# دراسة تصميمية لمنظومة حماية مهبطية لخزانات الوقود ولأنابيب نقل النفط ضمن محطة محردة الحرارية

**الدكتور المهندس أحمد كردي - عضو هيئة تعليمية**

**الكلية التطبيقية - جامعة حماه**

## الملخص

الحماية المهبطية هي إجراء يتم اتباعه لحماية الهياكل المعدنية الحديدية والأنابيب من التآكل جراء تعرض سطوحها إلى تماس مع التربة او مع الماء حيث تتآكل نتيجة لحدوث تفاعلات كيميائية مصحوبة بسريان الالكترونات (أي سريان للتيار الكهربائي). ويكون سريان الالكترونات من المنطقة الأنودية إلى المنطقة المهبطية من خلال التوصيل بالهيكل المعدني. الجدير بالذكر أن جهوداً كبيرة تستنفذ لتطوير وتصميم وانتاج تقنيات حديثة لحماية وصيانة الهياكل المعدنية المدفونة ضد التآكل، فمنها مايتعامل مع وسط الدفن ومنها ما يتعلق بسبائك المعدن المستخدم في صناعة الهيكل المدفون وتغليفه، جميع هذه التقنيات خارج إطار ما يتناوله هذا العمل. يتناول هذا العمل دراسة تصميمية لمنظومة حماية كاثودية لمجموعة الخزانات والأنابيب ضمن المحطة وفق تقنية التيار القسري. تتكون هذه المنظومات من مصدر جهد مستمر DC ومجموعة أقطاب (أنودات). تقوم الدائرة الكهربائية الناتجة بمعادلة فرق الجهد الطبيعي الموجود بين الوسط المحيط والجسم المعدني المحمي. يقدم هذا العمل الاسلوب المباشر في تصميم منظومة حماية كاثودية ذات التيار القسري. تم اعتماد مواصفات الانبوب والخزانات وتغليفهما والتربة المدفون فيها الأنبوب على طول مساره في حسابات تيار الحماية المطلوب مع السماحات المعيارية لضمان عمل منظومة الحماية المهبطية لما لايقل عن عشرين عاماً. أثبتت نتائج القياسات بعد التنفيذ فاعلية منظومة الحماية المهبطية بإبقاء جهد الانبوب سالباً ضمن المقاييس المعمول به عالميا لمعدن الحديد الصلب المصنوع منه الانبوب.

**الكلمات المفتاحية:** الحماية المهبطية، منظومة التيار القسري، دراسة تصميمية.

# Design Study of a Cathodic Protection System for Fuel Tanks and Transport Pipelines in MHARDH Thermoelectric Station

**Dr.Eng. Ahmad Kurdi**

**Applied Faculty– Hama University**

## Abstract

Cathodic protection is a procedure used to protect metal structures and pipelines buried in an electrolytic medium against the electrochemical corrosion process. The aim of this work is to design and evaluate performance of an impressed current cathodic protection system. The system consists of a DC power source, and a group of electrodes (anodes), the resulting electrical circuit balances the natural potential that exists between the surrounding medium and the protected structure metal.

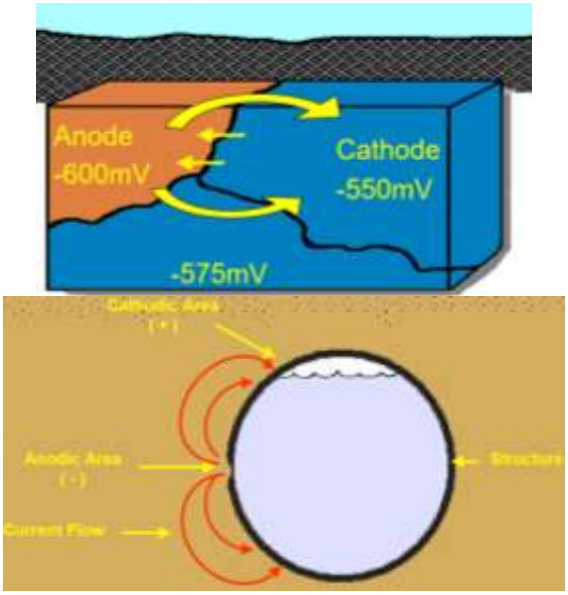
This work presents a direct method to design a cathodic protection system for the tanks and transport pipelines for MHARDH power station.

Pipeline specification, type of coating and the soil, which it buried within along its route, were considered in the calculations of the desired protection current plus the standard allowances to ensure the proper performance of the cathodic protection system for at least twenty years. Measurement results proved the effectiveness of the cathodic protection system to keep the used pipeline negative potential within the international applicable standards.

