بسم الله الرحمن الرحیم

شرکت گاز استان چهار محال و بختیاری
واحد پژوهش و توسعه

ترجمه کتاب :
Cathodic Protection System Operation and Maintenance

مترجم:
سهراب کریم زاده

ماهیت خوردگی
شرایط و مفهوم خوردگی

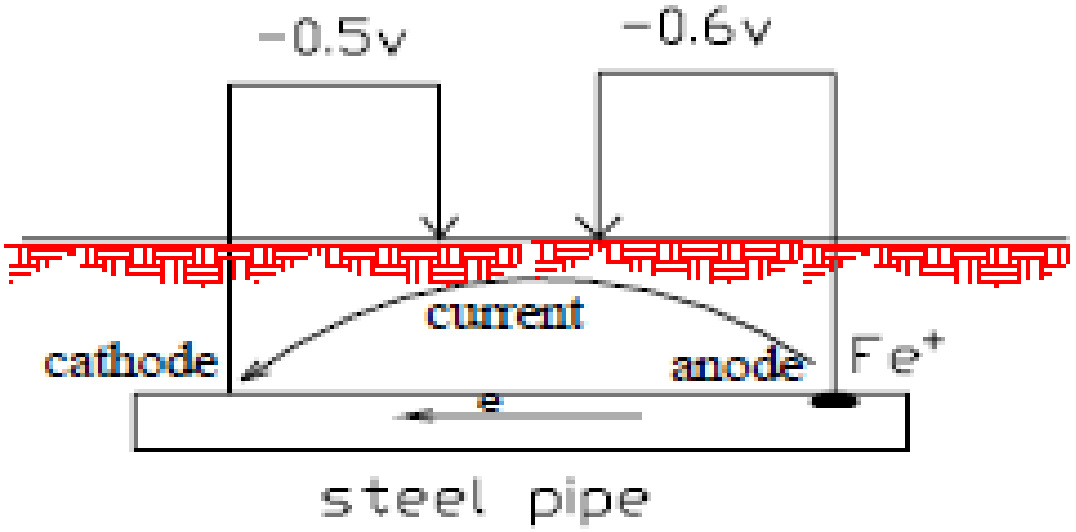
- خوردگی چیست:
- مطابق تعریف استاندارد BS7361، خوردگی را تخریب تدریجی یا خرابی یک فلز در اثر واکنش شیمیایی یا الکتروشیمیایی با محیطی که در آن قرار دارد، تعریف می کنند.
- خوردگی فلزات در دماهای اتمسفر یک فرایند الکتروشیمیایی می باشد. که در آن سطح فلز در تماس با یک الکترولیت می باشد. الکترولیت ممکن است فیلمی از نمک های حل نشده باشد یا تمام یا بخشی از محیط اطراف را شامل شود. به طور مثال وقتی فلز در آب شیرین، آب دریا، غوطه ور یا در خاک مدفون باشد. در حالت آخر، الکترولیت، خاک مرطوب حاوی نمک های محلول است.

ماهیت خوردگی

تعاریف

- آند: الکترود یک پیل الکتروشیمیایی است که در آن واکنش اکسیداسیون رخ می دهد. (الکترونها از آند که در مدار خارجی که معمولا فلزی است جاری می شوند. معمولاً آند الکترودی است که خوردگی در آن اتفاق می افتد و یونهای فلزی وارد محلول می شوند.)
- کاتد: الکترود یک پیل الکتروشیمیایی که در آن واکنش احیاء رخ می دهد.
- الکترولیت: الکترولیت اشاره به خاک یا رطوبت مجاور آن و در تماس با سیستم لوله فلزی غوطه ور یا مدفون می کند که شامل رطوبت و سایر مواد شیمیایی موجود در آن می باشد.

ماهیت خوردگی
شرایط و مفهوم خوردگی



ماهیت خوردگی
شرایط و مفهوم خوردگی

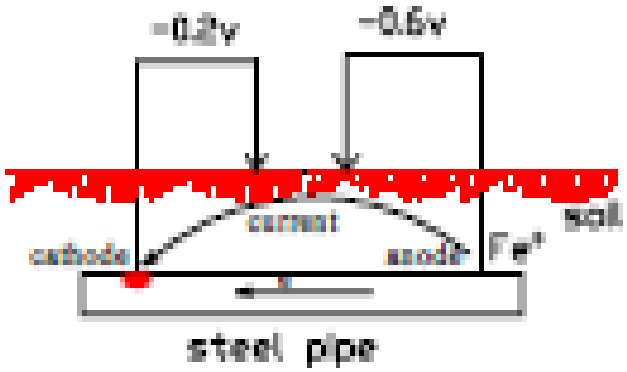
- شرایط لازم برای ایجاد خوردگی:
- قبل از اینکه پیل خوردگی الکترولیتی بتواند رخ دهد، شرایط معینی باید وجود داشته باشد:
  - وجود آند و کاتد.
  - وجود پتانسیل الکتریکی بین کاتد و آند.
  - وجود رابط فلزی الکتریکی بین کاتد و آند.
  - آند و کاتد باید در الکترولیت رسانای الکتریکی غوطه ور باشند.

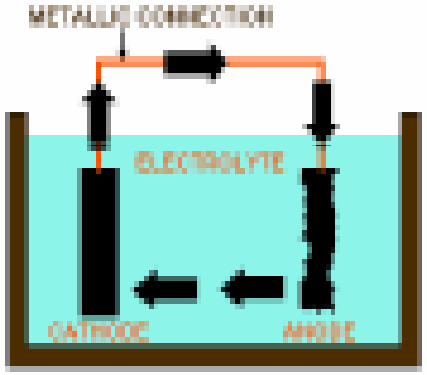
ماهیت خوردگی
شرایط و مفهوم خوردگی

- بواسطه اختلاف پتانسیل موجود بین نواحی کاتد و آند، یونهای فلزی با بار مثبت از سطح آند جدا می شوند. در صورتیکه الکترونها از سطح کاتد جدا می شوند.
- خوردگی در نواحی آندی رخ می دهد که در آن یونهای فلزی با الکترولیت واکنش می دهند و محصولات خوردگی معمول را تولید می کنند.
- در کاتد انحلال فلز رخ نمی دهد اما واکنش ها در الکترولیت اتفاق می افتد.

عوامل مؤثر بر خوردگی
شرایط سطحی فولاد

- اگر یک پوسته اکسیدی یا ناخالصی بر روی سطح فولاد وجود داشته باشد، نسبت به سطح فلز بدون پوشش، نقش کاتد خواهد داشت. الکترونها از فولاد بدون پوشش به سمت پوسته اکسیدی می روند و خوردگی بعد از ترک الکترونها اتفاق خواهد افتاد. معمولاً نتیجه، خوردگی حفره ای خواهد بود.





عوامل مؤثر بر خوردگی
محیط

- سرعت خوردگی فلز در خاک یا آب تابع عوامل زیر می باشد:

۱. غلظت الکترولیت

۲. غلظت اکسیژن

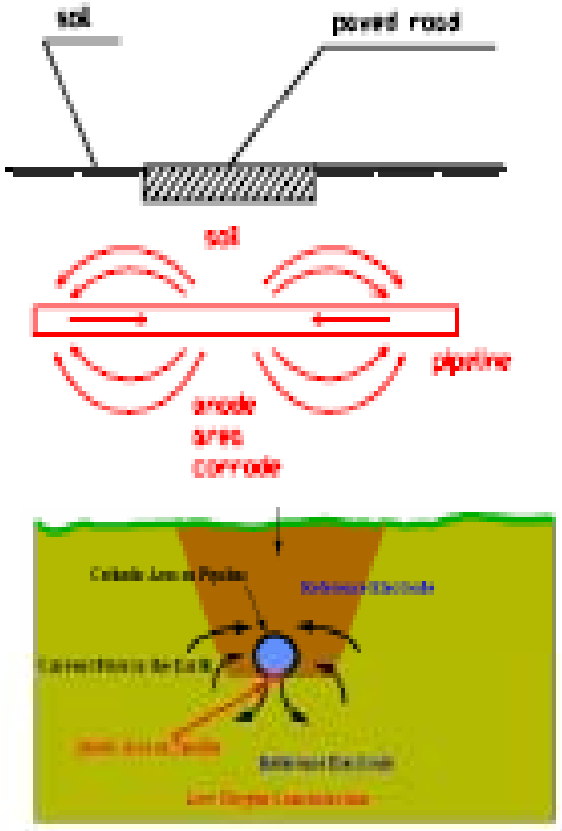
۳. دما

به طور کلی با افزایش یکی از این فاکتورهای کنترل کننده، شدت خوردگی افزایش می یابد، اما به دلیل اینکه همه تأثیرات همزمان عمل می کنند، اهمیت نسبی آن ها باید ارزیابی شود.

عوامل مؤثر بر خوردگی
محیط

- فلز در آب شور اکسیژن دار بسیار سریعتر از آب دریا خورده خواهد شد.
- عدم حضور اکسیژن، خصوصا در خاکهای تسطیح شده، ممکن است یک محیط خورنده برای آهن و فولاد برای رشد باکتریهای احیاءکننده سولفات فراهم نماید.
- مهمترین خاصیت خاک در خصوص خوردگی خط لوله، محتوی نمک و هوادهی (محتوی اکسیژن) می باشد که هر دو بر پتانسیل فولاد نسبت به خاک در خطوط لوله مدفون اثر می گذارند.
- اختلاف پتانسیل فولاد نسبت به خاک، در فولاد مدفون در خاکهای حاوی نمک زیاد، بسیار منفی تر از خاک های حاوی نمک کم می باشد. تمایل خوردگی خطوط لوله بسیار شدید می باشد.

عوامل مؤثر بر خوردگی
پیل های اختلاف دمشی

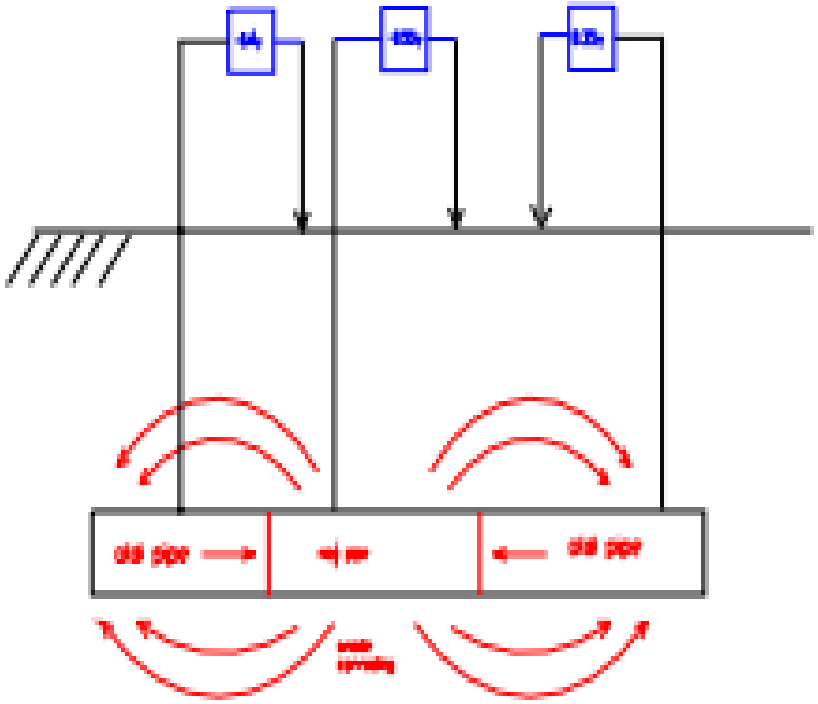


- اختلاف پتانسیل فولاد نسبت به خاک لوله مدفون با هوادهی پائین (دارای اکسیژن کم) منفی تر از خاک با هوادهی بالا (شامل اکسیژن بالا) می باشد.
- در این صورت جاده مفروش شده، غلظت اکسیژن در خاک اطراف لوله را کم می کند. این بخش از خط لوله در پیل خوردگی اختلافی، آند می شود و خوردگی کم کم شروع می شود.
- در عمل، هوادهی خوب و مقاومت الکتریکی بالا، معمولاً با خوردگی کمتر در مقابل محتوی رطوبت پایین مطابقت دارد.

عوامل مؤثر بر خوردگی
خوردگی باکتریهای احیاء کننده سولفات

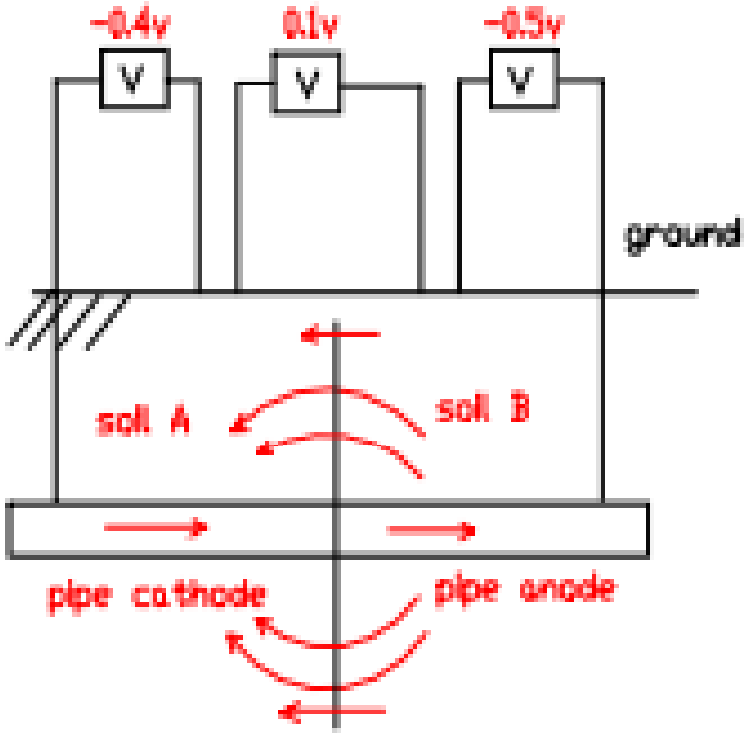
- باکتری های احیاءکننده سولفات در خاکهای غیر هوازی، به طور مثال، خاک رسی، ممکن است فعال باشند. این میکروارگانیسم ها در فرم فعال تنها در حضور اکسیژن می توانند وجود داشته باشند و انرژیشان را از واکنش زیر بدست می آورند:
- $SO_4 + 8H = H_2S + 2H_2O + 2OH$
- معمولاً شرایط خوردگی باکتری در آهن و فولاد در شرایط غیر هوازی سریع و شدید می باشد. اغلب این نوع حمله می تواند بوسیله ظاهر روشن سطح خورده شده و بوی تخم مرغ گندیده شناخته شود.
- بخاطر اینکه اتم هیدروژن بوسیله SO_4 مصرف می شود، الکترونهای بیشتری جهت تولید اتم هیدروژن نیاز می باشد، بنابراین پتانسیل حفاظتی منفی تری مورد نیاز می باشد.

عوامل مؤثر بر خوردگی
لوله قدیم و جدید



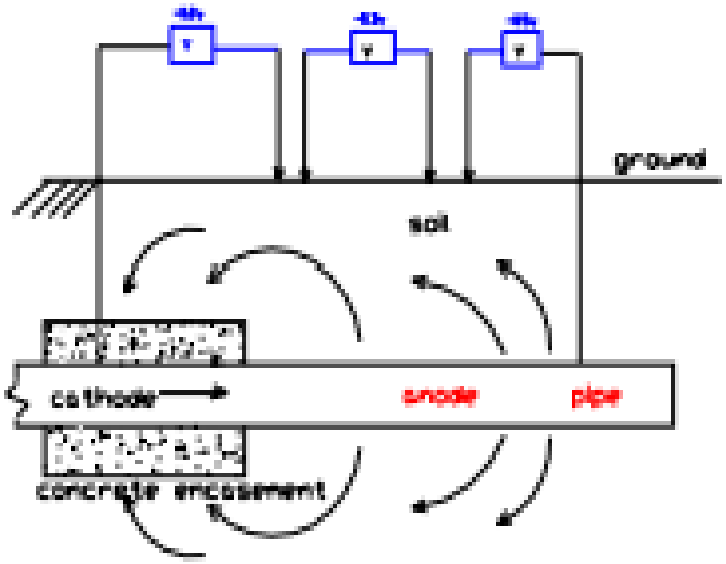
- یک بخش از لوله بخاطر صدمه خوردگی جایگزین شده است.
- بخش جدید زودتر از حد انتظار صدمه خواهد دید.
- فولاد نرم (زنگ آهن) : ۰/۲- تا ۰/۵- ولت
- فولاد نرم (تمیز) : ۰/۵- تا ۰/۸- ولت

عوامل مؤثر بر خوردگی
خاکهای غیر مشابه



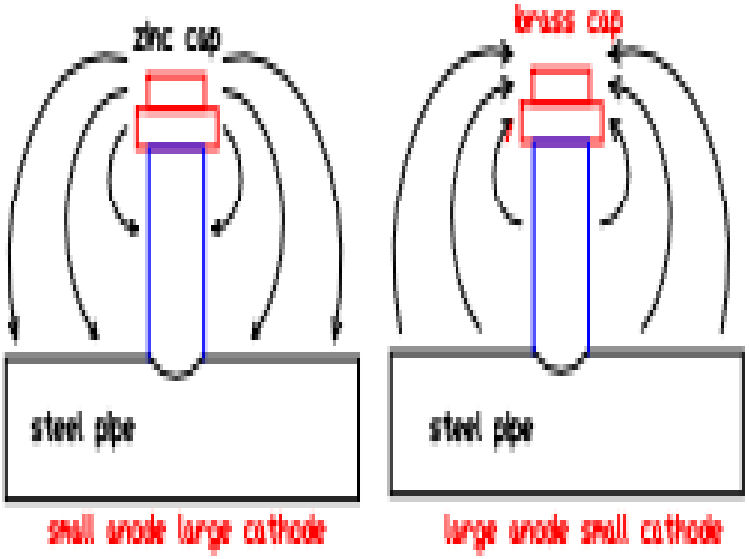
- عبور لوله از دو الکترولیت با غلظت های متفاوت تشکیل یک پیل گالوانیکی می دهد و اغلب به عنوان یک پیل غلظتی شناخته می شود.
- خوردگی در قسمت آندی اتفاق خواهد افتاد.

عوامل مؤثر بر خوردگی
خط لوله قرار داده شده در بتن



- پوشاندن لوله با بتن باعث ایجاد پیل خوردگی اختلافی خواهد شد.
- بخش بدون بتن، آند شده و خورده می شود.

عوامل مؤثر بر خوردگی
نسبت آند و کاتد

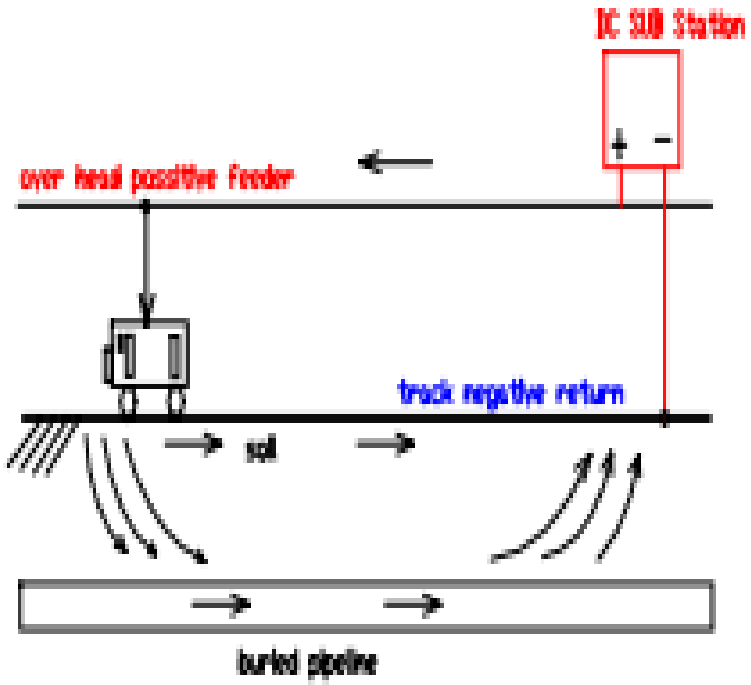


- اگر آند نسبتاً کوچک باشد، خوردگی شدید خواهد بود.
- اگر ناحیه آندی نسبتاً بزرگتر از ناحیه کاتدی باشد، خوردگی نسبتاً آرام خواهد بود.

عوامل مؤثر بر خوردگی
خوردگی جریان سرگردان

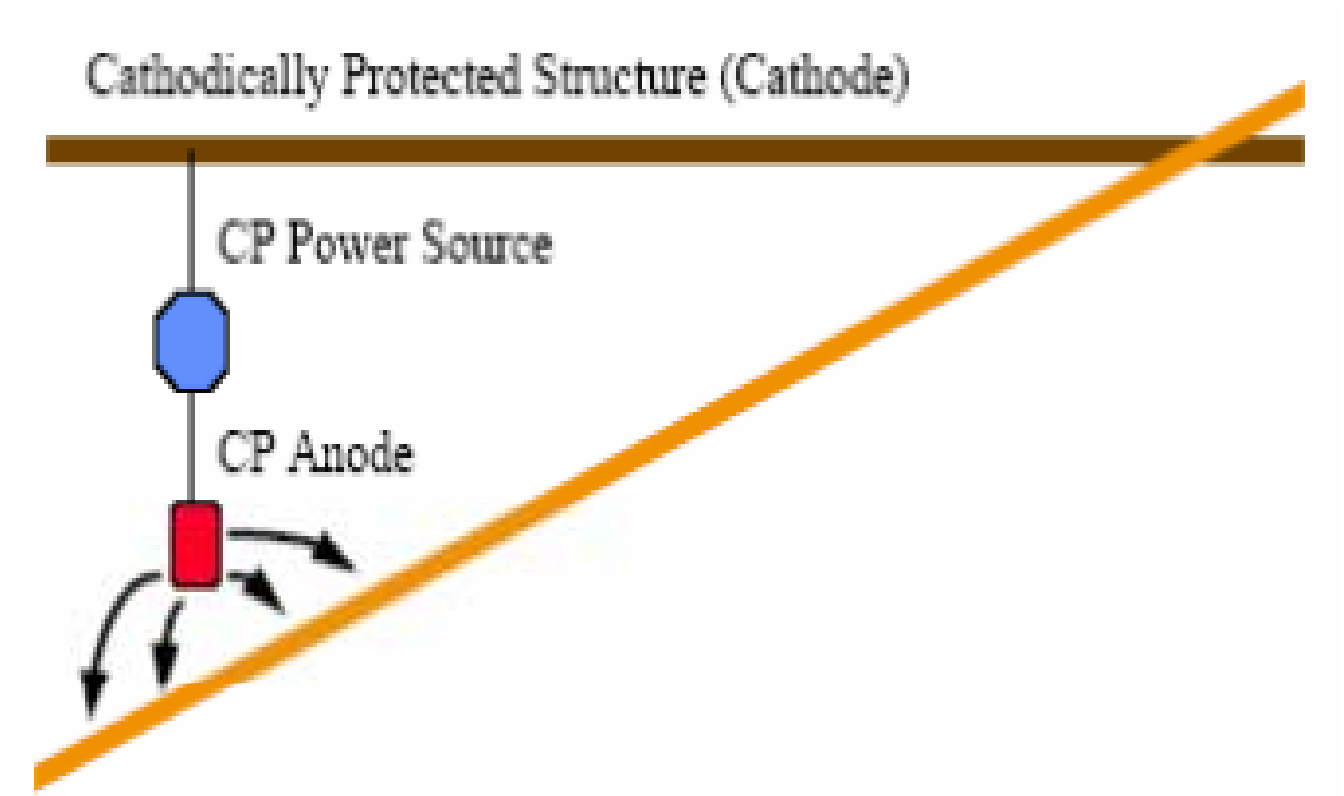
- تداخل: هر اختلال الکتریکی در یک سازه فلزی منجر به جریان سرگردان می شود.
- جریان سرگردان: جریان از مسیرهای دیگری غیر از مدار تعیین شده باشد.
- خوردگی جریان سرگردان: خوردگی، نتیجه انتقال جریان سرگردان بین لوله و الکترولیت می باشد.
- اکثر اوقات سیستم های انقباض جریان مستقیم موجب می شوند جریانهای الکتریکی محسوسی در زمین اطراف آن جاری شوند، به طور مشابه، تزریق جریان از سیستم حفاظت کاتدی هم ممکن است سازه فلزی مدفون محافظت نشده در همسایگی را تحت تأثیر قرار دهند.

عوامل مؤثر بر خوردگی
خوردگی جریان سرگردان

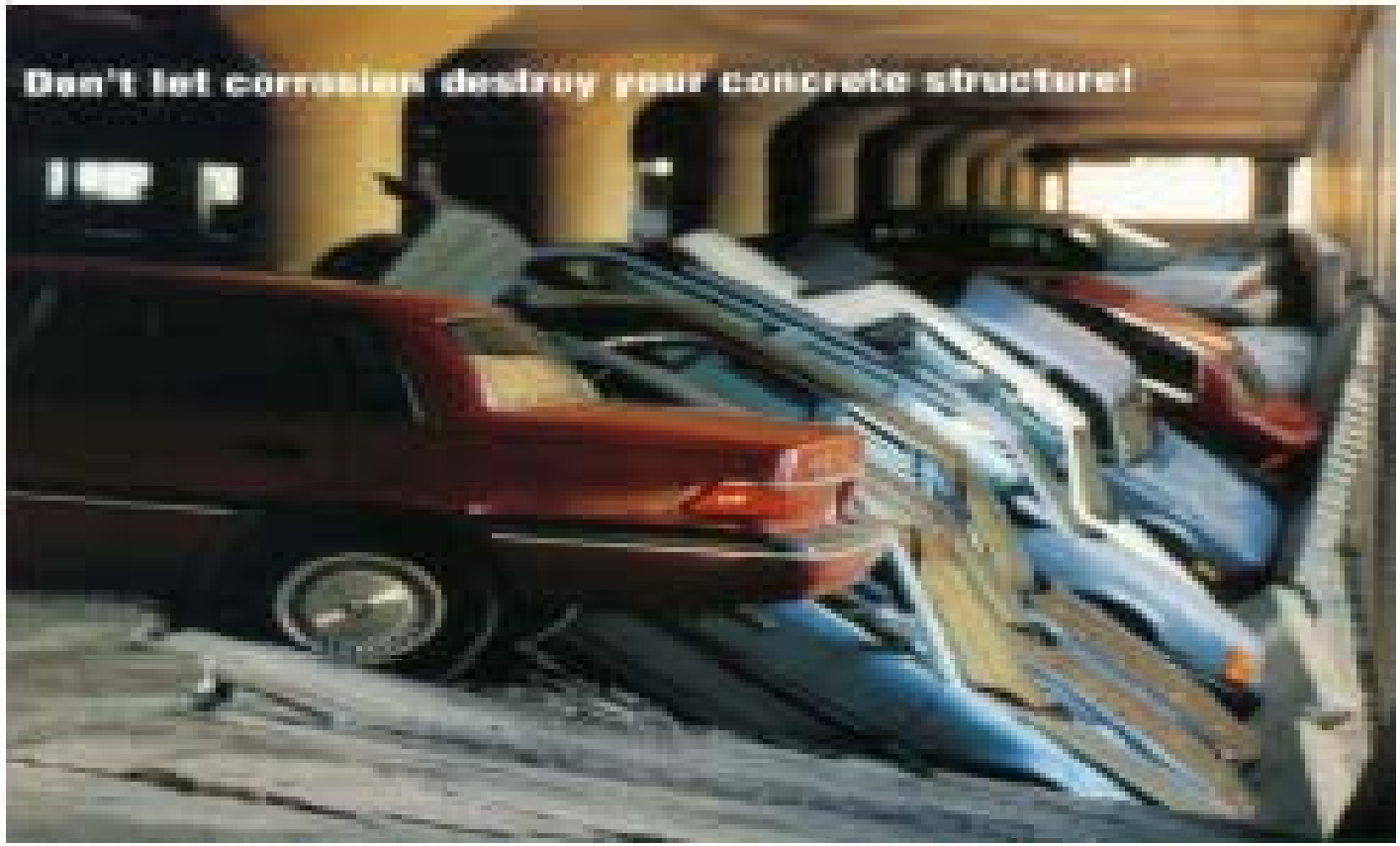


- با یک خط لوله با پوشش ضعیف، جریان سرگردان ممکن است از یک نقطه وارد، در طول لوله حرکت و از نقطه معیوب خارج شود.
- جائیکه جریان خارج می شود، خورده خواهد شد.
- جائیکه جریان از آن وارد لوله می شود، حفاظت خواهد شد.

عوامل مؤثر بر خوردگی
خوردگی جریان سرگردان



عوامل مؤثر بر خوردگی
مورد خوردگی



حفاظت کاتدی
اصول اساسی

- **حفاظت کاتدی:** یک روش برای کنترل خوردگی سطح فلز با ایجاد یک پیل الکتروشیمیایی در سطح فلز می باشد.
- اصل این است که پتانسیل تمام سطح سازه به اندازه کافی نسبت به سازه های اطراف منفی شود برای اطمینان از اینکه هیچ جریانی از فلز به سازه جاری نشود.
- این بوسیله جریان الکتریکی اجباری از طریق الکترولیت به سمت سطح فلز حفاظت شده، جاری می شود. در نتیجه، ناحیه آندی حذف خواهد شد.
- اگر فولاد در پتانسیل منفی تر از ۸۵/- ولت نگهداری شود، خوردگی فولاد در خاکها و آبهای هوادهی شده بطور عادی می تواند کاملا حفاظت شود. در شرایط غیر هوازی وقتی باکتری های احیاءکننده سولفات حضور دارند، ضروری است که پتانسیل به ۱۰۰ - میلی ولت تا ۹۵/- ولت نسبت به الکترود مس کاهش یابد.

روش حفاظت کاتدی
حفاظت کاتدی آند فداشونده

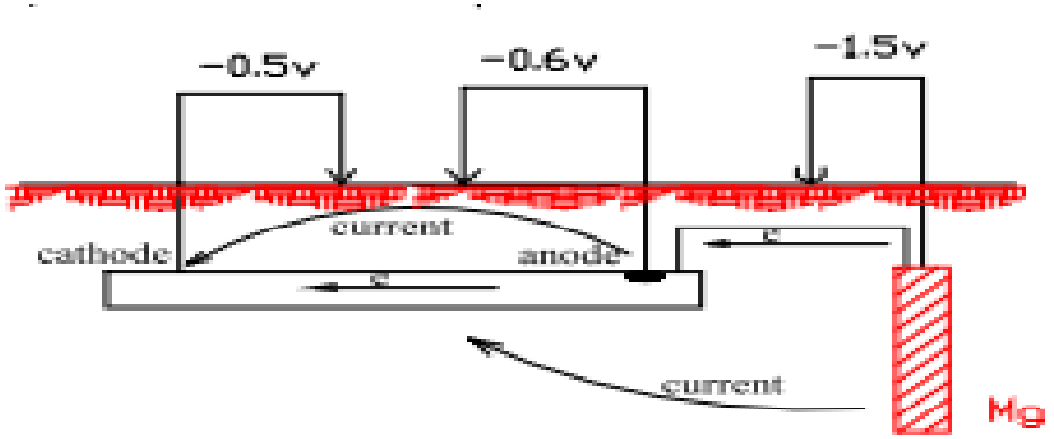
- آند گالوانیکی: فلزی که به علت موقعیتش در جدول سری گالوانیکی، وقتی در یک الکترولیت متصل می شود، حفاظت فلز یا فلزاتی را که بسیار نجیب تر در سری گالوانیکی هستند را فراهم می نماید.
- با این روش، جریان بوسیله واکنش گالوانیکی فراهم می شود. سطحی از سازه بوسیله اتصال الکتریکی به فلز فعال تر مدفون در الکترولیت مشترک، کاتد می شود، فلز فعال تر آند است. آلیاژهای منیزیم، روی و آلومینیوم برای این منظور استفاده می شوند.
- اغلب، آندها به آندهای فداشونده معروف می باشند. زیرا حفاظت سازه بوسیله مصرف همزمان آندها بوسیله خوردگی شیمیائی انجام می شود.

