ∠ 32.755	69.8 ∠ 15.938	17.4 ∠ 20.519
m = 80 %	39.9 ∠ 38.321	69.8 ∠ 16.705	20.0 ∠ 25.239
m = 100 %	39.4 ∠ 45.879	69.8 ∠ 17.472	24.4 ∠ 32.049

الجدول (5) : قيم ممانعات الخطأ بسبب التيار الأرضي للمحولة المؤرّضة مع تيار التعاقب الصفري بسبب

النسبة المئوية لموقع العطل	الممانعة الناتجة عن (I_{0B}) [Ω]	الممانعة الناتجة عن (I_{0T}) [Ω]	الممانعة الناتجة عن (I_{0A}) [Ω]	الممانعة الناتجة عن (R_F) [Ω]
m = 20 %	78.2 ∠ 1.954	68.3 ∠ 1.321	-101.8 ∠ 0.420	-2.1 ∠ 13.508
m = 40 %	77.1 ∠ 2.775	69.6 ∠ 2.379	-101.9 ∠ 0.401	-2.1 ∠ 15.291
m = 60 %	77.8 ∠ 3.882	70.3 ∠ 3.602	-102.1 ∠ 0.376	-2.1 ∠ 17.642
m = 80 %	77.7 ∠ 5.427	70.8 ∠ 5.067	-102.2 ∠ 0.342	-2.2 ∠ 20.868
m = 100 %	77.5 ∠ 7.701	71.1 ∠ 6.916	-1027 ∠ 0.291	-2.3 ∠ 25.588

الاستنتاجات:

إن نتائج هذا البحث مشتقة من تحليل حالة عطل طور مع الأرض لخط نقل مزدوج الدائرة مزود بالقدرة من جهتين وبوجود محولة مؤرّضة في وسط احد الخطوط والعاملة بجهد خط مقداره (132 kV) وبتردد (50 Hz).

إن هذا البحث يتضمن دراسة تأثير وجود محولة المؤرّضة في خط التفرّع الوسطي مع بيان تأثير الحث التبادلي لنظام التتابع الصفري على أداء ودقة قياس مرحلة حماية المسافة التقليدية والعاملة لحماية خطوط النقل المزدوجة مع

وبدون تأثير مقاومة العطل وتحت ظروف تشغيلية ومواقع عطل مختلفة. وقد أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها من تحليل دائرة العطل ما يأتي:

1. تأثير تيار التتابع الصفري (التيار الأرضي) للمحولة المؤرضة في حالة وجودها في خط التفرع الوسطي بين موقع العطل ومرحلة حماية المسافة وهذا التأثير يؤدي إلى تغير قيمة الممانعة الظاهرية المقاسة فضلاً عن تأثير الممانعة الناتجة عن الحث التبادلي لنظام التتابع الصفري فعندما يكون موقع العطل على بعد (80 %) من طول الخط فإن ممانعة العطل الفعلية تكون بحدود ($16.705 \leq \Omega \leq 69.8$) أما ممانعة الظاهرية لمرحلة المسافة تكون بحدود ($26.902 \leq \Omega \leq 71.4$) في حالة عدم وجود مقاومة عطل وبقصر مدى مقداره (37.7%) وتكون بحدود ($38.321 \leq \Omega \leq 39.9$) في حالة وجود مقاومة عطل (5Ω) بقصر مدى يصل إلى (56.4 %) وهذا يؤدي بالتالي إلى تغيير طول منطقة الحماية في كلا الحالتين.

2. في حالة كون خط النقل مزوداً بالقدرة من جهتين فإنه يجب الأخذ بنظر الاعتبار قيمة مقاومة العطل الظاهرية، إذ أن مرور تيارات قصر من نهايتي خط لتغذية نقطة القصر يؤدي إلى زيادة قيمة مقاومة العطل الفعلية فعند موقع العطل المذكور سابقاً كانت مقاومة العطل الظاهرية والتي تكون عبارة عن قيمة مركبة بحدود ($20.868 \leq \Omega \leq -2.2$) أما مقاومة العطل الفعلية فهي بحدود (5Ω).

3. إن للاقتران التبادلي لنظام التتابع الصفري لخطوط النقل المزدوجة تأثير كبير على المسافة المحمية إذ يسبب قصراً أو بعداً في المدى لمرحلة قياس المسافة وهذا يعتمد على تغيير مستوى القصر وسريان القدرة لمصدر التغذية عند نهايتي خط النقل فضلاً عن موقع العطل.

المراجع:

- [1] Q. Gong, Y. Chen, C. Zhang and Z. Wang, "A Study of the Accurate Fault Location System for Transmission Line Using Multi-Terminal Signals", Proceeding Paper, IEEE PES Winter Meeting, Vol. 4, pp.2533-2538, 2000.
- [2] T. Nagasawa, M. Abe, N. Otsuzuki, T. Emura, Y. Jikihara, M. Takeuchi, "Development of a New Fault Location Algorithm For Multi-Terminal Two Parallel Transmission Lines", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No. 3, pp. 1516-1532, July 1992.
- [3] D.A. Tziouvaras, J.B. Roberts and G. Benmouyal, "New Multi-Ended Fault Location Design For Two or Three Terminal Lines", IEEE Developments in Power System Protection, Conference Publication No.479, pp. 395-398, 2001.
- [4] Y.Q. Xia, A.K. David and K.K. Li, "High-Resistance Faults on a Multi-Terminal Line: Analysis, Simulated Studies and an Adaptive Distance Relaying Scheme", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.9, no 1, pp. 492- 500, January 1994.
- [5] ALSTOM, "Protection and Automation Net Work", Guide, Alstom T&D Energy Automation and Information, Peter Rush, Levauis – Perret France, 2002.
- [6] Gerhard Ziegler, "Numerical Distance Protection, Principles and Application", Siemens, Erlangen, Publics -MCD-Verl. 2008.
- [7] G. E. Alexander and J. G. Andrichak, "Application of Phase and Ground Distance Relay to Three terminal Lines", GE protection & control, Malven, PA, 1994.
- [8] M. F. AL-Kababjie, D. A. AL-Na'ma, H. I. Zynal, and N. Sheet, "Evaluation of Distance protection Devices High Voltage North Net Work", The University of Mosul, Presented to I.N.R.G., August 2001.

د. عبد الغني عبد الرزاق و السيد حسن حجي خديدة، "دراسة تأثير نقاط التأريض على مستويات تيار [9] القصر لشبكة

المنطقة الشمالية 132 kV"، جامعة الموصل، الشركة العامة لإنتاج الطاقة الكهربائية للمنطقة الشمالية، أيلول، 2001.