**Keywords:** Cathodic protection**,** Impressed current**,** Design study.

## 1- مقدمة

التآكل هو عملية كهروكيميائية يسري بموجبها تيار كهربائي من هيكل المعدن المدفون من مواقع قطبية موجبة تدعى الانودات (Anodes) مروراً بالوسط الالكتروليتي وعودة الى هيكل المعدن في مواقع قطبية سالبة تدعى الكاثودات (Cathodes). تدعى المنظومة الكاملة في عملية التآكل اعلاه والمتكونة من الاقطاب الموجبة والسالبة والوسط. الشكل (1) يعرض رسم توضيحي لخلية تأكل في قطعة انبوب مدفون في وسط الالكتروليتي والمعدن الموصل (خلية التآكل) [1].




الشكل (1): رسم توضيحي لخلية تأكل

تصمم منظومات الحماية المهبطية للهياكل المعدنية المدفونة بعد معرفة المساحة السطحية للهيكل المعدني ونوع المعدن المصنوع منه ونوع التغليف ومواقع العزل ان وجدت ونوع الاقطاب وعددها وموقع دفنها ومقاومة التربة المدفون فيها الهيكل المعدني. يربط الهيكل المعدني المدفون بالقطب السالب لمجهز القدرة المستمرة ويربط القطب الموجب بالأنودات المدفونة في الارض التي تشكل في مجموعها ما يسمى بالحوض الأرضي (Ground Bed) حيث يسري منها تيار كهربائي مستمر الى الارض ومن ثم الى الهيكل المعدني جاعلا منه كاثوداً [2]، هذه الطريقة نظام التيار القسري (Impressed Current). يمكن لمحطة حماية كاثودية من هذا النوع أن توفر حماية ضد التآكل لأنابيب حديدية قد تصل بضع كيلومترات

تبعاً لمقاومة الأرض والمساحة السطحية للأنبوب وكفاءة تغليفه وغيرها من العوامل. توجد طريقة ثانية للحماية المهبطية تستخدم فيها أنودات تضحية (Sacrificial Anodes) ذات جهد كهربائي أعلى من جهد المعدن المحمي مما يؤدي الى سريان تيار حماية كاثودية صغير يعتمد على نوع المعادن وحجم أنود التضحية وبعده عن الهيكل المحمي [3]. أيا كانت طريقة الحماية المهبطية المعتمدة، فلتحقيق أقل تأكل وضمان حماية كافية للفترة العمرية للهيكل المحمي، فيجب أن يكون سطح الهيكل المعدني سالبا نسبة للتربة حوله بما لايزيد عن (0.85V−) لمعدن الحديد بأخذ القياسات باستخدام خلية قياس مكونة من قضيب نحاس مغمور في كبريتات النحاس (خلية قياسية Cu/CuSO4)، إضافة لذلك يجب أن لايزيد فرق الجهد بين اي نقطة على سطح الهيكل المعدني المحمي والتربة عن (2.5V−) تلافياً لتجمّع غاز الهيدروجين على سطح المعدن والذي قد يؤدي الى حدوث تشققات في مواد التغليف. يمكن تقدير التيار الكهربائي المستمر (DC current) اللازم للحماية المهبطية حسابياً حين توفر بيانات ومعلومات كافية عن الهيكل المعدني، تغليفه، والتربة المدفون فيها. يمكن الاسترشاد بالتقديرت المبيّنة في الجدول (1) لأغراض التدقيق [4].

| البيئة المحيطة | تيار الحماية المهبطية المطلوب (mA/ft2) |
|---|---|
| تربة عادية | 2−1 |
| ماء عذب ساكن | 6−3 |
| ماء مالح | 30−20 |

جدول (1): تيار الحماية بحسب البيئة المحيطة

يوجد العديد من الدراسات المتعلقة بالحماية المهبطية ولكن أغلبها تناول الموضوع من جانب كيميائي، معدني، كهروكيميائي وغيرها للوصول الى صيغ وأساليب تغليف الهياكل المعدنية أو تصنيع واختيار الأنودات للنظام القسري أو المضحى بهم [6],[5]. أن أحد اهم منشآت البنى التحتية في الدول المنتجة والمصدرة للنفط هي شبكات انابيب النفط والغاز بالإضافة طبعاً الى شبكات انابيب المياه لمختلف الاستخدامات. نظراً لأن مسارات شبكات الانابيب النفط تكون عادة في مناطق جغرافية قد لا تتوفر فيها مصادر طاقة كهربائية لاستخدامها في تغذية نظم حماية التيار القسري فقد ظهرت العديد من البحوث التي تناولت استخدامات الطاقة المتجددة في نظم الحماية المهبطية [8],[7]. يتناول هذا البحث تصميم منظومة حماية

كاثودية ذات التيار القسري لحماية خزانات الوقود المغذية للمحطة الحرارية في مدينة محردة وأنبوب نقل النفط اليها. قُسم البحث بعد المقدمة الى ثلاثة أجزاء: يعرض الجزء الأول الحسابات النظرية المطلوبة لاختيار مكونات دائرة الحماية المهبطية، ويعرض في الجزء الثاني كل ما يتعلق بالجانب العملي، يعرض في الجزء الثالث مناقشة النتائج والاستنتاجات. لقد أظهرت نتائج الدارسة أن منظومة الحماية المهبطية للأنبوب الناقل للنفط والخزانات المغذية للمحطة تعمل ضمن الحدود القياسية المعمول بها عالمياً.