ماهیت خوردگی سریهای گالوانیکی فلزات در مقابل الکترود سولفات مس

ردیف	شرح	ولتاژ(ولت)
۱	کربن، گرافیت، کک	/۳
۲	پلاتین	۰ تا ۱/-
۳	پوسته نورد بر روی فولاد	-/۲
۴	چدن پر سیلیکون	-/۲
۵	مس، برنج، برنز	-/۲
۶	فولاد کم کربن در بتن	-/۲
۷	سرب	-/۵
۸	چدن	-/۵
۹	فولاد کم کربن (زنگ زده)	-/۲ تا -/۵
۱۰	فولاد کم کربن (تمیز و براق)	-/۵ تا -/۸
۱۱	آلومینیوم خالص تجاری	-/۸
۱۲	آلیاژ آلومینیوم (۵٪ روی)	-۱/۰۵
۱۳	روی	-۱/۱
۱۴	آلیاژ منیزیم(۶٪ آلومینیوم،۳٪ روی، ۰/۱۵٪ منگنز)	-۱/۶
۱۵	منیزیم خالص تجاری	-۱/۷۵

روش حفاظت کاتدی
حفاظت کاتدی آند گالوانیکی

- وقتی خط لوله به آند منیزیم متصل شد، پتانسیل آن کاهش می یابد تا اینکه هیچ نقطه کاتدی و آندی در سطح لوله وجود نداشته باشد. به علت اینکه پتانسیل لوله یکسان خواهد بود، خوردگی متوقف خواهد شد.

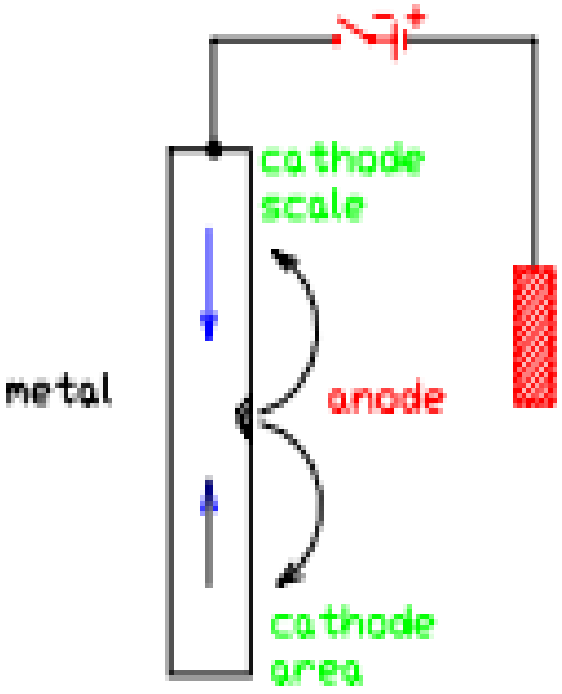


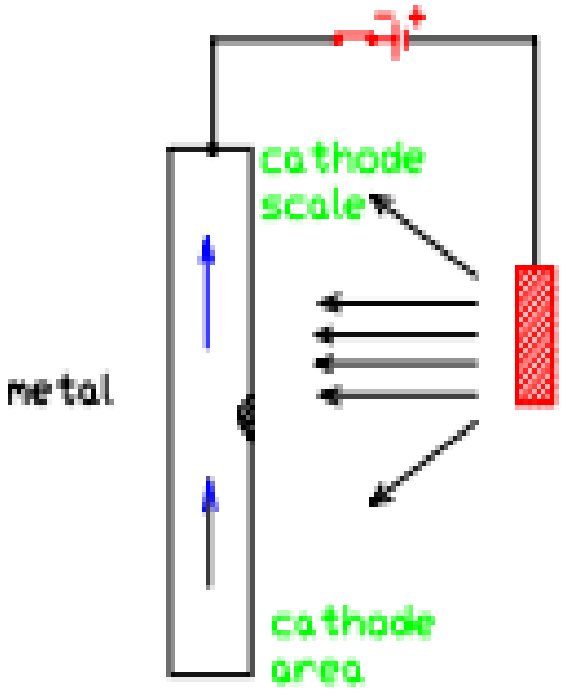
روش حفاظت کاتدی
حفاظت کاتدی جریان

- جریان تزریقی: جریان مستقیمی که بوسیله سیستم حفاظت کاتدی با استفاده از منبع تغذیه خارجی فراهم می شود.
- با این روش، سازه در یک مدار الکتریکی با منبع تغذیه جریان مستقیم و یک بستر آندی قرار می گیرد. جریان از سمت الکترولیت به سازه جاری می شود.
- سیستم معمولاً شامل یک مبدل جریان متناوب، بستر آندی، سل مرجع و کابل های اتصال می باشد.

روش حفاظت کاتدی

حفاظت کاتدی جریان تزریقی





پوشش های خط لوله
عملکرد پوشش های خارجی

- پوشش: یک ماده ی دی الکتریک می باشد که در جداسازی سازه از محیط کاربرد دارد.

۱. کنترل خوردگی بوسیله جداسازی سطح خارجی لوله غوطه ور یا مدفون از محیط انجام می شود.

۲. برای کاهش دادن جریان حفاظت کاتدی

۳. برای بهبود دادن توزیع جریان.

پوشش های خط لوله
ملزومات پوشش ها

- عایق الکتریکی مؤثر

۱. سد مؤثر رطوبتی

- کاربرد:

۱. توانایی مقاومت در برابر رشد نواقص با گذشت زمان (تنش و آلودگی خاک).

۲. چسبندگی خوب به سطح لوله.

۳. پایداری درحین حمل و نقل، انبار کردن و نصب

۴. قابلیت در حفظ مقاومت الکتریکی با گذشت زمان.

۵. مقاومت در برابر جدایش، تعمیر ساده.

پوشش های خط لوله
انتخاب پوشش

- علاوه بر مشخصات ذکر شده، عوامل ذیل می بایست موقع انتخاب پوشش لوله مورد توجه قرار گیرند:

۱. نوع محیط
۲. دسترسی به خط لوله
۳. دمای بهره برداری خط لوله
۴. دمای محیط طی اجرا، انبار، حمل، ساخت و نصب
۵. محدوده جغرافیایی
۶. هزینه و آماده سازی سطح لوله

انواع پوشش خط لوله
قیرهای قطران ذغال سنگ

- **خصوصیات مطلوب**

۱. استفاده بالای ۸۰ سال

۲. حداقل آمادگی برای ایجاد منافذ

۳. جریان مورد نیاز کم

۴. مقاومت خوب در برابرجدایش کاتدی

۵. چسبندگی خوب به لوله

- **محدودیت ها**

۱. محدودیت تولید

۲. محدودیت پیاده سازی

۳. نگرانی برای بهداشت وآلودگی هوا

۴. تغییر در استحکام های مجاز

انواع پوشش خط لوله
اپوکسی پیوند ذوبی

- **خصوصیات مطلوب**

۱. استفاده بالای ۳۰ سال

۲. جریان مورد نیاز کم

۳. مقاومت عالی در برابر جدایش کاتدی

۴. چسبندگی عالی به لوله

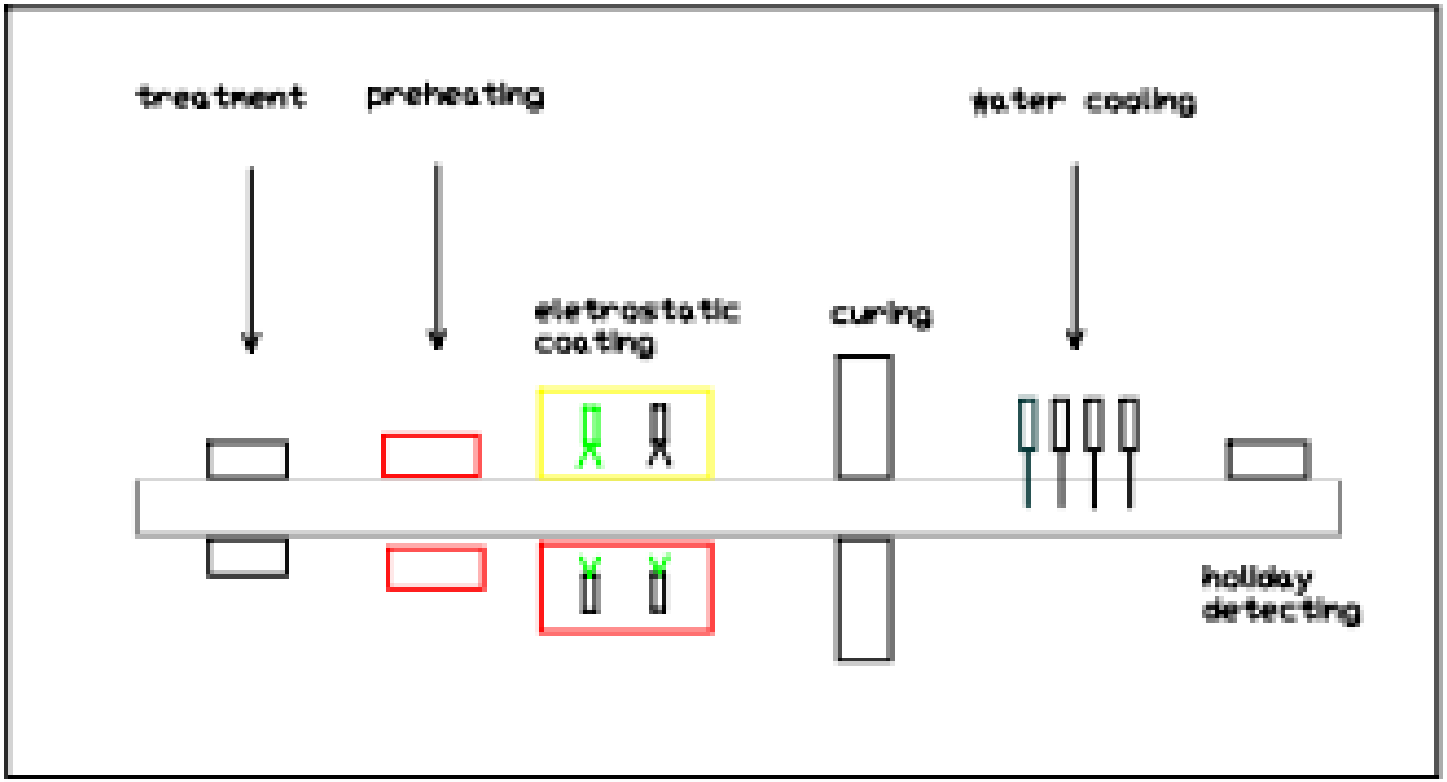
- **محدودیت ها**

۱. کنترل پیاده سازی

۲. مقاومت کم در برابر سایش و ضربه

۳. جذب رطوبت بالا

انواع پوشش خط لوله
روش اعمال پوشش اپوکسی پیوند ذوبی



انواع پوشش خط لوله
روش اعمال پوشش اپوکسی پیوند ذوبی

- اعمال پوشش اپوکسی پیوند ذوبی (FBE) به سطح لوله توسط جریان الکتریسیته ساکن انجام می شود. ولتاژ مورد نیاز در حدود ۴۰ کیلوولت می باشد.
- بعد از تمیز کاری بوسیله پاشش بر اساس استاندارد سوئدی Sa 2.5، لوله تا دمای حدود ۱۸۰ درجه سانتی گراد حرارت داده می شود.
- بر روی لوله، پودر اپوکسی اعمال می شود، پس از چسبندگی بر روی سطح لوله، عمل آوری و شکل گیری پوشش انجام خواهد شد.
- لوله با آب خنک و عیب بررسی می شود.
- ضخامت نهائی در حدود ۴/ میلی متر است.

انواع پوشش خط لوله
نوارهای پلی اتیلن

- **خصوصیات مطلوب**

۱. استفاده بالای ۳۰ سال

۲. حداقل آمادگی برای ایجاد منافذ

۳. جریان مورد نیاز کم

۴. اعمال آسان

۵. چسبندگی خوب به فولاد

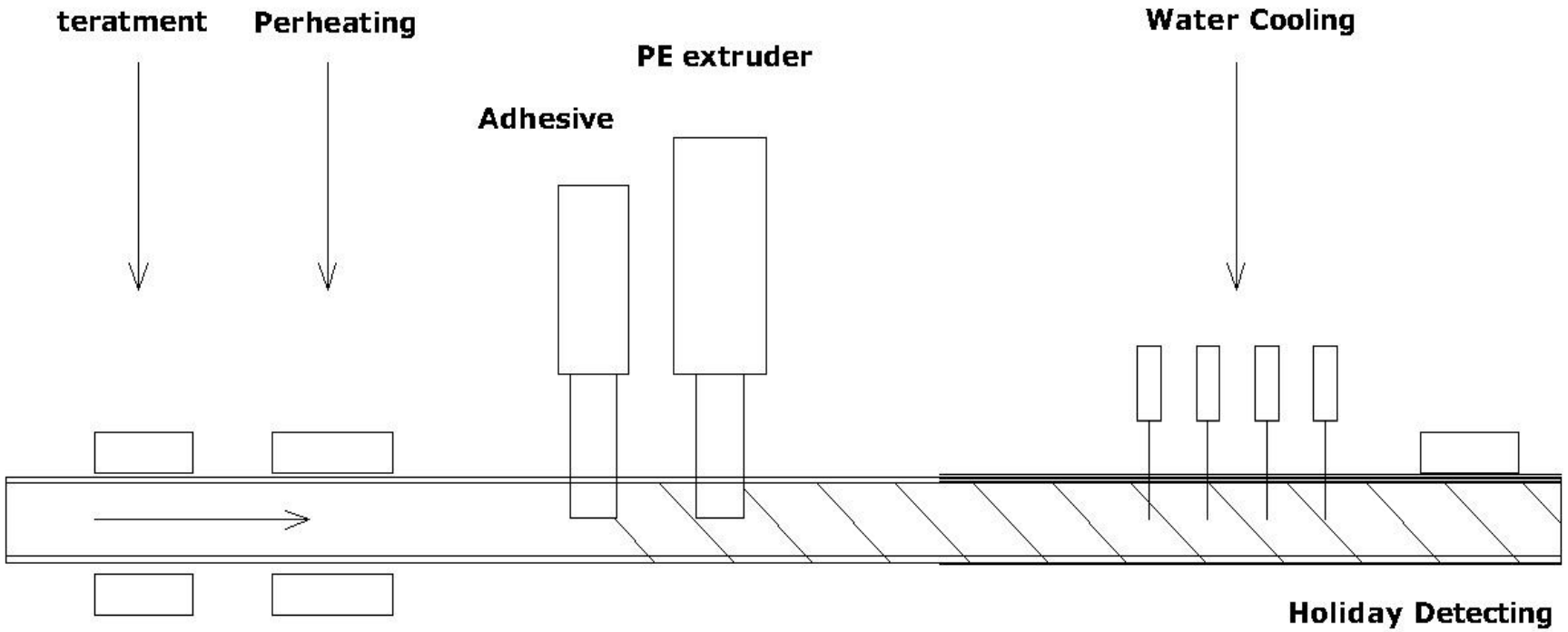
- **محدودیت ها**

۱. ایجاد مانع برای حفاظت کاتدی از سمت خاک

۲. جدایش از سطح لوله در اثر تنش

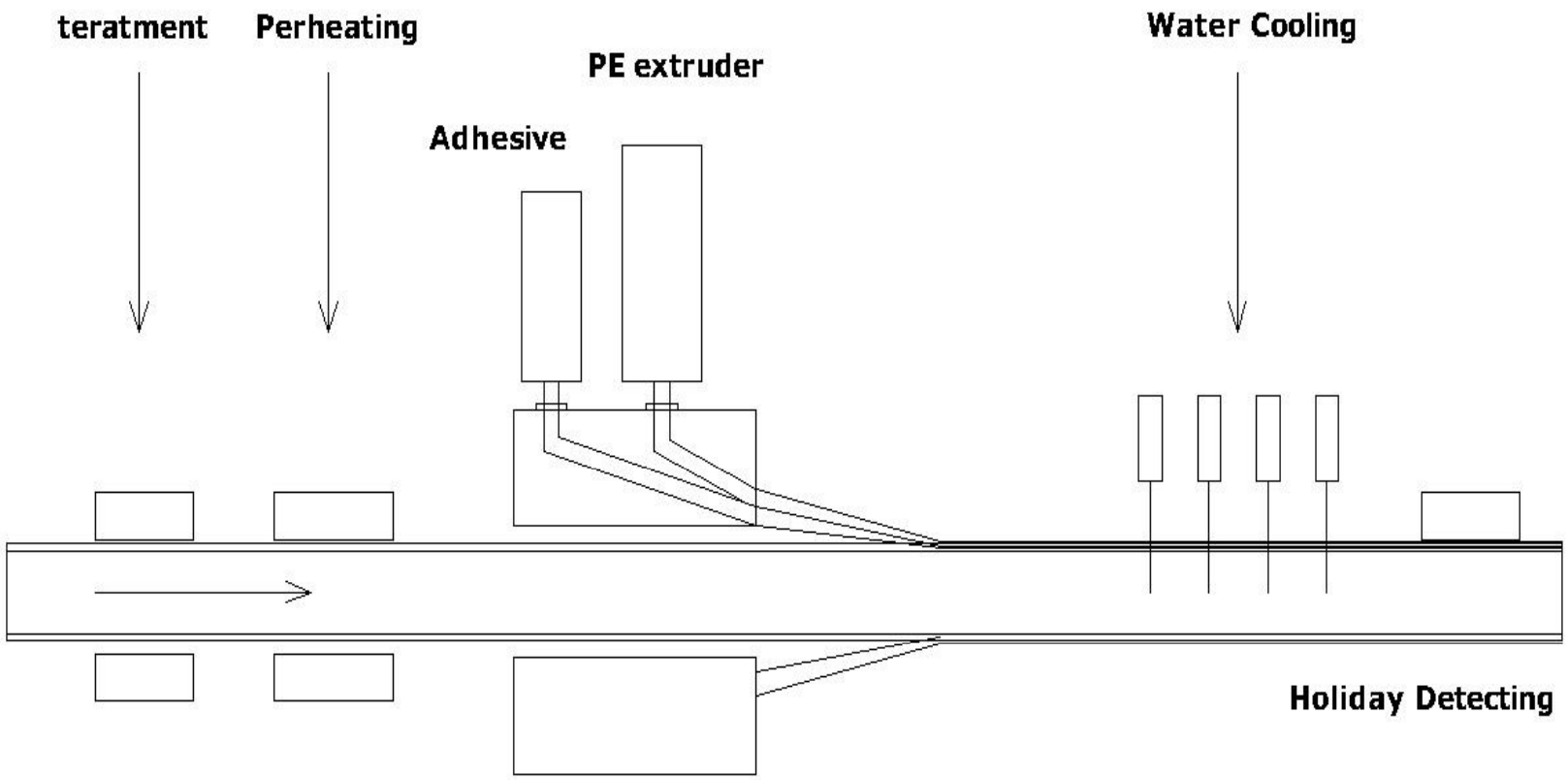
۳. محدودیت های جابجایی

انواع پوشش خط لوله
روش اعمال نوارهای پلی اتیلن



انواع پوشش خط لوله

پوشش پلی اتیلن (اکسترود شده)



انواع پوشش خط لوله
پوشش چند لایه

- **خصوصیات مطلوب**

۱. استفاده بالای ۳۰ سال

۲. جریان مورد نیاز کم

۳. مقاومت عالی در برابر جدایش کاتدی

۴. چسبندگی عالی به لوله

۵. مقاومت سایش و ضربه بالا

- **محدودیت ها**

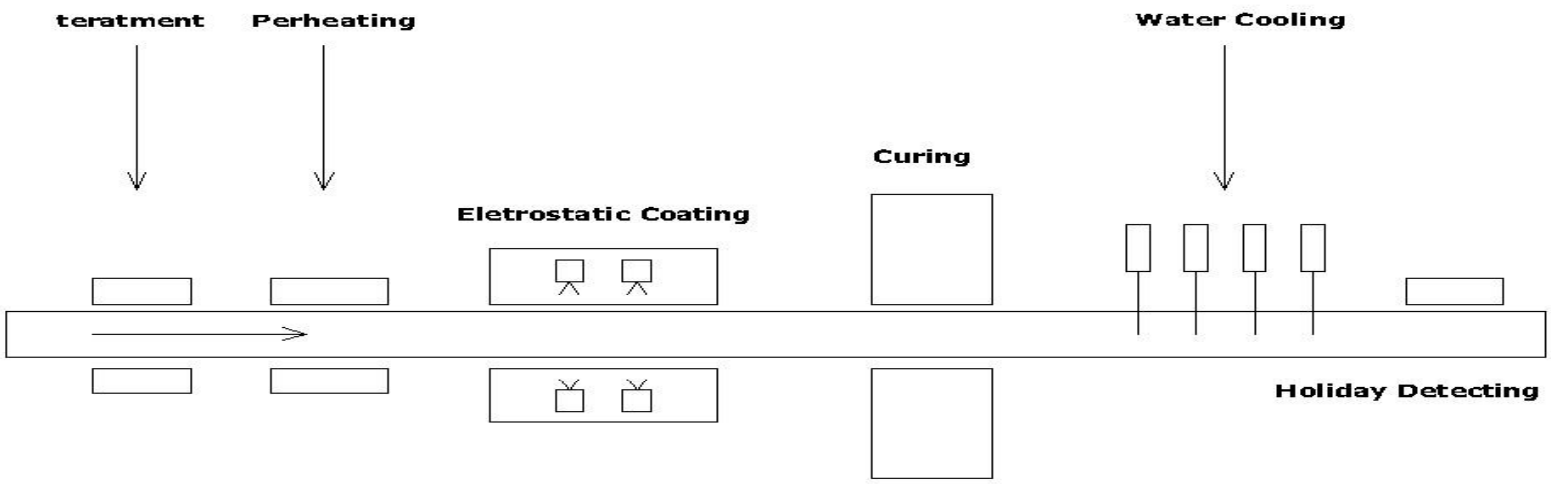
۱. کنترل پیاده سازی دقیق

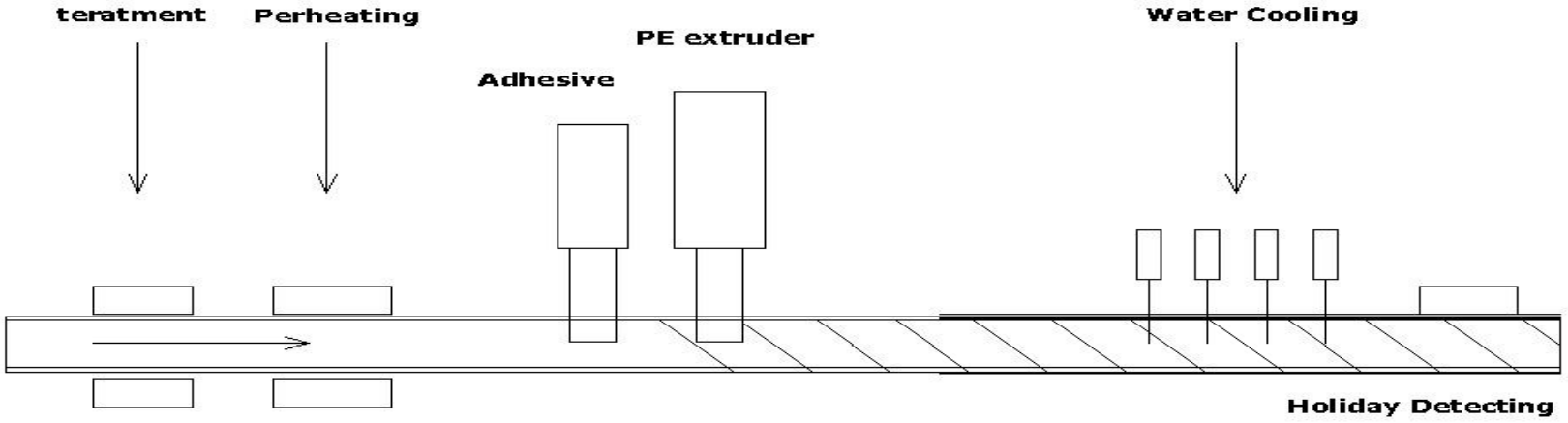
۲. احتمال ایجاد مانع در برابر جریان حفاظت کاتدی

۳. هزینه اولیه ی بالا

پوشش سه لایه خط لوله

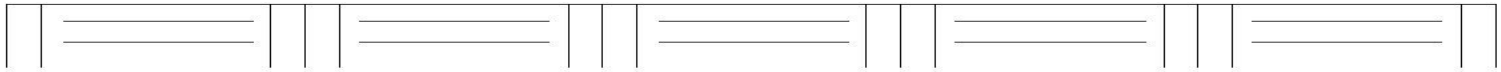
پلی اتیلن یا پلی پروپیلن پوشش شده بر روی پوشش اپوکسی پیوند ذوبی لوله

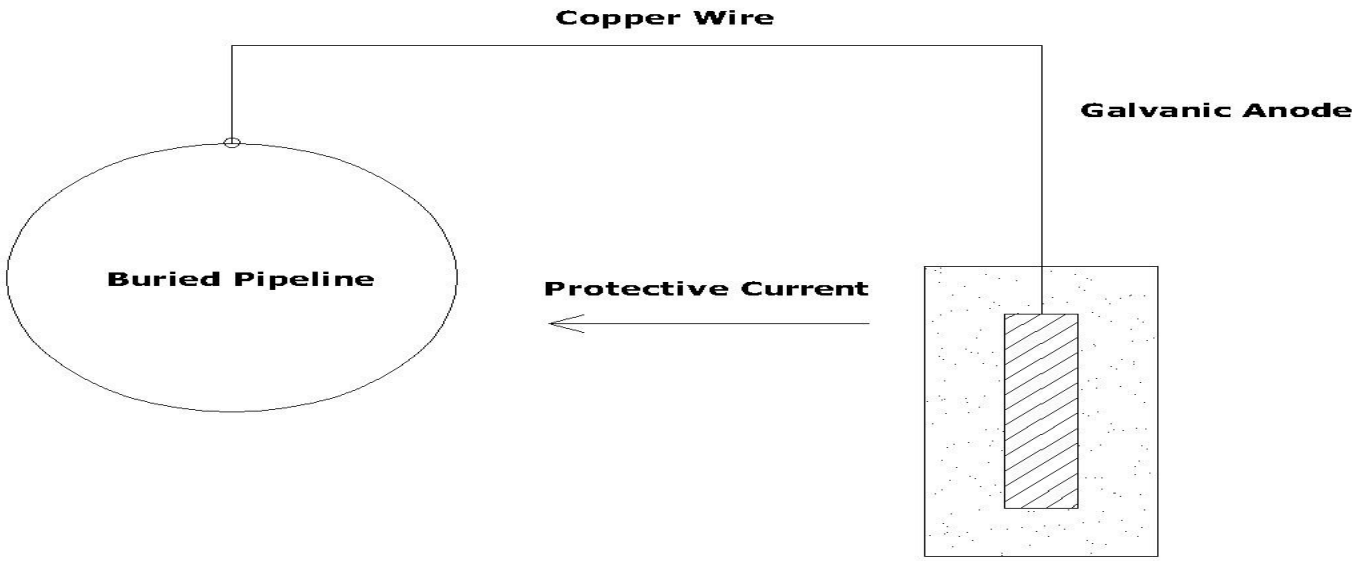




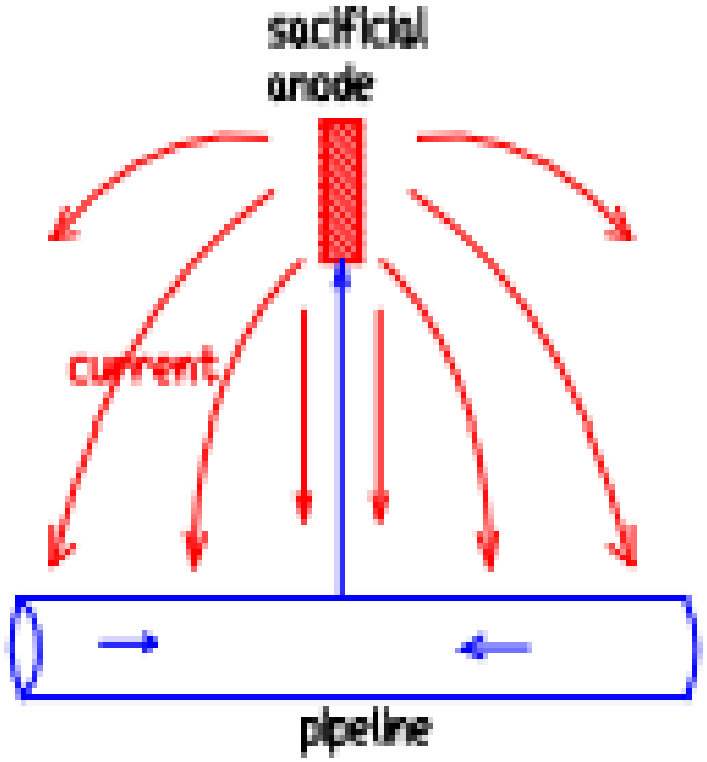
حفاظت کاتدی آند فداشونده

این نوع حفاظت برای مواد متفاوت با پتانسیل متفاوت استفاده می شود. وقتی دو ماده غیر مشابه در یک الکترولیت قرار می گیرند و بوسیله یک رشته سیم بهم متصل می شوند، جریان الکتریکی تمایل دارد از یکی از فلزات به دیگری از طریق الکترولیت انتقال یابد. این نوع جریان، خوردگی فلز فعال تر را افزایش و خوردگی فلز نجیب تر را کاهش خواهد داد.





حفاظت کاتدی آند فداشونده



- **کاربرد:**

۱. با استفاده از پیل خوردگی فلزات غیر مشابه می باشد.

- **مزایا:**

۱. می تواند انعطاف پذیر، با نصب آسان و تعمیر و نگهداری کمتر استفاده شود.

- **محدودیت ها:**

۱. خروجی جریان کم، مورد استفاده در محلی که جریان کم است.
۲. مورد استفاده در ناحیه ای با مقاومت پائین خاک

- **مواد آند:**

۱. آند منیزیم
۲. آند روی
۳. آند آلومینیوم

حفاظت کاتدی آند فداشونده

- در عمل، همه خروجی تئوری آمپر- ساعت آندهای فداشونده در دسترس حفاظت کاتدی نمی باشد، بخشی از این توسط خود خوردگی ناشی از عمل الکترولیت بر روی آن مصرف خواهد شد. راندمان آند، نسبت آمپر- ساعت واقعی منبع تغذیه به آمپر- ساعت تئوری خروجی در واحد وزن یک فلز مصرفی است. به همین دلیل است که همیشه بازده آند (یا جریان) در طراحی در نظر گرفته می شود.
- بعد از اینکه ۸۵ درصد از وزن آند مصرف شد، آند باید تعویض شود. بنابراین ضریب ۸۵ درصد به محاسبات وزن آند اضافه شده است.

محاسبات آند فداشونده

- W= وزن آند کیلوگرم
- I= جریان خروجی (آمپر)
- t= عمر طراحی سال
- U= ضریب مصرف
- Z= ظرفیت جریان
- Q= بازده آند

$$W = \frac{I \times t \times 8766}{U \times Z \times Q}$$

آندهای منیزیم

- مواد مورد استفاده، آلیاژ منیزیم، آلومینیوم و روی می باشند. هیچ یک از آلیاژهای آلومینیوم و منیزیم در جائیکه جرقه ممکن است باعث انفجار شود، نباید استفاده شود.
- تفاوت پتانسیل بین آلیاژ منیزیم و فولاد بزرگتر از آلیاژ روی یا آلومینیوم می باشد و از لحاظ اقتصادی، این اختلاف پتانسیل باعث می شود که در خاک با مقاومت نسبتاً بالا (حدود ۳۰ اهم- متر) استفاده شوند. در صورتیکه آند آلومینیوم بیشتر در سازه ساحل استفاده می شود.

