دراسة أثر شبكات التوتر العالي المتناوب على تآكل الأنابيب المعدنية القريبة منها

د. محمد زهيرة*

د. علاء الدين حسام الدين**

(تاريخ الإيداع 1 / 2 / 2021. قُبِل للنشر في 28/ 3 / 2021)

□ ملخّص □

برزت في ثمانينات القرن الماضي ظاهرة تآكل جديدة تضاف إلى ظواهر التآكل المعروفة، ناتجة عن التوترات المتحرضة في الأنابيب نتيجة الحقل المغناطيسي المتغير الناتج عن مرور تيار متناوب في شبكات التوتر العالي، عندما يكون مسار خط الأنابيب مجاوراً لهذه الشبكات، حيث أظهرت الدراسات أن الأنابيب المعدنية المطمورة في التربة تتأثر بشكل كبير جداً، ويزداد الصدأ والتآكل عليها إذا كانت تجاور شبكات نقل الطاقة ذات التوتر العالي، ويزداد هذا التأثير بشكل كبير كلما زادت مسافة التجاور، وقلّت المسافة بين الشبكتين، وخاصة إذا كان التجاور بشكل متواز ومن جهة واحدة، وبالتالي استخدام حماية مهبطية كما كان متعارف عليه سابقاً، أي تغليف الأنابيب المطمورة بطبقة عازلة وتمرير تيار حماية مهبطية مستمر فيها لا يحمي هذه الأنابيب من التآكل والصدأ.

يهدف هذا البحث إلى توضيح آلية التآكل نتيجة التوتر المتناوب المتحرض في الأنابيب المعدنية المطمورة في الأرض، واقتراح الحلول المناسبة وفق ما هو وارد في المواصفات القياسية العالمية، ودراسة العلاقة بين كثافة التيار المتناوب وكثافة تيار الحماية المهبطية، بالإضافة إلى تحديد بعض القيم الحدية للتوتر، وللمسافة بين الأنابيب والشبكة الكهربائية ودراسة أثر المقاومة النوعية للتربة المطمور فيها الأنبوب.

في مرحلة إعادة بناء قطاعي الكهرباء والنفط يمكن أن تتجاور هذه الشبكات مع بعضها البعض، ويمكن التخلص من الكثير من المشاكل عند دراسة مسارات هذه الشبكات بشكل صحيح قبل تنفيذها، وفي حال كانت إحدى الشبكتين منفذة، والأخرى قيد الدراسة يمكن اتخاذ بعض الإجراءات وفق ما هو وارد في هذه الدراسة تؤدي إلى التخفيض من التأثير المتبادل بينها.

الكلمات المفتاحية: تآكل المعدن، الحماية المهبطية، تجاور الأنابيب.

* أستاذ – هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهمك– جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

** أستاذ – قسم هندسة الميكاترونيكس –كلية الهندسة الكهربائية –جامعة المنارة – اللاذقية – سورية. allaa.eddin@manara.edu.sy

Study of the Corrosion Effect of High Voltage Alternating Networks on Nearby Metal Pipes

Dr. Mouhmmad Zhirh*
Dr. Alaa Eldin Housam Eldin**

(Received 1 / 2 / 2021. Accepted 28 / 3 / 2021)

□ ABSTRACT □

In the 1980s, a new corrosion phenomenon emerged that is added to the known corrosion phenomena, resulting from the induced tensions in the pipes. This phenomenon is a result of the changing magnetic field resulting from the passage of an alternating current in the networks of high voltage when the pipeline path is adjacent to these networks. Studies have shown that the buried metal pipes Soil is greatly affected by high-voltage power transmission networks, where rust and corrosion are increased. This effect increases dramatically with the increase of the adjacent distance and the distance between the two networks, especially with parallel positioning on same side. Therefore, coating buried tubes , insulating layer and passing a continuous cathode protection current in them, previously known as cathodic protection, does not protect these tubes from corrosion and rust.

This research aims to clarify the corrosion mechanism resulted from the alternating voltage induced in metal pipes buried in the ground, and to propose appropriate solutions according to what is listed in international standards. In addition, it seeks to study the relationship between alternating current density and cathode protection current density, to determine some limit values of the voltage and the distance between the pipes and the electrical network and to study the effect of the specific resistance of the soil in which the tube is buried.

During the stage of rebuilding the electricity and oil sectors, these networks can contiguous with each other, and many problems can be eliminated when the paths of these networks are properly studied before implementing them. When one of the two networks is implemented, and the other is under study, some measures can be taken according to what is mentioned. This study lead to reduction of cross-effect.

Keywords: Metal corrosion, cathodic protection, tube adjacency.

* **Professor, PHD Power Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
** **Professor, PHD Power Electrical Engineering, Dean of Engineering Faculty, Manara University, Lattakia, Syria, allaa.eddin@manara.edu.sy.**

مقدمة:

تعد مشكلة التآكل التي تظهر في الأنابيب المعدنية المطمورة في التربة نتيجة التفاعل بينهما، وطرق الوقاية منها عبر تغليفها بطبقة من المواد البلاستيكية وتطبيق الحماية المهبطية عليها باستخدام تيار مستمر من المشاكل المعروفة منذ زمن بعيد. وتوجد العديد من الدراسات التي تبين آلية التآكل والعوامل المؤثرة فيها، وتحديد كيفية الحماية من هذا التآكل.

برزت في ثمانينات القرن الماضي ظاهرة تآكل جديدة بالإضافة إلى ظواهر التآكل المعروفة، ناتجة عن التوترات المتحرضة في الأنابيب نتيجة الحقل المغناطيسي المتغير الناتج عن مرور تيار متناوب في شبكات التوتر العالي القريبة، عندما يكون مسار خط الأنابيب مجاوراً لهذه الشبكات. ففي عام 1986 ظهر في ألمانيا تآكل كبير جداً على أنبوب معدني يجاور شبكة توتر عالي متناوب 50Hz على الرغم من أن الأنبوب مغلف بطبقة من البولي ايتلين، ومركب عليه حماية مهبطيه جيدة. ثم تكررت حوادث مماثلة في كل من فرنسا، والولايات المتحدة الأمريكية، وكندا لاحقاً [1] , [2].

تمت منذ ذلك الحين دراسة هذا النوع من التآكل عبر مجموعات العمل في IEC و CIGRE [3] ,[4]...الخ، وتم تحديد عدة عوامل تساهم في حدوث هذا التآكل مثل طول مسار التجاور، والمسافة بينها، وكثافة التيار المتناوب المتحرض في الأنبوب، بالإضافة إلى كثافة تيار الحماية المهبطية المستمر المستخدم، والمقاومة النوعية للتربة المحيطة بالأنبوب.

وبالرغم من وجود العديد من المراجع العلمية باللغة العربية حول تآكل المعادن، لم تتم الإشارة إلى آلية واضحة للتآكل، الناتج عن تجاور شبكات التوتر العالي مع الأنابيب المعدنية، ولم يتم اقتراح الحلول المناسبة للتخفيف من آثاره السلبية.

ونتيجة الزيادة الكبيرة المتوقعة في أطوال شبكات التوتر العالي ذات 220kV و380kV في القطر، بالإضافة إلى الزيادة الكبيرة في أطوال أنابيب نقل النفط والغاز إلى محطات التوليد الكهربائية الجديدة أو إلى مرافئ التصدير، ويمكن أن تجاوز هذه الشبكات مع بعضها البعض أحياناً.

ويمكن عند تحديد مسار هذه الشبكات قبل مدها تجنب الكثير من المشاكل إذا كانت المسارات مدروسة بشكل صحيح، كذلك يمكن التقليل من أثر هذا التجاور باتباع بعض إجراءات الحماية الممكنة على الأنابيب المركبة.

أهمية البحث وأهدافه:

أهمية البحث:

تتجلى أهمية البحث في تسليط الضوء على ظاهرة تآكل الأنابيب المعدنية المجاورة لشبكات التوتر العالي المتناوب وتقديم المقترحات المناسبة للحد من هذه الظاهرة، خصوصاً أن آبار النفط والغاز الحالية بعيدة عن أماكن بناء محطات التوليد المقترحة، وبالتالي بمكن أن يكون جزء من الأنابيب مجاور لخطوط نقل الطاقة.

مجال البحث:

سيركز البحث على النقاط التالية:

- ✓ آلية تحريض التوتر على الأنابيب المعدنية الممددة فوق الأرض (الترابط السعوي)، أو المطمورة في التربة (الترابط الأومي والتحريضي).
- ✓ حساب قيمة التوتر المتحرض، والعوامل المؤثرة فيه.

✓ الإجراءات الصحيحة الواجب اتباعها للحد من أثر توتر الخطوة وتوتر التماس للأنابيب الموجودة فوق الأرض والحد من الأضرار الناتجة عن تآكل المعدن للأنابيب المطمورة في التربة.

هدف البحث:

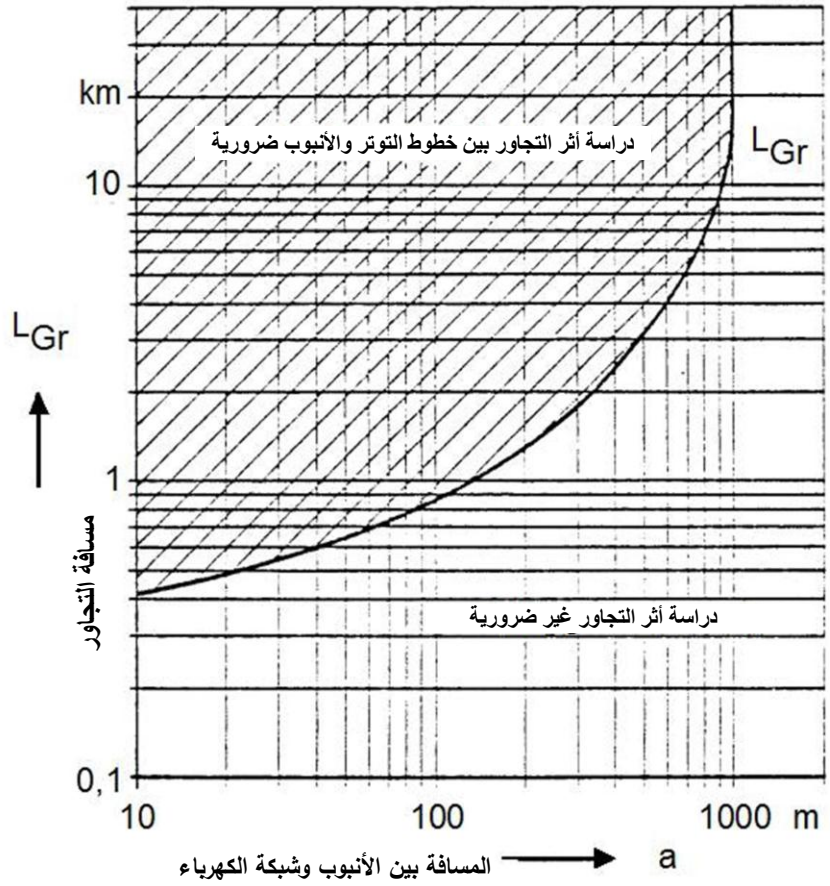
يهدف البحث إلى توضيح آلية التآكل الناتج عن التوتر المتناوب المتحرض في الأنابيب المعدنية، واقتراح الحلول المناسبة وفق ما هو وارد في المواصفات القياسية العالمية، ودراسة العلاقة بين كثافة التيار المتناوب وكثافة تيار الحماية المهبطية، وتحديد نهج محدد لتقييم فعالية الحماية المهبطية، بالإضافة إلى تحديد بعض القيم الحدية للمسافة بينهما، وتحديد قيمة التوتر المتحرض المسموح به في هذه الأنابيب بحيث لا تشكل خطراً على حياة الأشخاص (توتر الخطوة، وتوتر التماس)، او زيادة التآكل لمعدن الأنابيب المطمورة في التربة، وأخيراً تقديم بعض المقترحات والحلول التي تساعد في الحد من هذا التآكل.