**2- الهدف من البحث**

اجراء دارسة تصميمية لمنظومة حماية مهبطية تعمل بتقنية التيار القسري لحماية خزانات الوقود والأنابيب ضمن محطة محردة الحرارية من التآكل. صممت المنظومة للوقاية من خطر التآكل لمدة تصل عشرين عاماً مما يجعلها بحالة جاهزية دائمة للعمل. التقنية التي اعتمدت في الدراسة تتعلق بحقن تيار مستمر ذو قيمة مدروسة وبقطبية تعاكس الآلية الكيمائية للتآكل.

**3- الحسابات التصميمية**

**3-1 الأنبوب الناقل للنفط**

يبلغ طول الأنبوب الحديدي لنقل النفط ابتداء" من الخزانات إلى محطة توليد الحرارية (100m) وبكفاءة تغليف (90%) مغلف لطوله كاملاً بمادة الايبوكسي والـ (PVC). قطر الأنبوب (4inch) يمتد في منطقة زارعية منبسطة. من الجدول (1) يتضح أن كثافة تيار لحماية الانبوب مهبطياً (2 mAmp/ft) [9].

$$A = L \times D \times \pi \qquad (1)$$

$$I = (A) \times (I") \times (1 - CE) \qquad (2)$$

حيث أن:

A: المساحة السطحية للانبوب ($ft^2$).

L: طول الانبوب (ft).

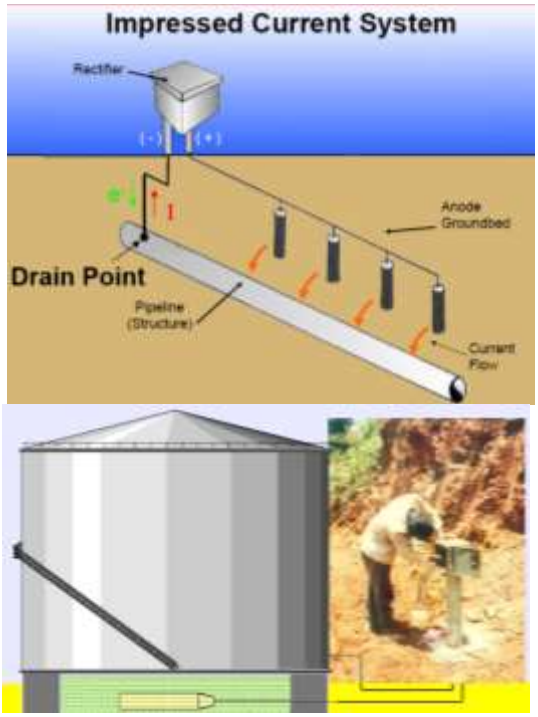
D: قطر الانبوب (ft).

I": كثافة التيار المطلوبة ($mAmp/ft^2$).

CE: كفاءة التغليف (%).

I: تيار الحماية المهبطية الكلي (Amp).

باستخدام المعادلتين (1 و2) يمكن حساب تيار الحماية المهبطية الكلي المطلوب سريانه على كامل طول الانبوب. (I =1.8 Amp). يعرض الشكل (2) مخطط مسار الانبوب ومواقع الأنودات ونقاط الفحص.



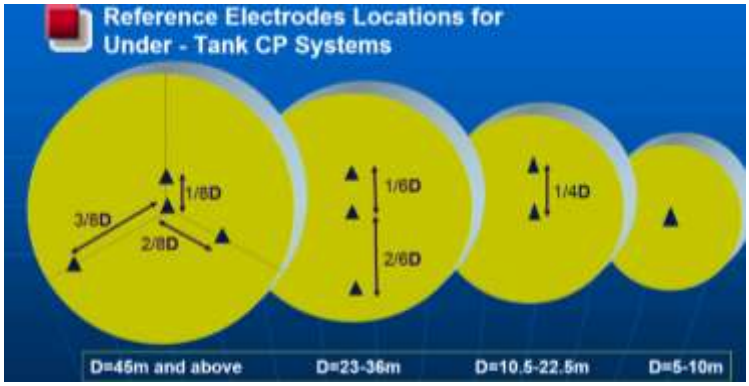

الشكل (2): توضع الأنودات العمودية على مسار الأنبوب وموقع نقاط الفحص

### 3-2 الأنودات المستخدمة

نظراً لتوفر أنودات من نوع حديد سيليكوني (HSCI) في الأسواق المحلية فقد تم اعتماد استخدامها في منظومة الحماية المهبطية للأنبوب. تبلغ أبعاد الأنود الواحد (5ft x 1/4 ft) ويزن (110lb) وبقيمة أعلى تيار ($I_a$=1Amp) يتناسب مع الفترة العمرية للمنظومة وهي (20 سنة). يمكن حساب عدد الأنودات المطلوبة لتجهيز تيار الحماية المهبطية باستخدام العلاقة (3):