آند منیزیم
(آند منیزیم پتانسیل بالا ۱/۷۵ ولت نسبت به الکترود سولفات مس)

- **ترکیب شیمیائی**
- آلومینیوم حداکثر ۰۱/ درصد
- منیزیم ۵/ تا ۱/۳ درصد
- نقره حداکثر ۰۲/ درصد
- سیلیکون حداکثر ۰۵/ درصد
- آهن حداکثر ۰۳/ درصد
- نیکل حداکثر ۰۰۱/ درصد
- سایر عناصر حداکثر ۰۵/ درصد
- منیزیم باقیمانده

آند منیزیم
(آند منیزیم پتانسیل پائین ۱/۵۵ ولت نسبت به الکترود سولفات مس)

- **ترکیب شیمیائی**
- آلومینیوم حداکثر ۷- ۵ درصد
- منیزیم حداکثر ۱۵/ درصد
- مس حداکثر ۱۰/ درصد
- سیلیکون حداکثر ۳۰/ درصد
- آهن حداکثر ۰۳/ درصد
- نیکل حداکثر ۰۰۳/ درصد
- سایر عناصر حداکثر ۳۰/ درصد
- منیزیم باقیمانده

آند منیزیم
خواص الکتریکی

- Q= راندمان جریان (۰/۵)
- Z = ظرفیت جریان واقعی (۲۲۰۰ آمپر بر کیلوگرم)
- U = ضریب مصرف آند (٪۸۵)
- پتانسیل مدار باز
- بالا: ۱/۷۵- ولت نسبت به الکترود سولفات مس
- پائین: ۱/۵۵- ولت نسبت به الکترود سولفات مس

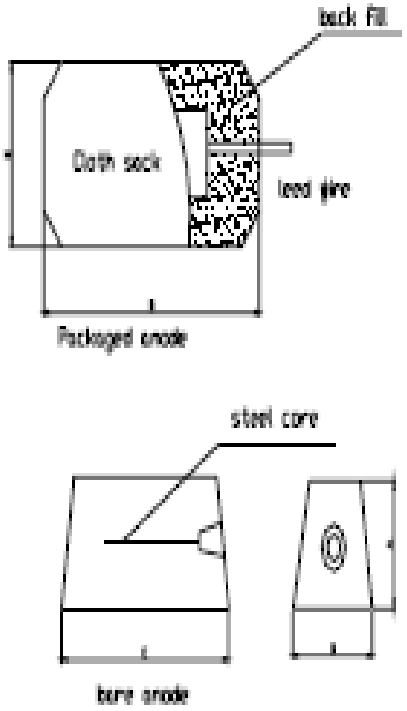
آند منیزیم
خواص الکتریکی

- معمولاً بازده منیزیم حدود ۵۰ درصد است. همچنین بوسیله محیط، تحت تأثیر قرار می گیرد. در خاک یا آب با محتوی نمک کم، بازده آن ممکن است کاهش یابد زیرا جریان خروجی کم خواهد شد و بنابراین خودخوردگی آندها ممکن است نسبتاً بالا باشد. استفاده از پشت بند ویژه در اطراف آند جریان خروجی بالاتری می دهد و بازده آند بهتر می شود.
- در درجه حرارت بالا، خودخوردگی آندها بیشتر است و بنابراین بازده شان کاهش می یابد. به این دلیل آندهای منیزیم عموماً نبایستی استفاده شوند، وقتی که درجه حرارت در حدود ۳۰ درجه سانتی گراد در آبهای شورمزه یا شور یا دمای بالاتر از ۴۵ درجه سانتی گراد در آب های تازه باشد. در آب دریا طول عمرشان بسیار کوتاه می باشد.

آند منیزیم
ترکیب (آند منیزیم ریخته شده)

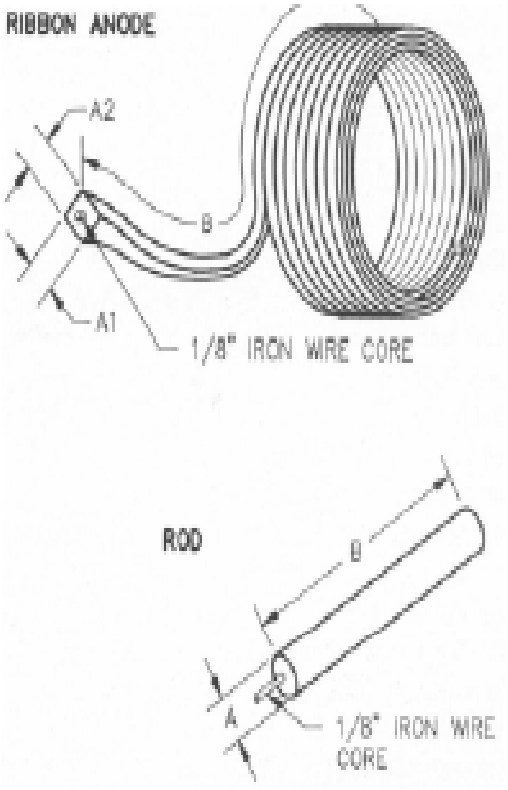
- آندهای منیزیم جهت حفاظت بیشتر از سازه های فلزی مدفون در یک محدوده مقاومت های مخصوص الکتریکی خاک، می توانند استفاده شوند.
- وقتی یک پشت بند، شامل ۷۵ درصد سنگ گچ، ۲۰درصد بنتونیت و ۵ درصد سولفات سدیم، نصب شود، بازده افزایش می یابد.

آند منیزیم
ترکیب (آند منیزیم ریخته شده)



Standard Dimensions and Shipping Weights								
ANODE TYPE	NOMINAL DIMENSIONS in [mm]					NOMINAL WT. lbs [kg]	
	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	BARE	PKGD.
1 lb	2.9 (74)	-	3 (76)	6 (152)	6 (152)	1 (0.45)	3.5 (1.6)
3 lb	3 (76)	3 (76)	4.5 (114)	6.5 (165)	6 (152)	3 (1.4)	9 (4.1)
5 lb	3 (76)	3 (76)	7.5 (191)	13.5 (343)	6 (152)	5 (2.3)	14 (6.4)
9 lb	3 (76)	3 (76)	13.5 (343)	17 (432)	6 (152)	9 (4.1)	24 (11.9)
17lb	4 (102)	4 (102)	17 (432)	19 (483)	6.5 (165)	17 (7.7)	42 (19.1)
32lb	5 (127)	5 (127)	21 (533)	30 (762)	8 (203)	32 (14.5)	70 (31.8)
50lb	8 (203)	-	15 (381)	18 (457)	10 (254)	50 (22.7)	110 (49.9)

آند منیزیم
ترکیب (آند منیزیم ریختگی)



Standard Dimensions and Shipping Weights			
ANODE TYPE	NOMINAL DIMENSIONS "A" in. (mm)	"B" ft. (m)	NOMINAL WT. lbs./lineal ft. (kg/lineal m)
Ribbon	3/8 x 3/4 (9.5 x 19)	1,000 (305)	0.24 (0.36)
Rod	0.750 (19)	24 (7.3)	0.36 (0.54)
Rod	*0.840 (21.34)*	*24 (7.3)*	*0.45 (0.647)*
Rod	1.050 (27)	24 (7.3)	0.68 (1.01)
Rod	1.315 (33)	24 (7.3)	1.06 (1.58)
Rod	1.561 (40)	10 (3.0)	1.50 (2.24)
Rod	2.0024 (51)	10 (3.0)	2.50 (3.73)

آند روی

- جریان خروجی روی نسبتاً کم می باشد، بطوری که اختلاف پتانسیل نسبت به فولاد حفاظت شده در حدود ۲۵/ ولت و در مقایسه با منیزیم ۷/ ولت می باشد. استفاده از آن در الکترولیت با مقاومت مخصوص بزرگتر از ۱۵ اهم- متر اقتصادی نمی باشد. آند روی بیشتر در آب دریا استفاده می شود.
- آندهای روی نباید در دماهای بالاتر از ۶۰ درجه سانتی گراد استفاده شوند و بهتر است در دماهای کمتر از ۴۰ درجه سانتی گراد استفاده شوند. در دماهای بالاتر از ۷۰ درجه سانتی گراد، ممکن است عملکرد آند از منفی به مثبت، نسبت به آهن تغییر کند، در نتیجه به جای حفاظت از فولاد باعث خوردگی آن می شود.

آند روی
ترکیب شیمیایی

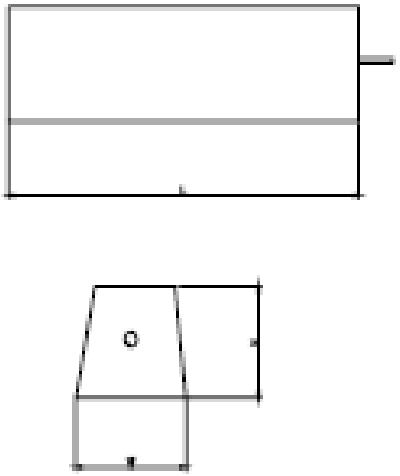
آلومینیوم	۵/ - ۱/
کادمیوم	۰۷/ - ۰۲/
آهن	حداکثر ۰۰۶/
سرب	حداکثر ۰۰۵/
روی	باقیمانده

آند روی
خواص الکتریکی

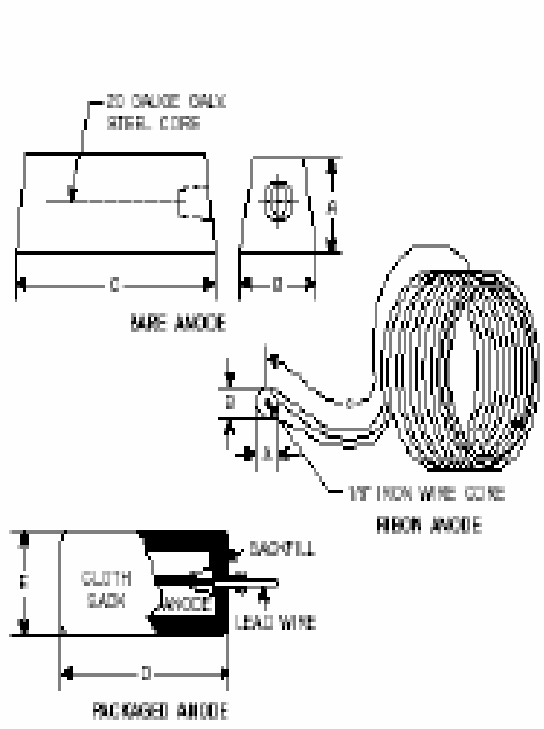
- Q= راندمان جریان (0.9)
- Z = ظرفیت جریان واقعی (827 آمپر ساعت بر کیلوگرم)
- U = ضریب مصرف آند (٪۸۵)
- پتانسیل مدار باز: ۱/۱- ولت
- دمای محیط: کمتر از ۵۰ درجه سانتی گراد

آند روی
کاربرد

آند روی در خاکهای با مقاومت ویژه کمتر از ۱۵ اهم-متر یا در سازه ساحل دریا استفاده می شود.

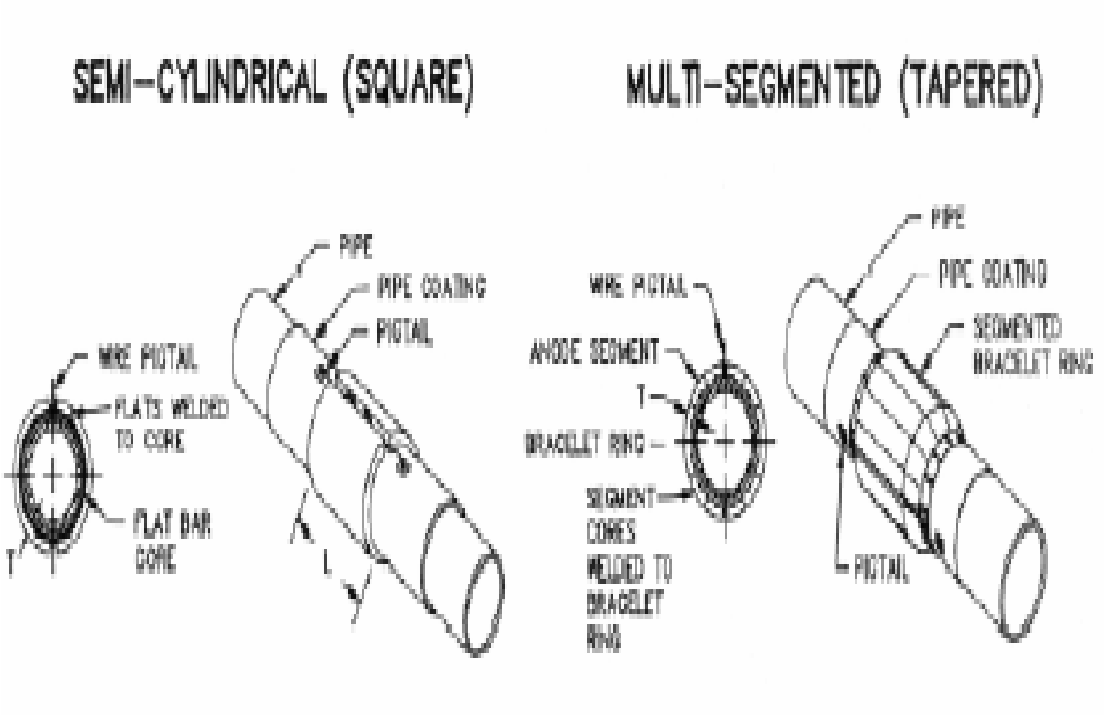


آند روی
ترکیب آند



Standard Dimensions and Shipping Weights							
ANODE TYPE	NOMINAL DIMENSIONS in (mm)					NOMINAL WT. lbs (kgs)	
	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	BARE	PKGD.
SOIL PACKAGED ANODES							
5 lb	1.4 (35.6)	1.4 (35.6)	9 (228.6)	15 (381)	5 (127)	5 (2.3)	24 (10.8)
15 lb	1.4 (35.6)	1.4 (35.6)	23.6 (599.4)	30 (762)	5 (127)	13 (5.9)	48 (21.7)
18 lb	1.4 (35.6)	1.4 (35.6)	24 (614.4)	42 (1066.8)	5 (127)	18 (8.1)	70 (31.7)
32 lb	1.4 (35.6)	1.4 (35.6)	60 (1524)	66 (1676.4)	5 (127)	30 (13.6)	95 (43.0)
50 lb	2 (50.8)	2 (50.8)	30 (762)	36 (914.4)	5 (127)	50 (13.6)	70 (31.7)
45 lb	2 (50.8)	2 (50.8)	45 (1143)	51 (1295.4)	5 (127)	45 (20.4)	110 (49.8)
60 lb	2 (50.8)	2 (50.8)	60 (1524)	66 (1676.4)	5 (127)	60 (27.2)	130 (58.9)

آند روی
ترکیب آند روی حلقوی



آند آلومینیوم

- استفاده اصلی آند در آب دریا یا آب شور با مقاومت کمتر از ۲۰۰ اهم – سانتی متر است.
- مناسب استفاده در خاک نمی باشند.

آند آلومینیوم
ترکیب شیمیائی

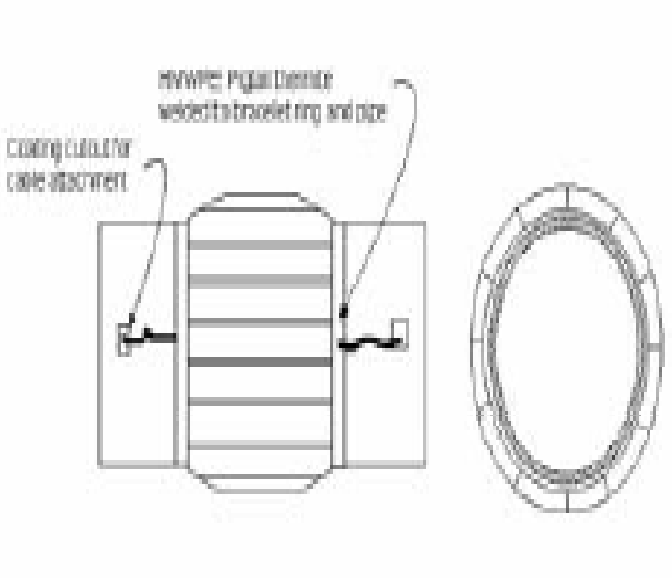
روی	۲/۸ -۶/۵
سیلیسیم	حداکثر ۲۱/ - ۰۸/
ایندیم	۰۲۵/ - ۰۱/
مس	حداکثر ۰۰۶/
آهن	حداکثر ۱۲/
سایر عناصر	حداکثر ۰۲/
آلومینیوم	باقیمانده

آند آلومینیوم
خواص الکتریکی

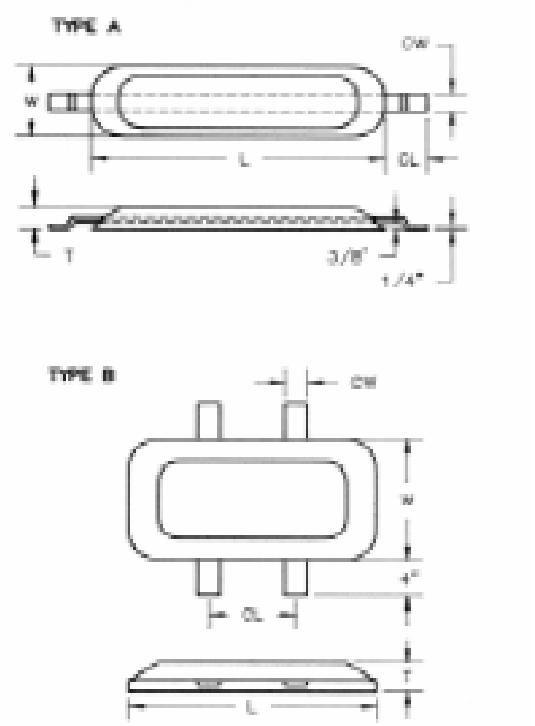
- Q= راندمان جریان (۹۰٪)
- Z = ظرفیت جریان واقعی (2000-27(T-20))
- U = ضریب مصرف آند (۸۵٪)
- دمای محیط: درجه سانتی گراد
- پتانسیل مدار باز: ۱/۰۵- ولت نسبت به الکترود سولفات مس

آند آلومینیوم
کاربرد

آند آلومینیوم بیشتر در سازه خشکی و حفاظت کاتدی کف داخلی تانک استفاده می شود.



آند آلومینیوم
کاربرد در کف تانک



Standard Dimensions & Shipping Weights

ANODE TYPE	CONFIG. TYPE	NOMINAL DIMENSIONS in. (mm) L	W	T	MNTG. BRACKETS CL	CW	NOMINAL ANODE NET WT. lbs. (kg)
AA-2-48H	*B*	*14* (356)	*4.5* (114)	*1.25* (32)	*8* (203)	*1.25* (32)	*10* (4.5)
AA-1-12H	A	14 (356)	4.5 (114)	2.25 (57)	2.5 (64)	1.5 (38)	12 (5.4)
AA-2-15H	B	21.5 (546)	5 (127)	1.5 (38)	11.5 (292)	1.25 (32)	15.5 (7.0)
AA-1-20H	A	20 (610)	4.5 (114)	2.25 (57)	2.5 (64)	1.5 (38)	20 (9.1)
AA-1-23H	A	24 (610)	5 (127)	2 (51)	2.5 (64)	1.25 (32)	23 (10.4)
AA-1-29H	A	24 (610)	5 (127)	2.5 (64)	2.5 (64)	1.5 (38)	29 (13.2)
AA-2-32H	B	20 (508)	10 (254)	2 (51)	10 (254)	1.5 (38)	32 (14.5)

نصب سیستم حفاظت کاتدی
نصب آند فداشونده

- آندها برای حفاظت سازه های زیرزمینی در فواصلی در امتداد با طول سازه مدفون می شوند.
- آندها در یک وضعیت عمودی نصب می شوند و در صورت امکان با عمق کافی در خاک دائما مرطوب نصب می شوند.
- معمولاً برای خطوط لوله، نقطه بالای آندها تقریبا با نقطه پائین خط لوله همسطح خواهد بود.

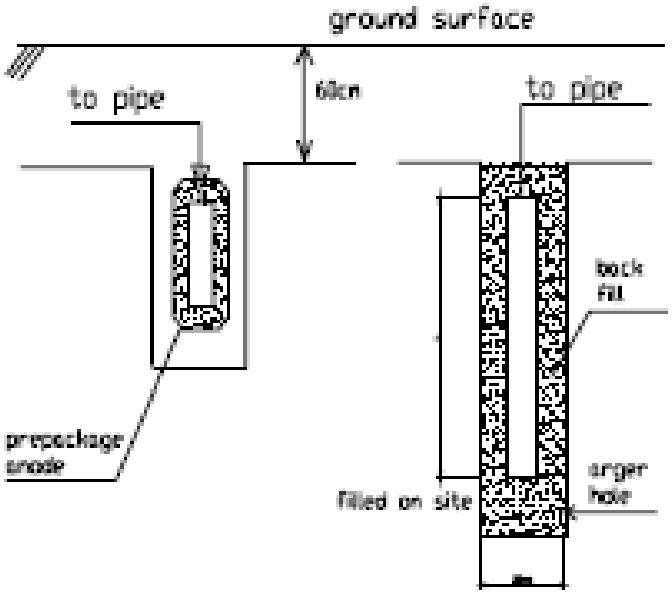
نصب سیستم حفاظت کاتدی
نصب آند فداشونده

- برای حفاظت زیرزمینی، آند ممکن است در یک کیسه نخی با یک پشت بند اطراف آند بسته بندی شود. به طور متناوب، پشت بند به عنوان دوغاب اطراف آند در حین دفن، کار گذاشته می شود. پشت بند مصرف یکسان آند و افزایش بیشتر جریان مبدل را تضمین می کند.
- آندهای مورد استفاده جهت حفاظت در آب باید تا حد امکان روی سازه به طور یکنواخت توزیع شوند. آندها در براکت جوشکاری شده نصب می شوند یا به سازه پیچ می شوند، به صورت معلق روی کابل های گالوانیز شده، یا در کف دریا در امتداد سازه قرار داده می شوند.

نصب سیستم حفاظت کاتدی
نصب آند فداشونده

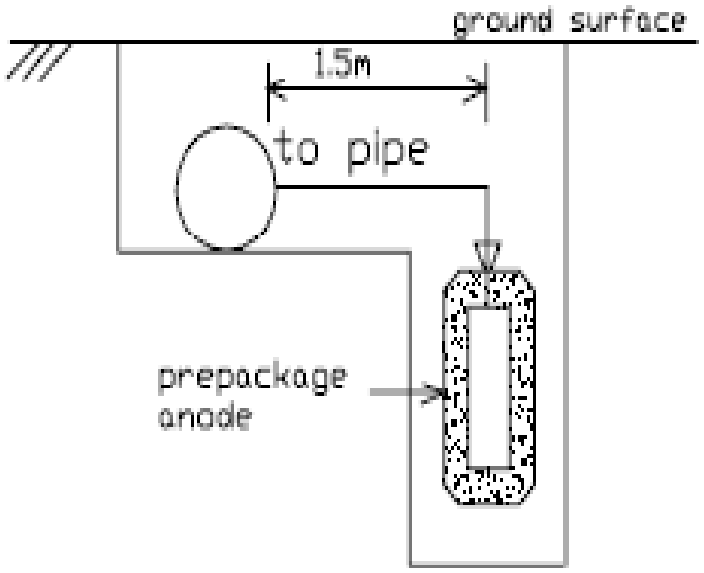
- فاصله گذاری بین آندهای استفاده شده برای فراهم کردن حفاظت خط لوله ممکن است از یک آند تا آند دیگر هر ۳ متر در هر چند مایل(۱/۶ کیلومتر)، بسته به جریان مورد نیاز خط لوله متنوع باشد.
- فاصله عادی از سازه که آند در آن قرار دارد، حدود ۱/۵– ۱ متر است.

نصب بستر زمینی گالوانیکی



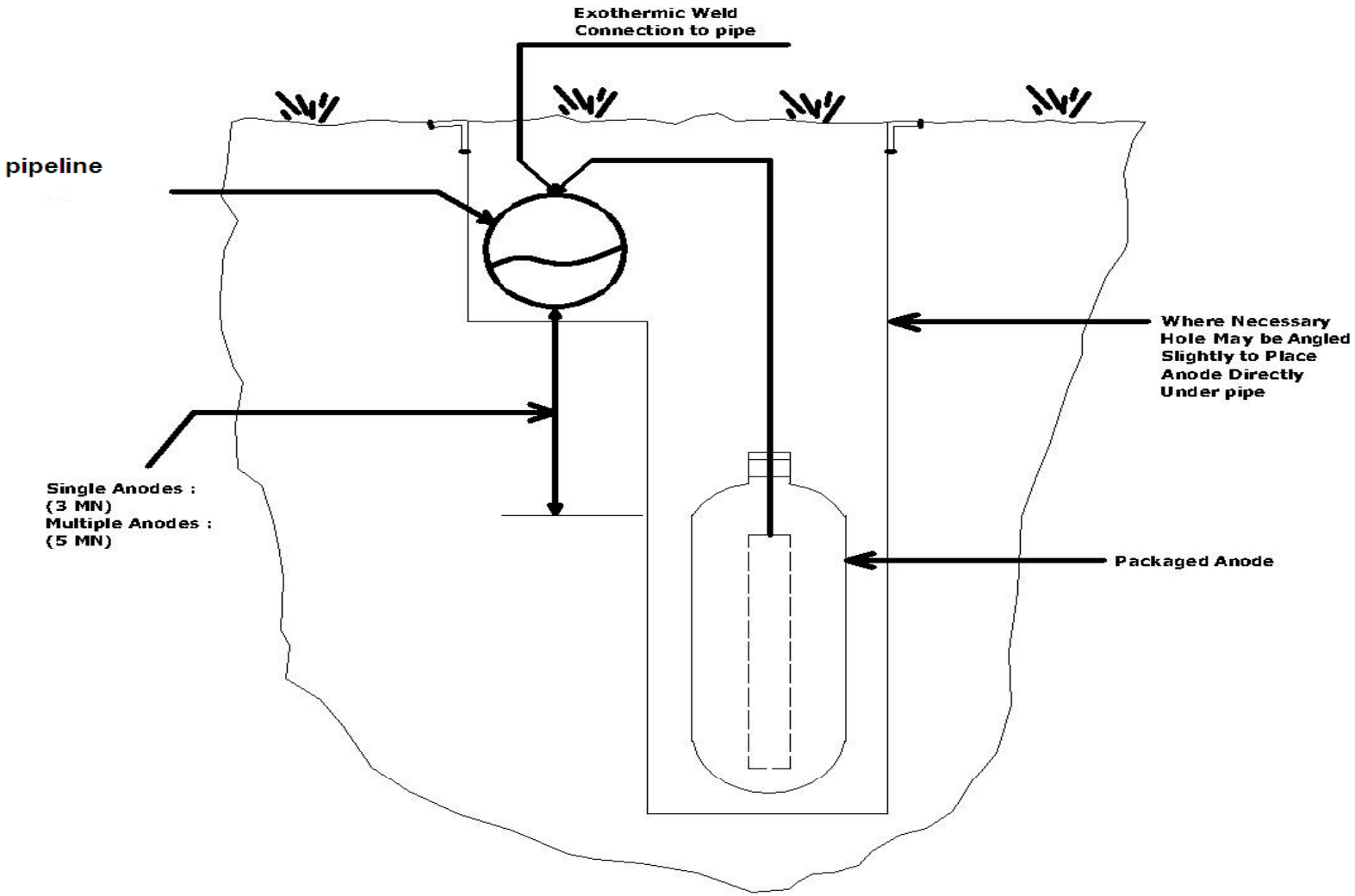
- طراحی یک بستر زمینی گالوانیکی همانند بستر زمینی جریان تزریقی می باشد.
- ولتاژ مؤثر در دسترس برای جریان اجباری، از آند به الکترولیت، پتانسیل مدار باز می باشدکه از پتانسیل پلاریزه خط لوله کمتر است.

نصب بستر زمینی گالوانیکی

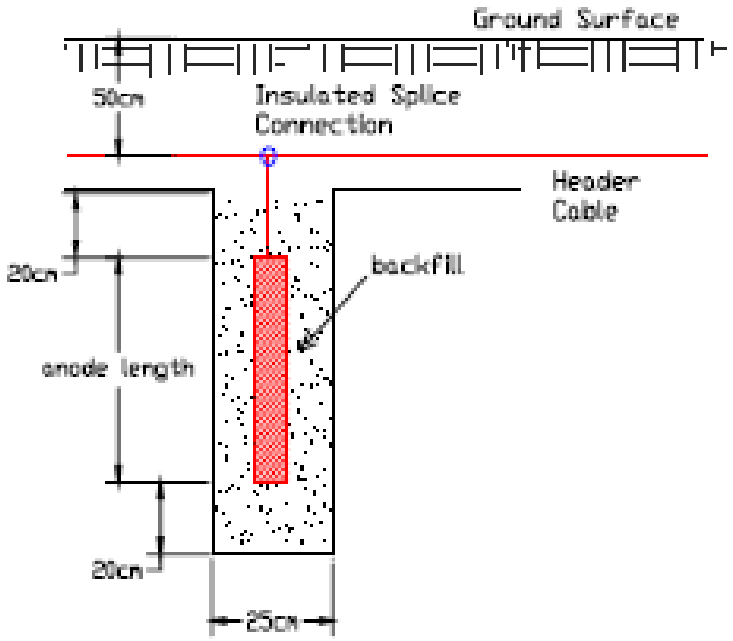


- آند فداشونده معمولا در ۱/۵- ۱ متری از خط لوله قرار داده می شود. آندهای متعدد در یک گروه می توانند نصب شوند.

نصب بستر زمینی گالوانیکی

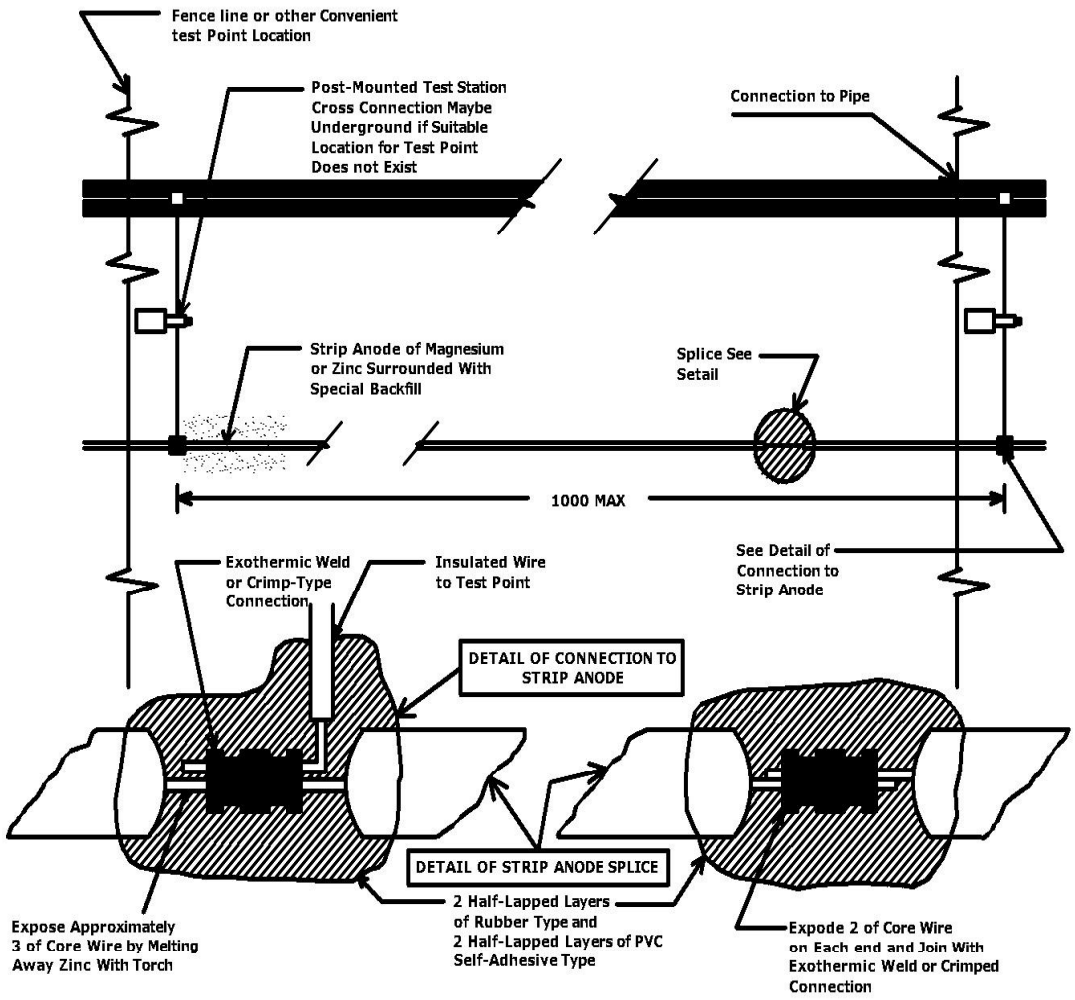


نصب بستر زمینی گالوانیکی



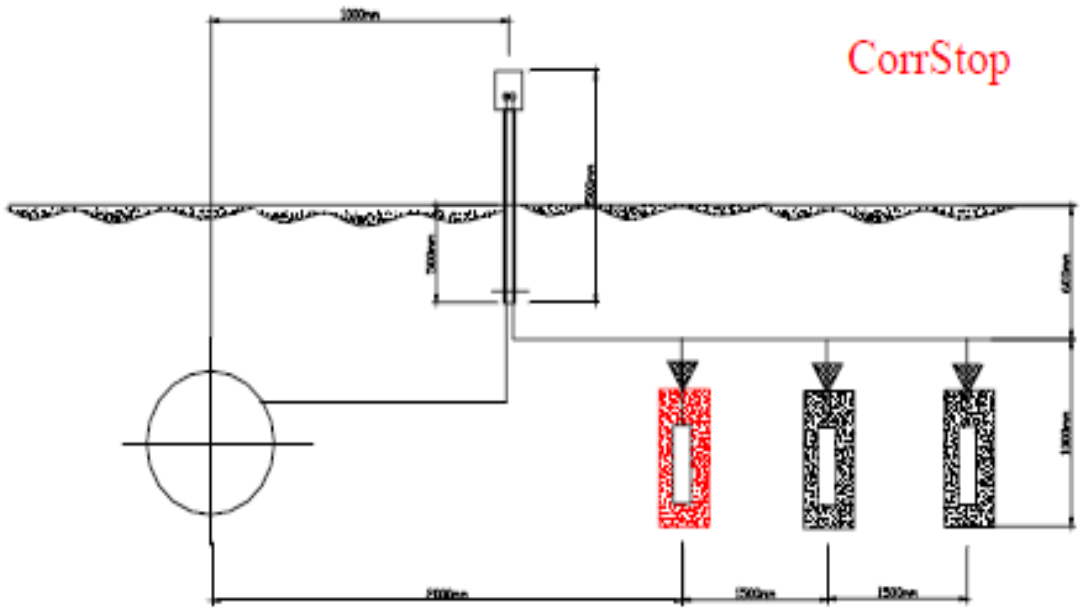
- پشت بند آند در محوطه کار
- پشت بند کاملاً می تواند تمام فضای خالی حفره ایجاد شده را پر کند.