1. آلية تحريض التوتر المتناوب في الأنابيب المعدنية:

يسبب التوتر العالي المتناوب في الشبكة الكهربائية المجاورة للأنابيب المعدنية ترابط سعوي بين الأطوار والأنابيب الممددة فوق الأرض، أو أثناء تحضير هذه الأنابيب لطمرها في الأرض، كما يسبب تيار العطل في حالة قصر أحادي الطور مع الأرض أو إصابة صاعقة للخط الأرضي في أعلى الشبكة وسريان جزء من تيار الصاعقة عبر البرج إلى الأرض في حدوث ترابط أومي بين الشبكة والأنابيب المطمورة.

الأثر الأكبر لتآكل الأنابيب يسببه الحقل الكهرطيسي المتغير، المتولد عن التيار المتناوب، والذي يسبب تحريض توتر في الأنبوب (الترابط التحريضي).

بينت الدراسات المرجعية أن قيمة التوتر المتحرض في الأنبوب تتعلق بالبعد بين الأنبوب وشبكة الكهرباء، وبمسافة التجاور بينها، [5]. يبين الشكل (1) المنطقة التي يجب دراسة أثر التجاور فيها، والمنطقة التي يكون فيها دراسة هذا الأثر غير ضروري، وذلك في حال وجود أنبوب واحد بالقرب من شبكة كهرباء واحدة فقط.



الشكل (1) المساحة التي يؤثر فيها التوتر المتناوب على الأنبوب المعدني.

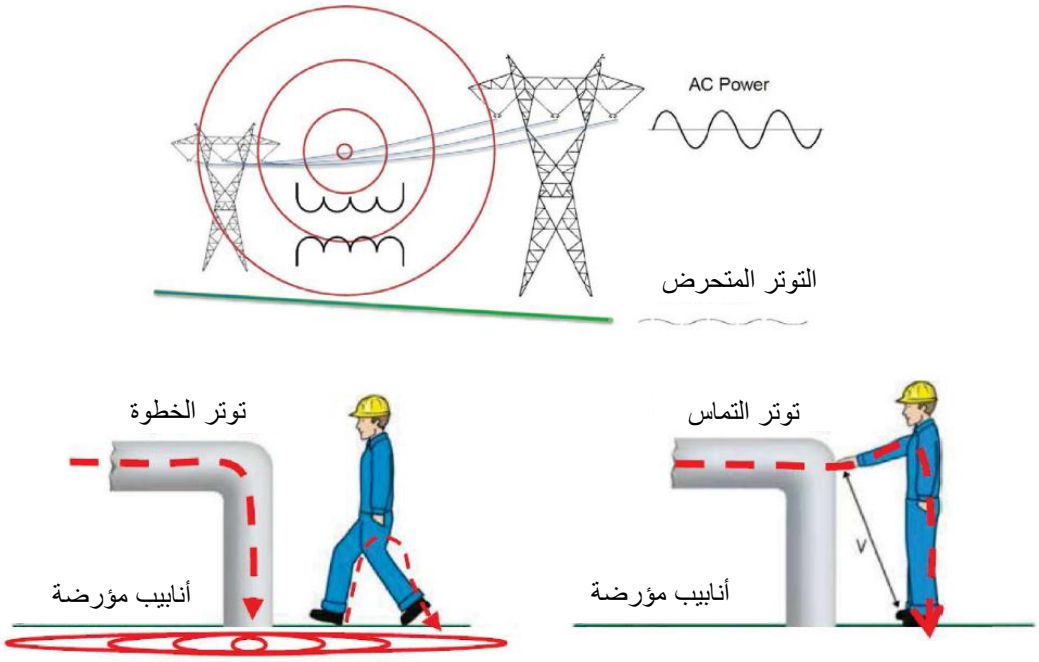
يظهر من الشكل أن خطوط التوتر العالي تؤثر على تآكل الأنابيب على الرغم من المسافة الكبيرة بينها. إذا كانت مسافة التجاور كبيرة، لذلك يجب أخذ ذلك بالحسبان عند دراسة مسار هذه الشبكات.

في حال وجود أكثر من شبكة توتر بالقرب من الأنابيب (عدة مؤثرات) يجب أخذ مجموع المؤثرات، وبالتالي تصبح الدراسة ضرورية عند حدود أقل من الحدود الواردة في الشكل (1).

2. تحريض التوتر المتناوب في الأنابيب المعدنية:

سنبين فيما يلي آلية تحريض توتر متناوب في الأنابيب المعدنية المجاورة لشبكات التوتر العالي نتيجة الترابط السعوي والأومي والتحريضي.

الترابط السعوي: نتيجة فرق الجهد بين أطوار الشبكة والأنابيب المعدنية سيسري تيار سعوي $I=\omega.c.u$ يلعب دوراً أساسياً في تحريض توتر على الانابيب الممددة على سطح الأرض، في حين لا يؤثر الترابط السعوي على الأنابيب المطمورة في التربة. ويمكن أن يشكل التوتر المتحرض في الأنابيب الممددة فوق الأرض خطراً على حياة الإنسان نتيجة توتر الخطوة، وتوتر التماس، الشكل (2)، [6].



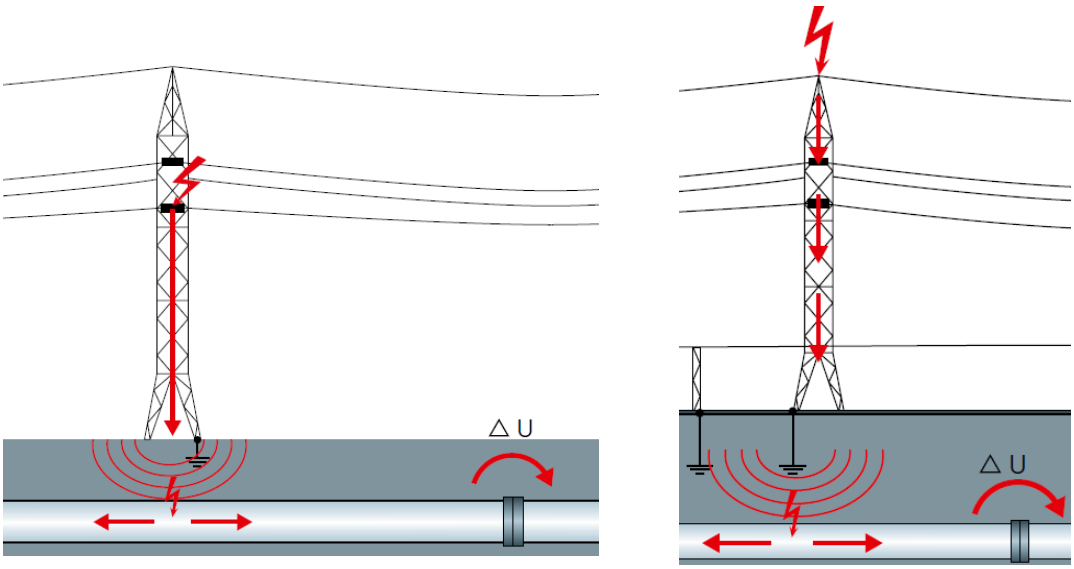
الشكل (2) توتر الخطوة وتوتر التماس في حال ملامسة الأنسان أنبوب معدني مجاور لشبكة التوتر.

في حالة العمل الطبيعي (توتر دائم $t>0.3s$) يجب أن يكون التوتر المتحرض أقل من 60V لحماية الأشخاص من أثر توتر الخطوة، وتوتر التماس. وفي حالة التوتر اللحظي (عطل) فإن التوتر المتحرض المسموح به يكون أقل من 1000V عندما يكون زمن العطل $t_E<0.2s$. ويمكن السماح بتوتر متحرض 1500V من أجل زمن العطل ($0.1s<t_E\leq0.2s$)، وذلك للأشخاص الذين يحملون شهادة خبرة في هذا المجال.

وللتقليل من قيمة التيار السعوي الذي يسبب تحريض توتر في الأنابيب، وعلى اعتبار أن قيم u و ω ثابتة في الشبكة فيجب العمل على تصغير السعة، وذلك بزيادة المسافة بينهما عند التخطيط لمد شبكة كهربائية، أو لمد أنابيب معدنية إذا كان أحدهما موجود والآخر قيد الدراسة.

من المعلوم أنه لا يحدث تآكل على سطح الأنابيب الممددة فوق الأرض (غالباً تكون الأنابيب مطمورة في التربة) لعدم وجود وسط ناقل (تربة أو ماء)، وبالتالي لا يطبق حماية مهبطية على هذه الأنابيب، ويقتصر تأثير الترابط السعوي عليها فقط أثناء تحضيرها للطمر في التربة فقط، وفي حال وجود خدش على المادة العازلة المغلفة يمكن رؤيته بالعين وترميمه.

الترابط الأومي: يدرس في حالة الأعطال (قصر أحد الأطوار مع الأرض) (الشكل 3-a)، أو إصابة الخط الأرضي أعلى البرج بصاعقة (الشكل 3-b).

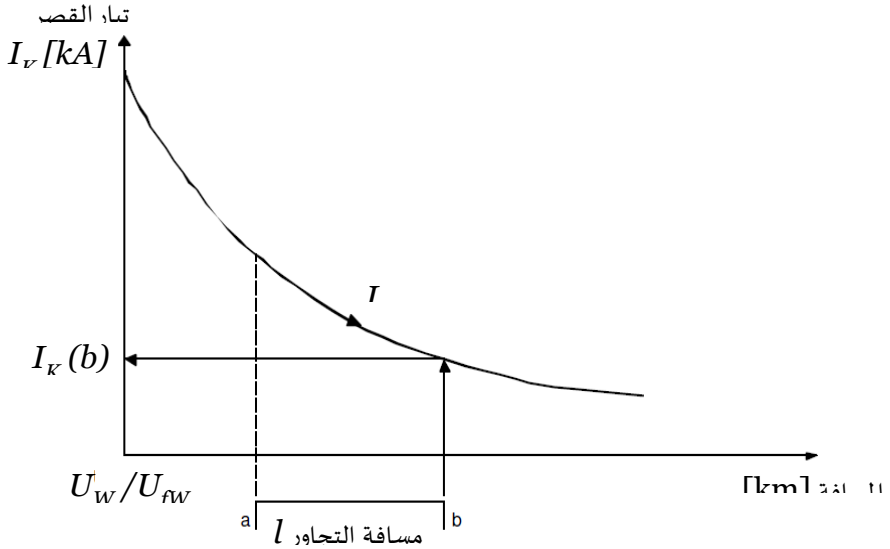


(a) قصر أحد الأطوار مع الأرض **(b)** إصابة الخط الأرضي أعلى البرج بصاعقة

الشكل (3) دراسة الترابط الأومي في حالات الأعطال

في حالة الإصابة بصاعقة سوف يسري تيار الصاعقة على شكل قمع في الأرض، ويسبب تحريض توترات زائدة في الأنابيب القريبة، والتي تبعد أقل من 20m عن أبراج التوتر 110kV وما فوق.

في حال قصر أحد الأطوار مع الأرض سيسري تيار العطل I_k من محطة الكهرباء على طول خط التوتر من اليسار إلى اليمين، ويؤخذ تيار القصر في أقرب نقطة من التجاور (b) I_k، الشكل (4)، ثم يرتد من النقطة b ويسري على طول التجاور l من اليمين إلى اليسار (إلى المنبع ثانية)، [7].



الشكل (4) العلاقة بين تيار القصر ومسافة التجاور، حيث يغذى تيار القصر من جهة واحدة فقط.