$$N = I / I_a \qquad (3)$$

حيث N تمثل عدد الانودات المطلوب ويساوي (N=2) مقربة الى العدد الصحيح. نوضح على الشكل التالي كيفية توضع الأنودات تحت قاعدة الخزان وعدد هذه الأنودات كتابع لقطر قاعدة الخزان.




الشكل (3): توضع الأنودات وعددها كتابع لقطر الخزان

### 3-3- حوض الأنودات

يتم دفن الأنودات في أحواض أرضية وبمواصفات تمكن انتشار التيار القسري من منبع القدرة من خلال التربة الى جميع أجزاء الانبوب المطلوب حمايته. تدفن الأنودات عادة في مسحوق من الفحم الحجري لتقليل مقاومة التماس بين الأنودات والتربة وبالتالي تقليل جهد الدائرة الكهربائية لدفع تيار الحماية وتقليل استهلاك الانودات [10]. طريقة دفن الأنودات تعتمد على طبيعة المنطقة والمقاومة النوعية للتربة، فأن كانت المقاومة النوعية منخفضة ومستوى المياه عالي يمكن استخدام أحواض أرضية سطحية أفقية ضحلة (Shallow Ground Beds). وتدفن الأنودات أفقياً على أعماق قليلة (2-3m) بينما يتطلب دفن الأنودات عمودياً (Vertical Ground Beds) على أعماق أكبر نسبياً بهدف الوصول إلى طبقات ذات مقاومة منخفضة. وبما أن الأنبوب يمتد في أرض زراعية رطبة ذات مقاومة منخفضة، فقد تم اختيار الحوض من النوع السطحي ذات عمق 3 متر، لاحظ الشكل (4).

الشكل (4): أعمال توضع ووصل الأنودات السطحية

يمكن حساب مقاومة الأنودات (Rh) والتي يجب أن تكون أقل من (1Ω) وذلك باستخدام المعادلة (4) والتي تسمى (Dwight's formula for horizontal anodes).

$$R_h = \{(0.0052 \times \rho / k_h \times L_h)(\ln \left[4L^2{}_n + 4L_{n\sqrt{S^2}} + \frac{L^2{}_n}{d} \times S\right] - 1 \quad (4)$$

حيث أن:

$R_h$: مقاومة حوض الانودات (Ω).

ρ: المقاومة النوعية للتربة (1400Ω.cm).

$K_h$: ثابت يساوي واحد.

$L_h$: طول حوض الأنودات (ft).

D: قطر الأنود (inch).

S: عمق الأنودات عن سطح الأرض (ft).

أن مقاومة حوض الأنودات المستخرجة باستخدام معادلة (4): (1.23Ω) = Rh وهذه القيمة غير مناسبة لأنها أكبر من الواحد لذلك يتم اللجوء إلى زيادة عدد الأنودات المستخدمة بجعلها مثلا 2 أنود وبالتالي تصبح (Rh = 0.8Ω).

**3-4 حساب مقاومة دائرة الحماية المهبطية للأنبوب**

يمكن استخرج مقاومة دارة الحماية المهبطية للأنبوب مع قضبان التجميع في علبة التوصيلات بين منبع التغذية والأنودات والأنبوب، ومقاومة حوض الأنودات وكما في معادلة المقاومات التسلسلية:

$$R_t = R_c + R_w + R_h \quad (5)$$

حيث أن:

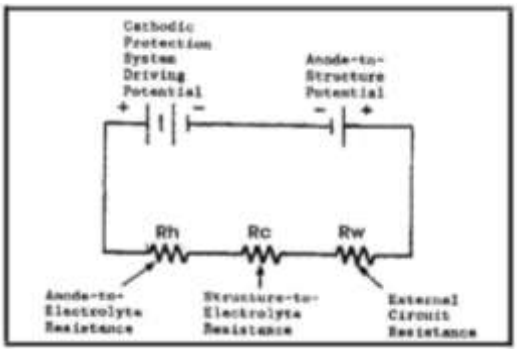
$R_c$: مقاومة التغليف، ويمكن حسابها من المعادلة التجريبية:

$$Rc = 2500 / A \quad (6)$$

$R_w$: مقاومة علبة التوصيلات (Ω).