نصب بستر زمینی گالوانیکی



- آند نواری منیزیم یا روی ممکن است به موازات خط لوله در امتداد بخشهایی معیوب از خط لوله پوشش شده ضعیف که در آن محافظت دائمی محلی مورد نیاز است، قرار گیرد.

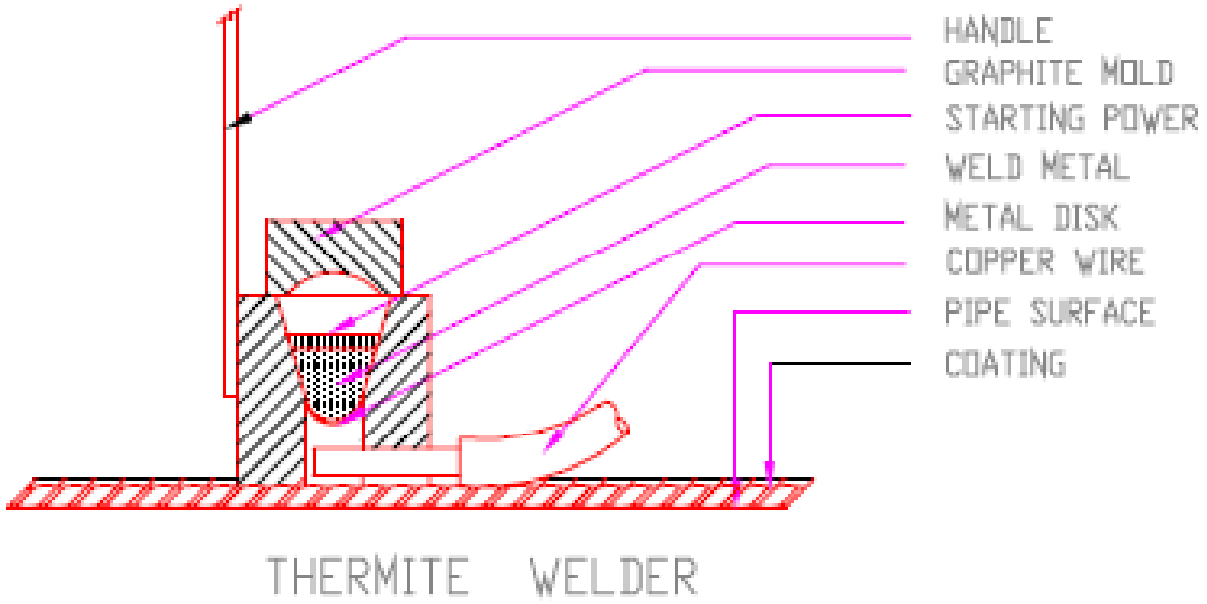
نصب بستر زمینی گالوانیکی



نصب بستر زمینی گالوانیکی
اتصال الکتریکی

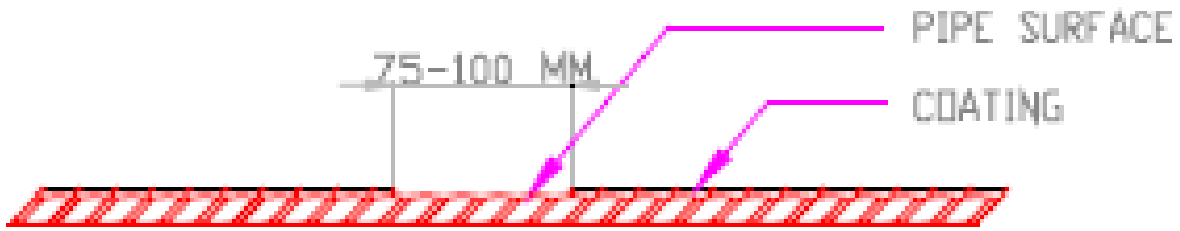
- اتصال بوسیله لحیم کاری یا جوشکاری حرارتی مستقیم (جوش مخلوط آلومینیوم و اکسید آهن) به سازه یا از میان نقطه تست انجام می شود.
- برای ایجاد یک اتصال خوب، سطح می باید برای متصل شدن کاملاً تمیز و نقطه اتصال عایق شود.

نصب بستر زمینی گالوانیکی
اتصال الکتریکی



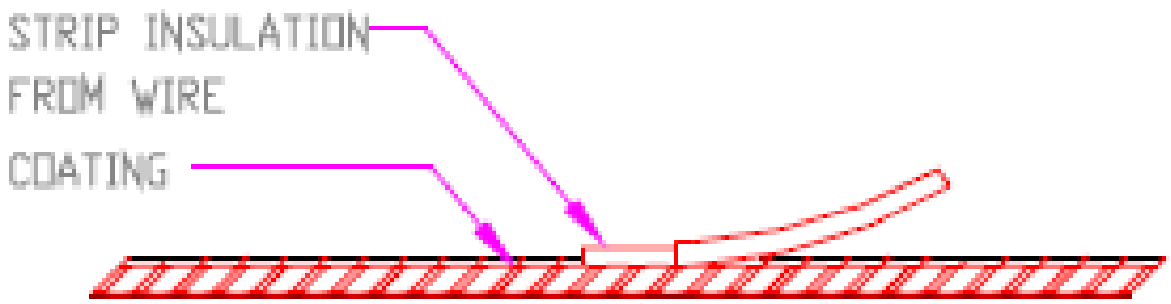
نصب بستر زمینی گالوانیکی
اتصال الکتریکی

REMOVE PIPELINE COATING
FILE PIPE TO BRIGHT METAL
AND DRY ANY MOISTURE
WITH A TOWEL



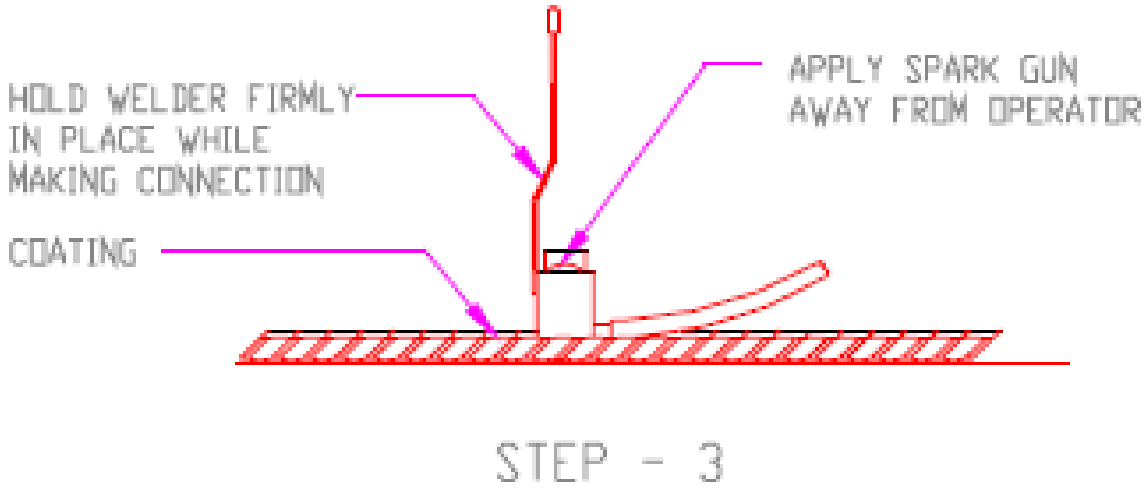
STEP - 1

نصب بستر زمینی گالوانیکی
اتصال الکتریکی



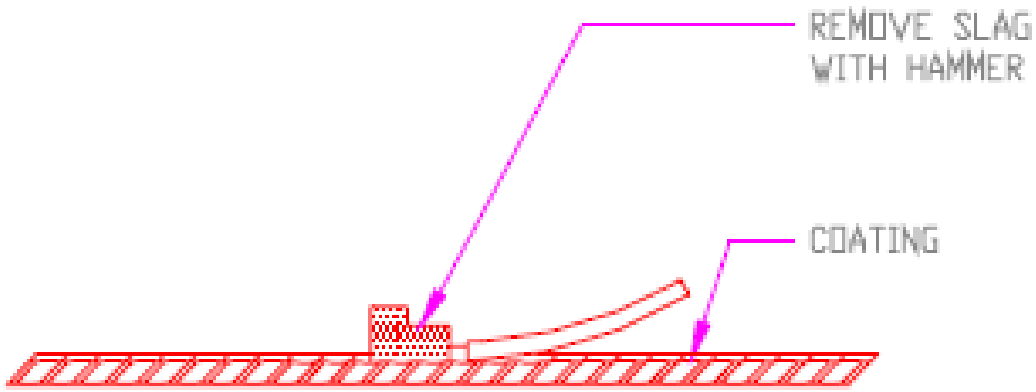
STEP - 2

نصب بستر زمینی گالوانیکی
اتصال الکتریکی



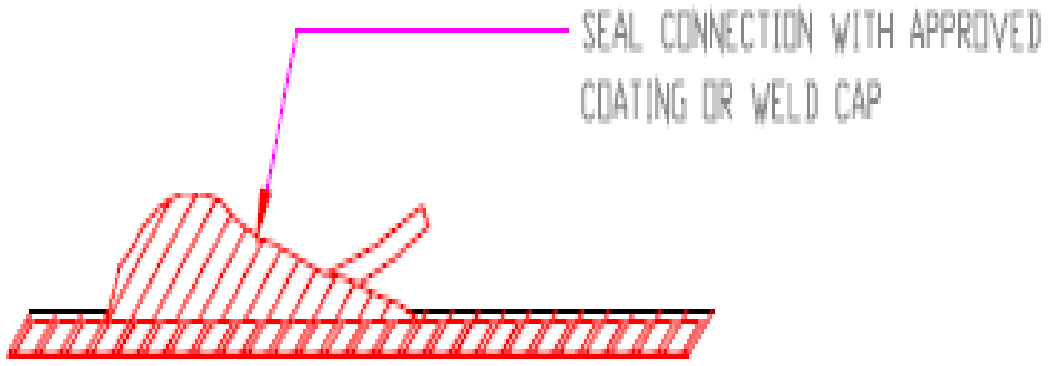
STEP - 3

نصب بستر زمینی گالوانیکی
اتصال الکتریکی



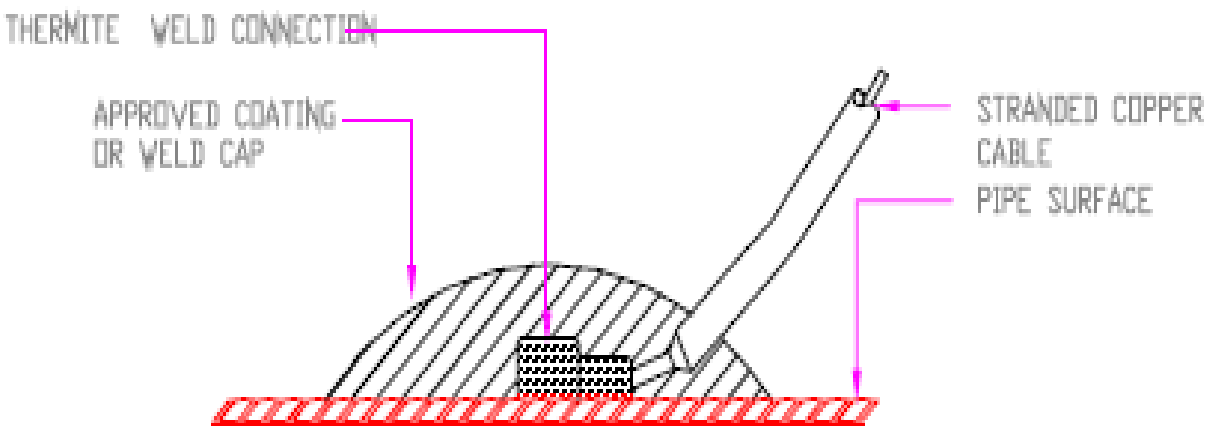
STEP - 4

نصب بستر زمینی گالوانیکی
اتصال الکتریکی



STEP - 5

نصب بستر زمینی گالوانیکی
اتصال الکتریکی



STEP - 6

نصب بستر زمینی گالوانیکی
مواد پشت بند

- معمولاً آند در یک پشت بند که شامل ۷۵ درصد سنگ گچ، ۲۰ درصد بنتونیت و ۵ درصد مخلوط سولفات سدیم می باشد، قرار می گیرد.
- پشت بند، مصرف یکنواخت آند و کاهش مقاومت زمین آند و افزایش بالاتر جریان منبع تغذیه را تضمین می کند.

حفاظت کاتدی جریان تزریقی

- **کاربرد:**

۱. جریان از منبع خارجی بر روی خط لوله با استفاده از بستر آندی و منبع تغذیه تزریق می شود.

- **مزایا:**

۱. در خاک های با مقاومت ویژه بالا با جریان مورد نیاز زیاد می تواند استفاده شود.

- **محدودیت ها:**

۱. احتیاج به منبع تغذیه و کار تعمیر و نگهداری بیشتری دارد.

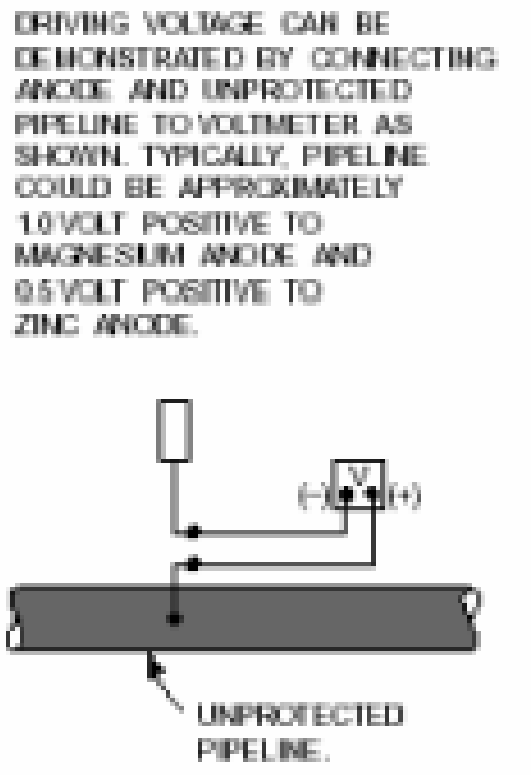
۲. تداخل خوردگی می تواند یک مشکل باشد.

- **مواد آند:**

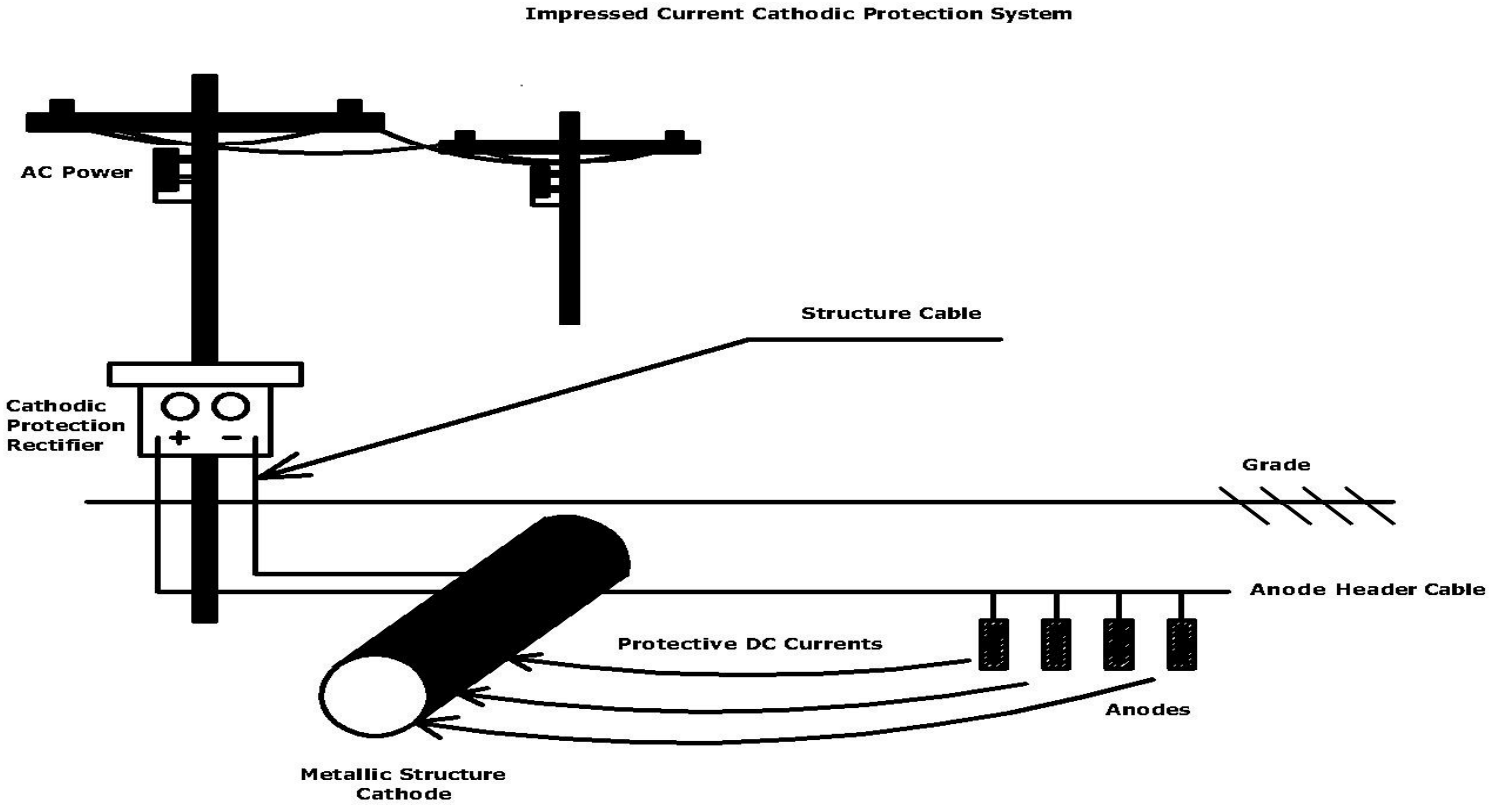
۱. آهن سیلیکون

۲. اکسید فلزی مخلوط

۳. تیتانیوم پوشش شده با پلاتین و غیره



حفاظت کاتدی جریان تزریقی



Impressed Current Systems are Used for Large Diameter Pipe , Bare Pipe
Tank Farms and Structures Requiring Large Amounts of Current.

حفاظت کاتدی جریان تزریقی

- وقتی جریان تزریقی برای حفاظت سازه مدفون مورد استفاده قرار می گیرد، بستر آندی با فواصلی از سازه قرار می گیرد. قطب مثبت منبع تغذیه به بستر آندی و قطب منفی به سازه متصل خواهد شد. جریان حاصل شده از آند از طریق خاک به سازه می رسد.
- معمولاً تبدیل کننده/ یکسو کننده جهت تغذیه جریان مستقیم استفاده می شود.

حفاظت کاتدی جریان تزریقی
اجزاء تشکیل دهنده

- تبدیل کننده/ یکسوکننده: تبدیل جریان متناوب به جریان مستقیم و تغذیه منبع برای سیستم حفاظت کاتدی می باشد.
- بستر آندی: انتقال جریان به محیط.
- پیل های مرجع و کابل ها.

حفاظت کاتدی جریان تزریقی
تبدیل کننده/ یکسو کننده

- معمولاً، دستگاه یک یکسو کننده سیلیکونی می باشد.
- ولتاژ خروجی دستگاه بستگی به مقاومت الکتریکی از مدار حفاظت کاتدی دارد.
- با توجه به نیاز، دستگاه می تواند تحت ولتاژ ثابت، جریان ثابت، خروجی پتانسیل کنترل شده کار کند.

حفاظت کاتدی جریان تزریقی
مواد آند

- برای آند هر نوع مواد رسانای جریان می تواند مورد استفاده قرار گیرد. اما به دلیل اقتصادی، موادی که حداقل قیمت را دارند استفاده خواهند شد.
- معمولاً مواد ذیل به واسطه نرخ مصرف پائین شان استفاده می شوند.
- آند اکسید فلزی مخلوط
- چدن پر سیلیکون
- تیتانیوم پوشش شده با پلاتین

مواد آند

آند اکسید فلزی مخلوط

- آند با زیرلایه تیتانیوم پوشش شده با کاتالیست اکسید فلزی مخلوط ساخته می شود. کاتالیست به روش حرارتی به شکل یک چسب بسیار مقاوم شیمیایی به تیتانیوم اعمال می شود. این آند کوچک و بسیار سبک است.
- چگالی جریان عملیاتی
- خاک و آب، ۱۰۰ آمپر در مترمربع
- آب دریا، ۵۰۰ آمپر در مترمربع.
- نرخ مصرف: کمتر از ۱ میلی گرم در آمپر. سال

مواد آند

آند اکسید فلزی مخلوط

Standard Dimensions and Shipping Weights

ANODE TYPE	NOMINAL DIMENSIONS Ø		L		NOMINAL WEIGHT BARE WT.		PKG. WT.		CURRENT RATING*
	in. (mm)		ft. (mm)		oz./ft.	(gm)	lbs.	(kg)	amps
M-14	0.125	(3.175)	4	(1219.2)	0.58	(17.4)	22	(10)	1.7
M-18	0.225	(5.715)	4	(1219.2)	0.58	(17.4)	22	(10)	1.7
M-14	0.25	(6.350)	4	(1219.2)	1.5	(45.0)	22	(10)	3.4
M-18	0.25	(6.350)	12	(3657.6)	1.5	(45.0)	66	(30)	4.8
M-24	0.50	(12.7)	4	(1219.2)	6.1	(175.0)	25	(10.5)	6.7
M-28	0.50	(12.7)	12	(3657.6)	6.1	(175.0)	66	(30)	13.4

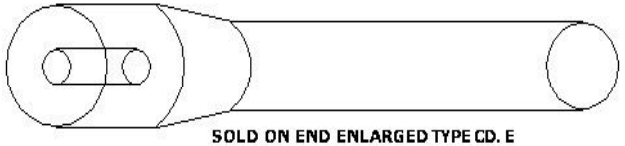
مواد آند
آند سیلیکونی

- آندهای سیلیکونی برای چند دهه استفاده می شوند و این ثابت شده که یکی از قابل اطمینان ترین آندها می باشند.
- نرخ مصرف آند: ۴۵/ کیلوگرم در آمپر. سال
- چگالی جریان عملیاتی: ۱۰ آمپر در مترمربع
- محیط کاربرد گسترده

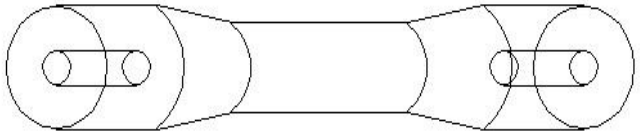
مواد آند
آند سیلیکونی

SOLD UNFORM END TYPE D

SOLD UNFORM DOUBLE END TYPE SM



SOLD ON END ENLARGED TYPE CD. E



SOLD BOTH END INLARGED TYPE M1 . M2

Standard Dimentions and Shipping Weights

ANODE TYPE	NOMINAL DIMENTIONS In. (mm)				BARE WT.		AREA	
	O		L		ibs	(kg)	tl^2	(m^2)
	1.13	(29)	9	(229)	1	(0.5)	0.22	(0.02)
G2	2	(51)	9	(229)	5	(2.3)	0.40	(0.04)
CD	1.5	(38)	60	(1524)	25	(11.4)	2.0	(0.19)
D	2	(51)	60	(1524)	44	(20.0)	2.6	(0.24)
M	2.25	(57)	60	(1524)	63	(28.6)	2.8	(0.26)
M1	2.25	(57)	60	(1524)	65	(29.5)	2.8	(0.26)
E	3	(76)	60	(1524)	110	(49.9)	4	(0.37)
SM	4.5	(114)	60	(1524)	220	(99.9)	5.5	(0.51)

مواد آند

سایرین

- آند گرافیت
- آند آهن
- آند تیتانیوم / نیوبیوم پوشش شده با پلاتین برای حفاظت کاتدی داخل ظروف فولادی استفاده می شود.

عملکرد اتصال عایقی

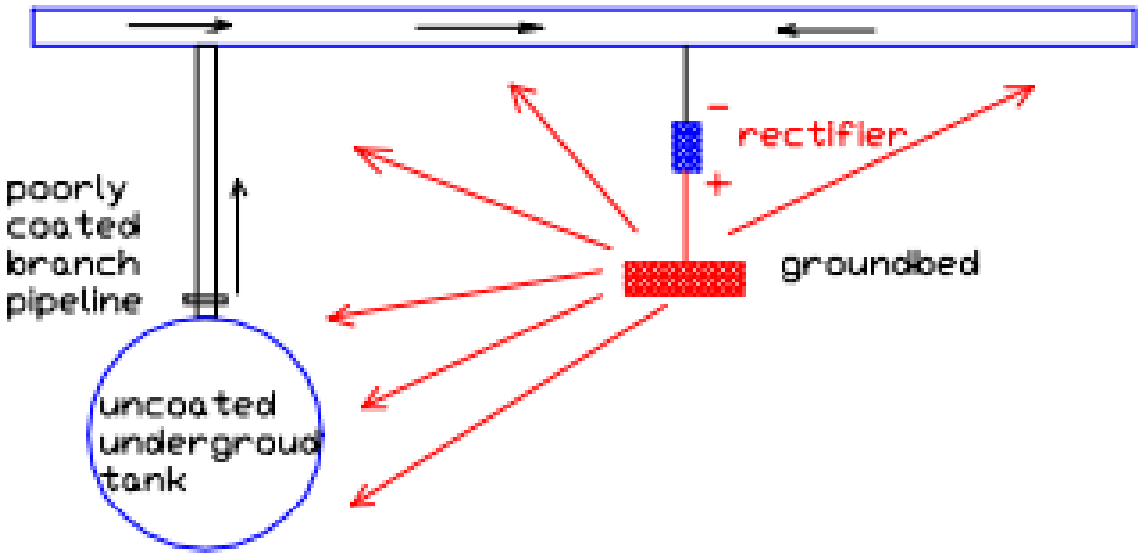
- برای ایجاد عملکرد صحیح سیستم حفاظت کاتدی، جریان می بایست به بخش حفاظت خط لوله محدود شود.
- عایق الکتریکی : جداسازی الکتریکی از سایر سازه های فلزی یا محیط می باشد.
- تماس کوتاه با سایر سازه های زمینی می بایست حذف گردد.
- اغلب دستگاه های عایقی مورد استفاده، اتصال عایقی یا فلنچ عایقی هستند.

مشخصات اتصال عایقی

SEALING RING " O-RING "	Acrylonitrile el. NBR 70	Inspection & Testing
EXTERNAL COAT. Twopack solventless	Epoxy resin 200 m DFT	- 100% RT examination on butt welds [W] ASME VIII UW 51
INTERNAL LINING	Epoxy Resin 200 m DFT	- 100% MP examination on welds [F] ASME VIII UW 53 App. 6 - 100% Hydrostatic test pressure : 1.5 times the DP for 15 minutes
INSULATING FILLER MATERIAL	Cold cured Epoxy resin	- 100% Dielectric strength test : >5 KV x 1 min. (50 Hz A.C.) * - 100% Electrical Resistance test >25 Mohm (1000 V D.C.) *
ADHESIVE SEALANT	Silicone	- 100% Visual & Dimensional check
SECOND SEALING	Isolan elastomer	Test performed before and after the hydrotest

مورد استفاده اتصال عایقی

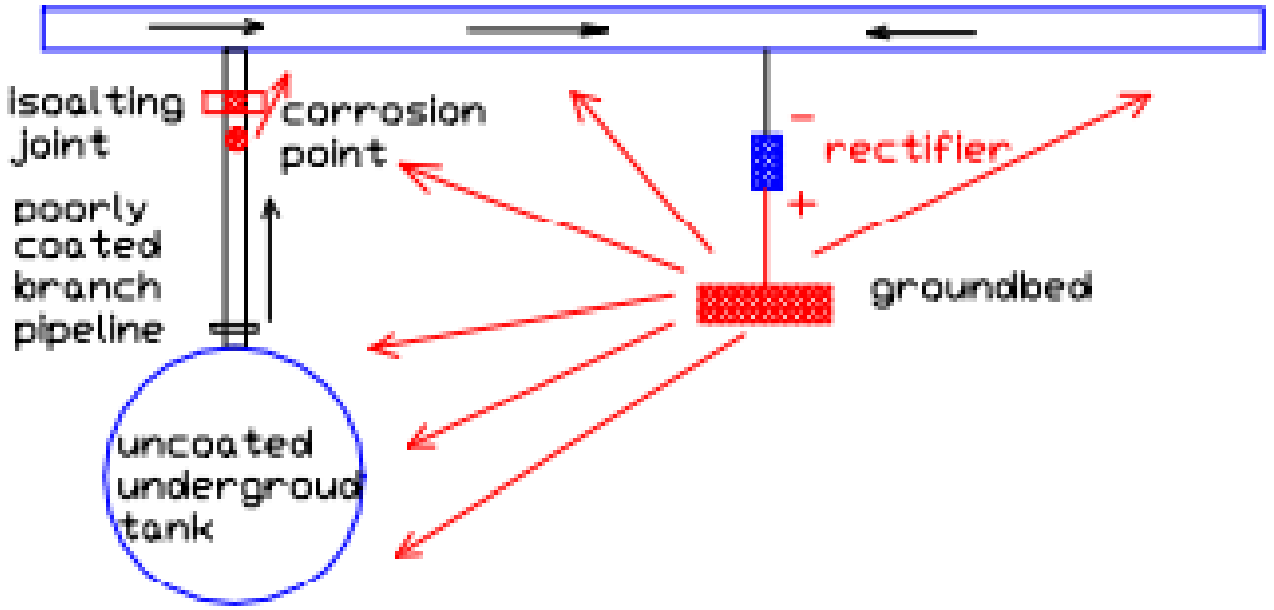
بخش عمده ای از جریان، توسط مخزن بدون پوشش و خط لوله فرعی با پوشش ضعیف که تحت حفاظت خط اصلی است، تخلیه می شود.