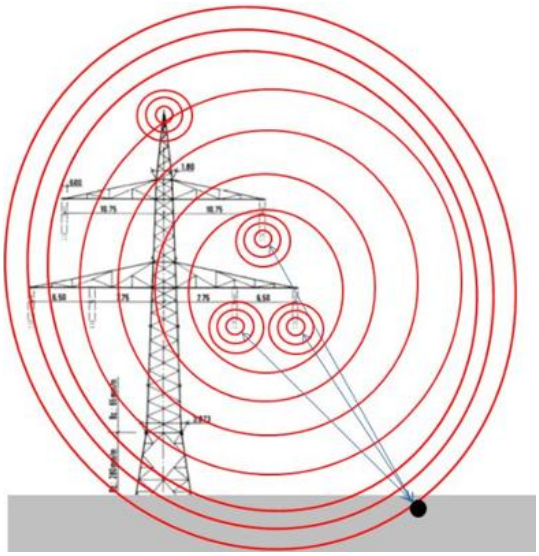
أما في حال وجود قصر في المحطات الكهربائية فإن المسافة المطلوبة بين الشبكة والأنابيب حتى لا تتأثر هذه الأنابيب تتعلق بقيمة التوتر وكيفية تأريض النقطة النجمية للشبكة وفق الجدول (1)، [8].

الجدول (1)

التوتر [kV]	المسافة للخطوط الهوائية [m]	المسافة للكابلات الأرضية [m]
220–380	300	10
110 النقطة النجمية مؤرضة بمقاومة منخفضة	100	5
110 النقطة النجمية معزولة	50	
110 >	10	1

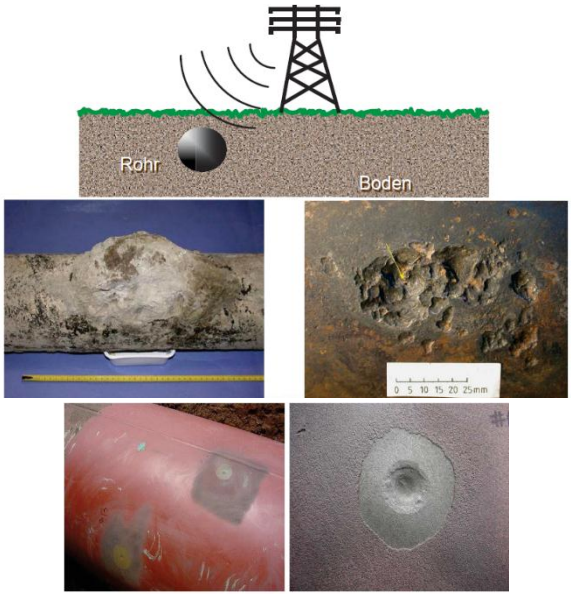
ويجب الأخذ بالحسبان أن أثر هذا التيار على الأنابيب هو أثر لحظي يتم أثناء فترة تفريغ تيار العطل أو الصاعقة بالأرض.

الترابط التحريضي: يولد التيار المتناوب المار في الشبكة حقلاً مغناطيسياً متغيراً نتيجة عدم تساوي المسافة بين أطوار الشبكة ونقطة ما على الأنبوب، مما يسبب تحريض توتر في هذه النقطة ينتج عنه سريان تيار متناوب في الأنبوب (الشكل 5).



الشكل (5) تحريض توتر على نقطة من الأنبوب.

يؤثر الحقل الكهرطيسي المتولد في الانابيب المعدنية، سواء الممددة في الأرض، أو المطمورة في التربة، ويسبب زيادة التآكل عليها (الشكل 6).

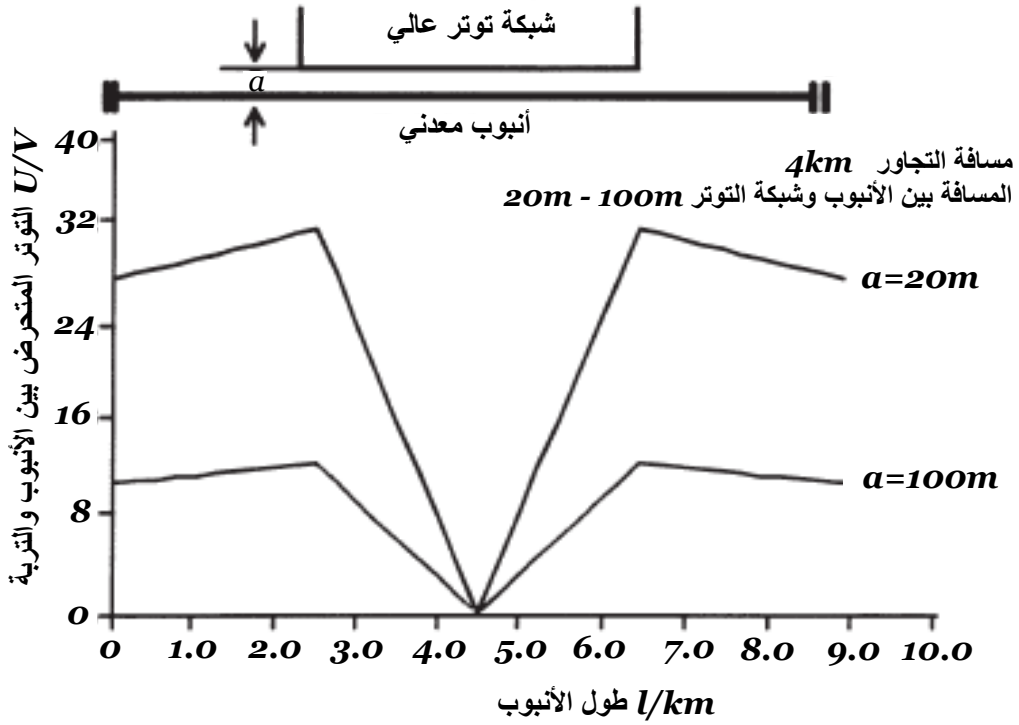


الشكل (6) تآكل الأنابيب نتيجة الحقل الكهرطيسي.

يتعلق التوتر المتحرض بالبعد عن الناقل، وبشدة التيار المار فيه، وبتردد التوتر المطبق، وبكيفية توزيع الأطوار. وتقاس قيمة التوتر المتحرض في الأنبوب بين الأنبوب وبين قطب مغروس في الأرض بعده عن الأنبوب لا يقل عن 20m، علماً بأن قيمة التوتر المتحرض في الأنبوب ثابت على واحدة المسافة، والمحصلة التراكمية للتوتر المتحرض تزداد.

عندما يكون التجاور من جهة واحدة ومسافة التجاور ثابتة يكون التوتر أعظمي على أطراف التجاور وباعتبار قيمة التوتر المتحرض تتعلق باتجاه الحقل المغناطيسي.

تكون محصلة القيمة المتراكمة للتوتر في منتصف التجاور تساوي الصفر، لأن التوتر المتحرض نتيجة الحقل من الجهتين متساوية ومتعاكسة، الشكل (7)، ويظهر من هذا الشكل أن قيمة التوتر المتحرض في الأنبوب تقل بزيادة المسافة بينه وبين الطور، [10].

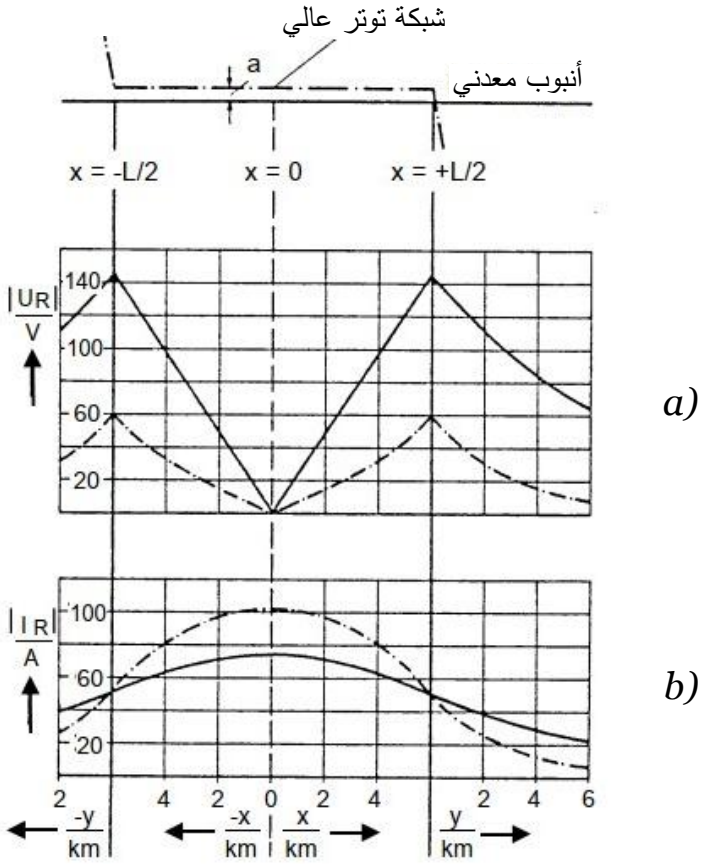


الشكل (7) العلاقة بين قيمة التوتر المتحرض والمسافة a.

نلاحظ من الشكل أن قيمة التوتر المتحرض خارج منطقة التجاور تنخفض بشكل كبير أو قليل حسب مقاومة الغلاف البلاستيكي للأنبوب، فكلما كانت عازلية الأنبوب جيدة كلما كان انخفاض التوتر بعد نهايتي التجاور قليلاً.

التيار عكس التوتر حيث يكون التيار في المنتصف أكبر ما يمكن ويقل على أطراف التجاور.

يبين الشكل (8) قيمة التوتر المتحرض (8-a) والتيار في أنبوب معدني من أجل تيار قصر، وتيار العمل الطبيعي (8-b)، [7].



——— التأثير عبر تيار القصر I_k.

–·–·– التأثير عبر تيار العمل الطبيعي.

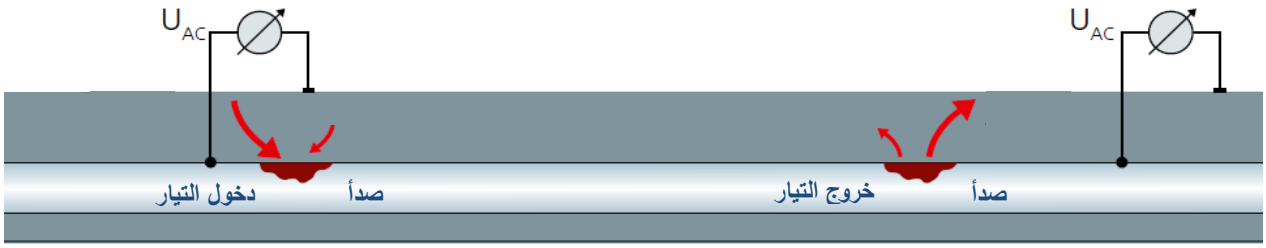
الشكل (8) قيمة التوتر U_R والتيار I_R المتحرضة في أنبوب معدني.

إذا كان التجاور متغير، أي أنه بمسافة معينة كان الأنبوب مجاوراً لخط التوتر بالجهة اليمنى ثم تغير للجهة اليسرى، وبسبب تغير اتجاه الحقل المغناطيسي، وبالتالي تغير زاوية التوتر المتحرض، فإن ذلك سيؤدي إلى إنقاص القيمة التراكمية للتوتر المتحرض.

في حال وجود تقاطع بين خط الأنبوب المعدني وبين خط التوتر فقط يهمل التأثير. إذا كانت زاوية التقاطع أكبر من 55^o يهمل تأثير الخط على الأنبوب، [8].

3. حساب كثافة التيار المتناوب المتحرض في الأنبوب:

يتعرض الغلاف البلاستيكي المستخدم في الحماية المهبطية لخدوش صغيرة أثناء تحضير الأنبوب للطمر، أو أثناء الطمر (ويؤخذ وسطياً خدش واحد لكل 1km من طول الأنبوب)، مما يسمح للتيارات الأرضية الدخول والخروج من الانبوب، الشكل (9).



الشكل (9) قيمة التوتر U_R والتيار I_R المتحرضة في أنبوب معدني.

العيوب الصغيرة التي تقدر بـ cm^2 هي أكبر خطراً من الثقوب الكبيرة حيث كثافة تصريف التيار المتناوب مركزة وأكثر عرضة للتسبب في التآكل المتسارع، وهذا صحيح بشكل خاص في التربة ذات المقاومة المنخفضة، وعلى الأغلب تكون مساحة الخدش أقل من $10cm^2$.