يعرض الشكل (5) دارة المقاومات التسلسلية البسيطة لمنظومة الحماية المهبطية. باستخدام المساحة السطحية للأنبوب والمعرفة بالمعادلة رقم (1) في المعادلة رقم (6) تنتج قيمة ( $R_c$ = 0.06Ω). تم اختيار علبة توصيل ذات قضبات تجميع نحاسية بمقطع ($50\ mm^2$) وبطول

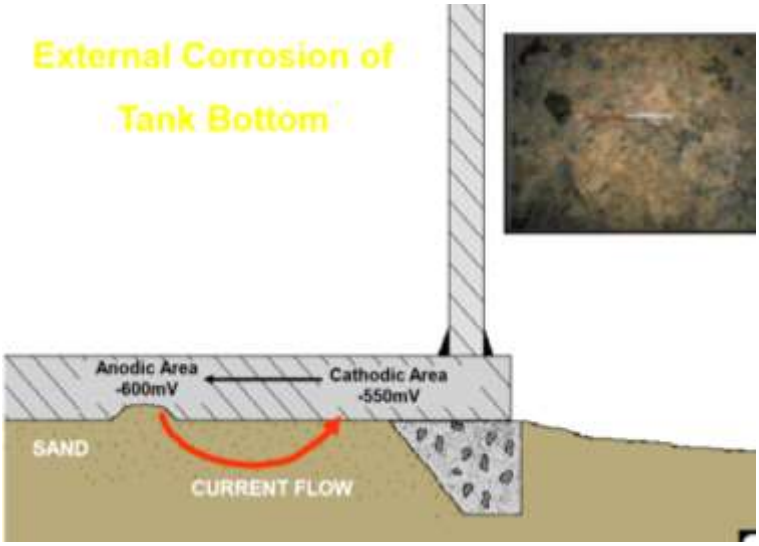
(100m) لتنفيذ التوصيلات الكهربائية بين مصدر التغذية والأنودات وبين مصدر التغذية والأنبوب المحمي. المقاومة الكلية لقضبان التجميع النحاسية في علبة التوصيل ($R_W$=0.208 Ω). وحسبت قيمة مقاومة دارة الحماية المهبطية الكلية من المعادلة (5) بعد تعويض المتغيرات فيها لتنتج ($R_t$ = 1.088 Ω).




الشكل (5): الدائرة المكافئة للمقاومة الكلية لمنظومة الحماية الكاثودية

**4- حساب تيار الحماية المهبطية لخزانات الوقود**

تحتوي محطة التوليد على خزاني وقود سعة كل منهما 1450متر مكعب من وقود المازوت. من أجل حماية أرضيات الخزانات من التآكل سيتم تصميم نظام حماية مهبطية لهذا الغرض يعتمد مبدأ التيار القسري (Impressed Current)، وسنهتم بالحماية الخارجية للخزانات. أبعاد الخزان الهندسية هي (قطر الخزان D=12.95m ، ارتفاع الخزان h=8m). على الشكل (6) نوضح آلية التآكل التي تحدث لأرضية الخزانات النفطية. حيث أنه على طول مساحة القاعدة تتشكل مناطق ذات كمون أخفض (منطقة الأنود) من كمون مناطق أخرى مجاورة (منطقة الكاثود) وبالتالي يحدث حركة للإلكترونات وبالتالي مرور للتيار التسربي بين المنطقتين فيحصل تآكل من جهة بسبب مغادرة الالكترونات وتجمع في أماكن أخرى والتي تدعى منطقة الكاثود.




الشكل (6): آلية التآكل لأرضية الخزانات المعدنية

من أجل ذلك نقوم بحقن تيار قسري سالب القطبية في قاعدة الخزانات وموجب القطبية في أنودات معدنية من الحديد السيليكوني (HSCI).

المساحة المحمية من الخزان = مساحة القاعدة + مساحة الجدران

مساحة القاعدة:

$$S_{base} = \frac{\pi . D_{base}^2}{4} = \frac{\pi . (12{,}95)^2}{4} = 12{,}566 m^2$$

مساحة الجدران:

$$S_{well} = \pi . D . h = \pi . 12{,}95.8 = 325{,}46 m^2$$

المساحة الكلية المحمية مهبطياً هي ($338{,}034 m^2$)