مورد استفاده اتصال عایقی

- اگر انشعابی کاملاً از خط اصلی جدا شود، ممکن است جریان سرگردان از بستر زمینی به مخزن برسد، بسته به محل بستر آندی، جریان از انشعاب به نقطه نزدیک خط اصلی جاری و از طریق خاک به خط اصلی برگشت می شود. این منجر به خوردگی شدید در نقطه ای که جریان از انشعاب خارج می شود، می گردد.

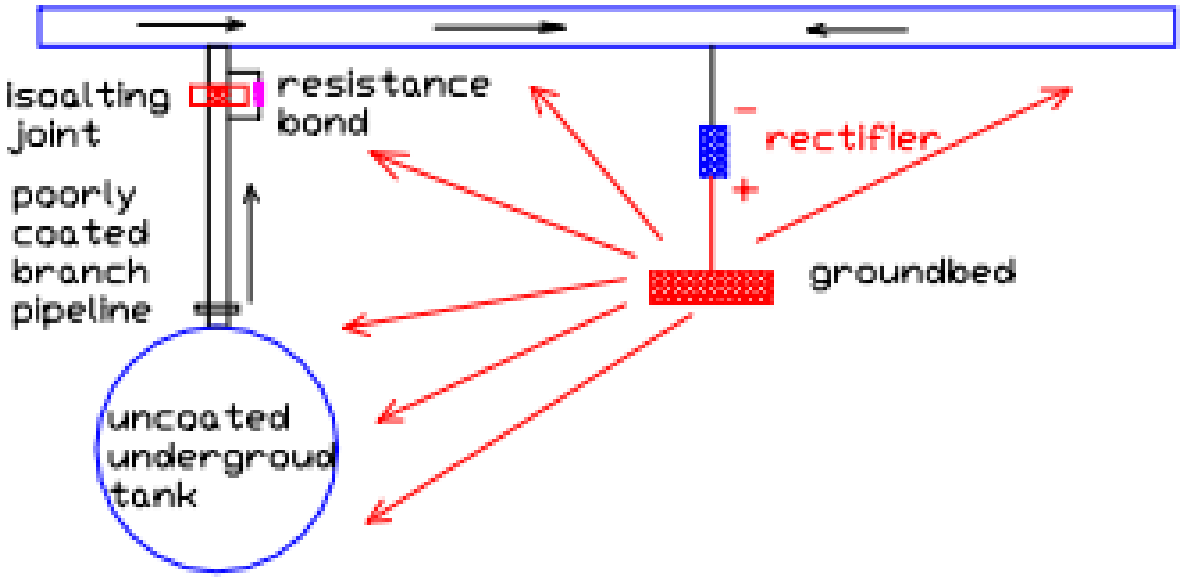
مورد استفاده اتصال عایقی



مورد استفاده اتصال عایقی

- اگر از جاری شدن جریان سرگردان بوسیله محل مناسب بستر آندی جلوگیری نشود، یک اتصال مقاومتی در عرض اتصال عایقی جهت گرفته شدن جریان کافی توسط انشعاب و مخزن برای جلوگیری خوردگی جدی آن ها پیشنهاد می شود.

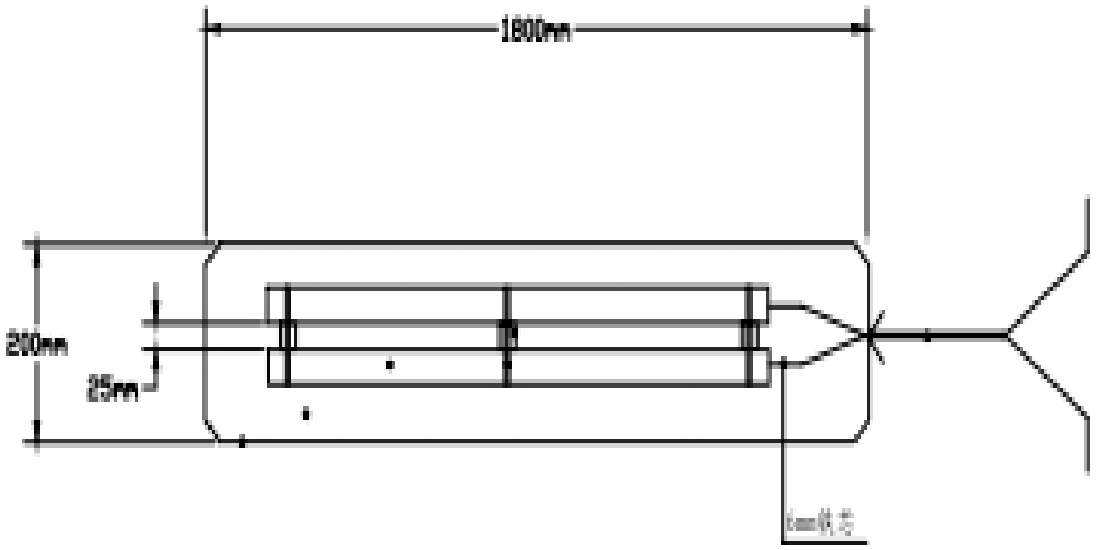
مورد استفاده اتصال عایقی



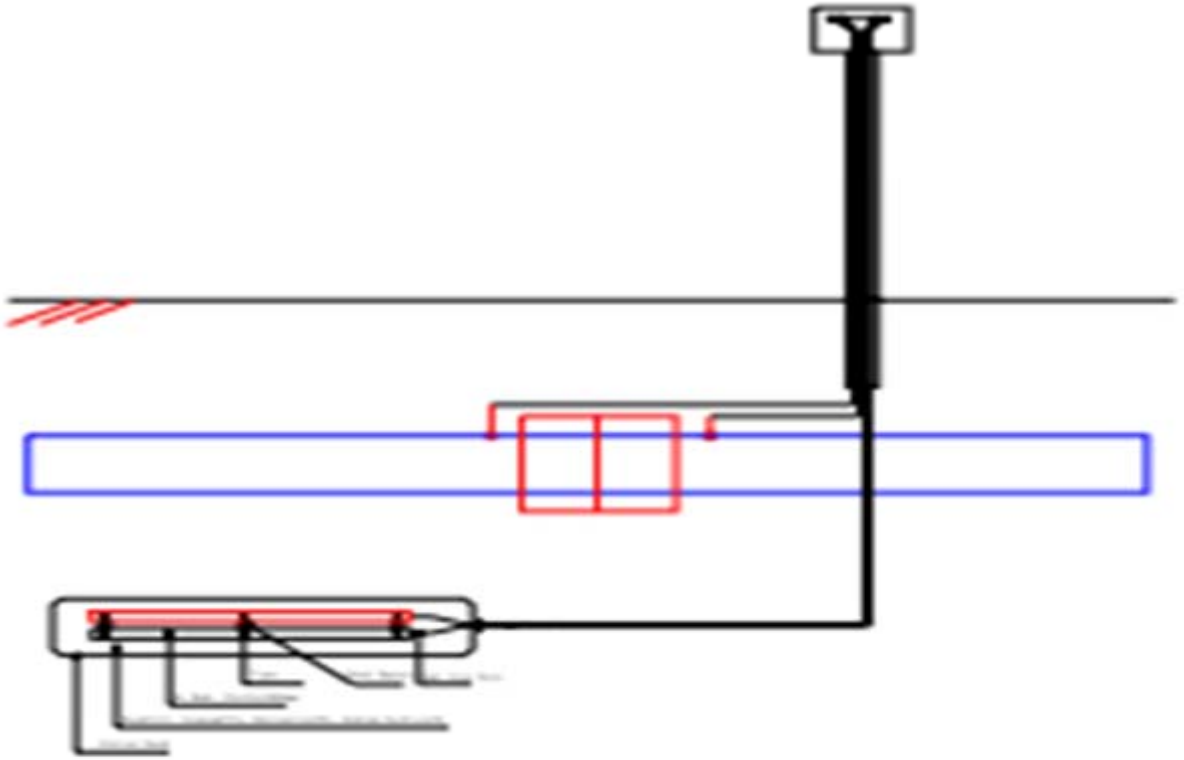
پیل اتصال زمینی

- جریان متناوب، برخورد رعد و برق ممکن است از طریق اتصالهای عایقی شکسته شود، جهت حفاظت اتصال عایقی در مقابل صدمه، پیل اتصال زمینی برای تخلیه جریان از یک سمت به سمت دیگر استفاده می شود.
- ترکیب داخل روی که شکلی از پیل اتصال زمینی می باشد، شبیه به آند روی می باشد.

پیل اتصال زمینی



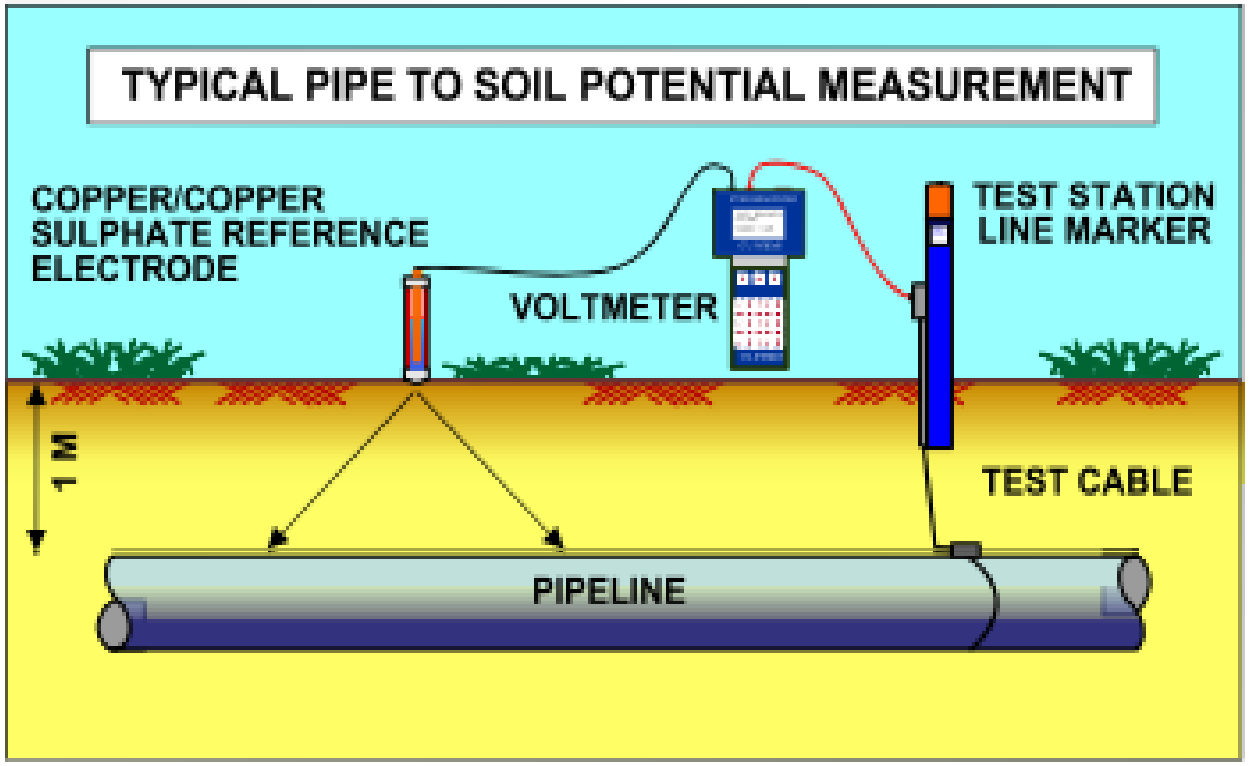
پیل اتصال زمینی برای اتصال های عایقی



پتانسیل حفاظت کاتدی

- اساساً معیارهای مورد استفاده شامل اندازه گیری پتانسیل بین خط لوله و زمین می باشند. این معیارها برای ارزیابی تغییر در پتانسیل سازه نسبت به محیطشان که توسط سیستم حفاظت کاتدی باعث انتقال جریان به سازه از طریق آب یا خاک می شوند، استفاده می شوند.
- پتانسیل لوله نسبت به الکترولیت: اختلاف پتانسیل بین سطح فلز لوله و الکترولیت، با یک الکترود مرجع در تماس با الکترولیت اندازه گیری می شود.

پتانسیل حفاظت کاتدی



پتانسیل حفاظت کاتدی

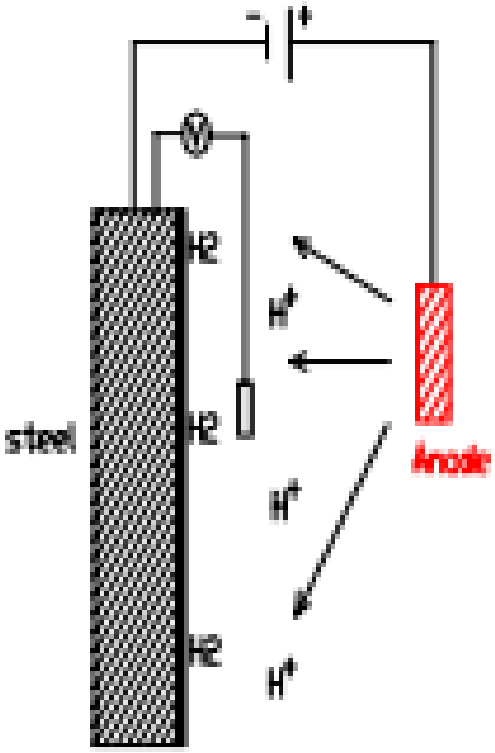
- بعنوان یک عمل طبیعی، پتانسیل پلاریزاسیون سازه به حداقل ۸۵/ ولت نسبت به الکترود سولفات مس باید برسد.

- **پتانسیل پلاریزاسیون:**

۱. پتانسیل در سراسر سطح مشترک الکترولیت/ سازه، جمع پتانسیل خوردگی و پلاریزاسیون کاتدی می باشد.

۲. این می تواند به عنوان پتانسیل لحظه خاموش در نظر گرفته شود.

۳. برای یک سیستم حفاظت کاتدی طراحی شده مناسب، پتانسیل پلاریزاسیون بین ۸۵/- تا ۱/۱۵- ولت نسبت به الکترود سولفات مس نگهداری می شود.

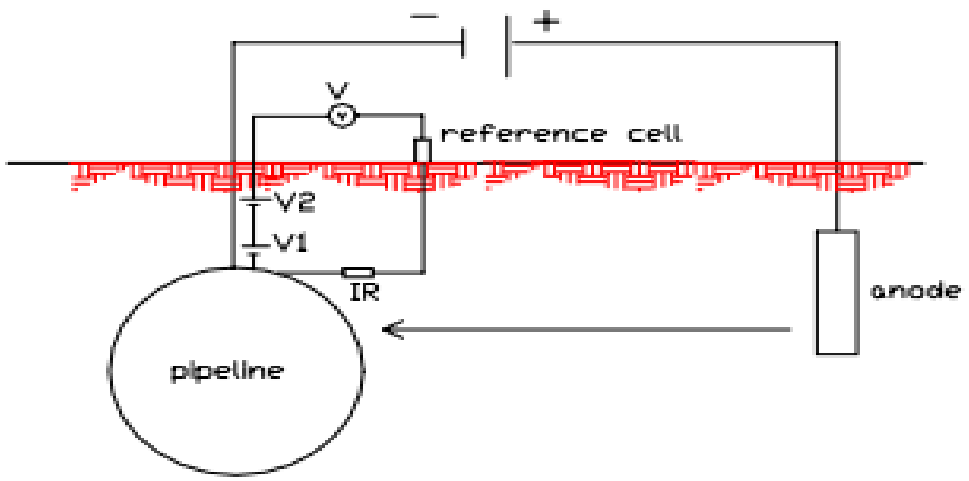


معیارهای حفاظت کاتدی

- پلاریزاسیون: انحراف از پتانسیل خوردگی الکترود، ناشی از جریان بین الکترود و الکترولیت می باشد.
- پتانسیل پلاریزه شده: پتانسیل در سراسر سطح مشترک الکترولیت/ سازه، جمع پتانسیل خوردگی و پلاریزاسیون کاتدی می باشد.
- الکترود مرجع: یک الکترود برگشت پذیر با پتانسیلی که ممکن است تحت شرایط مشابه اندازه گیری ثابت در نظر گرفته شود. (مثال ها: مس اشباع/ سولفات مس، کالومل اشباع و نقره/ کلرید نقره.)

معیارهای حفاظت کاتدی

- V1: پتانسیل خوردگی(پتانسیل طبیعی)
- V2: پلاریزاسیون کاتدی
- V1+V2: پتانسیل پلاریزاسیون،(پتانسیل خاموش)
- V=V1+V2+IR: پتانسیل روشن



معیار حفاظت کاتدی

- سه معیار اصلی برای ارزیابی حفاظت کاتدی خط لوله فولادی یا چدنی مدفون در زمین یا غوطه ور در آب، در بخش ششم NACE RP-169-96 فهرست شده است:
- پتانسیل ۸۵۰- میلی ولت نسبت به الکترود سولفات مس با اعمال حفاظت کاتدی بدون افت.
- یک پتانسیل پلاریزه شده ۸۵۰- میلی ولت نسبت به الکترود سولفات مس.
- پلاریزاسیون ۱۰۰ میلی ولت.

معیار حفاظت کاتدی

پتانسیل ۸۵۰- میلی ولت نسبت به الکترود سولفات مس با اعمال حفاظت کاتدی

- این معیار پرکاربردترین معیار برای تصمیم گیری است اگر خط لوله مدفون در خاک به سطح قابل قبول حفاظت کاتدی رسیده باشد. افت IR، وقتی از این معیار استفاده می شود، می بایست مورد ملاحظه قرار گیرد.
- در زمان اندازه گیری، الکترود مرجع در حد ممکن نزدیک سازه قرار می گیرد. برای اکثر سازه های دارای پوشش، افت IR ناشی از وجود پوشش است و کمتر تحت تأثیر مکان الکترود مرجع قرار دارد.
- افت IR می تواند بوسیله پتانسیل آنی خاموش حذف شود.

معیار حفاظت کاتدی
پتانسیل پلاریزه شده ۸۵۰- میلی ولت نسبت به الکترود سولفات مس

- حفاظت مناسب رسیدن به یک پتانسیل پلاریزه منفی حداقل ۸۵۰- میلی ولت نسبت به الکترود سولفات مس است.
- پتانسیل پلاریزه، پتانسیل موجود در فصل مشترک سازه - الکترولیت است که مجموع پتانسیل خوردگی و پلاریزاسیون کاتدی است.
- پتانسیل پلاریزه، بلافاصله بعد از قطع کلیه منابع جریان اندازه گیری می شود و اغلب بعنوان پتانسیل آنی خاموش نامیده می شود.
- اختلاف بین پتانسیل های طبیعی و خاموش، مقدار پلاریزاسیونی است که به عنوان یک نتیجه از اعمال حفاظت کاتدی رخ داده است.
- اختلاف بین پتانسیل روشن و خاموش، افت IR در الکترولیت است.

معیار حفاظت کاتدی
معیار پلاریزاسیون ۱۰۰ میلی ولت

- حفاظت مناسب بین سطح سازه و الکترود مرجع پایدار در تماس با الکترولیت، رسیدن به یک حداقل پلاریزاسیون کاتدی ۱۰۰ میلی ولت می باشد. تشکیل یا زوال پلاریزاسیون برای برآوردن این معیار اندازه گیری می شود.
- برای بدست آوردن معیارهای پلاریزاسیون، ابتدا پتانسیل طبیعی و سپس پتانسیل خاموش اندازه گیری می شود. اگر اختلاف بزرگتر از ۱۰۰ میلی ولت باشد شما می توانید ببینید که معیار ۱۰۰ میلی ولت راضی کننده است.
- سایر روش های ارزیابی پلاریزاسیون کاتدی، اندازه گیری پتانسیل آنی روشن بعد از شروع کار سیستم حفاظت کاتدی و سپس اندازه گیری مجدد پتانسیل روشن بعد از چند ساعت از روزهای عملیات می باشد. تغییر در جهت کاتدی باید بزرگتر از ۱۰۰ میلی ولت باشد.

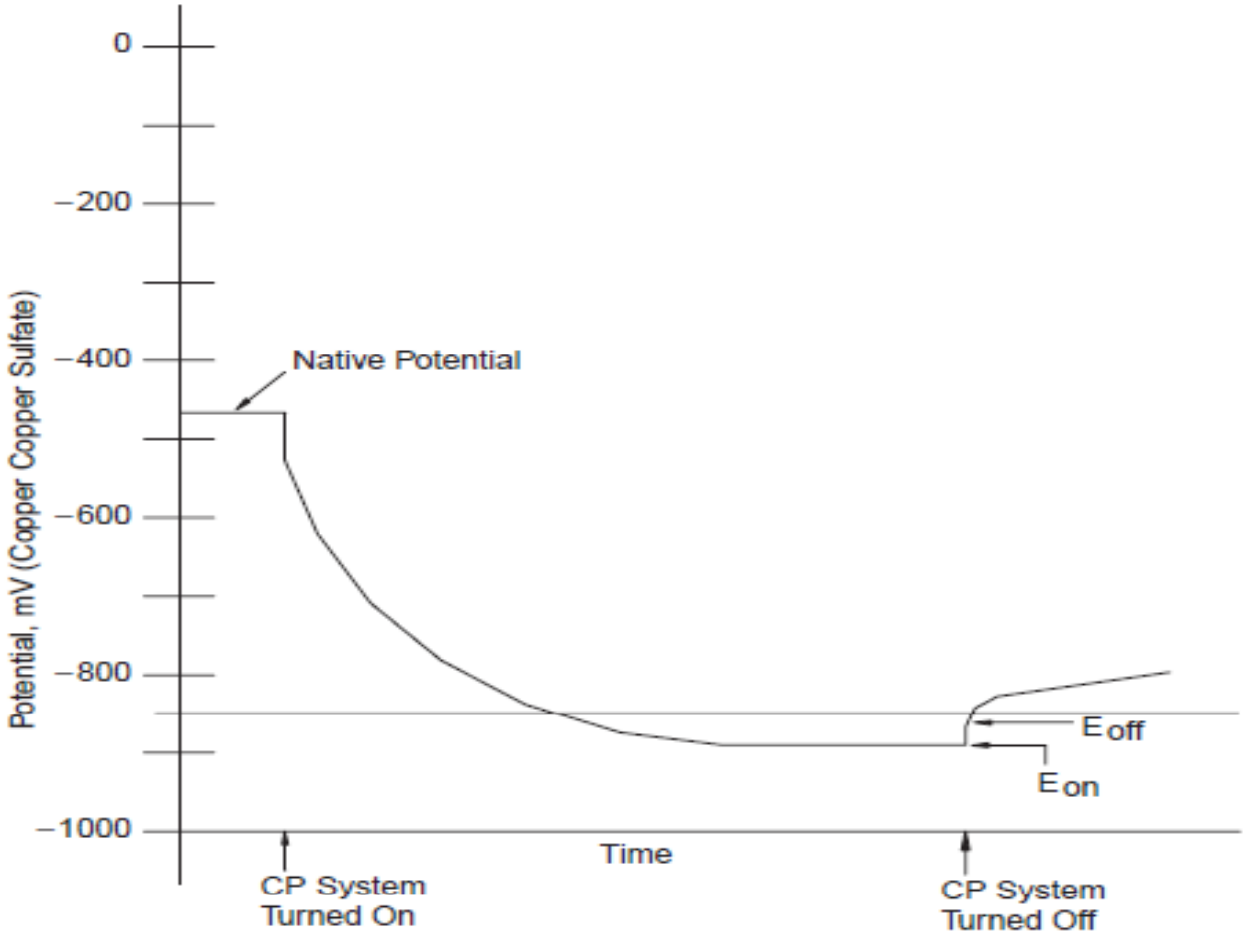
معیار حفاظت کاتدی

معیار پلاریزاسیون ۱۰۰ میلی ولت

- معیار پلاریزاسیون ۱۰۰ میلی ولت وقتی پوشش ضعیف یا سازه بدون پوشش است، استفاده می شود. در بسیاری از موارد معیار پلاریزاسیون ۱۰۰ میلی ولت وقتی پتانسیل خاموش کمتر از ۸۵/- ولت باشد، قابل دستیابی است. مزیت معیار ۱۰۰ میلی ولت به حداقل رساندن تخریب پوشش و تردی هیدروژنی است که هر دو مورد می تواند به عنوان یک نتیجه از حفاظت بالا باشد.
- معیار ۸۵/- ولت نسبت به الکترود سولفات مس برای سیستم خط لوله جدیدتر استفاده می شود.

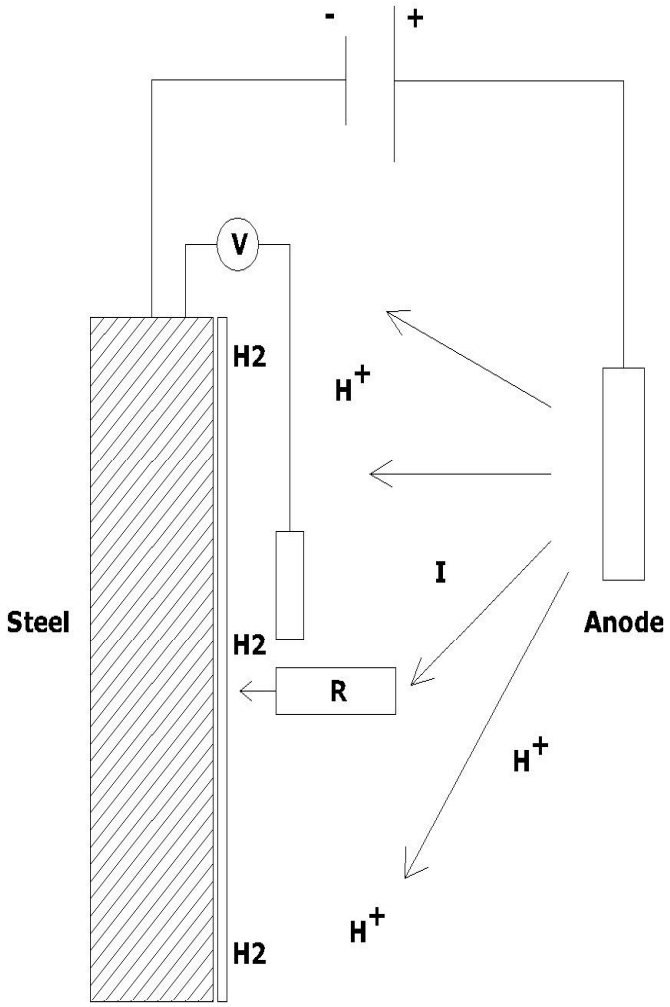
معیار حفاظت کاتدی

سیستم حفاظت کاتدی در سرویس



پتانسیل حفاظت کاتدی

افت IR

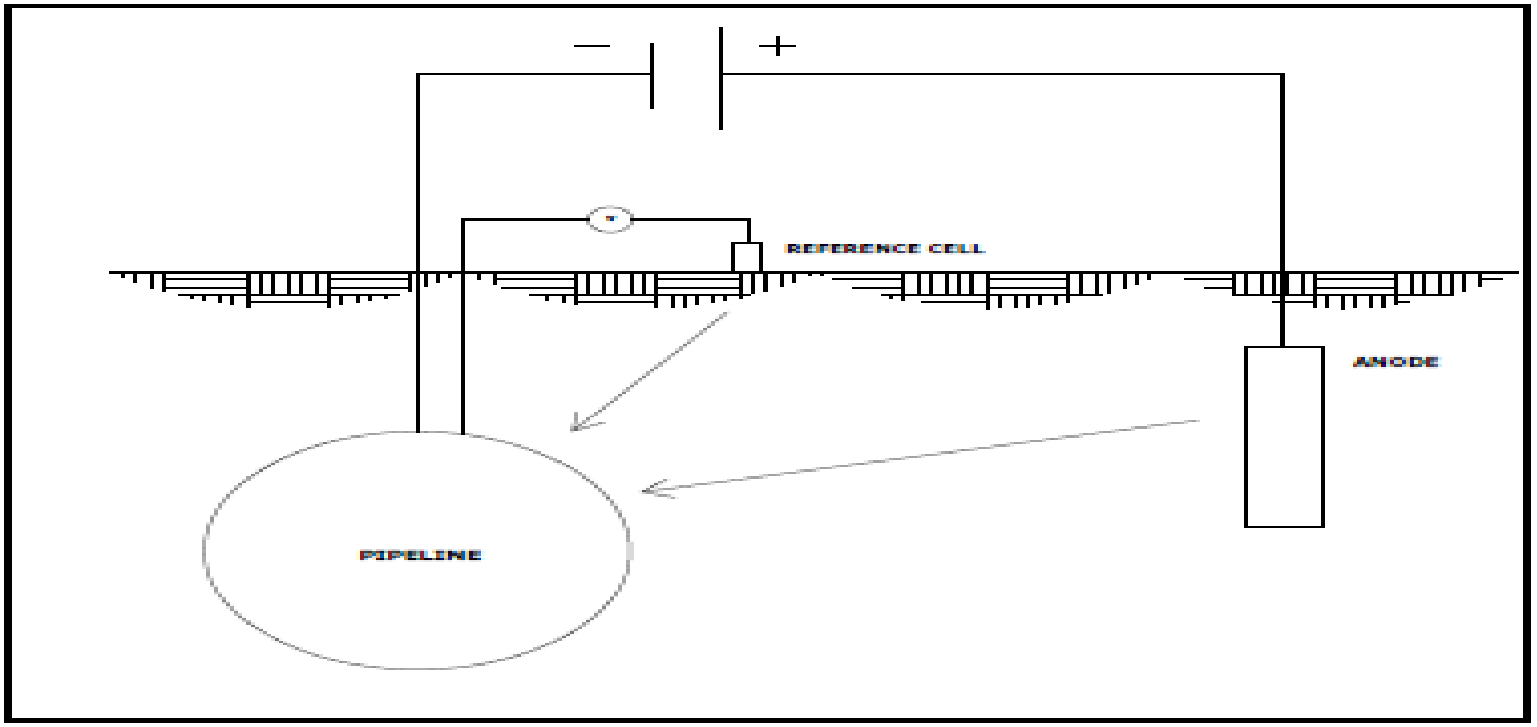


- افت IR: ولتاژ در سراسر مقاومت، مطابق با قانون اهم می باشد.
- وقتی پتانسیل را اندازه گیری می کنیم، الکترود مرجع مقداری دورتر از سازه قرار خواهد گرفت.
- از آنجا که جریان از سمت الکترولیت منتقل می شود، افت ولتاژ، ناشی از مقاومت الکترولیت خواهد بود که افت IR نامیده می شود.