تعطى كثافة التيار المتناوب بشكل مبسط عند أخذ المقاومة النوعية للتربة فقط بالحسبان، (الشكل 10-a)، بالعلاقة، [10]:

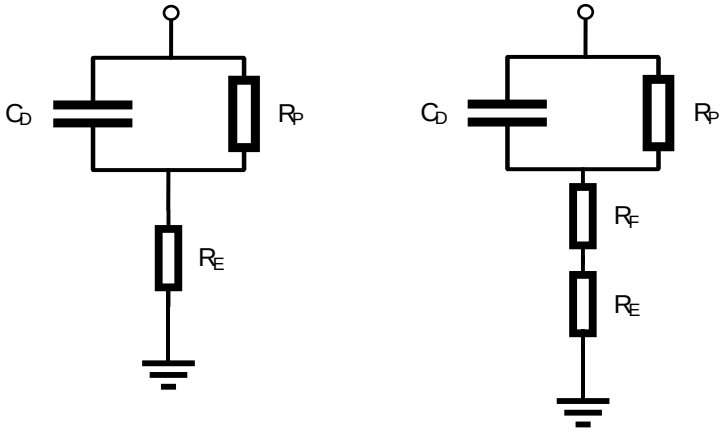
$$J_{AC}[A/m^2] = \frac{8 \cdot V_{AC}}{\rho \cdot \pi \cdot d} \qquad (1)$$

حيث:

V_{AC} – الكمون بين الأنبوب، والأرض، [V].

ρ – المقاومة النوعية للتربة، [Ω.m].

d – قطر الدائرة التي مساحتها تساوي مساحة الخدش، [m]، وتؤخذ في الحساب 11.3mm، باعتبار أن مساحة الخدش تؤخذ $1cm^2$ وفق [5].



(b) بأخذ المقاومة النوعية للتربة ومقاومة الخدش بالحسبان (a) بأخذ المقاومة النوعية للتربة فقط بالحسبان

الشكل (10) الدارة المكافئة عند حدوث خدش على سطح المعدن.

من الشكل نبين أن:

R_P – مقاومة الاستقطاب على سطح المعدن، وتتراوح قيمتها بين $[\Omega/cm^2]$ 1-1000.

C_D – سعة المكثف المضاعف الطبقة، والذي يتشكل على الحد الفاصل بين قطب معدني ومحلول الكتروليتي حسب Helmholtz، وتتراوح قيمة هذه السعة بين [$\mu F/cm^2$] 10-100.

وعند أخذ المقاومة النوعية للتربة ومقاومة الخدش R_F بالحسبان (الشكل 10-b)، تعطى كثافة التيار بالعلاقة، [10]:

$$J_{AC}[A/m^2] = \frac{V_{AC} \cdot 10^4}{\rho \cdot (S + 0.25 \cdot \sqrt{\pi \cdot A})} \qquad (2)$$

حيث:

V_{AC} – الكمون بين الأنبوب، والأرض، [V].

ρ – المقاومة النوعية للتربة، [Ω.m].

S– سماكة طبقة العزل على الانبوب، [cm].

A – مساحة الخدش،[cm^2].

وقد أثبتت الدراسات أن التآكل يتعلق بكثافة التيار المتناوب، وفق الجدول (2)، [11] ، [12]:

الجدول (2)

التآكل نتيجة التيار المتناوب	كثافة التيار [A/m^2]
قليل وغير متوقع	$0-20A/m^2$ ($0-2mA/cm^2$)
متوسط ولا يمكن التنبؤ به	$20-100A/m^2$ ($2-10mA/cm^2$)
عالي	أكبر من $100A/m^2$ أكبر من $10A/cm^2$

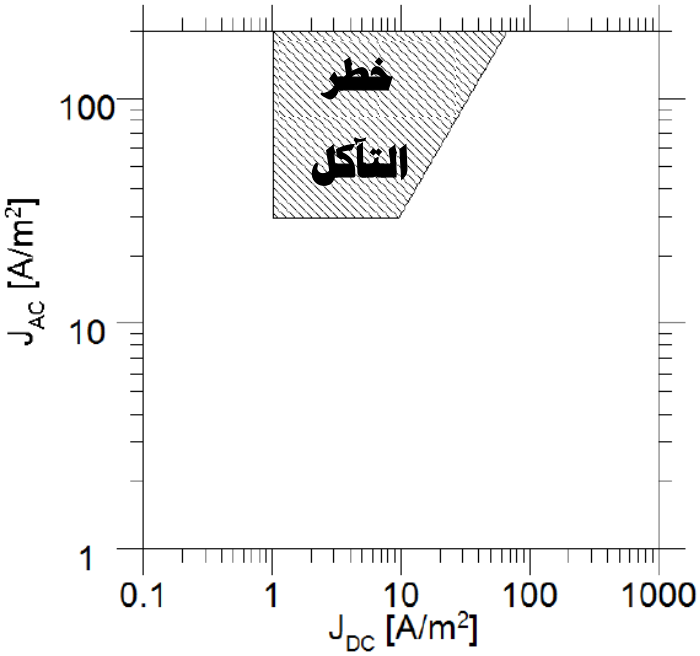
ويكون الصدأ الناتج عن التوتر المتناوب المتحرض في الأنابيب قليل $\geq$ 0.03mm/a، [13].

1. كثافة التيار المتناوب $J_{AC} \leq 30A/mm^2$.

2. كثافة تيار الحماية المهبطية (المستمر) $J_{DC} \leq 1A/mm^2$.

3. نسبة كثافة التيار المتناوب إلى كثافة تيار الحماية المهبطية $J_{AC} / J_{DC} \leq 3$.

يبين الشكل (11) المنطقة التي يحدث فيها التآكل وفق القواعد السابقة.



الشكل (11) منطقة حدوث التآكل.

نتيجة الصدأ الناتج عن التوتر المتناوب المتحرض، نلاحظ المظاهر التالية، [14]:

- ارتفاع درجة PH على سطح معدن الأنبوب بشكل كبير.
- يتم تشكيل منتجات التآكل المدمجة والتي تكون أساساً من الغرافيت والمغناتيت.
- يتكون الصدأ مباشرة على سطح المعدن، ويؤدي إلى رفع الغلاف البلاستيكي عن المعدن.
- لا يوجد ناتج صدأ قابل للانحلال.

4. حساب قيمة التوتر المتحرض V_{AC}، [7]:

كما هو وارد في العلاقتين (1) و (2)، يجب حساب قيمة التوتر المتحرض على الأنبوب لحساب كثافة التيار، وتعطى هذه القيمة بالعلاقة، [13]:

$$V_{AC} = I \cdot \omega \cdot M' \cdot l \cdot r \qquad (3)$$

حيث:

A_{AC} – القيمة الفعالة للتوتر المتحرض، [V].

I – القيمة الفعالة للتيار المار في النواقل I_F، أو قيمة تيار القصر، [A].

M' – التحريض المتبادل بين نواقل التيار والأرض والأنبوب المعدني، وتتعلق قيمتها بالتردد، [μH/m=V.S/A.m].

l – طول مسافة التجاور، [m].

r – عامل تخفيض في حال وجود ناقل مؤرض على طول الأنبوب في منطقة التجاور إذا كان التأثير ناتج عن خطوط شبكة هوائية أو غلاف معدني مؤرض للكابل في حال كان التأثير ناتج عن التيار المار في الكابل.

يتم حساب قيمة التحريض المتبادل من العلاقات (4) و (5) من أجل X≤10، حيث تعطى X بالعلاقة (5).

$$M' = 142.5 + 45.96X - 1.413X^2 - 198.4 \cdot \ln X \ [\frac{\mu H}{km}] \qquad (4)$$

من أجل X>10:

$$M' = \frac{400}{X^2} \ [\frac{\mu H}{km}] \qquad (5)$$

حيث:

$$X = a\sqrt{\frac{\mu_0 \cdot \omega}{\rho}} \qquad (6)$$

حيث:

$$\omega = 2\pi \cdot f \qquad \mu_0 = 0.4\pi \times 10^{-6} \ [\frac{H}{m}]$$

f – التردد، [Hz].

نلاحظ من العلاقات السابقة أن التحريضية المتبادلة تتعلق بالتردد، ويعود سبب ذلك إلى أن التيارات الأرضية ذات الترددات القليلة تسري لعمق كبير في التربة بالمقارنة مع التيارات ذات الترددات العالية، ولهذا السبب لا نستخدم الأوتاد في تأريض أبراج الاتصالات والإذاعة ذات الترددات العالية.

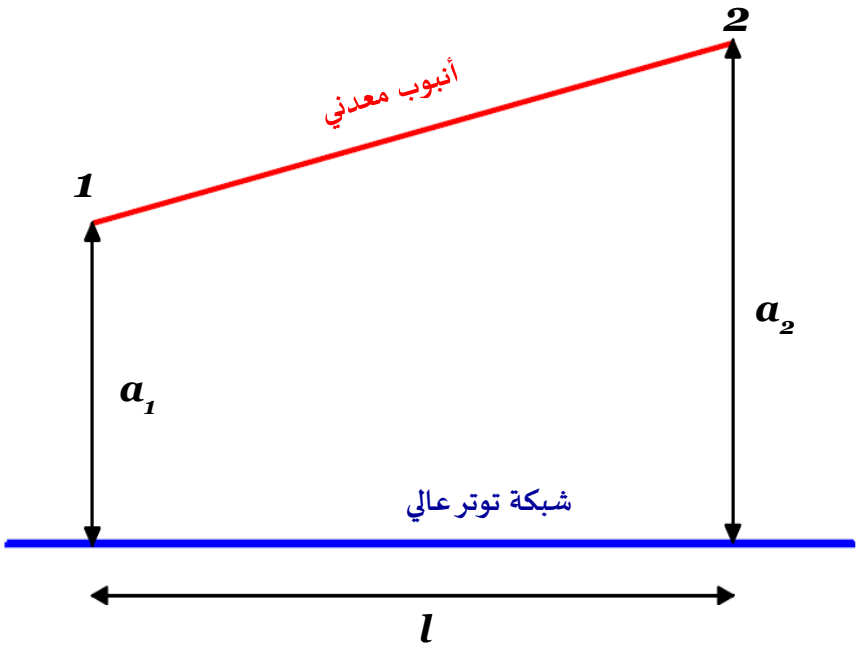
a – المسافة بين نواقل التيار والأنبوب، [A].

في حال كانت المسافة a بين النواقل والأنبوب غير ثابتة (الشكل 12)، فإنها تعطى من العلاقة:

$$a = \sqrt{a_1 \cdot a_2} \qquad (7)$$

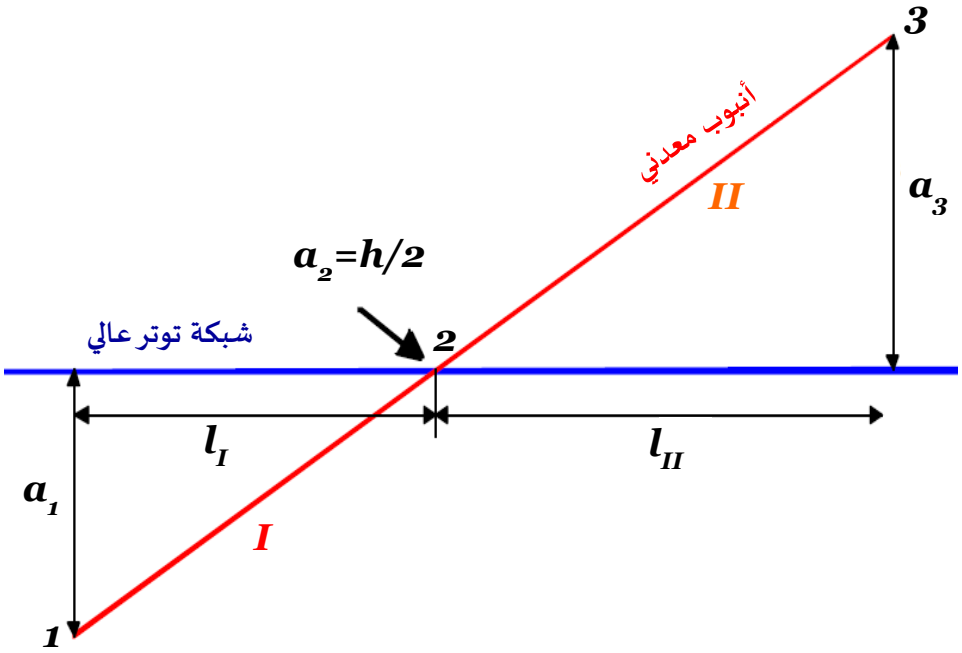
عندما $a_2 / a_1 < 3$

في حال كان $a_2 / a_1 > 3$ (الشكل 12) يجب تجزئة مسافة التقارب إلى مسافات صغيرة يتحقق خلالها الشرط $a_2 / a_1 < 3$



الشكل (12) مسافة التجاور بين الشبكة الكهربائية والأنبوب ليست ثابتة.