تيار الحماية المهبطية اللازم = المساحة المحمية x كثافة التيار

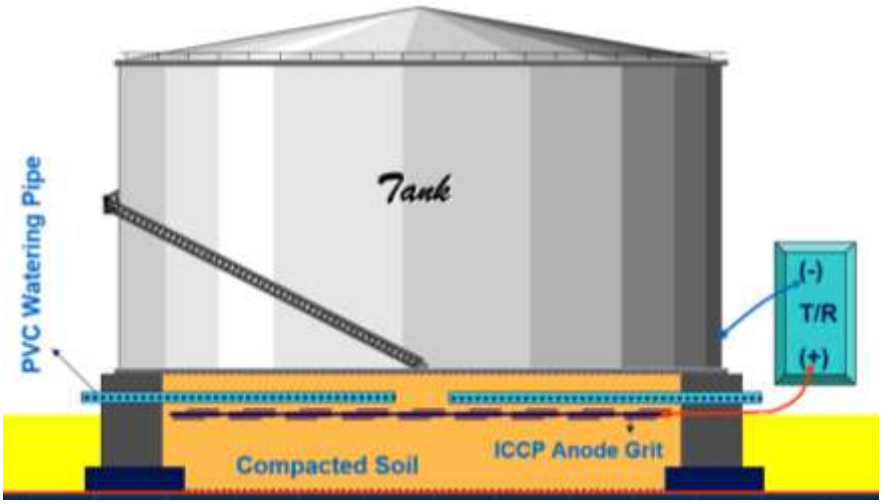
نعتمد كثافة تيار حسب المواصفات القياسية من أجل تربة عادية (Normal soil) والتي تساوي ($2\ mA/m^2$). إذاً نحن بحاجة الى تيار حماية مهبطية قدره (1,7A) لكل خزان.

**5 – محطّة الحماية المهبطية اللازمة**

إن جهد منبع القدرة المستمرة الواجب توفرها للحصول على الحماية المهبطية القياسية تحسب استناداً الى مقاومة الدائرة الكلية والتيار المطلوب. بافتراض اضافة نسبة (50%) من الجهد لزيادة اعتمادية منبع القدرة ومراعاة لتغير الظروف المحيطة خلال الفترة العمرية المفروضة للمنظومة، يمكن إيجاد الجهد المستمر المطلوب للمحطة من المعادلة:

$$V_t = I \times R_t \times 150\%$$

حسب الجهد الكلي المطلوبة بقيمة $V_t = 15V$، ويمكن استخدام منبع قدرة على شكل منظومة محولة/دارة تقويم من نوع (Air – Cooled T/R) تعطي على خرجها جهد مستمر (24V) وتيار أعظمي حتى (20A) لأداء الغرض المطلوب وهو أقرب منتج نمطي متوفر بالأسواق المحلية.




الشكل (7): توضع أنودات الحماية ومحطة القدرة وأنابيب التصريف تحت قاعدة الخزان

### 6- نقاط الفحص والعزل للحماية المهبطية

ضمن نظام الحماية يوجد أشكال مختلفة لنقاط الفحص والاختبار اللازمة لإجراء قياس الجهد بين الهياكل المعدنية المحمية والتربة المحيطة بها بشكل مستمر، قد تؤثر نوعية الكابلات المستخدمة في الوصل وكذلك نقاط الفحص وتشكل مسار لتيار الحماية لأجزاء أخرى من خطوط الأنابيب والأجسام المعدنية وخصوصاً عند نقاط توضع الصمامات، لذلك لابد من عزل المنشآت السطحية عن المنظومة المحمية.

في خطوط الأنابيب التي تنقل مواد هايدروكاربونية يتم استخدام مانعات الصواعق Surge Arrestors التي تركّب عند وصلات العزل Insulating Joints لضمان وتأمين العزل من الانهيار والتلف بسب ضربات الصواعق أو التوصيلات الكهربائية الخاطئة والتيارات العابرة، حيث يؤرّض كلا جهتي العزل والجزء المحمي مهبطياً، ويكون تأريض الجزء المحمي مهبطياً

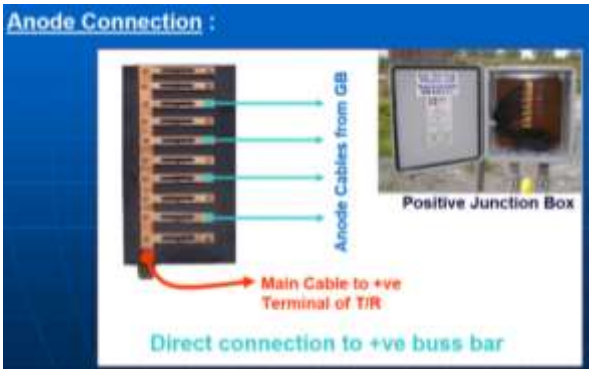
من خلال خلايا استقطاب Polarization Cells لمنع تيار الحماية المستمر CP – DC Current من التسرب للأرض. كذلك تحتاج الخزانات المحمية مهبطياً الى خلايا استقطاب Polarization Cells تربط بين نقطة التأريض وشبكة الأرضي لضمان عدم تسرب تيار الحماية المهبطية للخزان من التسرب لشبكة الأرضي.