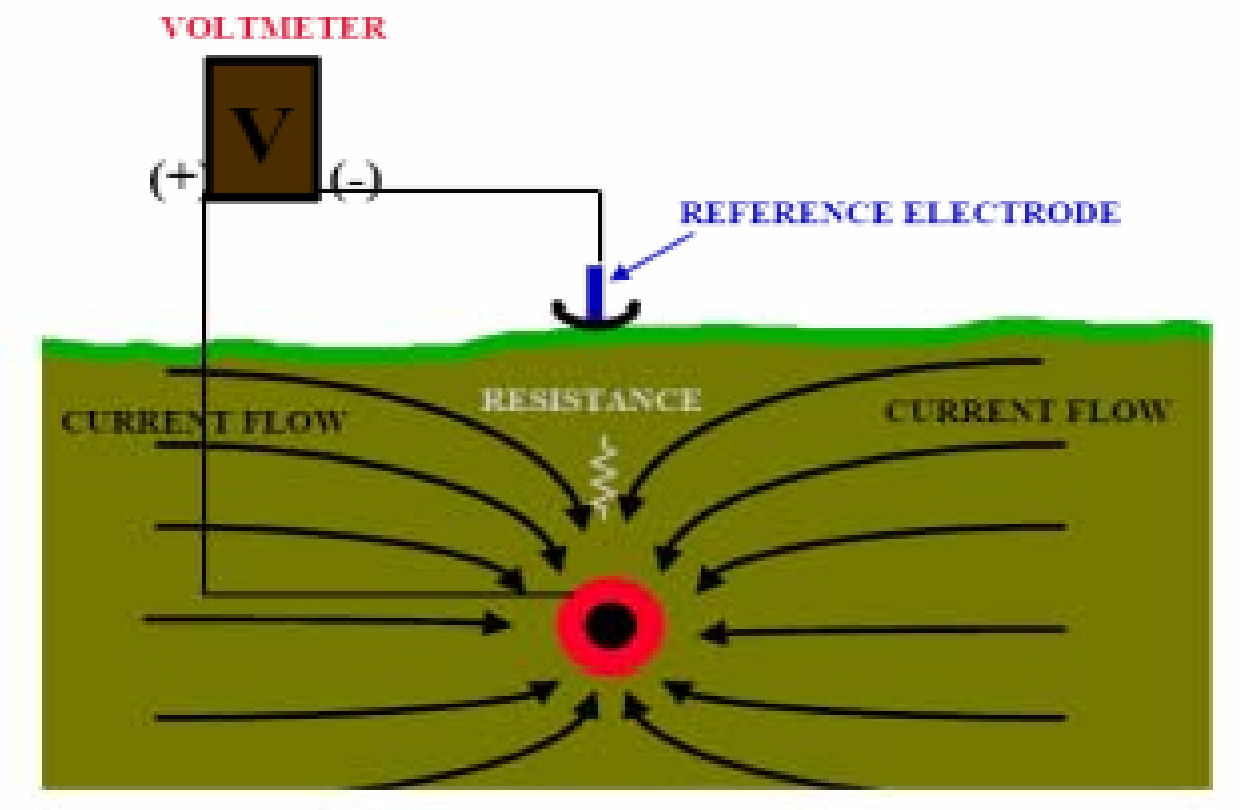
پتانسیل حفاظت کاتدی

افت IR در حفاظت کاتدی خط لوله

وقتی جریان از بستر آندی به سمت خط لوله مدفون انتقال می یابد، افت ولتاژ، در مقاومت خاک خواهد بود، که خطای تحمیل شده در اندازه گیری حفاظت کاتدیک خواهیم داشت.



پتانسیل حفاظت کاتدی
افت IR در حفاظت کاتدی خط لوله



پتانسیل حفاظت کاتدی

اندازه گیری ظرفیت آزاد IR

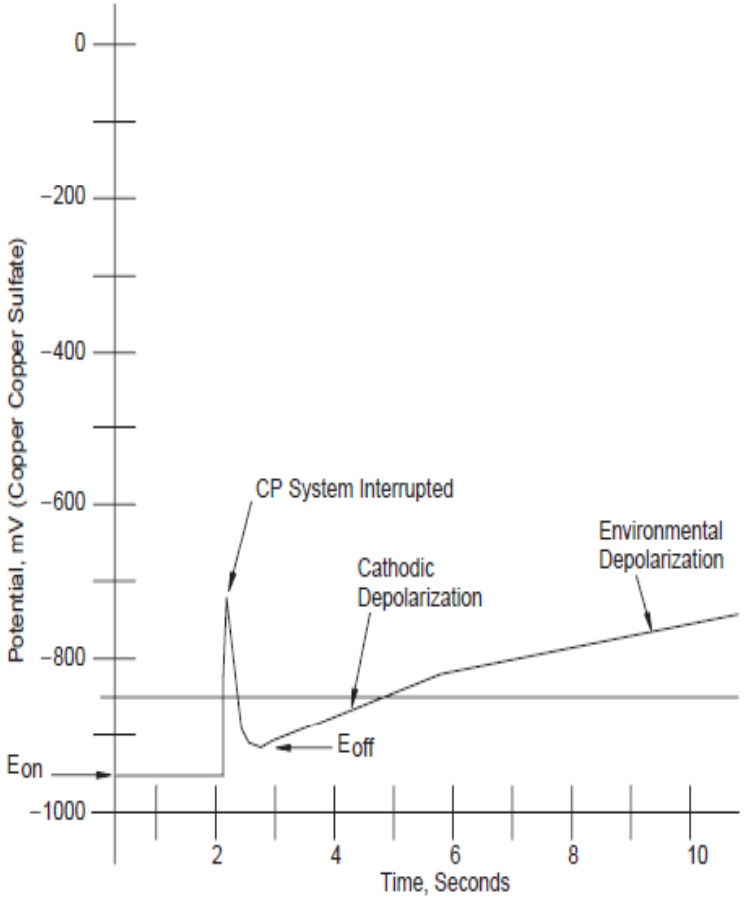
- از آنجا که خطای افت IR به قرائت اضافه خواهد شد، برای بدست آوردن یک گزارش معتبر، افت IR از نتایج اندازه گیری حذف خواهد شد.
- برای بدست آوردن پتانسیل آزاد، جریان در لحظه ای که اندازه گیری انجام می شود، قطع خواهد شد. از آنجا که زوال پتانسیل پلاریزاسیون نسبتاً آهسته است، می توان پتانسیل پلاریزاسیون را اندازه گیری کرد.

پتانسیل حفاظت کاتدی

اندازه گیری افت IR

- در جهت حذف افت IR در اندازه گیری، اغلب روش مورد استفاده، گرفتن پتانسیل خاموش از سازه حفاظت شده است. به این معنی که در مدت ۵/ ثانیه پس از خاموش کردن دستگاه پتانسیل اندازه گیری می شود.
- اگر چه روش های دیگری نیز ممکن است استفاده شود، ولی این در بررسی موقعیت واقع گرایانه نمی باشد.
- در مدت اندازه گیری پتانسیل خاموش، لازم است همه منابع تغذیه در این بخش از خط لوله به طور همزمان روشن و خاموش شوند.

معیار حفاظت کاتدی
سیستم حفاظت کاتدی از سرویس خارج شده



- وقتی که سیستم حفاظت کاتدی خاموش است، پتانسیل خط لوله نسبت به خاک دستخوش تغییرات مثبت آنی به عنوان یک نتیجه از حذف افت IR می باشد. اندازه گیری پتانسیل در این لحظه بعنوان پتانسیل خاموش نامیده می شود.
- ممکن است ولتاژگذاری کوتاه مدت در قرائت پتانسیل، بلافاصله پس از قطع سیستم حفاظت کاتدی وجود داشته باشد، که نتیجه اثر القائی خط لوله و سیستم حفاظت کاتدی است و به مدت صد میلی ثانیه طول می کشد، به طور معمول پتانسیل خاموش پس از ۵۰۰ – ۲۰۰ میلی ثانیه پس از قطع سیستم حفاظت کاتدی اندازه گیری می شود.

پوشش و حفاظت کاتدی

- هیچ پوششی نمی تواند کامل باشد. در حالیکه بیشتر کار حفاظت از خوردگی توسط پوشش انجام می شود، حفاظت کاتدی در نقاطی که پوشش آسیب دیده یا دچار عیب شده، استفاده می شود.
- خوردگی حفره ای در خطوط لوله پوشش دار و بدون حفاظت کاتدی زودتر رخ خواهد داد.
- حفاظت کاتدی اضافه، باعث آسیب پوشش خواهد شد.

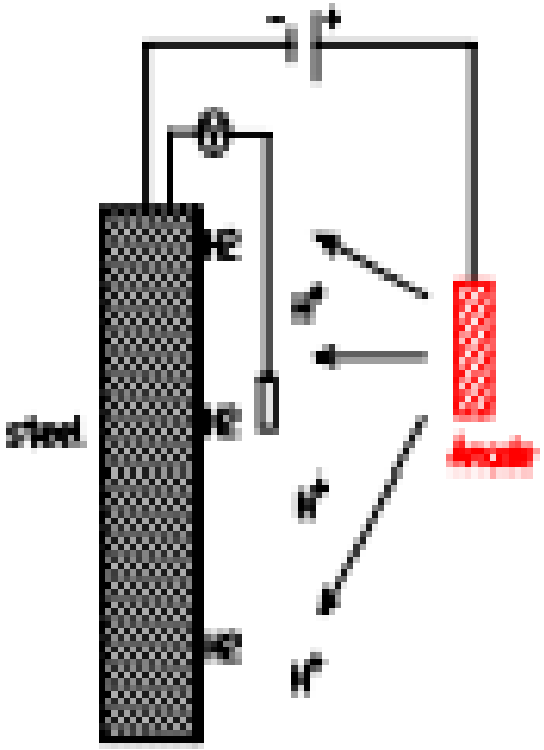
پوشش و حفاظت کاتدی

- هر چند که از لحاظ فنی ممکن است هزینه حفاظت سازه های مدفون بدون پوشش بوسیله حفاظت کاتدی خیلی زیاد باشد. و فراهم کردن توزیع یکنواخت جریان با چیدمان آندها مشکل است.
- تکمیل کردن پوشش با حفاظت کاتدی یک روش مطلوب حفاظت خوردگی است.

پوشش و حفاظت کاتدی
حفاظت بیش از اندازه

- موفقیت حفاظت از خوردگی بستگی به پتانسیل حفاظت کاتدی مناسب دارد.
- پتانسیل منفی بیش از اندازه حفاظت کاتدی، از دو طریق به پوشش صدمه خواهد زد.
- قلیائیت ناشی از حفاظت کاتدی ممکن است باعث تخریب پوشش شود.
- هیدروژن تولید شده در نقص های بوجود آمده در پوشش، ممکن است به طور مستمر پوشش را از سطح فلز جدا کند.

پوشش و حفاظت کاتدی
حفاظت بیش از اندازه



- در حالیکه هیدروژن آزاد می شود، OH مازاد باعث خواهد شد که محلول نزدیک سطح فلز، قلیائی شود.
- هیدروژن آزاد شده، پوشش را در نقاط معیوب جدا خواهد کرد.
- جدایش کاتدی: تخریب چسبندگی بین پوشش و سطح پوشش داده شده ناشی از محصولات یک واکنش کاتدی می باشد.

پوشش و حفاظت کاتدی
حفاظت بیش از اندازه

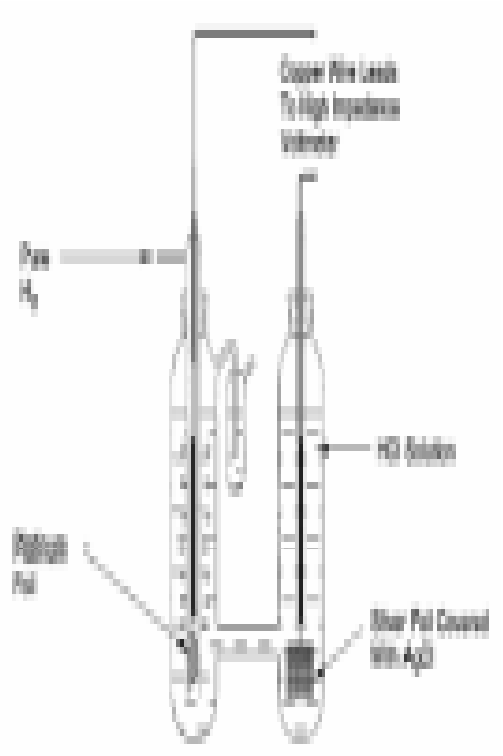
آزمایش منجر به نتیجه زیر گردید:

- تغییر شکل هیدروژن در یک پتانسیل خاموش از ۱/۱۲- ولت نسبت به الکترود سولفات مس آغاز و در پتانسیل خاموش از ۱/۱۷- تا ۱/۲۲ ولت نسبت به الکترود سولفات مس تشدید می شود.
- پتانسیل خاموش منفی قابل دستیابی، ۱/۲۲- ولت نسبت به الکترود سولفات مس است. پتانسیل خاموش نمی تواند حتی با افزایش قابل توجهی در جریان اعمالی از این مقدار منفی تر شود.
- افزایش در جریان اعمالی به نمونه در پتانسیل خاموش ۱/۲۲- ولت منجر به افزایش تدریجی گاز هیدروژن می شود و افزایش منفی در پتانسیل روشن است، اما پتانسیل خاموش بدون تغییر باقی می ماند.
- پتانسیل خاموش نمی تواند به طور مستقیم در ارتباط با پتانسیل روشن باشد و بنابراین پتانسیل روشن بعنوان یک شاخص معتبر هیدروژن مطرح نمی باشد.

پتانسیل حفاظت کاتدی
الکترودهای مرجع

- الکترود مرجع، یک الکترود برگشت پذیر است که برای اندازه گیری پتانسیل سایر الکترودها استفاده می شود:
- استفاده و نگهداری آسان
- پتانسیل پایدار در طول زمان
- تغییرات کم پتانسیل با عبور جریان
- به آسانی آلوده نشود.
- چیزی را که اندازه گیری می کند، آلوده نمی کند.

پتانسیل حفاظت کاتدی
الکترودهای مرجع



- الکترودهای مرجع شامل: الکترود نقره/ کلریدنقره، کالومل و مس/ سولفات مس.
- الکترود هیدروژن به ندرت استفاده می شود زیرا در ساخت و نگهداری مشکل است.
- ارتباط الکترود هیدروژن استاندارد، با پتانسیل الکترودهای دیگر به شرح ذیل است:

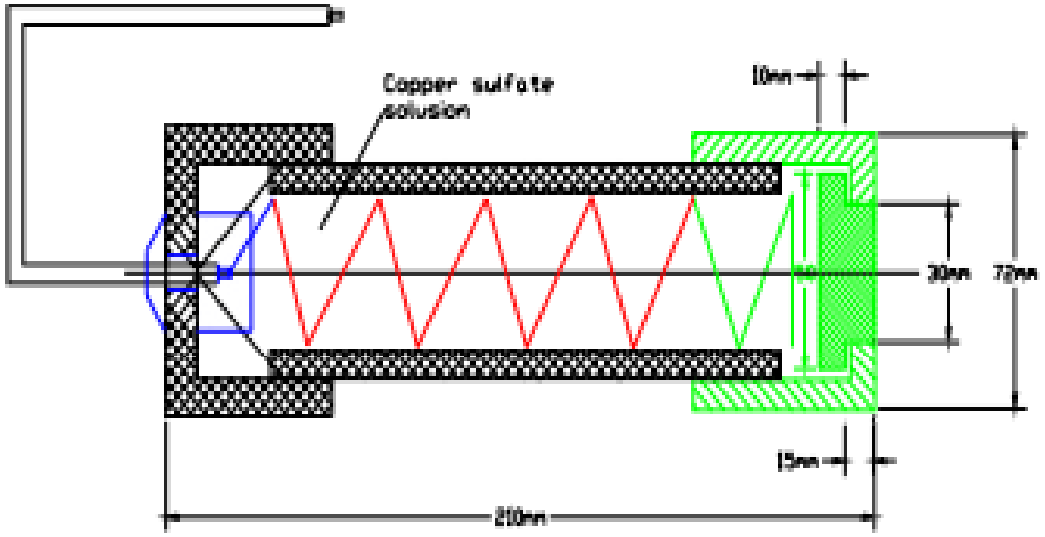
۱. مس/ سولفات مس: ۳/ ولت
۲. کالومل(کلرید پتاسیم اشباع): ۲۴/ ولت
۳. نقره/ کلرید نقره (کلرید پتاسیم اشباع): ۲۵/ ولت
۴. روی (آب دریا): ۸/- ولت

پتانسیل حفاظت کاتدی
الکترود مس/ سولفات مس

عمدتاً این الکترود در محیط خاک و آب استفاده می شود.

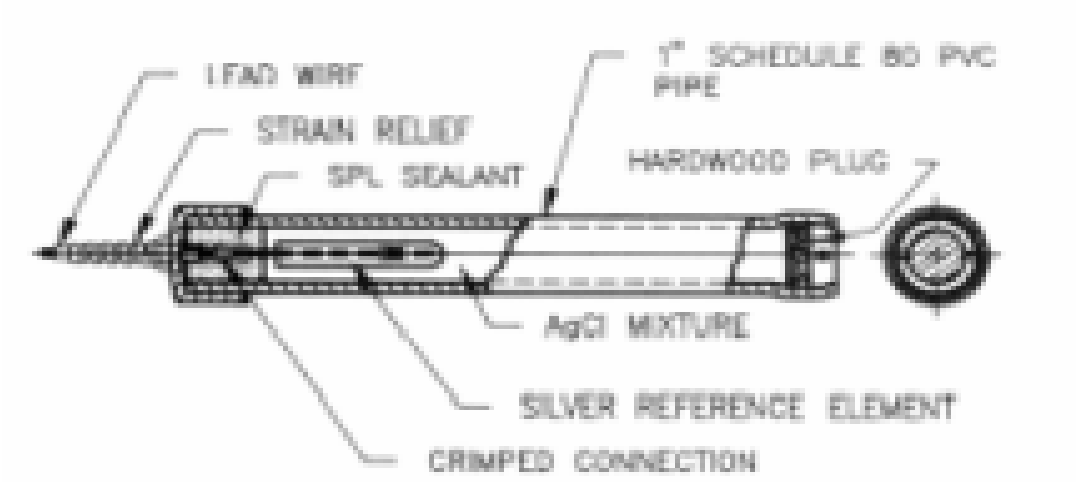
پتانسیل حفاظت کاتدی

ساختار الکترود مس/ سولفات مس

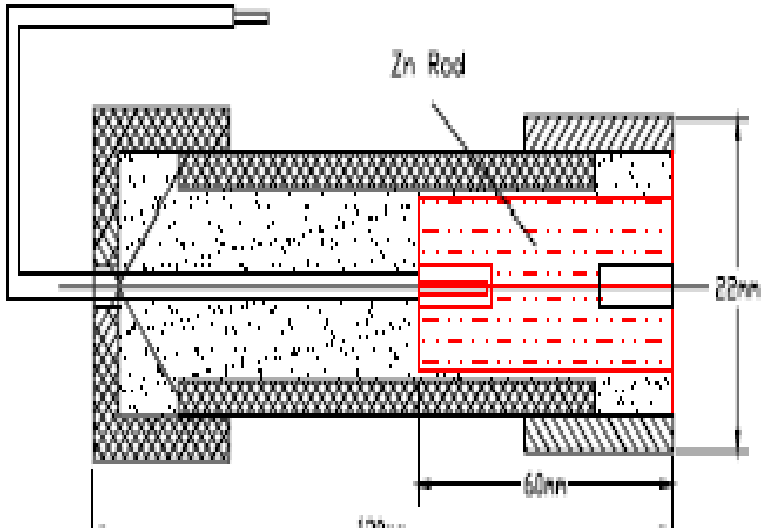


پتانسیل حفاظت کاتدی
الکترود نقره/ کلرید نقره

عمدتاً الکترود نقره/ کلرید نقره در آب دریا استفاده می شود.



پتانسیل حفاظت کاتدی
الکترود روی



- این الکترود از روی خالص ساخته می شود و بیشتر در آب دریا استفاده می شود.

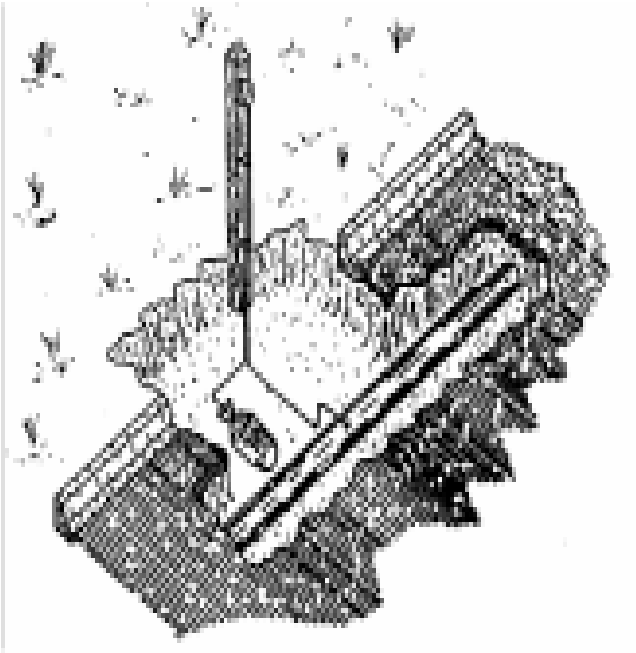
پتانسیل حفاظت کاتدی
مقایسه پتانسیل ۸۵/- ولت نسبت به الکترود سولفات مس

- در مهندسی کاربردی خشکی، ما به طور معمول از الکترود مس/ سولفات مس استفاده می کنیم.
- اگر پتانسیل سازه حفاظت شده به ۸۵/- ولت نسبت به الکترود سولفات مس برسد، ما حفاظت سازه را به درستی رعایت کرده ایم.
- ارتباط این معیار با پتانسیل الکترودهای دیگر آورده شده است.
- مس/ الکترود مس: ۸۵/- ولت
- نقره/ الکترود نقره: ۸/- ولت
- الکترود روی: ۲۵/ + ولت

پتانسیل الکترودهای مرجع متداول

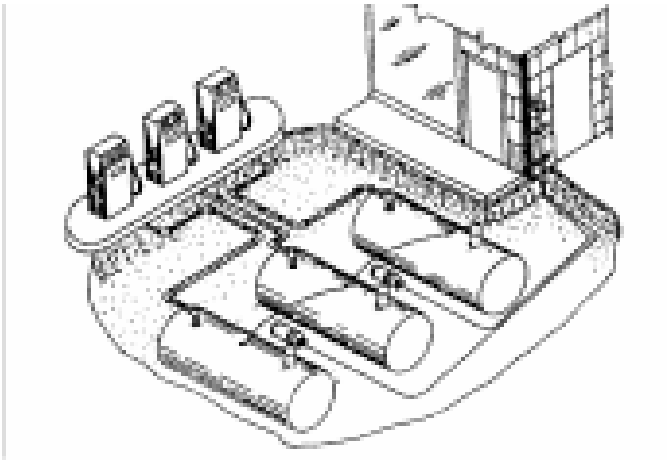
۱.	مس/ سولفات مس(اشباع) (CSE)	/۳
۲.	کالومل(کلرید پتاسیم اشباع) (SCE)	/۲۴۱
۳.	نقره/کلرید نقره (کلرید پتاسیم اشباع)	/۱۹۶
۴.	نقره/کلرید نقره (آب دریا)	/۲۵
۵.	الکترود هیدروژن استاندارد (SHE)	۰
۶.	روی (آب دریا)	/۸

نصب دائمی الکترود
خط لوله



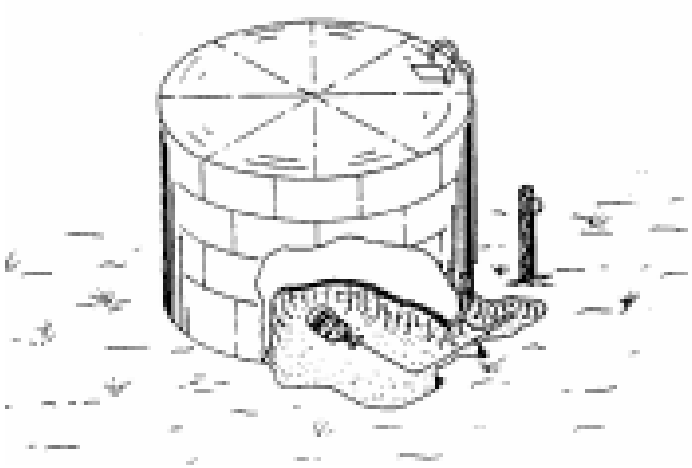
- الکترود مرجع دائمی برای کنترل پتانسیل خطوط لوله مدفون نصب می گردد.
- الکترود، نزدیک سطح خط لوله نصب می شود.

نصب دائمی الکترود
مخزن سوخت



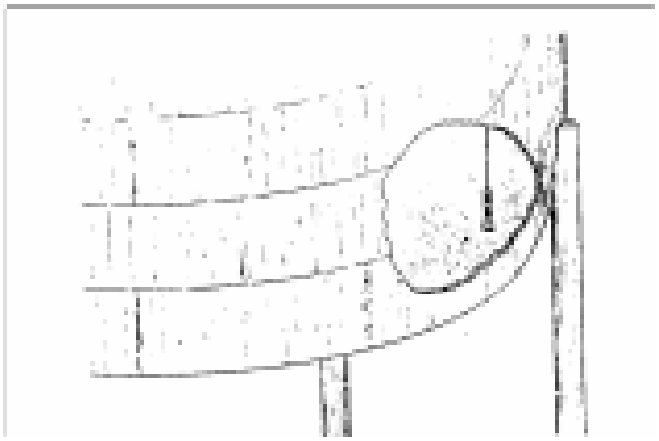
- الکترود مرجع برای مخازن سوخت مدفون

نصب دائمی الکترود
کف مخزن



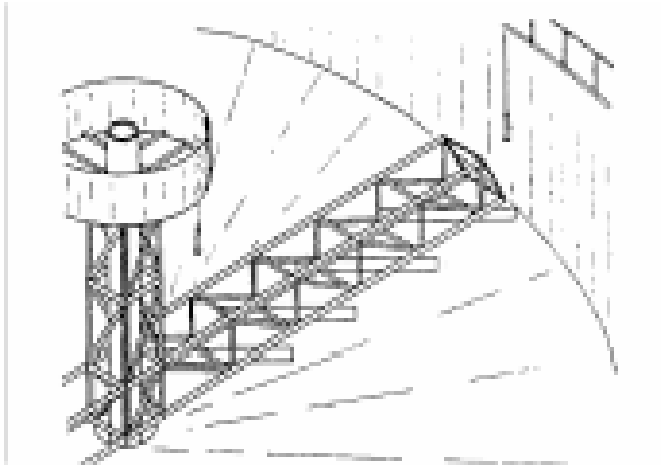
- الکترود مرجع زیر کف مخزن مدفون است.
- پشت بند بسته بندی شده قبل از نصب مرطوب است.

نصب دائمی الکترود
مخزن آب



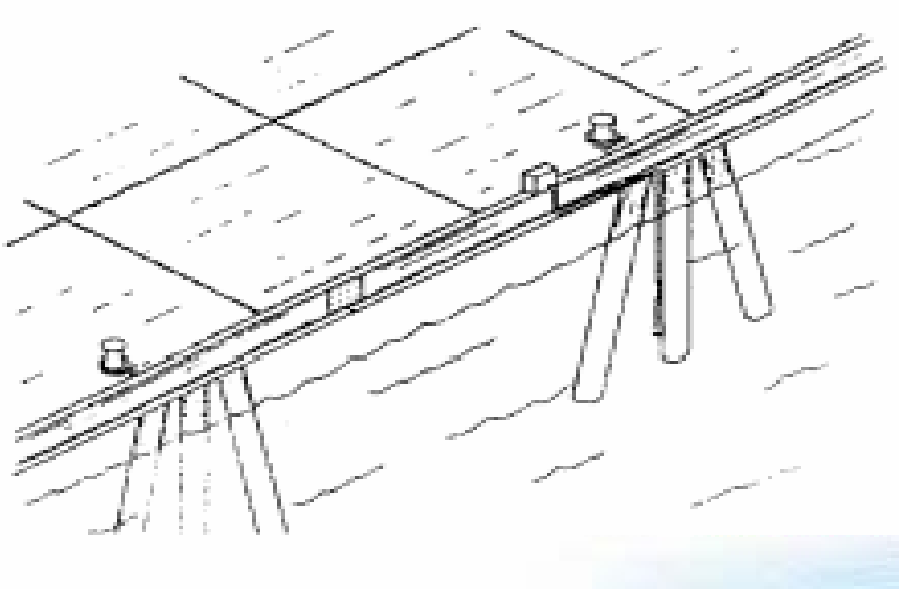
- برای حفاظت کاتدی مخزن آب، پیل مرجع به فاصله ۲ تا ۳ سانتی متری از دیوار داخلی مخزن نصب می شود.
- پیل مرجع روی، ممکن است در این وضعیت نصب شود.

نصب دائمی الکترود
تجهیزات تصفیه آب

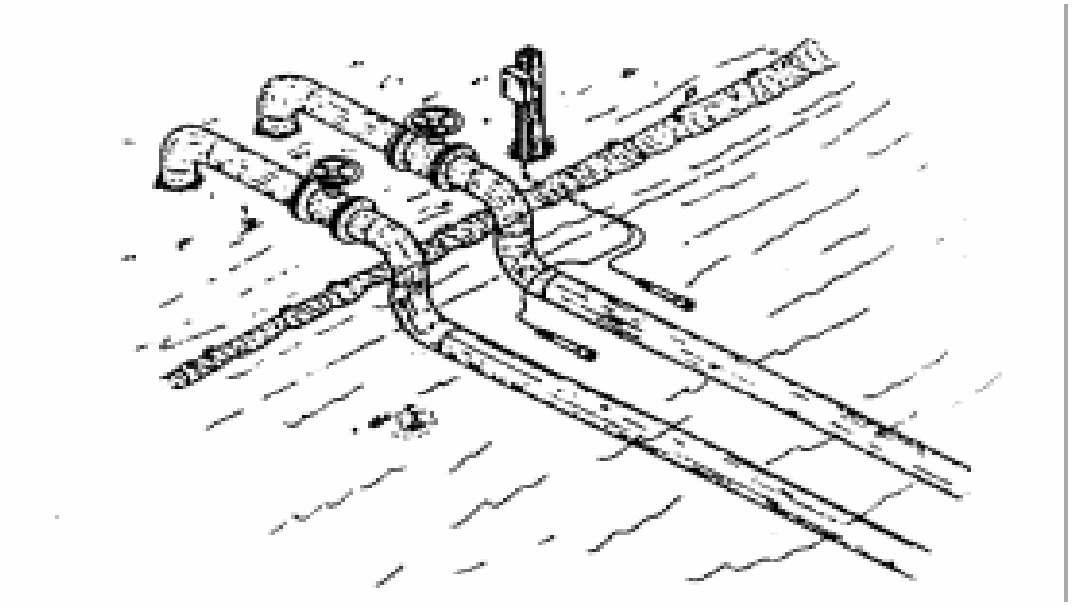


- پیل مرجع نزدیک دیواره مخزن نصب می شود.