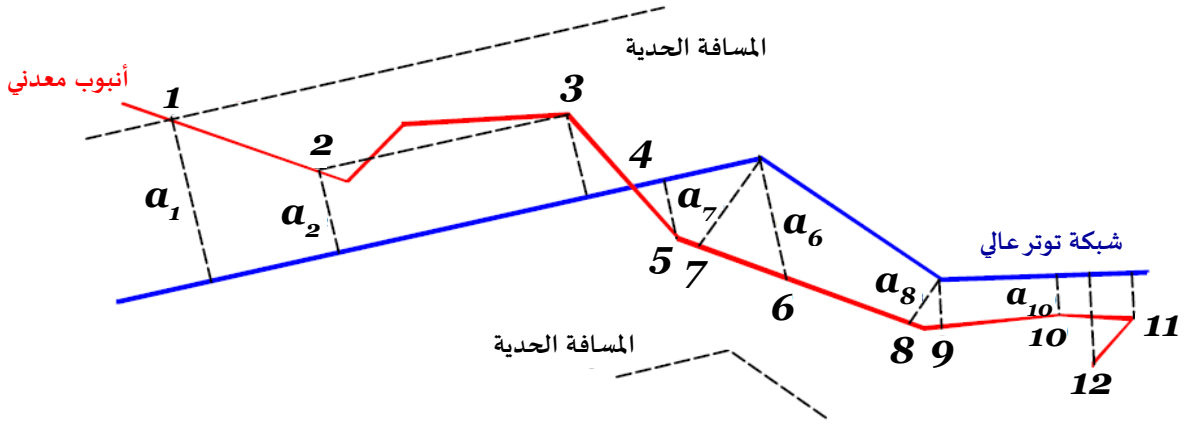
عند تقاطع الأنابيب مع شبكات التوتر (الشكل 31). a_2 في نقطة التقاطع تساوي نصف ارتفاع الشبكة، وقيم a_1 و a_3 يجب ألا تزيد عن 10m والطوال l_{11} و l_1 يجب ألا تزيد عن 50m.



الشكل (13) حالة تقاطع الأنابيب مع شبكة التوتر العالي في نقطة واحدة.

يجب ألا تقل زاوية التقاطع بين الأنابيب وخطوط الكهرباء عن 55^o، وإذا كانت مساوية 90^o يهمل أثر الخطوط على الأنابيب.

الحالة الأكثر شيوعاً هي عدم تساوي المسافة بين الأنابيب وخطوط الكهرباء، وبالتالي يجب حساب المسافة بينها في حالة التوازي والتقاطع والتقارب غير المتساوي (الشكل 14)، تؤخذ المسافة a لكل مقطع على حده، ومن ثم يؤخذ المتوسط.



الشكل (14) حالة عدم تساوي مسافة التجاور بين الأنبوب والشبكة الكهربائية.

5. حساب المقاومة النوعية للتربة ρ:

يبين الجدول (3) قيمة المقاومة النوعية للتربة، [15].

الجدول (3)

مجال المقاومة النوعية للتربة [$\Omega \cdot m$]	الخصائص الجيولوجية للتربة
0.1 – 5	تربة فحمية + طبقة معدنية
5 – 20	تربة طينية
20 – 100	تربة طباشيرية، طينية دون رسوبيات
100 – 1000	تربة كلسية، كوارتزية

إذا لم تكن اختلافات المقاومة النوعية للتربة كبيرة يتم استخدام متوسط المقاومة على طول الخط في حساب التصميم:

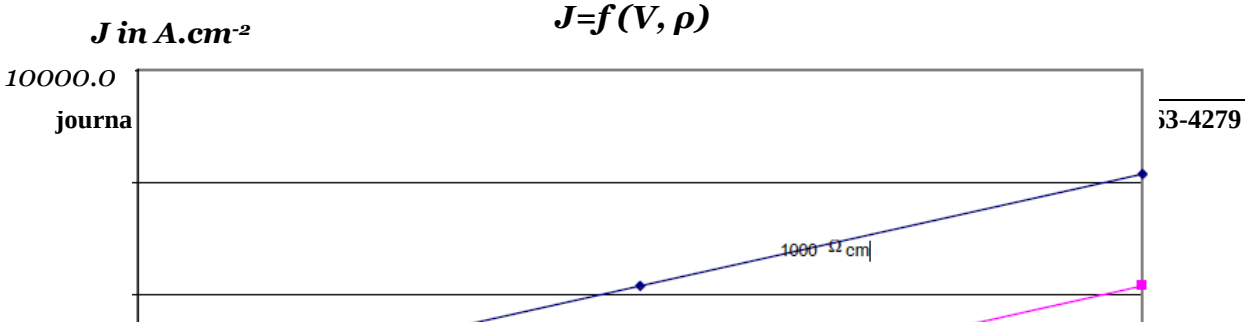
$$\rho = \frac{1}{N}\sum_{1}^{N}\rho_i \qquad (7)$$

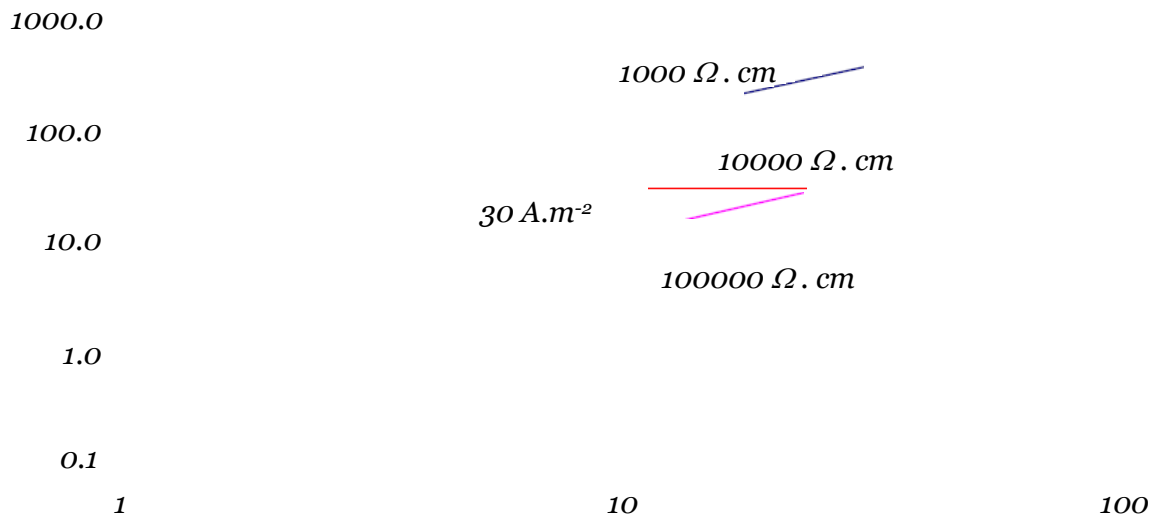
حيث:

N – عدد نقاط القياس.

ρ_i – المقاومة النوعية المقاسة.

يبين الشكل (15) علاقة كثافة التيار بقيمة التوتر المتحرض والمقاومة النوعية للتربة، [16].





الشكل (15) علاقة كثافة التيار بالتوتر وبالمقاومة النوعية للتربة من أجل ثقب مساحته $1cm^2$.

نلاحظ من الشكل أنه من أجل مقاومة نوعية كبيرة 100000 Ω.cm لا تصل كثافة التيار إلى $30A/m^2$ حتى عند توتر 100V، وعند مقاومة نوعية 10000 Ω.cm فإن كثافة التيار تتجاوز $30A/m^2$ عند توتر أكبر من 20V. ومن اجل مقاومة نوعية 1000 Ω.cm يتم تجاوز كثافة تيار $30A/m^2$ عن توتر يبلغ بضعة فولتات.

6. تحديد قيمة عامل التخفيض r_E ، [8]:

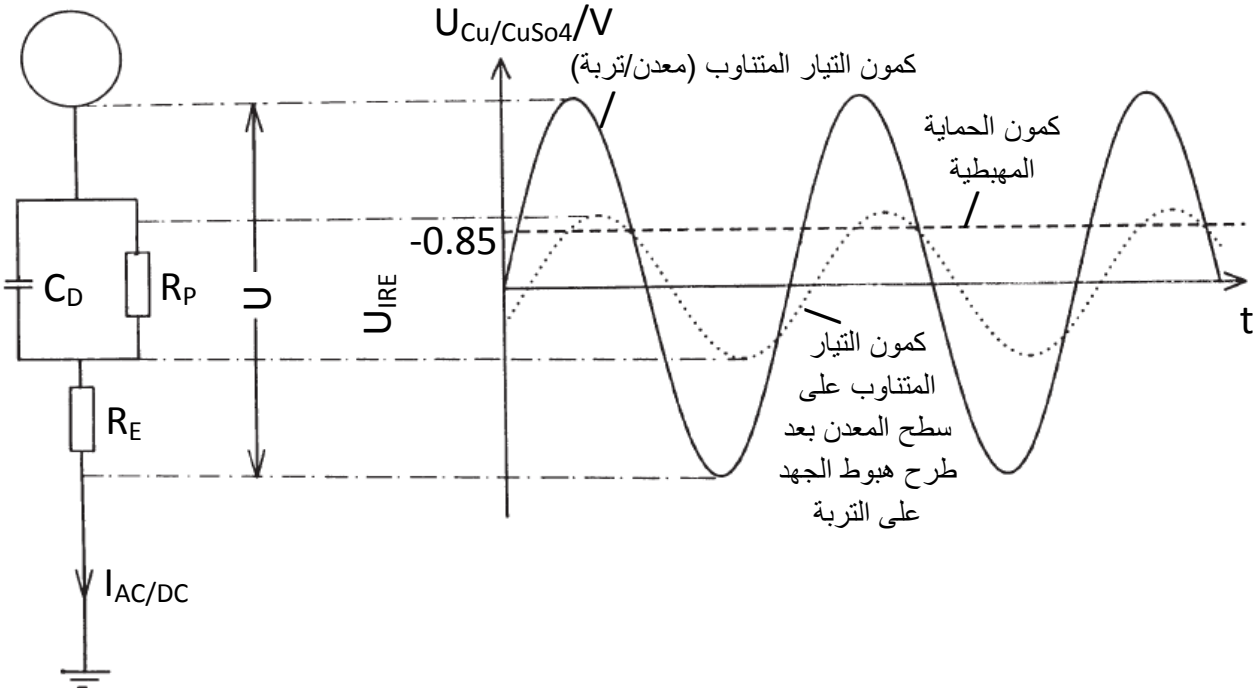
يسبب الخط الأرضي المعلق في الأعلى في شبكة التوتر العالي تخفيض قيمة التوتر المتحرض في الأنبوب، ويتعلق عامل التخفيض بمقاومة الخط الأرضي (نوع المعدن، ومقطعه، وقيمة المقاومة النوعية للتربة، والتحريضية المتبادلة بين الطور والخط الأرضي (تتعلق بأبعاد البرج)). ويبين الجدول (4) قيمة عامل التخفيض.