الشكل (8): نقاط الفحص والمراقبة

تم تجهيز منظومة الحماية الكاثودية للأنبوب بنقطة فحص ثابتة (Test Points) عند بداية الأنبوب وعلى الشكل (8) صورة لنقطة الفحص الثابتة. تم لحام مربط الكبل بالأنبوب باستخدام اللحام الحراري، نستفيد من نقاط الفحص في قياسات فرق الجهد دورياً بين الانبوب المحمي والتربة المحيطة وعلى مدار الفترة العمرية لمنظومة الحماية الكاثودية وتقييم أدائها.

**7 – صندوق ربط الأنودات**

يظهر الشكل (9) صورة لصندوق ربط الانودات. تجمع نقاط وصل الأنودات (كل أنود مستعمل في هذا العمل مزود بمربط خاص وتربط في صندوق ربط الأنودات الذي يوضع قرب حوض الأنودات ويربط فيه أيضاً الطرف الموجب القطبية ذو المقطع $6mm^2$ مع منبع القدرة. ومن الجدير بالذكر فان الطرف السالب القطبية الرئيسي للمنبع يتم ربطه بالأنبوب باستخدام اللحام الحراري وذلك لإكمال الدائرة الكهربائية لمنظومة الحماية الكاثودية.




الشكل (9): صندوق ربط الأنودات

**8- تشغيل وفحص منظومة الحماية الكاثودية**

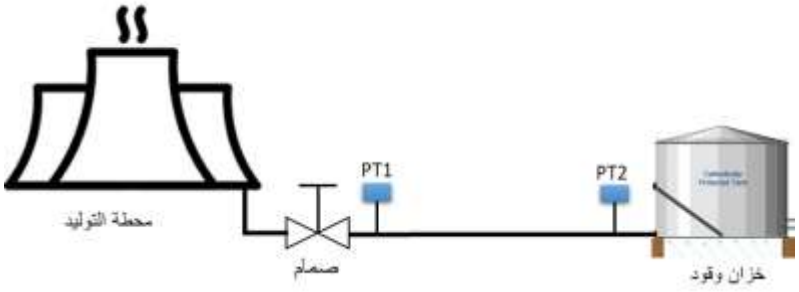
تم انجاز أعمال التركيب والربط لكافة مكونات منظومة الحماية الكاثودية للأنبوب الناقل للوقود، وقبل تشغيل المنظومة (حالة الاطفاء Off state) يتوجب قياس فروق الجهد بين سطح الانبوب المدفون وخلية قياسية نحاسية ($Cu/CuSO_4$) توضع على سنام الدفن للأنبوب. يبين الجدول (2) قيم فرق الجهد في مناطق نقاط الفحص المبينة والتي تتراوح ما بين 0.55V- وقيمة أدنى0.58V-) تشير فروق الجهد هذه الى الحالة الجيدة لمعدن الانبوب والتغليف المستخدم لعزله. تم تشغيل منبع القدرة لمنظومة الحماية الكاثودية (حالة التشغيل) وتم رفع جهد منبع القدرة تدريجياً ورافق ذلك تسجيل قراءات فروق الجهد في نقاط الفحص والاختبار وتياره المستمر بحدود(4.5A).

| نقطة الفحص | جهد الانبوب (V) | حالة اللحام | حالة التغليف |
|---|---|---|---|
| PT1 | -0.55 | جيدة | جيدة |

جدول (2): المنظومة في حالة الإطفاء (جهد الانبوب الطبيعي)

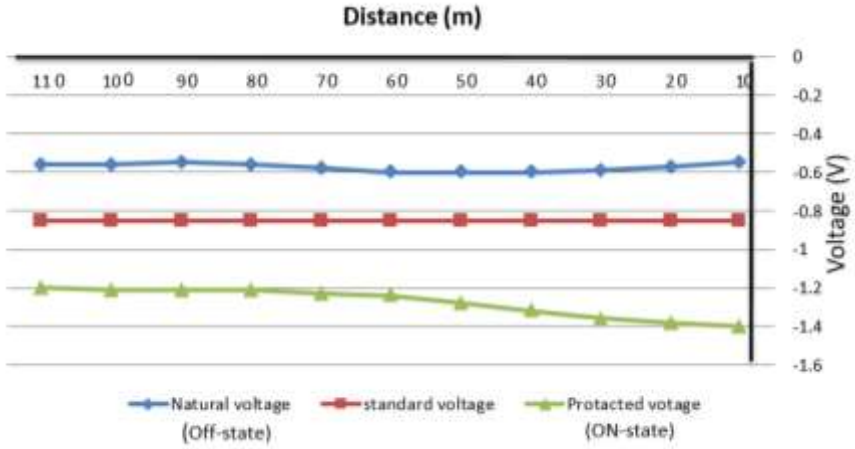
| نقطة الفحص | جهد المنبع (V) | تيار المنبع (A) | جهد الانبوب |
|---|---|---|---|
| PT1 | 4.85 | 4.5A | -1.42 |

جدول (3): قيم فرق الجهد في حالة التشغيل (جهد الانبوب المحمي مهبطياً)




الشكل (10): مخطط توزع نقاط الفحص على طول الأنبوب

يبين الشكل (11) أداء منظومة الحماية ممثلاً بقياس فرق الجهد في نقاط الفحص على مسار طول الأنبوب في حالتي الإطفاء والتشغيل بالمقارنة مع المنحني القياسي.