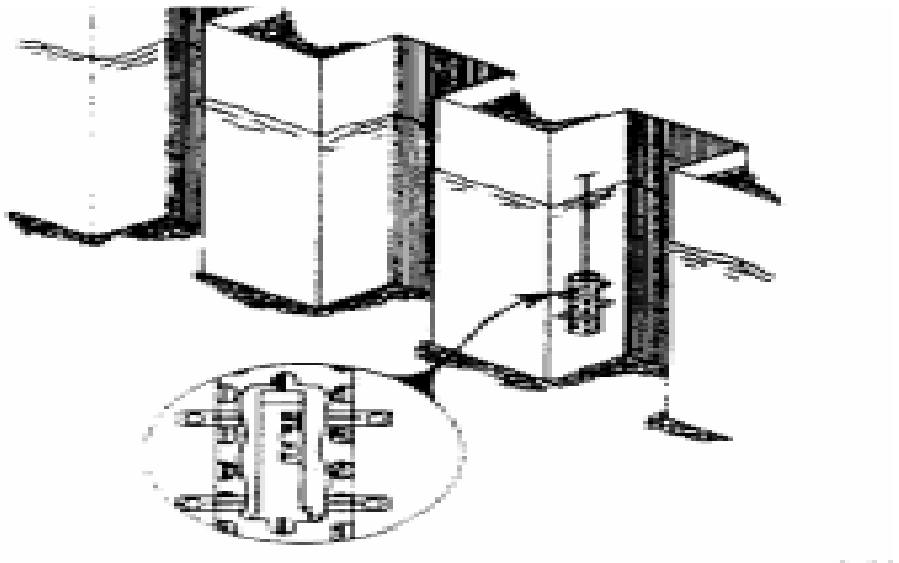
نصب دائمی الکترود
حوضچه آب



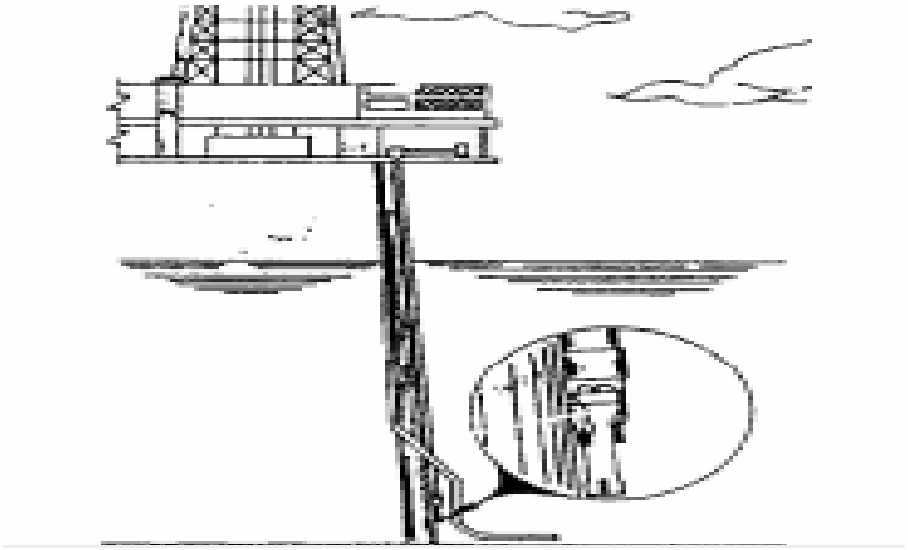
نصب دائمی الکترود
خط لوله غوطه ور در آب



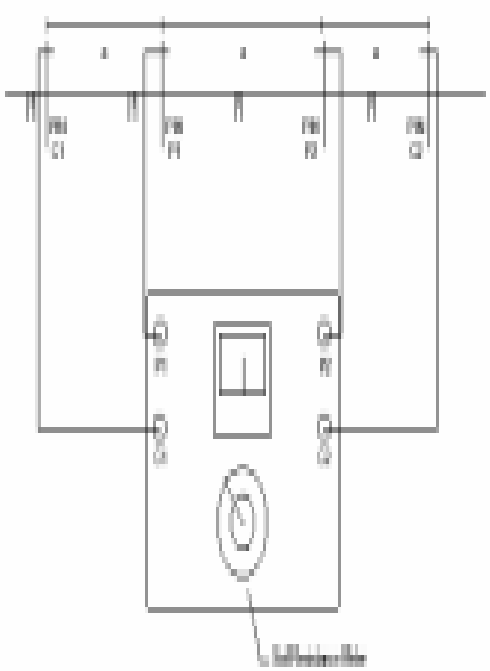
نصب دائمی الکترود
سطح پایه های سمت آب لنگرگاه



نصب دائمی الکترود
اسکله نفتی دریایی



اندازه گیری مقاومت ویژه خاک
روش چهار میله ای ونر



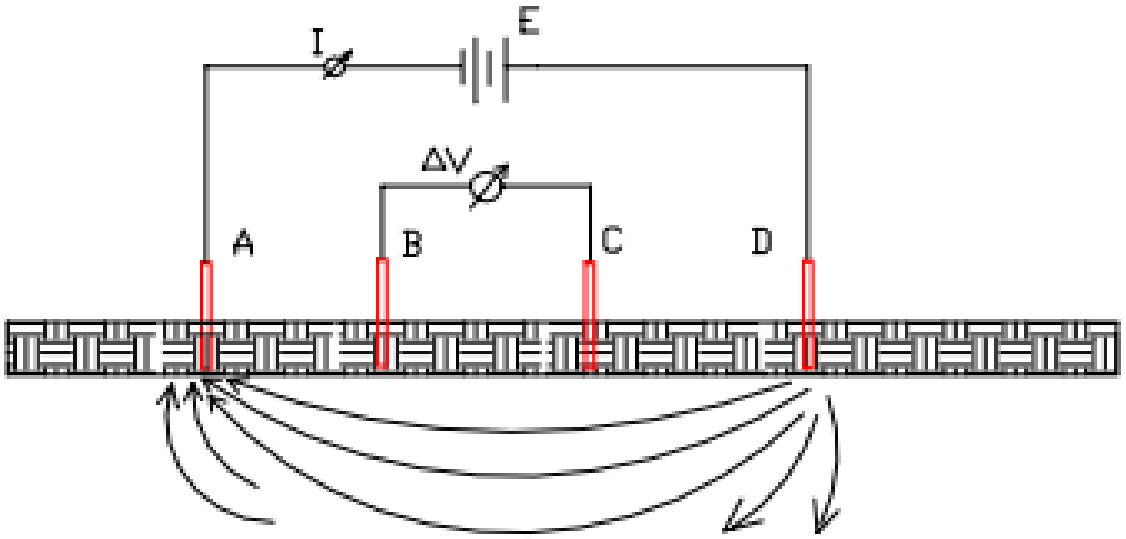
- روش ونر، استفاده از ۴ میله فرو رفته به درون زمین در امتداد یک خط مستقیم و با فاصله مساوی از یکدیگر است. هدف انتقال جریان متناوب از طریق خاک و اندازه گیری افت ولتاژ می باشد.
- سپس دستگاه، مقاومت خوانده شده را نمایش خواهد داد و مقاومت ویژه خاک از فرمول محاسبه می شود.
- $P=۲\times۲/۳۱۴\times A\times R$:

که در آن:

۱. A: فاصله بین میله ها
۲. R: مقاومت خاک که توسط دستگاه نمایش داده می شود.
۳. P: مقاومت ویژه خاک در عمقی از A

اندازه گیری مقاومت ویژه خاک

روش چهار میله ای ونر



تخمین مقاومت ویژه خاک

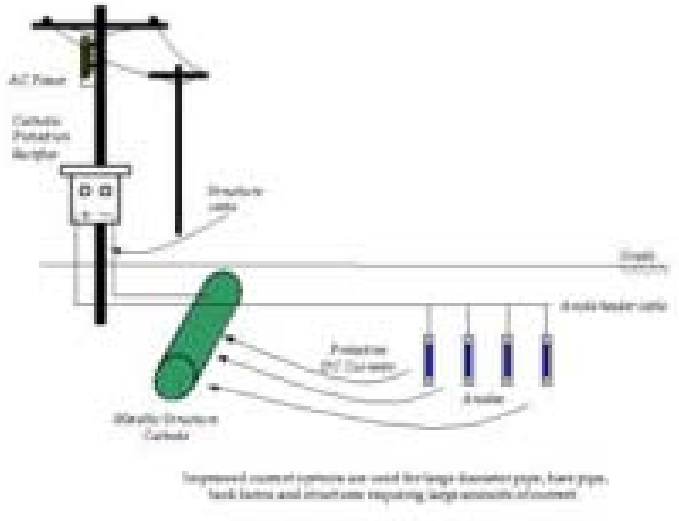
- به منظور تعیین مقاومت زمین بستر آندی، ابتدا مقاومت ویژه خاک مورد آزمایش قرار خواهد گرفت. مطابق این آزمایش:
- آب دریا: ۲۰ اهم- سانتی متر
- آب لجن: ۱۰۰ - ۴۰ اهم- سانتی متر
- خاک رس: ۸۰۰۰ - ۴۰۰۰ اهم- سانتی متر
- شن مرطوب: ۱۰۰۰۰ اهم- سانتی متر
- شن خشک: ۴۰۰۰۰ اهم- سانتی متر

دانسیته جریان مورد نیاز

- برای مطابقت دادن پتانسیل مورد نیاز، چگالی جریان فولاد بدون پوشش در محیط های مختلف برآورد شده است:

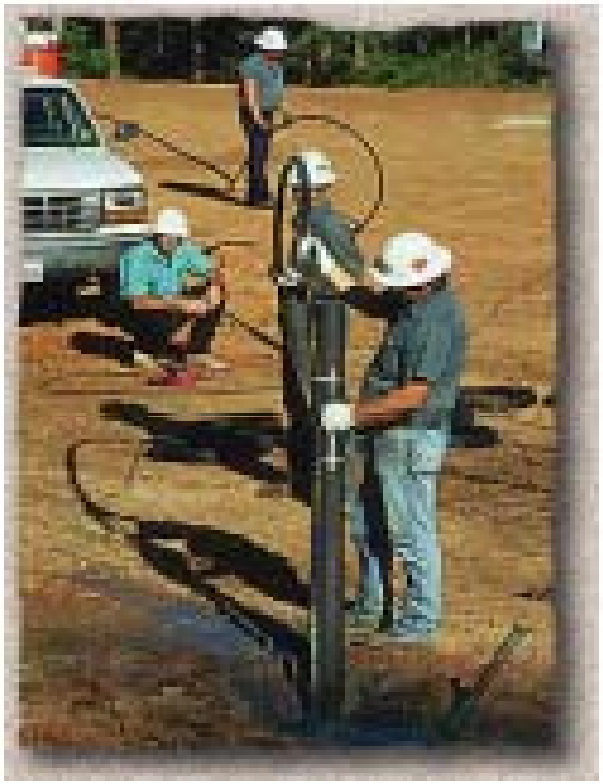
۱. خاک: ۳۰- ۵ میلی آمپر در مترمربع
۲. آب: ۳۰- ۱۰ میلی آمپر در مترمربع
۳. آب متحرک تازه: ۶۵ میلی آمپر در مترمربع
۴. آب دریا: ۵۵- ۴۴ میلی آمپر در مترمربع
۵. آب غیر راکد دریا: ۱۶۰ میلی آمپر در مترمربع
۶. آب گل آلود: ۳۰- ۱۰ میلی آمپر در مترمربع

طراحی بستر آندی
بستر آندی نزدیک سطح



- این نوع از آند جهت نصب آسان است.
- جائی استفاده می شود که مقاومت ویژه سطح خاک پائین است.
- ممکن است مشکل تداخل خوردگی وجود داشته باشد.

طراحی بستر آندی
بستر آندی چاهی



- بستر آندی چاهی، جائی استفاده می شود که مقاومت ویژه سطح خاک بالاست یا فضای سطح محدود می شود.
- معمولاً عمق، ۲۰ – ۱۵ متر پائین تر از سطح زمین است. در حالیکه حداکثر عمق می تواند به ۱۵۰ متر برسد.
- مشکل تداخل خوردگی کمتر می باشد.

طراحی بستر آندی
تعیین محل بستر

- در انتخاب محل های بستر آندی، مهمترین عامل مؤثر، مقاومت ویژه خاک است. سایر ملاحظات شامل موارد ذیل است:

۱. آیا ساختار فلزی مدفون در محدوده تحت تأثیر وجود دارد.

۲. آیا محل بستر آندی در محدوده حریم اختصاصی است.

۳. آیا در حال حاضر انشعاب برق وجود دارد.

۴. آیا در محل تعیین شده برای اجرا و نگهداری، دسترسی وجود دارد.

۵. آیا ساخت و سازهایی در آینده وجود دارد.

۶. انتخاب مکان برای آند فدا شونده ساده تر است. این آندها را می توان در جاده سرویس قرار داد، مستقل از منبع تغذیه و نسبتاً عاری از اثر تداخل با سایر سازه ها می باشند.

طراحی بستر آندی
بستر آندی دور

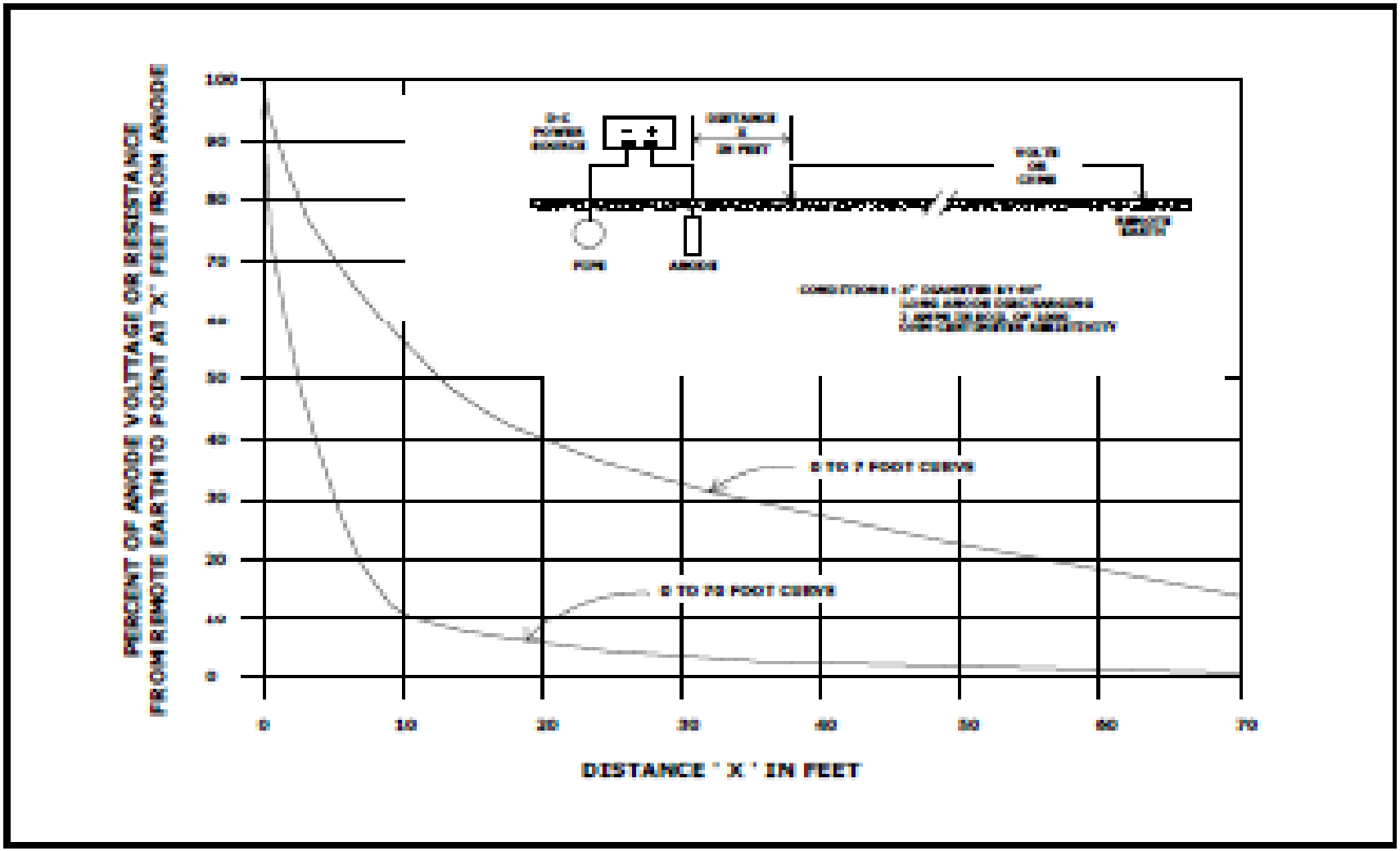
- تخلیه جریان از بستر آندی باعث افت ولتاژ در زمین بین نقاط طول خطوط منشعب از بستر آندی خواهد شد.
- همانطور که فرد در مسیر بستر آندی حرکت می کند، افت ولتاژ در هر فاصله واحد، تا زمانی که به یک نقطه برسد کمتر و کمتر می شود. فراتر از آن نقطه، افت ولتاژ قابل توجهی مشاهده نمی شود. این لبه (نقطه)، تحت تأثیر بستر آندی است. اگر خط لوله خارج از این نقطه واقع باشد، بستر آندی، بستر آندی دور نامیده می شود.
- در این مورد، جریان به طرف یک بخش از زمین انتقال می یابد. که ممکن است بعنوان رسانای با مقاومت کمتر در نظر گرفته شود. جریان از این رسانای نامحدود به سمت خط لوله منتقل خواهد شد و باعث افت ولتاژ در مسیر مقاومت بین خط لوله و رسانای نامحدود می شود.

طراحی بستر آندی
بستر آندی دور

- با انتقال جریان در یک هادی نامحدود، مقاومت خط لوله ممکن است طولی از خط لوله را که می تواند از طریق یک بستر آندی محافظت شود، محدود کند. (خط لوله با قطر بزرگتر می تواند بخش بلندتر را محافظت کند).
- محدودیت در نزدیکی بستر آند نیاز به حفظ پتانسیل پلاریزه لوله نسبت به خاک، منفی تر از ۱/۱- ولت نسبت به الکترود سولفات مس برای جلوگیری از صدمه پوشش و اثرات هیدروژن در فولادهای حساس دارد.

طراحی بستر آندی

موقعیت بستر آندی



طراحی بستر آندی

موقعیت بستر آندی

- معمولاً خط لوله، خارج از محدوده حوزه ولتاژ بستر آندی واقع شده است.
- برای محاسبه فاصله بین خط لوله و بستر آندی می توان از فرمول استفاده کرد. از آنجا که موقعیت زمین توسط عوامل زیادی تحت تأثیر قرار دارد، در نتیجه فقط می تواند اشاره شود.
- معمولاً قابل توجه است وقتی که پتانسیل در یک نقطه به ۵/ – ۱/ ولت نسبت به زمین دور برسد، بستر آندی می تواند به عنوان بستر آندی دور در نظر گرفته شود.

طراحی بستر آندی

موقعیت بستر آندی

$$X = \frac{0.00159IP}{Vx}$$

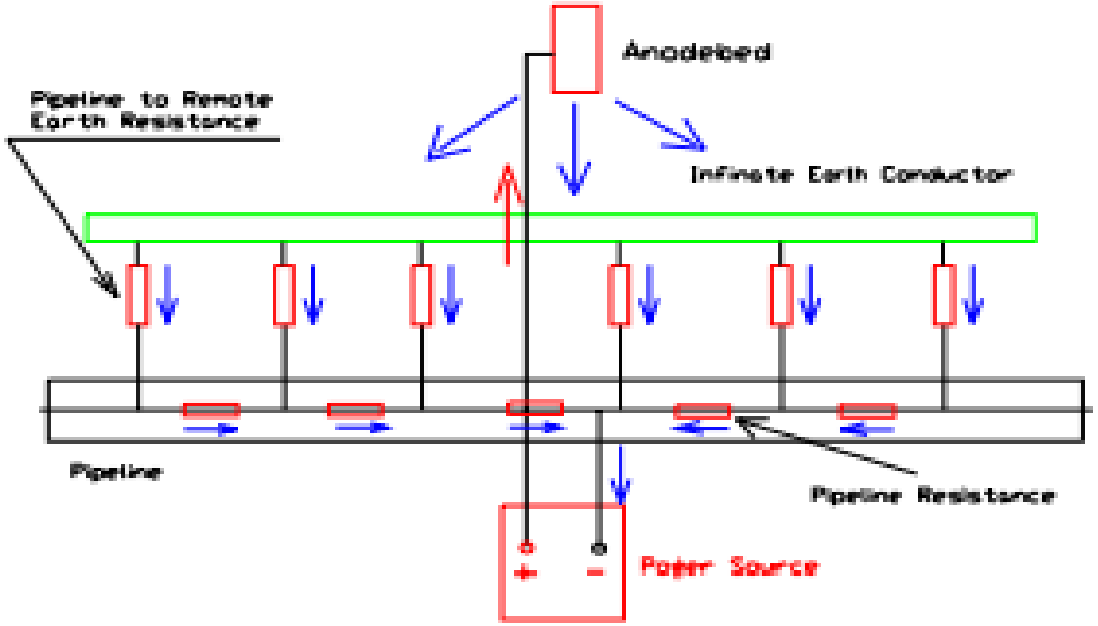
I: جریان آند — آمپر

P: مقاومت ویژه خاک — اهم.سانتی متر

V_x: پتانسیل در نقطه X — ولت

X: فاصله از بستر آندی — متر

طراحی بستر زمینی
جریان معادل



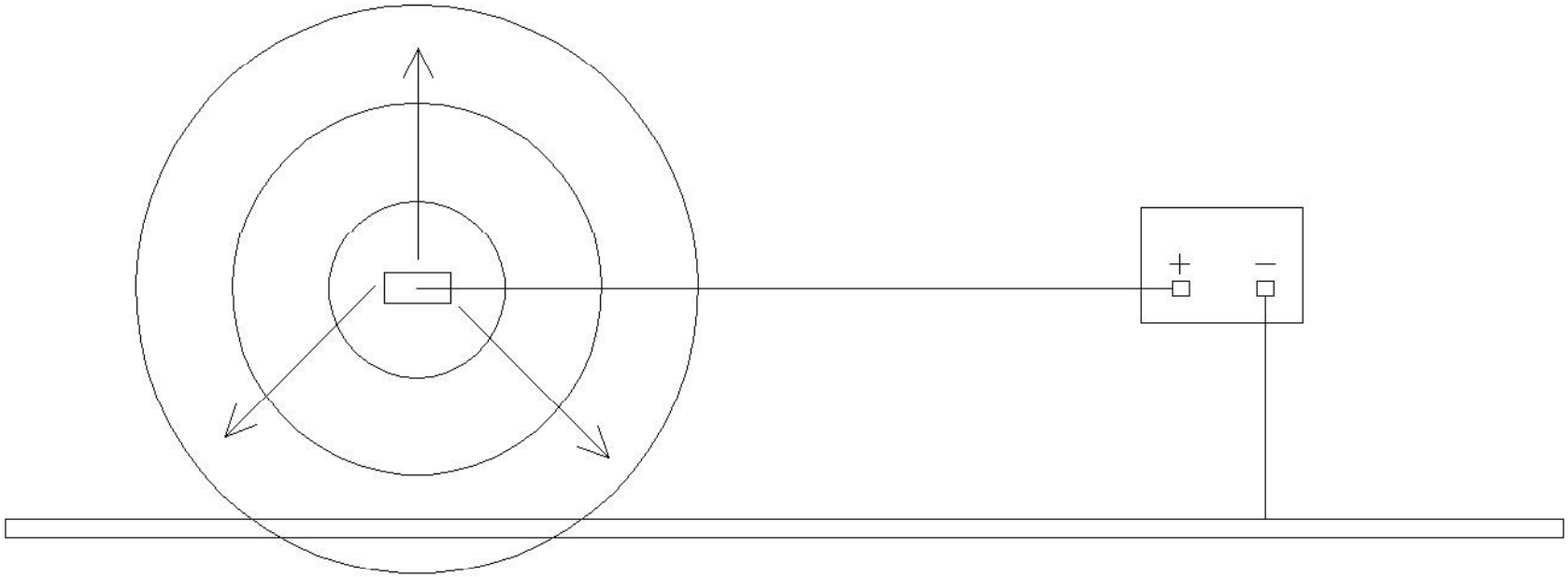
طراحی بستر زمینی

بستر آندی نزدیک

- خط لوله از محیط تحت تأثیر بستر آندی عبور خواهد کرد. فقط بخش کوچکی از خط لوله می تواند حفاظت شود.
- محدوده حفاظت خط لوله بوسیله یک آند، به مانند نور تابیده شده یک چراغ قوه بر روی دیوار است. همانطور که نور فلاش به دیوار منتقل شده، پرتو افکنی این منطقه کاهش، اما شدت نور افزایش می یابد.

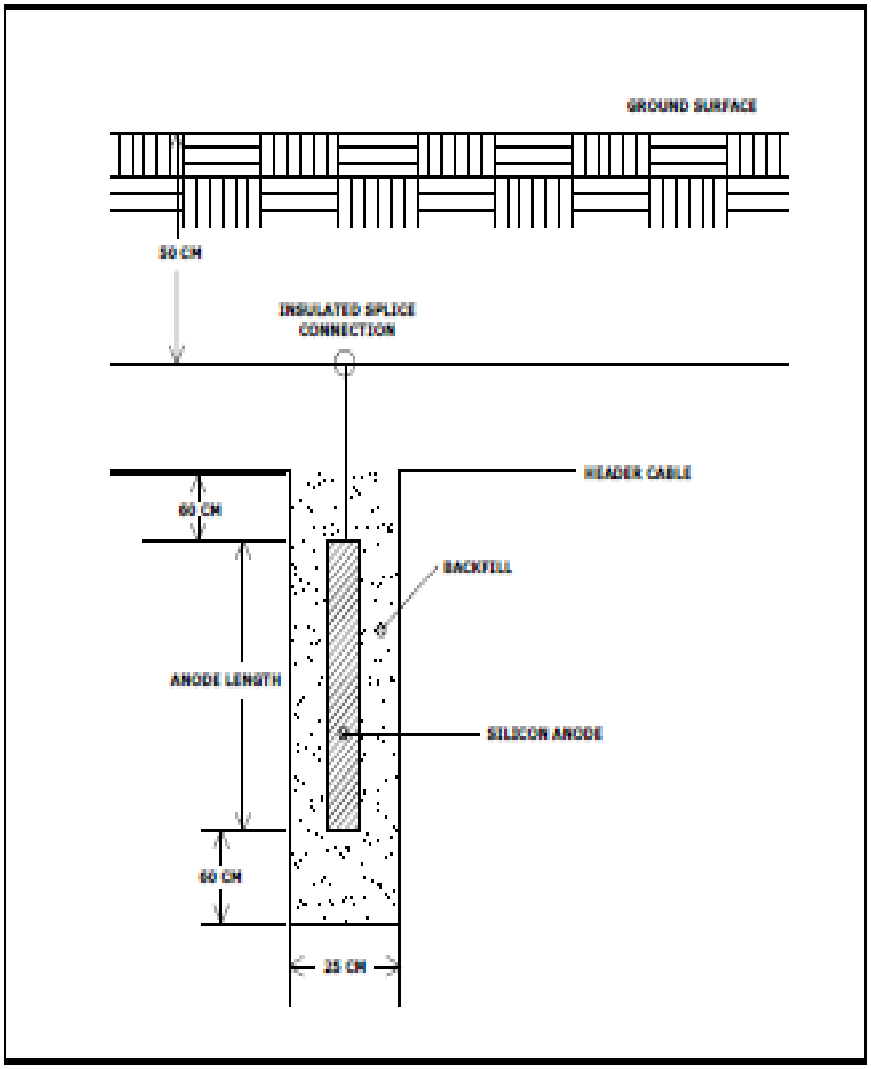
محافظ جریان تزریقی در یک خط لوله
بوسیله بستر آندی نزدیک

Due to the flow of the Current through the electrolyte, a Voltage field will be formed around the Anodebed.



Pipeline Passing through the Voltage Gradient field of the Anodebed

طراحی بستر آندی
پی پشت آندها



- قبل از شروع طراحی مقاومت ویژه خاک اندازه گیری خواهد شد.
- پی پشت با کربن به دو صورت عمل می کند:

۱. افزایش سایز آند و کاهش مقاومت زمین بستر آندی

۲. مصرف مواد در لبه های خارجی ستون پی پشت صورت می گیرد.

طراحی بستر زمینی
تعیین چگالی جریان

- مطابق NACE RP169 و تجربه نویسنده، برای حفاظت کاتدیک مطلوب، جریان ۱۰ میلی آمپر بر مترمربع برای فولاد بدون پوشش مدفون در خاک ها مورد نیاز است.
- جهت طراحی خط لوله جدید، یک ضریب برای آسیب دیدگی پوشش یا دانسیته جریان در نظر گرفته شده است و سپس جریان کل مورد نیاز محاسبه می شود.
- برای سازه موجود، بهتر است جریان با استفاده از آزمون میدانی یا مطابق تجربه تعیین شود.
- برای پوشش های معمول مورد استفاده، دانسیته جریان زیر در نظر گرفته می شود.
- قیر ذغال سنگی، اپوکسی پیوند ذوبی، پلی اتیلن: ۰۵/- ۰۱/ میلی آمپر در مترمربع
- پوشش سه لایه: ۰۱/ میلی آمپر در مترمربع

طراحی بستر زمینی
انتخاب مواد آند

- برای سازه کوچک در ناحیه با مقاومت ویژه پائین خاک، آند فدا شونده می تواند استفاده شود.
- در نواحی با مقاومت ویژه بالای خاک یا جریان زیاد مورد نیاز، حفاظت کاتدی جریان تزریقی استفاده خواهد شد.
- مطابق جریان و مقاومت ویژه خاک، نوع و تعداد مواد آند تعیین می شود.

طراحی بستر زمینی
مقاومت بستر آند تکی

$$Ra = \left(\frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L}\right) \cdot \left(\ln\left(\frac{4 \cdot L}{r}\right) - 1\right)$$

- Ra= مقاومت بستر آندی (اهم)
- P = مقاومت ویژه خاک (اهم- متر)
- L= طول آند (متر)
- r= شعاع آند(متر)

طراحی بستر زمینی
مقاومت بستر آند چند تایی

$$R = \frac{0.00159\,P}{NL}\left(Ln\frac{8L}{D} - 1 + \frac{2L}{S}Ln0.656N\right)$$

P: مقاومت ویژه خاک (اهم- سانتی متر)

N: تعداد آندها به صورت موازی

L: طول آند (متر)

D: قطر آند (متر)

S: فاصله بندی آند (متر)

R: مقاومت آندهای عمودی به صورت

موازی (اهم)

طراحی بستر زمینی
مقاومت کل مدار

- مقاومت زمین بستر آندی
- مقاومت خط لوله نسبت به زمین

۱. مقاومت را می توان از تغییر ولتاژ خط لوله وقتی که نیرو تقسیم بر جریان عرضه شده می شود، بدست آورد.

- مقاومت کابل از خط لوله به منبع تغذیه و از منبع تغذیه به بستر آندی.
- ولتاژ برگشتی بین بستر زمین و خط لوله.

۱. ولتاژ برگشتی، ولتاژی است که بین آندها و خط لوله در مقابل با اعمال ولتاژ وجود دارد.

۲. برای بستر زمین با پی پشت کربن دار مقدار ۲ ولت است.

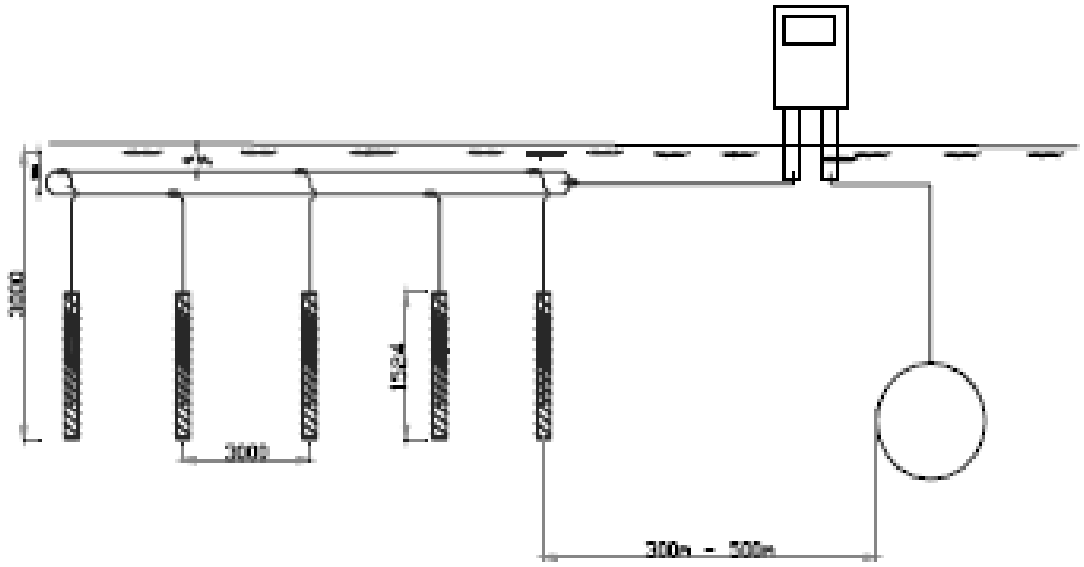
۳. در عمل، ولتاژ برگشتی را می توان بوسیله قرائت ولتاژ بین قطب مثبت و منفی ترمینال یکسوکننده، پس از خاموش کردن منبع تغذیه یکسوکننده اندازه گیری کرد.