الجدول (4)

نوع الخط الأرضي	ألمنيوم – فولاذ		برونز		حديد		حديد–نحاس 40%	
المقطع $[mm^2]$	300/50 265/35 240/40 185/35	44/32 (95/55 105/75)	50	70	50	70	50	70
عامل التخفيض r_E	0.62	0.77 (0.70)	0,75 0,69	0,75 0,69	0,99 0,98	0,99 0,98	0,84 0,78	0,84 0,78

7. آلية التآكل في الأنابيب نتيجة التيار المتناوب:

يبين الشكل (16) الدارة المكافئة لحالة وجود ثقب في المادة العازلة المغلفة للأنبوب المعدني، وبالتالي معدن الأنبوب في تماس مباشر مع التربة، [10].



الشكل (16) الدارة المكافئة لحالة وجود ثقب في المادة العازلة المغلفة للأنبوب المعدني.

من الشكل نبين أن:

R_P – مقاومة الاستقطاب على سطح المعدن، وتتراوح قيمتها بين [Ω/cm^2] 1-1000.

C_D – سعة المكثف المضاعف الطبقة، والذي يتشكل على الحد الفاصل بين قطب معدني ومحلول الكتروليتي حسب *Helmholtz*، وتتراوح قيمة هذه السعة بين [$\mu F/cm^2$] 10-100.

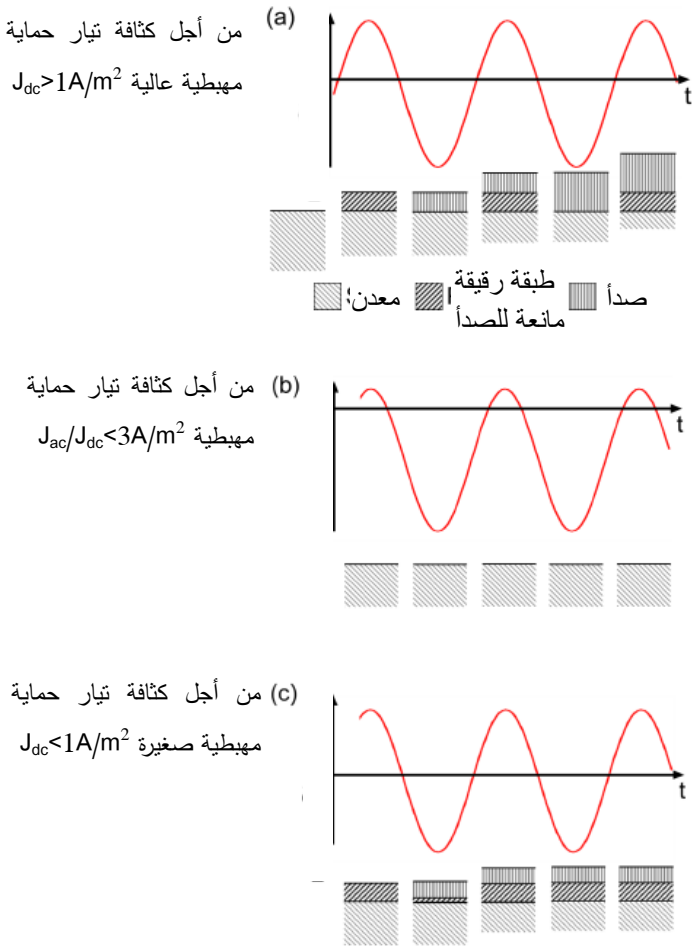
تحسب هذه العناصر على مساحة سطح المعدن (مساحة الخدش في المادة العازلة) الذي يكون على تماس مع الأرض، وهي تتعلق بالعوامل الكيميائية والكهربائية.

R_E – مقاومة الأرضي.

يتكون التيار الذي يسري في الثقوب من مجموع تيار الحماية المهبطية المستمر، ومن التيار المتناوب المتحرض في الأنبوب، وبالتالي سوف يحدث على العناصر C_D, R_P, R_E هبوط جهد، ويكون منحني الكمون بين الأنبوب والأرضي جيبي تماماً (المنحني المستمر في الشكل 16)، وهذا الكمون يشمل هبوط الجهد على جميع العناصر السابقة، بما في ذلك مقاومة الأرضي R_E.

يحدث على سطح الأنبوب المعدني هبوط جهد على مقاومة الاستقطاب، أكبر بقليل من كمون التآكل لسطح المعدن - 0.85V، ويحدث استقطاب للطبقة السطحية للمعدن عندما يمر في المقاومة R_P تيار مستمر يسري من الأرض إلى سطح المعدن (تيار الحماية المهبطية)، وهبوط الجهد U_O على المقاومة R_P تحول الكمون إلى قيمة سالبة، وهذه الحالة تسمى (استقطاب). ويسبب التيار المستمر الذي يسري من معدن الأنبوب إلى الأرض زيادة الصدأ، وهبوط جهد على مقاومة الاستقطاب. في هذه الحالة يحول الكمون إلى موجب، والتيار المتناوب يمر في المكثف، وبالتالي تتوزع التيارات حسب قيمة المقاومة أو السعة. ولا يلعب نوع المادة العازلة أي دور في التآكل، باعتبار أن قطر الثقب d والمقاومة النوعية للتربة غير معروفة.

يبين الشكل (17) شرحاً مبسطاً لعمليات التآكل التي تحدث في الأنبوب المطبق عليه حماية مهبطية، ويتحرض فيه توتر متناوب، [13].



الشكل (17) آلية حدوث تآكل على الأنبوب.

في حالة كثافة تيار حماية مهبطيه (تيار مستمر) أكبر من $1A/m^2$ فإنه خلال نصف الموجه الأنودية (الموجبة) يتآكل سطح الفولاذ (شكل a–17)، أي يفقد الكترونات نتيجة تسرب التيار إلى الأرض من خلال الثقب الموجود في المادة العازلة

المغلفة للأنبوب، مما يسبب تشكيل طبقة واقية سلبية سماكتها 1nm (Passivfilm). خلال نصف الموجة الكاثودية السالبة يكون سطح الفولاذ مستقطباً لدرجة الإشباع لدرجة الإشباع ويتم تقليل سماكة الطبقة السلبية كهربائياً وتحويل جزء من المعدن إلى طبقة صدأ مسامية، وفي نصف الموجة الموجبة التالية تتشكل طبقة سلبية جديدة تحت طبقة الصدأ المسامية غير المحمية.

يسمح تكوين الطبقة السلبية الجديدة بامتصاص شحنات موجبة أكثر من خلال أكسدة طبقة الصدأ تلك. وأثناء نصف الموجة السالبة التالية تتناقص الطبقة السلبية وتزداد كمية الصدأ المسامية، ومع كل تشكيل جديد للطبقة السلبية تتأكسد كمية صغيرة من الفولاذ، وبالتالي فإن التآكل ليس نتيجة لانحلال المعدن لشحنات الموجبة، ولكن نتيجة تكوين طبقة سلبية أخرى متكررة.

إذا فرضنا أن هذه العملية تؤدي إلى تكوين وإنشاء طبقة بسماكة طبقة ذرية واحدة متأكسدة في كل نصف موجة، فإنه من المتوقع أن تكون معدلات التآكل بحدود 70nm في العام (الشكل 6) نظراً لأن معدلات التآكل هذه تحدث في ظل الظروف الطبيعية فيمكن الاستنتاج أن تكوين و/أو نشوء الطبقة لا يحدث بشكل كامل خلال فترة التوتر المتناوب في معظم الحالات. بالعودة إلى الشكل (a–17) نجد أن التآكل بسبب التيار المتناوب هو نتيجة للتشكيل والانحلال الكيميائي للطبقة السلبية، ويمكن إيقاف عملية التآكل عن طريق منع تكوين او انحلال الطبقة السلبية. سوف نناقش هاتين الطريقتين للحماية من التآكل نتيجة التيار المتناوب:

أ. يمكن منع تشكيل الطبقة السلبية من خلال تطبيق تيارات الحماية المهبطية (تيار مستمر) عالية القيمة، بحيث يمكن امتصاص الشحنة الموجبة المتبقية من خلال تعديل السعة للطبقة المزدوجة (الشكل b–17). في هذه الحالة لا تتشكل الطبقة السلبية، وتعتمد كثافة تيار الحمولة المطلوبة على كثافة التيار المتناوب الحالية، حيث أظهرت التجربة أن كثافة التيار المتناوب J_{AC} يجب ألا تكون أكبر من ثلاثة مرات كثافة تيار الحماية J_{DC}. لذلك لمنع تأثير التيار المتناوب على زيادة معدل التآكل، يجب تقليل قيمة كثافة التيار المتناوب إلى أقل من القيم السابقة.

ب. يمكن أيضاً منع تآكل التيار المتناوب إذا تم منع تفكك اختزال الطبقة السلبية عند تشكيلها(الشكل C–17)، وهذا ممكن إذا كانت قيمة كثافة تيار الحماية أقل من $J_{PC}=1A/m^2$ في ظل هذه الظروف يلاحظ أنه حتى عند كثافات للتيار المتناوب مرتفعة جداً، والتي لا تزيد عن $J_{AC}=1000A/m^2$ لا تؤدي إلى التآكل، ويتم استخدام الشحنة الموجبة والسالبة للتيار المتناوب لأكسدة وتقليل طبقة الصدأ.

8. إجراءات للحد من تآكل المعدن نتيجة التجاور مع خطوط التوتر العالي:

تعطى كمية تآكل المعدن من قانون فاراداي، [17]:

$$\Delta m = \frac{M \cdot I \cdot t}{Z \cdot F}$$

حيث:

M – الكتلة المولية، [g/mol]. للحديد تساوي (55.85 g/mol).

I – قيمة التيار، [A].

t – الزمن، [sec].

Z – التكافؤ الأيوني، ويساوي (2) للحديد.

F – ثابت فاراداي، ويساوي 96.485 A.s/mol.

فمن أجل تيار 1A يتم تآكل 9.13 kg في العام، وهذه الكمية كبيرة جداً، لذلك لا بد من اتخاذ إجراءات للتقليل من التآكل في المعادن المطمورة، ولم تعد الحماية المهبطية المعروفة كافية لحماية الأنابيب المجاورة للشبكة الكهربائية من التآكل لا بد من اتخاذ بعض الإجراءات الأخرى.

- ✓ نلاحظ من الجدول (2) أن التآكل يتعلق بكثافة التيار المتناوب المتحرض [A/m2]، لذلك يجب العمل على خفض هذه الكثافة.
- ✓ تأريض الأنبوب من الجهتين بشكل جيد.
- ✓ مد ناقل عاري من النحاس بالقرب من الأنبوب تسري فيه التيارات الأرضية.
- ✓ تقسيم الأنبوب بواسطة وصلات عازلة (فصل غلفاني) إلى عدة مناطق كهربائية، ويفضل استخدام عدة إجراءات مع بعضها البعض.