الشكل (11): أداء منظومة الحماية متمثلاً بعلاقة جهد نقطة القياس مع المسافة

نستنتج من هذه المنحنيات أنه بوجود منظومة الحماية المهبطية ذات التيار القسري قد تم الحفاظ على الجهد السالب للأنبوب الى مادون القيمة القياسية لمعدن الحديد والمتمثلة بالمنحني الوسطي عند (−0.85V)، بينما هذا الجهد في حال كانت المنظومة غير عاملة (off−state) لن يتجاوز جهد الأنبوب (−0.6V) وهو غير كاف لحماية الأنبوب من التآكل.

## 9- النتائج والمناقشة

إن الدارسة التفصيلية ونتائج الحسابات النظرية لتصميم منظومة حماية مهبطية من نوع التيار القسري لأنبوب نقل النفط وكذلك لخزانات الوقود قد أعطت البيانات التالية:

- التوتر المستمر (15v)
- تيار منبع التغذية المستمر (5A)
- القدرة المطلوبة من منبع التغذية (75w)

نوع الأنودات المستخدمة من الحديد السيليكوني (HSCI)، نحن بحاجة الى أنود عدد (2) تحت كل خزان وبحاجة الى أنود عدد (2) لحماية خط نقل الوقود من الخزانات الى المحطة.

من أجل تحسين أداء منظومة الحماية تم وضع خلايا استقطاب للخزانات المحمية مهبطياً تربط بين نقطة التأريض في الخزان وشبكة التأريض العامة لضمان عدم تسرب تيار الحماية الكاثودية الخاص بالخزان الى شبكة الأرضي.

عملياً، تخضع منظومة الحماية الى تغيرات في البارامترات المحيطة وتغيرات كيميائية على أنودات الحماية مما يضطرنا الى وضع عامل أمن للقدرة المقدمة من منبع التغذية ولذلك اخترنا منبع ذو المواصفات (24 VDC وتيار 10 ADC)، وهو كافٍ لتحقيق متطلبات سحب تيار الحماية في مختلف الظروف المحيطة.

لقد أوضحت النتائج التي تم أخذها بالقياس والمثبتة بالجدولين (1 و 2) بالإضافة للشكل (11) فعالية منظومة الحماية المهبطية المصممة في حفظ جهد الأنبوب الى ما دون القيم القياسية المعتمدة لمعدن الحديد المستخدم في الأنودات وهو (0.85 V –) مما يحافظ على معدن الأنبوب لفترة زمنية طويلة دون تآكل.

## المراجع


1- Army corps of engineers U.S., 2004- Electrical engineering cathodic protection, *Unified Facilities Criteria*, UFC 3 – 521 – 02 N, 16.

2- Army corps of engineers U.S., 2005- Cathodic protection *Unified Facilities Criteria*, UFC 3- 570 -02 A.

3- Peabody A.W., 2001- Control of pipeline corrosion, *NACE International*, 2nd. Edition.

4- German Cathodic Protection, 2016- Impressed Current Anodes, Silicon iron anodes, *Document No.*: 04-200-R0, byGCP German Cathodic Protection GmbH & Co. KG.www.gcp.de.

5- Marshall E. Parker, Edward G. Peattie, 1999- Pipeline corrosion and cathodic protection,3rd.Edition, *Elsevier science*.

6- Naseer A. Al Habobi and Shahad F. Abed, 2013- Simulation of Cathodic Protection System Using Matlab, *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering*,Vol.14 No.1, pp25-37.

7- Mehrdad F. and Khalil M., 2014- Novel Cathodic Protection System based on Photovoltaic Cells, *Transaction on electrical and electronic circuits and systems*, VOL. 4(20), PP. 117-123.

8- Javadi M., Javidan J. and Salimi M., 2014- Cathodic Protection of an underground Pipeline by Photovoltaic Power System using Intelligent Method, *International Journal of Renewable Energy Research*, Vol.4, No.2.

9- MESA Products, 2001- Shallow horizontal continuous ground bed design, *C. P. design center by MESA Products*, Inc, www.mesaproducts.com.

10- Impalloy Co., 1985- Cathodic protection of C.W. pipelines for AL-Mussaib thermal power station, *ImpalloyCo. LTD* .