9. تخفيض كثافة التيار المتناوب:

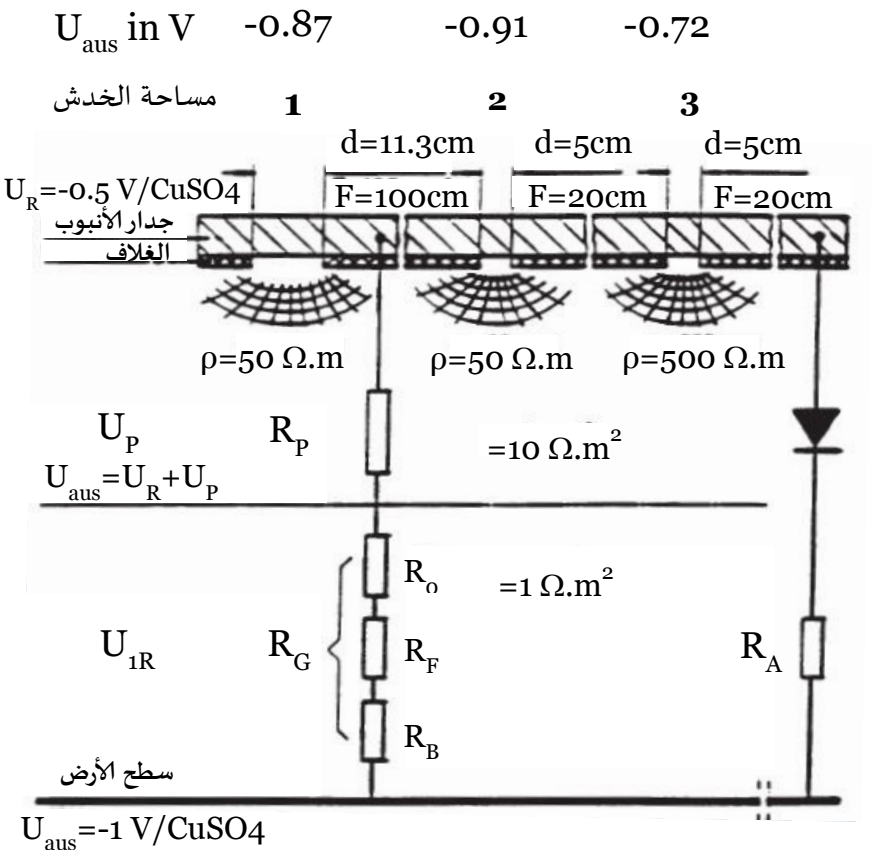
من العلاقة (1) نجد أنه يمكن تخفيض كثافة التيار المتناوب بزيادة المقاومة النوعية للتربة المحيطة بالأنبوب، وهذا ممكن من خلال استخدام طبقة من الرمل حول الأنبوب، ولكن نتيجة الكلفة الاقتصادية الكبيرة لهذا الإجراء يستخدم فقط من أجل الأنابيب القصيرة جداً. وباعتبار من غير المعروف تغيير المقاومة النوعية للتربة خلال العام وخصائص التربة التي تحيط بالأنبوب على طوله يجعل التفكير بهذا الاجراء وارداً.

كما يمكن تخفيض كثافة التيار بزيادة قطر الخدش للمادة العازلة المغلفة للأنبوب، وبالتالي زيادة مساحة الخدش، وهذه الآلية صعبة التطبيق عملياً.

وتلعب قيمة المقاومة النوعية للتربة دوراً أكبر بكثير من مساحة الخدش، ويبين الشكل (18) أنه من أجل نفس مساحة الخدش في الغلاف البلاستيكي الذي يغلف الأنبوب المعدني يكون الاستقطاب في التربة ذات المقاومة النوعية الكبيرة (منطقة 3) أقل بكثير منه في التربة ذات المقاومة النوعية الصغير (منطقة 2)، وبالتالي الكمون في منطقة العطل 3 تساوي 0.72V، وهي أقل من قيمة كمون الحماية المهبطية المساوية 0.85V- و 1.2V-. كما يبين الشكل أنه عند ثبات المقاومة النوعية للتربة، وتغير مساحة الثقب (منطقة 1 و 2) يكون الكمون أكثر سلبية من كمون الحماية المهبطية، والفرق في الكمون بين الحالتين قليل جداً.

يبقى الحل عملياً حسب العلاقة (1) بتصغير قيمة التوتر المتحرض بين الأنبوب والتربة، والحل الأسهل في هذه الحالة هي زيادة المسافة بين شبكة التوتر والأنبوب (الشكل 7)، وهذا ممكن أثناء التخطيط لتنفيذ إحدى الشبكتين.

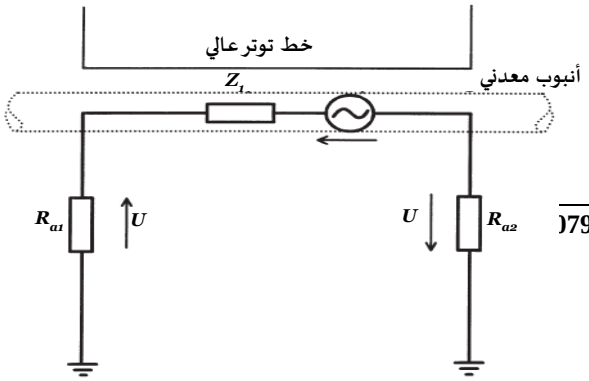
ومن جهة ثانية فإن تبديل الأطوار للشبكة الكهربائية يساهم في تخفيض شدة الحقل الكهربائي المتحرض، وبالتالي تخفيض التوتر المتناوب بين الأنبوب والأرض. ويجب الأخذ بالحسبان أن التوتر المتحرض يكون كبيراً إذا كان التجاور متوازياً ولمسافة كبيرة من جهة واحدة، وفي حال كان التجاور متبدلاً يميناً ويساراً فسيكون التوتر المتحرض أقل.



الشكل (18) الكمون وهبوط الجهد في مكان العطل.

10. تأريض الأنبوب بشكل جيد وصحيح:

يمكن تخفيض التوتر المتحرض في الأنبوب بمقدار 50% عند تأريضه من الجهتين، والتأريض يجب أن يتم من الطرفين عند نهايتي مسار التجاور (الشكل 19). في حال التأريض من جهة واحدة سوف يتحرّض في الجهة الأخرى توتر كبير يمكن ان يشكل خطراً على انهيار كهربائي للغلاف البلاستيكي العازل للأنبوب.



الشكل (19) تأريض أنبوب معدني مجاور لشبكة توتر عالي

Z_1 : ممانعة الأنبوب، وتبلغ جزء من العشرة من $[\Omega/km]$.

E_1 : شدة الحقل المتحرض في واحدة الطول.

في هذا النموذج يتم إهمال مقاومة الغلاف العازل. وبفرض $R_{a1}=R_{a2}=R_a$. وهنا يجب التمييز بين الأرضي المركز في نهايتي التجاور بين الأنبوب وشبكة التوتر والأرضي وبين تأريض الخط الذي يتم على مسافات متساوية لتخفيض قيمة التوتر المتناوب.

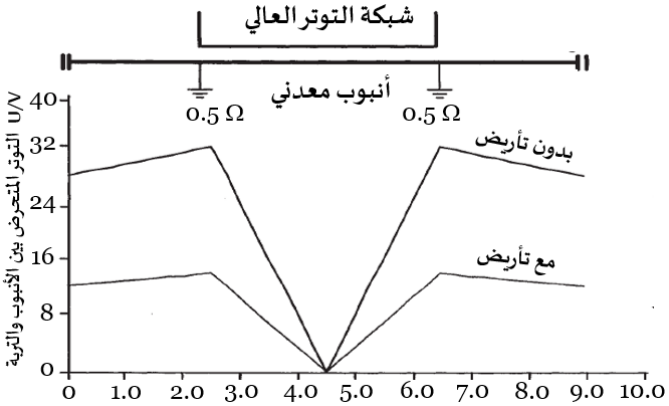
من (الشكل 18):

$$\frac{U}{R_a}=\frac{E_l}{2R_a+Z_L} \qquad (2)$$

$$U=\frac{E_l}{2+\frac{Z_L}{R_a}} \qquad (3)$$

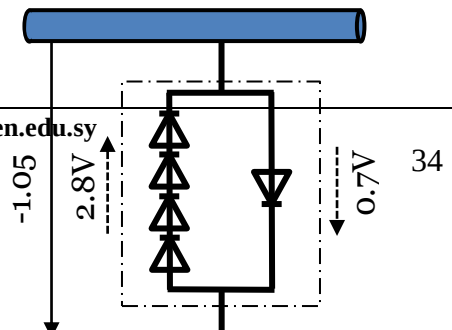
وباعتبار ZL<<Ra يكون: $U=\frac{E_l}{2}$

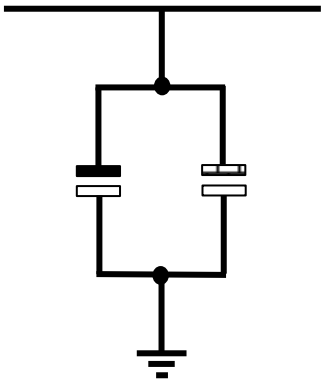
يبين الشكل (20) أثر تأريض الأنبوب في نهايتي التجاور على التوتر المتحرض المتراكم على الأنبوب. نلاحظ أن التوتر المتحرض قد انخفض بشكل كبير.



الشكل (20) تأثير التأريض المركز في نهايتي التجاور على تخفيض قيمة التوتر بين الأنبوب والأرض.

ويجب الأخذ بالحسبان أن التأريض يجب أن يكون صحيحاً، وعبر مكثف أو عبر ديودات، حتى لا يتسرب تيار الحماية المهبطية إلى الأرض، الشكل (21).





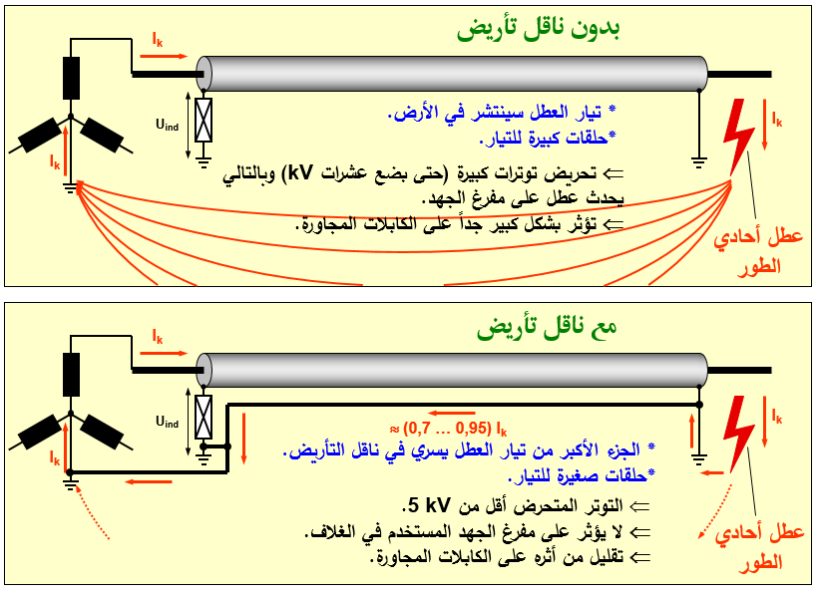
التأريض عبر مكثف التأريض عبر ديودات

الشكل (21) التأريض عبر مكثف أو ديودات.

الكمون هو كمون سالب *1.05-*، وهو كمون الحماية المهبطية.

11. تمديد ناقل عار على طول الأنبوب:

يجب مد ناقل عار من النحاس على مسار الكابل تسري فيه تيارات الأعطال (الشكل 22)، وهذا يسبب في تصغير الحلقات التي يسببها تيار العطل في الأرض، وبالتالي تقل تحريضية الحلقات ويقل التوتر المتحرض.



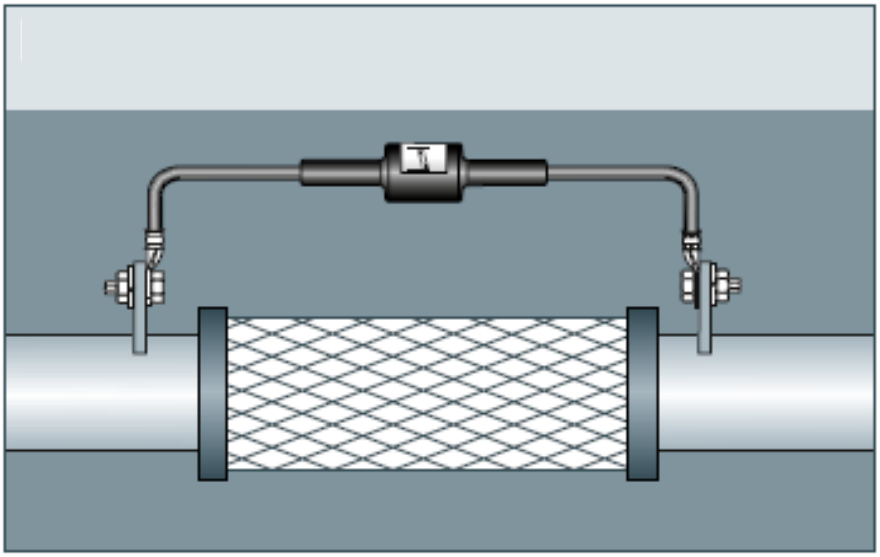
الشكل (22) سريان تيارات الأعطال في الناقل النحاسي العاري الممدد على مسار الكابل.

وبدون ناقل تأريض حول الأنبوب فإن تيار العطل ينتشر في الأرض، ويشكل حلقات كبيرة للتيار، وبالتالي تتحرض توترات كبيرة في هذه الحلقات، مما يؤثر على الأنبوب.

في حال وجود ناقل تأريض، فإن الجزء الأكبر من تيار العطل (70-95%) سوف يسري في الناقل، وبالتالي تتشكل حلقات صغيرة، ويكون التوتر المتحرض قليل جداً.

12. استخدام وصلات عازلة على الأنبوب (تعتيم غلفاني).

تستخدم الوصلات العازلة للفصل الغلفاني في الأنبوب، وتعمل على قطع التوتر المتحرض المتراكم على طول الأنبوب، الشكل (23)، وبالتالي تخفيض قيمة التوتر المتحرض فيه، لأن التوتر المتحرض في الأنبوب يتناسب طرداً مع طول تجاوز الأنبوب بشبكات التوتر العالي، واستخدام وصلات عازلة يترافق دائماً مع استخدام التأريض.



الشكل (23) استخدام الوصلات العازلة للفصل الغلفاني في الأنبوب لقطع التوتر المتحرض على طول الأنبوب.

يجب أن تقصر الوصلات العازلة بسلك كهربائي ليمر التيار المستمر المستخدم في الحماية المهبطية بين أجزاء الأنبوب المفصولة غلفانياً، وفي حال عدم وجود السلك يجب تصميم حماية مهبطية لكل جزء بشكل منفرد.

يتم وضع ثغرة حماية على التفرع مع الوصلة (الشكل 23) للتخلص من التوترات الزائدة على الخط عندما تزيد عن الحد المسموح به.

في حال استخدام الوصلة العازلة عملياً يجب أخذ الأمور التالية بالحسبان:

- ✓ في حال وجود عدة أنابيب تتفرع عن الأنبوب الأساسي، يفضل وضع وصلة عازلة على بداية التفرع لمنع انتقال التوتر المتحرض من الأنبوب الرئيسي المجاور لخطوط التوتر العالي إلى الأنابيب الفرعي.
- ✓ قيمة التوتر المتناوب المتحرض بين الأنبوب والأرض يختلف بـ 180^{o} على طرفي الوصلة، وعلى الوصلة سوف يحدث هبوط جهد يساوي فرق الجهد المتراكم على طرفي الوصلة.
- ✓ سوف يحدث تراكم للحقل المتحرض بين الوصلة العازلة وقطبي التأريض في نهاية التجاور (القريبة من الوصلة)، وبالتالي ينشأ توتر كبير على طرفي الوصلة، والذي كان ينشأ في نهاية التجاور.
- ✓ يكون استخدام الوصلة العازلة في الأنبوب فعالاً لقطع قيمة التوتر المتحرض، في حالات خاصة فقط.
- ✓ لا ينصح باستخدام الوصلات بكثرة في الأنبوب، لأنها تشكل نقطة ضعف ميكانيكي عليه.

استناداً للمعادلات الرياضية السابقة، تم وضع برنامج حاسوبي باستخدام تطبيق Excel يساعد في تقدير حمل الجهد المتناوب المسموح به لخط الأنابيب فيما يتعلق بالتآكل، وذلك وفقاً لـ [11] من جهة، ووفقاً لـ DIN EN 50162 / DIN EN 12954 من جهة أخرى، ويبين الشكل (24) المخطط التدفقي لعمل البرنامج.

الشكل (25) المخطط التدفقي Flow Chart لعمل البرنامج.

ويبين الشكل (25) واجهة التشغيل للملف:

	A	B	C	D
1	**تقدير حمل الجهد المتناوب المسموح به لخط الأنابيب فيما يتعلق بالتآكل**			
2				
3				
4	قطر التآكل	d	11.3	mm
5	سماكة الغلاف	s	2.5	mm
6	الحد المسموح به من كثافة التيار	J	30	A/m²
7	مقاومة التربة المحددة	ρ	100	Ωm
8				
9				
10	**الحساب حسب AFK رقم 42 المرجع [11]**			
11	مساحة التآكل	A	1.00	cm²

الشكل (25) واجهة التشغيل لبرنامج تقدير حمل الجهد المتناوب المسموح به لخط الأنابيب فيما يتعلق بالتآكل.

وكمثال لتشغيل البرنامج وفق الشكل (25) تم تقديم المعطيات التالية:

$d=13.3$ mm	قطر التآكل	$s=2.5$ mm	سماكة الغلاف
$J=30$ A/m²	كثافة التيار المسموحة	$\rho=100$ Ω.m	مقاومة التربة

فكانت النتائج كما يلي:

$A=1$ cm² $R_F=2492.83$ Ω $R_A=4424.78$ Ω $R_F+R_A=6917.61$ Ω

$I=3.01$ mA $U=20812.5$ mV [11] $U=13312.5$ mV [DIN]

نلاحظ من النتائج أن هناك اختلافاً في قيمة الجهد المتناوب المسموح به على الأنبوب والمحسوب استناداً للمرجع [11]، ولـ DIN EN 50162/DIN EN 12954، وسبب ذلك أن الجهد المحسوب في الحالة الأولى يعتمد على علاقة مبسطة تأخذ بالحسبان المقاومة الكلية للتآكل، أي: $U_{\approx}=I_{\approx}*(R_F+R_A)$، في حين أن القيمة الثانية تحسب بدقة أكبر وفق الـ DIN EN 50162/DIN EN 12954 باعتماد العلاقة (1).

النتائج والمناقشة:

تبين مما سبق أن تجاور الأنابيب المعدنية سواء أكانت ممددة فوق الأرض، أو مطمورة في التربة تتأثر بشكل كبير جداً، ويزداد الصدأ والتآكل عليها إذا كانت تجاور شبكات نقل الطاقة ذات التوتر العالي، ويزداد هذا التأثير بشكل كبير كلما

زادت مسافة التجاور، وقلّت المسافة بين الشبكتين، وبالتالي استخدام حماية مهبطية كما كان متعارف عليه سابقاً (سواء باستخدام التيار القسري الذي يتم تأمينه من مصدر تيار مستمر خارجي، أو باستخدام أنودات التعويض التي تعتمد على الفعالية الغلفانية بين المعدن المراد حمايته، وبين أقطاب التعويض) لا يحمي هذه الأنابيب من التآكل والصدأ، وما يرافق ذلك من مشاكل تقنية لذلك يجب اتخاذ إجراءات جديدة لحماية هذه الانابيب عند تجاورها مع شبكات التوتر العالي. وقد بيّنت الدراسة أن التآكل في هذه الحالة يتعلق بكثافة التيار المتناوب، وكثافة تيار الحمولة المهبطية، كذلك بيّنت الدراسة إمكانية تخفيض كثافة التيار المتناوب باتخاذ بعض الإجراءات الممكنة

الاستنتاجات والتوصيات:

1. يؤثر الحقل الكهرطيسي الناتج عن مرور تيار متناوب في الشبكة الكهربائية على الأنابيب المعدنية المطمورة في الأرض، والمحمية بحماية مهبطية (غاز، نفط...الخ)، ويسبب زيادة في التآكل والصدأ عليها، ويتعلق هذا التأثير بعدة عوامل. وفي حال عدم استخدام الاجراءات العلمية الصحيحة سوف تصبح هذه الأنابيب عرضة للتآكل والصدأ، ويمكن عندئذ تسرب النفط في الأراضي الزراعية، أو انفجار أنابيب الغاز.
2. في المرحلة القادمة سوف نقوم بنقل الغاز أو الفيول عبر الأنابيب إلى محطات توليد الطاقة الجديدة، ويجب عند دراسة مسار هذه الأنابيب الأخذ بالحسبان أن تكون بعيدة عن مسار شبكة الكهرباء.
3. عندما نضطر لتمديد شبكة الأنابيب بشكل متجاور مع شبكة التوتر، لا بد من أخذ بعض العوامل المؤثرة بالحسبان.
4. يجب ألا يكون التجاور من جهة واحدة بشكل متوازي، بل يجب عكس التجاور يميناً ويساراً لتخفيض قيمة التوتر المتحرض المتراكم.
5. يجب أن تكون المسافة بين الأنابيب والشبكة بعيدة قدر الإمكان، (الجدول 1).
6. يجب أن تكون المقاومة النوعية للتربة الممدد فيها الانبوب كبيرة، ويمكن استخدام طبقة من الرمل الناعم لتغليف الأنبوب إذا كانت المسافات قصيرة.
7. يجب استخدام وصلات عازلة في الانبوب، وتأريض الأنبوب من أطراف التجاور، وعند الوصلات.

References:

[1] Canada, National Energy Board, „Public inquiry concerning stress Corrosion cracking on Canadian oil and gas pipelines; report of the inquiry“, Calgary, Alberta November 1996

[2] D. L. Van Oostendorp, C. M. Lee, G. M. Dowling, C. M. Fowler, I. A. Tychkin, M. L. Dolganov; „Stress corrosion cracking of natural gas pipelines in western Siberia - a case study“; Proceedings of the 9th international conference on corrosion of underground structures, Kosice, 1995

[3] ISO/IEC 17067:2013 Conformity assessment — Fundamentals of product certification and guidelines for product certification schemes

[4] K. KAGEMAMORI, H. YAMAGUCHI, H. TAKAGI, Y. AOSHIMA, Impact of the great hanshin earthquake on substation equipment and possible countermeasures, CIGRÉ 1996 : 23-111

[5] DVGW Fachbericht: Ermittlung von Gefährdungsbereichen durch induzierte Wechselspannungen auf erdverlegte Rohrleitungssysteme, 2015/6.
[6] W. Fürbeth , Oberflächeneffekte beim KKS mit und ohne AC-Beeinflussung – Forschungsvorhaben AC-Korrosion, 2018.
[7] Technichsche Empfehlung Nr. 1, Anleitung zur Berechnung der in (TK) Leitungen durch Starkstromleitungen induzierten Spannungen, Juni 2006/9.
[8]DVGW Empfehlung Nr.3, Massnahmenbeim Bou und Betrieb Von Rohrleitungen in Einflussbereich von Hochspannungs Drchstromanlagen,2014/2.
[9] DIN-EN12954-2020-02 Grundlagen des kathodischen corrosion schutzes von metallenen Anlagen in Boden.
[10] Dr. Schöneich / Ruhrgas AG, Wechselstrombeeinflußung und Wechselstromkorrosion-Nr. 17, September 1995.
[11] DIN EN 15280-2013-12 Beurteilung der Korrosionswahr scheinlichkeit durch wechselstrom an erdverlegten Rohrleitung.
[12]DIN50925-1992-10:korrosion der Metalle Nachweis der irksamkeit der KKS erdverlegter Anlagen.
[13] Beurteilung der Korrosionsgefährdung durch Wechsel-strom bei kathodisch geschützten Stahlrohrleitungen und Schutzmaßnahmen - Textgleich mit der AfK-Empfehlung- Nr. 11, Februar 2013.
[14] Büchler, M., Angst, U.: Kathodischer Korrosionsschutz: relevante Einflussgen und deren Auswirkungen, in: DVGW energie | wasser-praxis Ausgabe 6+7/2017, S. 56–67.
[15] Bette, U., Büchler, M. Tachenbuch für den kathodischen corrosion. Sschutz, Auflage 9, Essen 2017.
[16] Horras,K, Verfahren zur Bewertung der Korrosionswahrs- cheinlichkeitdurch den Einfluß von Wechselströmen- DVGW, Nr. 42, 2001/9.
[17] Korrosionsschutz, “Maßnahmen zur Erhöhung des Korrosionsschutzes
im erdverlegten Rohrleitungsbau”, | TKT | Jochen Meerstein | 2019/10.