طراحی بستر زمینی
کابل ها

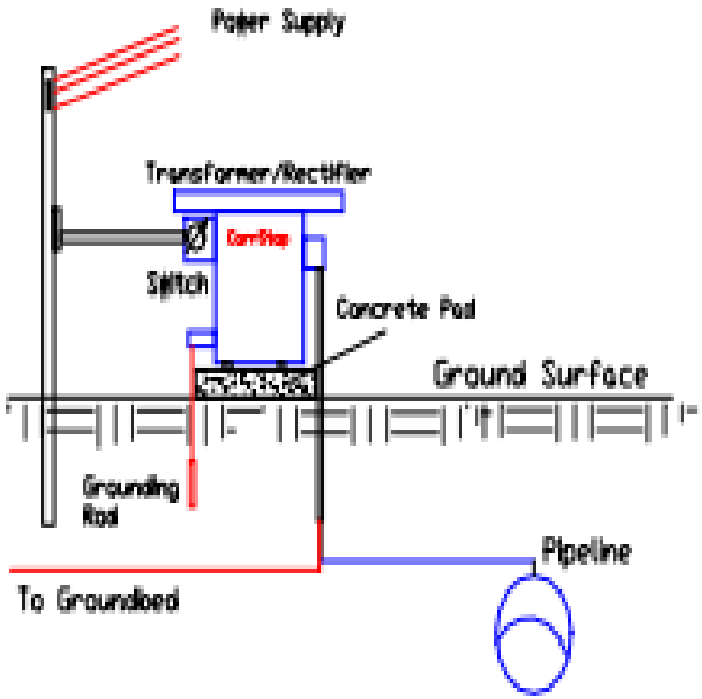
- برای کار حفاظت کاتدی، معمولاً پلی اتیلن عایق دار پی وی سی، کابلهای مس با روکش پلی اتیلن استفاده می شود. سایزهای کابل مورد نیاز برای بارگیری جریان مختلف می تواند به شرح زیر باشد:

جریان بر حسب آمپر	سطح مقطع هادی مسی
۰ - ۱	۱میلی متر مربع
۱ - ۵	۱میلی متر مربع
۵ - ۱۰	۱میلی متر مربع
۱۰ - ۲۵	۱میلی متر مربع

نصب حفاظت کاتدی



نصب حفاظت کاتدی
نصب یکسوکننده/ تبدیل کننده



- استانداردهای مختلف برای نصب یکسوکننده بسته به شرایط عملی و مقررات استفاده می شود.
- معمولاً دستگاه ضد انفجار در اتاق اندازه گیری نصب می شود.

حفاظت کاتدی خطوط مدفون
انتخاب سیستم

- معمولاً سیستم جریان تزریقی برای حفاظت کاتدی خطوط لوله مدفون است. با توجه به قیمت و در دسترس بودن جریان الکتریکی، نوع زمینی که خط لوله از آن عبور می کند، آند فداشونده ممکن است بعضی اوقات در نظر گرفته شود.
- استفاده از آندهای فداشونده وقتی یک یا بیشتر از شرایط زیر وجود دارد، ترجیح داده می شود.
- کمبود پرسنل ماهر برای تعمیر سیستم ICCP (حفاظت کاتدی جریان تزریقی).
- مسیر خط لوله برای نصب تجهیزات ICCP مناسب نمی باشد.
- منبع جریان در دسترس نباشد.
- حفاظت کاتدی تنها در نقاط حساس به کار گرفته می شود. (در قسمت هایی ازخاک با مقاومت کم، در غیر اینصورت معمولاً مقاومت خاک بالاست.)
- خط لوله در نواحی با تراکم بالا که ICCP، باعث تداخل با سایر سازه های فولادی مدفون خواهد شد.

حفاظت کاتدی خطوط مدفون

مثال طراحی:

- حفاظت کاتدی جریان تزریقی برای خط لوله نفت با قطر ۱۵۹ میلی متر مناسب است. از آنجا که هیچ سازه ای زیرزمینی در آن ناحیه نیست، بنابراین، سطح بستر آندی از آند پیش بسته بندی شده اکسید فلزی مخلوط استفاده می شود.
- اطلاعات طراحی

۱. مقاومت ویژه خاک در محدوده ای که بستر آندی مناسب می باشد، ۲۰۰ اهم – سانتی متر است.
۲. قطر لوله ۱۵۹ میلی متر است.
۳. طول لوله ۳۸ کیلومتر است.
۴. عمر طراحی سیستم ۱۵ سال است.
۵. دانسیته جریان طراحی ۱۰ میلی آمپر بر متر مربع برای لوله بدون پوشش است.
۶. لوله با اپوکسی پیوند ذوبی پوشش شده است.
۷. با فرض بازده ۹۹ درصد پوشش، بر اساس تجربه با این نوع پوشش. مقاومت پوشش ۲۵۰۰ اهم مترمربع است. خط لوله از پمپ جدا می شود.
۸. ما تصمیم گرفته ایم که مقاومت مدار سیستم حفاظت کاتدی نباید از ۲ اهم بیشتر شود.

حفاظت کاتدی خطوط لوله مدفون
مثال طراحی

- محاسبات

۱. مساحت سطح خارجی خط لوله: $S=\Pi\times D\times L=38000\times 3.14\times .159=16975\ m_2$

۲. جریان مورد نیاز: $I=S\times Cd\times Cb=16975\times 10\times 1\%=1697\ mA$

۳. محاسبه تعداد آندها: برای ۲۵ سانتی متر توسط ۱۵۰ سانتی متر بسته بسته بندی شده با ۴ میلی متر بوسیله ۱۲۰ سانتی متر آند میله ای اکسید فلزی مخلوط، جریان خروجی از هر یک از آندها ۱.۲ آمپر است. مطابق جریان مورد نیاز، دو آند برای تامین جریان مورد نیاز کافی است.

۴. محاسبه مقاومت زمین با یک آند: $R=6.1\ ohm$

۵. برای تطابق حداکثر ۲ اهم مقاومت مورد نیاز، تعداد ۴ آند مورد نیاز خواهد بود.

۶. تداخل دو جانبه آند در میان آندها در نظر گرفته شود، محاسبه مقاومت دوباره با فرمول چند آنده انجام می شود، نتیجه گرفته می شود که ۵ آند با فاصله ۳ متر مورد نیاز خواهد بود. مقاومت واقعی اتصال زمین ۱/۷۱ اهم است.

۷. این کاملاً نزدیک به مقاومت مورد نیاز ۲ اهم است بنابراین ۶ آند برای نوسان در مقاومت

حفاظت کاتدی خطوط لوله مدفون
مثال طراحی

- با ۶ آند، مقاومت زمین ۱/۴۹ اهم است.
- محل بستر آندی: برای اطمینان از توزیع یکنواخت جریان، محل بستر آندی باید مقداری از خط لوله فاصله داشته باشد، در مقاومت ویژه بالای خاک، بستر آندی باید فاصله بیشتری داشته باشد. مطابق این آزمایش، بستر آندی معمولاً ۵۰ تا ۳۰۰ متر از خط لوله قرار دارد. از آنجا که مقاومت ویژه خاک در این مورد بسیار کم است، بستر آندی در فاصله ۵۰ متری از خط لوله قرار می گیرد.
- مقاومت کابل آند: با انتخاب ۱۰ میلی مترمربع، مقاومت کابلها ۸/ اهم در ۱۰۰ متر است، با ۶ آند مقاومت هدایت، ۱۴/ اهم خواهد بود.
- امروزه، اگر بستر آندی از تبدیل کننده/ یکسوکننده خیلی دور نباشد، هر سیم آند بدون اتصال به یکدیگر به طور مستقیم به تبدیل کننده/ یکسوکننده وصل خواهد شد.

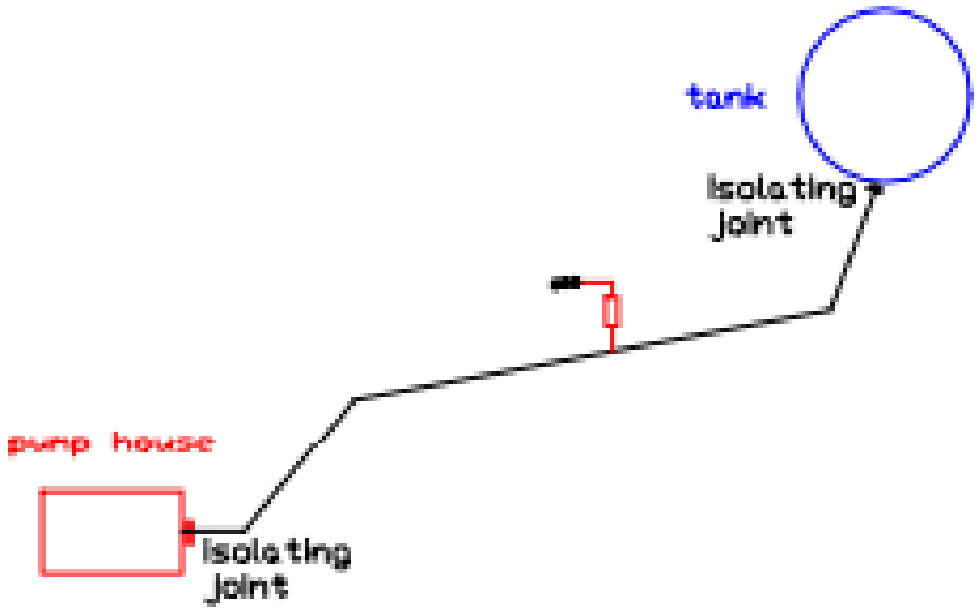
حفاظت کاتدی خطوط لوله مدفون
مثال طراحی

- مقاومت لوله نسبت به خاک: اهم ۱۵/= ۲۵۰۰/۱۶۹۷۵
- مقاومت کل= اهم ۱/۷۸= ۱۵/+ ۱۴/+ ۱/۴۹ ، مقاومت در خط با الزامات طراحی است.
- محاسبه ولتاژ تبدیل کننده/ یکسو کننده: ولت ۵/۶=۱/۷*۱/۷۸*۱۲۰٪+۲= V

(وقتی از مواد کک برای پی پشت استفاده می شود، ولتاژ برگشتی ۲ ولت به محاسبات اضافه خواهد شد)

- انتخاب تبدیل کننده/ یکسو کننده: بر اساس ولتاژ و جریان مورد نیاز و ظرفیت های استاندارد موجود بازار ۱۰ ولت در ۵ آمپر است.

حفاظت کاتدی خطوط لوله مدفون
مثال طراحی



حفاظت کاتدی با آندهای منیزیم

- حفاظت کاتدی با آند فداشونده، برای خط لوله نفت جوش داده شده به قطر ۱۵۹ میلی متر مناسب است. از آنجا که سازه مدفون دیگری در محدوده وجود دارد.
- اطلاعات طراحی:

۱. مقاومت ویژه خاک در محدوده ای که محل بستر زمین مناسب است، ۲۰۰۰ اهم – سانتی متر می باشد.
۲. قطر خط لوله ۱۵۹ میلی متر است.
۳. طول خط لوله ۳۸ کیلومتر است.
۴. عمر طراحی سیستم ۱۰ سال است.
۵. دانسیته جریان طراحی ۱۰ میلی آمپر بر مترمربع از خط لوله بدون پوشش است.
۶. خط لوله با اپوکسی پیوند ذوبی پوشش شده است.
۷. با فرض بازده ۹۹ درصدی پوشش بر اساس تجربه، با این نوع پوشش، مقاومت پوشش ۲۵۰۰ اهم– مترمربع است.
۸. خط لوله از پمپ خانه و مخزن بوسیله اتصال عایقی جداسازی شده است.

طراحی حفاظت کاتدی
خط لوله

- **محاسبات**

۱. مساحت سطح خارجی خط لوله:۱۶۹۷۵=۳۸۰۰۰*۳/۱۴*۰/۱۵۹=L×D×Π=S مترمربع

۲. جریان مورد نیاز:۱۶۹۷۵=۱٪*۱۰*۱۶۹۷۵ =I میلی آمپر

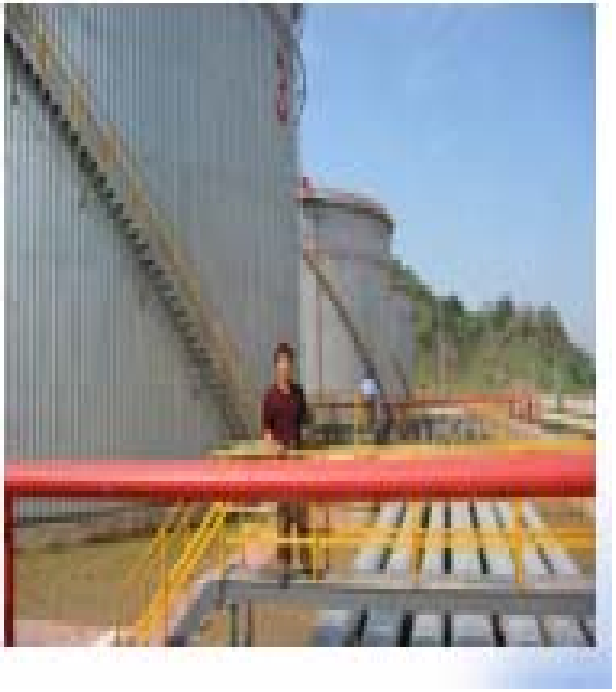
۳. محاسبه وزن آندها در هر ظرفیت جریان محاسبه می شود: وزن = ۱۶۰ کیلوگرم مطابق فرمول زیر: اگر آند ۷/۷ کیلوگرمی انتخاب شود، تعداد ۲۱ آند مورد نیاز خواهد بود.

$$W=I\times t\times 8766/U\times Z\times Q \qquad Ra=(\rho/2\Pi L)(Ln(4l/r)-1)$$

۱. بررسی تعداد آند در مقاومت زمین انجام می شود. مقاومت زمین تک آندی مطابق فرمول بالا محاسبه می شود: اگر ابعاد بسته بندی آند ۷۶۰ ×۲۵۰ میلی متر باشد، مقاومت زمین از هر آند، ۹/۲ اهم است. با فرض اینکه پتانسیل پلاریزه شده خط لوله ۰/۹- ولت است، پتانسیل مدار باز آند منیزیم ۱/۷۵- ولت نسبت به الکترود سولفات مس است. ولتاژ متحرکه ۰/۸۵ ولت خواهد بود. جریان خروجی آند تکی ۹۲ میلی آمپر است. برای دست یافتن به جریان خروجی ۱۶۹۷ میلی آمپر، ۱۸ آند مورد نیاز خواهدبود، که کمتر از تعداد محاسبه شده از ظرفیت جریان است. بنابراین تعداد ۲۱ آند مورد نیاز خواهد بود.

۲. آندها در امتداد خط لوله به طور یکنواخت توزیع خواهند شد.

حفاظت کاتدی کف مخزن



- برای حفاظت کاتدی کف مخزن، استاندارد API 651 جهت حفاظت کاتدی مخازن ذخیره نفت روی زمین استفاده می شود.
- اصول حفاظت کاتدی خط لوله، قابل کاربرد برای حفاظت مخزن است.
- آند می تواند در امتداد اولین مخزن یا پائین تر از مخزن توزیع شود. توسعه جدید، با استفاده از آند شبکه ای است.

حفاظت کاتدی کف مخزن
آند نواری منیزیم

- آند منیزیم نواری برای حفاظت کاتدی کف مخزن کوچک استفاده می شود.

طراحی حفاظت کاتدی
خارج مخزن نفت

- پروژه: حفاظت خارجی کف مخزن محصولات نفتی:
- استانداردهای مرجع

۱. BS7361-1991، حفاظت کاتدی بخش اول برای کاربردهای زمینی و دریائی
۲. NACE RP0169-1996، کنترل خوردگی خارجی سیستم لوله فلزی غوطه ور یا مدفون
۳. API 651 حفاظت کاتدی روی زمین مخزن ذخیره مواد نفتی

- **اطلاعات طراحی**

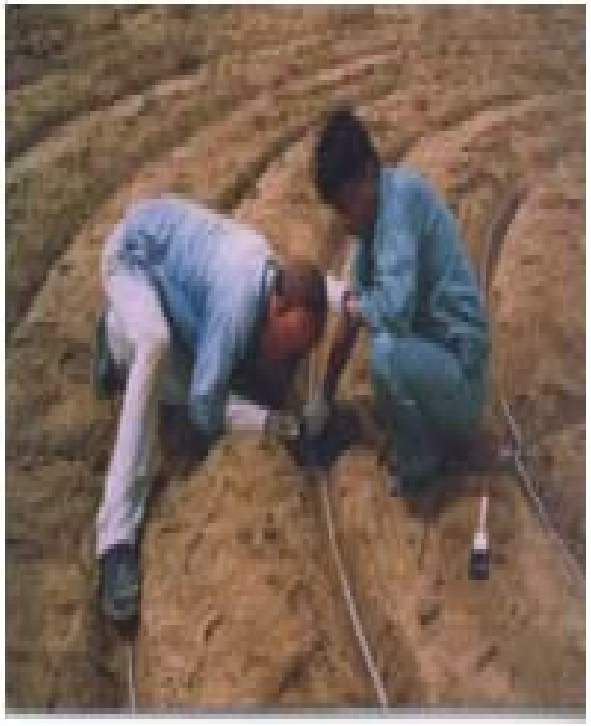
۱. قطر مخزن: ۲۲ متر
۲. دمای محیط: ۲۵ درجه سانتی گراد
۳. مقاومت ویژه خاک: ۸۰۰۰ اهم. سانتی متر
۴. ضریب آسیب دیدگی پوشش: ۵۰ درصد
۵. دانسیته جریان: ۱۰ میلی آمپر بر مترمربع
۶. عمر طراحی: ۱۰ سال.

طراحی حفاظت کاتدی
خارج مخزن نفت

- **محاسبات:**
- مساحت حفاظت شده: ۳۸۰= ۳/۱۴×^{2} ۱۱ مترمربع
- مساحت حفاظت نشده: ۱۹۰ مترمربع
- جریان مورد نیاز، ۱۹۰۰ میلی آمپر است.

$$W = \frac{I \times t \times 8766}{U \times Z \times Q}$$

نصب حفاظت کاتدی
خارج مخزن نفت



- وزن= ۸۰ کیلوگرم
- طول نوار:۵۰۰= ۰,۳۶/۱۸۰ متر
- مقاومت زمین : ۴۲/ اهم
- پتانسیل منیزیم: ۱/۷۵- ولت نسبت به الکترود سولفات مس
- پتانسیل پلاریزاسیون: ۰/۹- ولت نسبت به الکترود سولفات مس
- ولتاژ موثر: ۰/۸۵ ولت.
- جریان خروجی واقعی:۱/۹= ۰,۸۵/۰,۴۲ آمپر.
- ۲/۰۲> ۱/۹ .خوب

حفاظت کاتدی کف مخزن
نصب آند رشته ای

- آند رشته ای شکلی از اکسید مخلوط فلزی نواری که به نوار رسانای تیتانیوم متصل شده است.
- این آندها در تقاطع جوش داده شده اند.

حفاظت کاتدی کف مخزن
نصب آند رشته ای

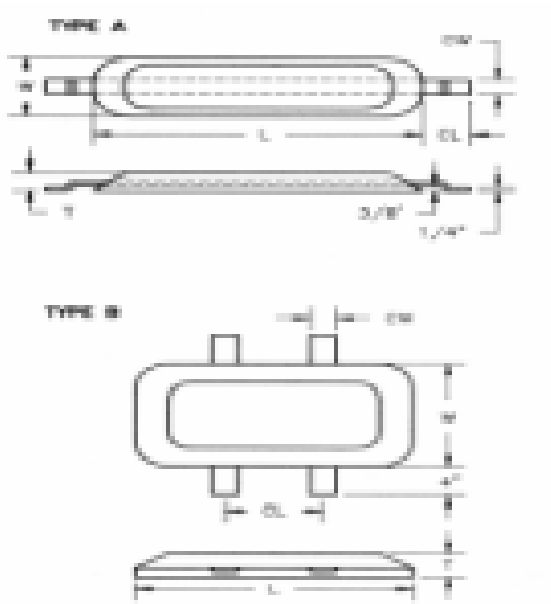
- می تواند یک جریان یک شکل برای کف مخزن فراهم نماید.
- تداخل جریان با این نوع از بستر آندی وجود نخواهد داشت.

حفاظت کاتدی کف مخزن
نصب آند رشته ای

حفاظت کاتدی کف مخزن

- مدت زمان طراحی برای بیش از ۴۰ سال است.
- این سیستم زمینی مخزن نیاز به تعمیرات اساسی دارد.
- نصب و راه اندازی مجموعه بسیار ساده است و کیفیت آن به سادگی قابل تضمین است.

حفاظت کاتدی کف مخزن
داخلی



- معمولاً کف مخزن نفت با آندهای آلومینیوم حفاظت می شود، چرا که همیشه عمق آب شور در کف وجود دارد.
- دانسیته جریان پیشنهادی برای نوار فلزی ۱۰۰میلی آمپر بر مترمربع و ضریب خرابی پوشش ۱۰ درصد است.
- تعداد آند، مطابق عمر طراحی و جریان مورد نیاز و آندهایی که به طور یکنواخت در کف مخزن توزیع خواهند شد، محاسبه می شود.

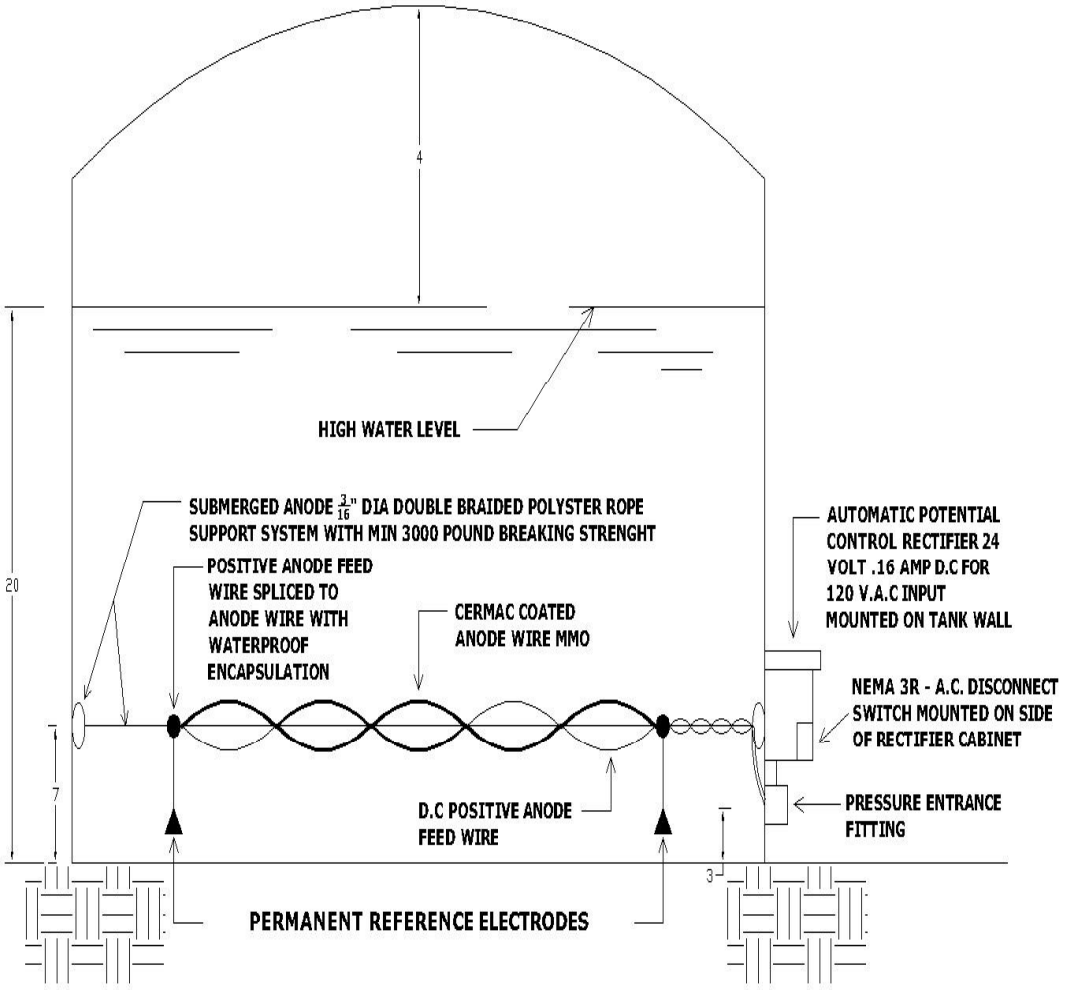
طراحی حفاظت کاتدی
داخل مخزن نفت

- مخزن نفت خام: ۶۰ متر
- دما: ۴۵ درجه
- ارتفاع دیواره مخزن حفاظت شده ۵/۱ متر است.
- عمر طراحی ۱۰ سال می باشد.
- ضریب خرابی پوشش ۱۰درصد.
- دانسیته جریان: ۱۶۰ میلی آمپر بر متر مربع
- مساحت کف مخزن ۲۸۲۶= ۳/۱۴*۳۰*۳۰ مترمربع

طراحی حفاظت کاتدی
داخل مخزن نفت

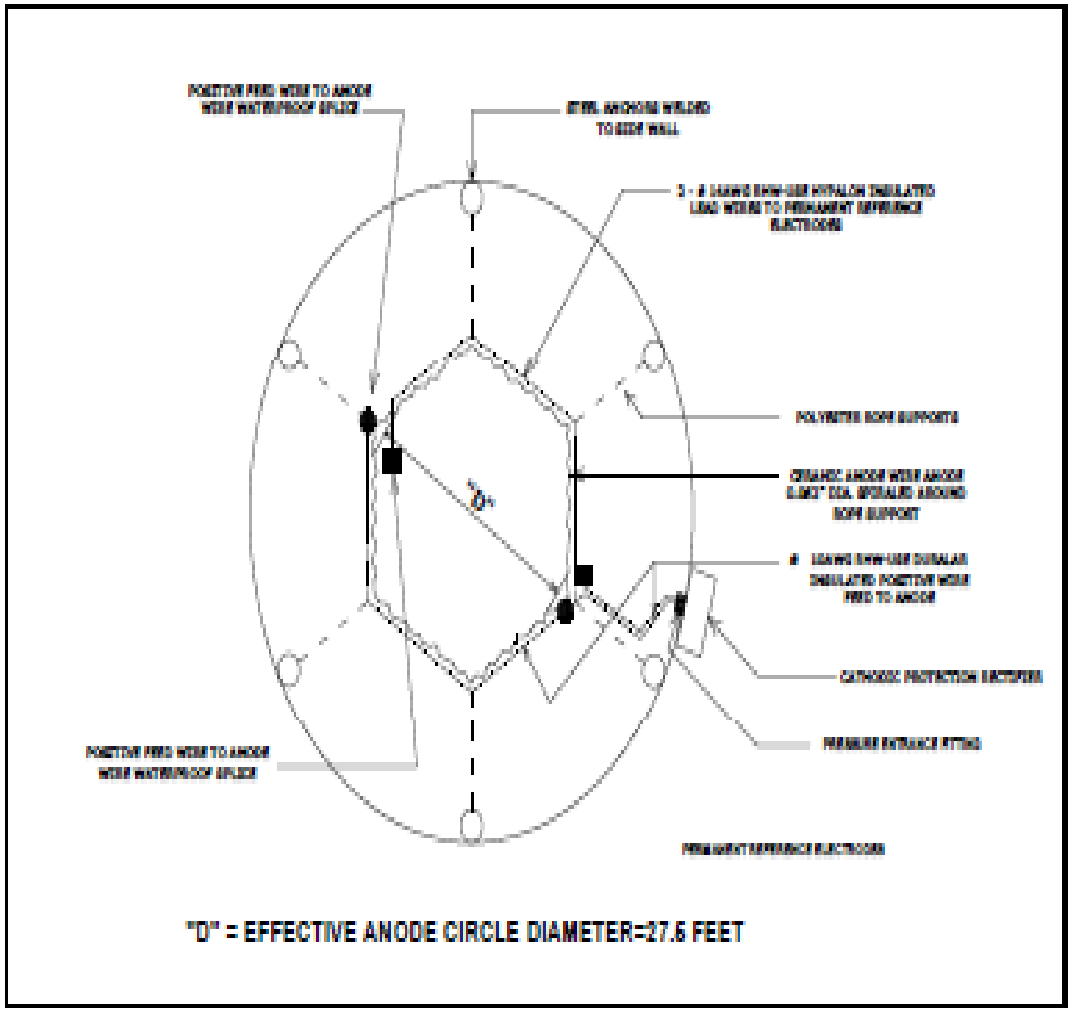
- مساحت: ۲۸۲=۱/۵*۶۰*۳/۱۴ مترمربع
- کل مساحت: ۳۰۸۸ = ۲۸۲+۲۸۲۶مترمربع.
- جریان: ۴۹۴۱=۱۰٪*۳۰۸۸*۱۶۰میلی آمپر، ۵ آمپر.
- بازده جریان: ۱۳۲۵
- وزن آند : ۴۳۲ کیلوگرم
- اگر آند ۴/۵ آلومینیوم انتخاب کنیم، ۹۶ قطعه استفاده خواهد شد.
- آندها به طور یکنواخت در کف مخزن توزیع خواهند شد.

حفاظت کاتدی مخزن آب
داخلی



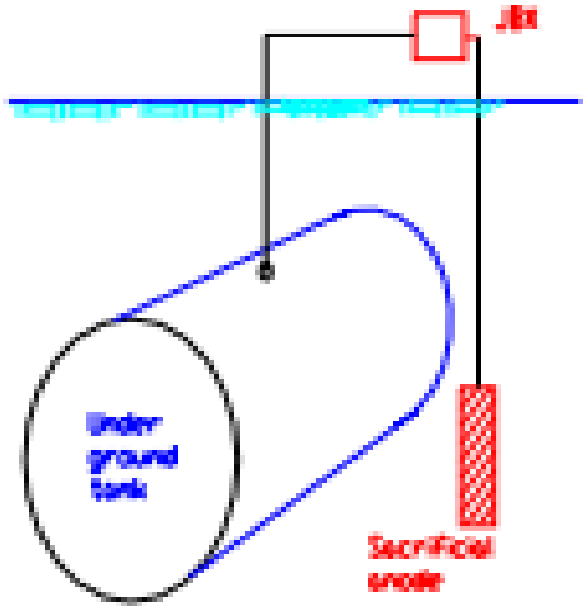
- معمولاً برای مخازن نگهدارنده آب، دانسیته جریان، ۲۵ میلی آمپر بر مترمربع است.
- اگر روش جریان تزریقی استفاده شود، ماکزیمم ضریب خرابی پوشش ۲۰ درصد است.
- اگر آند فدا شونده استفاده شود، متوسط ضریب خرابی پوشش ۱۰ درصد است.

حفاظت کاتدی مخزن آب
داخلی



- با استفاده از آند سیمی MMO، سیستم می تواند به آسانی نصب شود.
- توجه زیادی به مهر و موم اتصال کابل انجام می شود.

حفاظت کاتدی مخازن زیرزمینی



- مخازن زیرزمینی می توانند هم به وسیله آند فداشونده و هم جریان تزریقی حفاظت شوند.
- برای یک یا تعداد کم مخازن، حفاظت بوسیله آندهای فداشونده که موقعیتشان چند متر دورتر است انجام می شود و باید در توزیع یکنواخت آندها دقت شود.
- برای مخزن بزرگ یا محوطه مخازن نفت، اغلب جریان تزریقی برای جریان زیاد مورد نیاز انتخاب می شود. آندها باید به طور کاملاً یکنواخت توزیع شوند.

حفاظت کاتدی مخازن زیرزمینی
با آند گالوانیکی

- حفاظت بوسیله آند فداشونده

۱. آندها باید ترجیحاً در یک خط عمود بر محور مخازن در فاصله ای حدود ۴/۵ متر از سطح خارجی مخزن قرار گیرند. اگر دو آند استفاده شود، هر یک باید در هر سمت از مخزن قرار گیرد. برای یک مخزن به خوبی پوشش شده، محل قرارگیری آندها مهم نیست و آندها با توجه به شرایط در فاصله حدود ۳ تا ۶ متری از مخزن قرار می گیرند.

۲. کابل را می توان در لوله تهویه، آویزه، هر جا که مناسب باشد متصل کرد.

۳. کابل از مخزن و کابل از آند می بایست از طریق یک جعبه اندازه گیری وصل شود. یک سیم از مخزن جهت اندازه گیری جریان / پتانسیل نگه داشته می شود.

حفاظت کاتدی مخازن زیرزمینی
حفاظت کاتدی جریان تزریقی

- حفاظت به وسیله سیستم جریان تزریقی

۱. برای گروه بزرگ مخازن، سیستم جریان تزریقی بسیار مناسب است.

۲. حتی گسترش حفاظت بوسیله مکان مناسب آندها باید تضمین شود.

۳. اتصال های عایقی باید بر روی خط منشعب از مخزن نصب شوند. اتصال عایقی باید جهت جلوگیری از مصرف بالای جریان توسط خطوط بد پوشش داده شده یا تماس هایی از خطوط با سایر سازه های فلزی دیگر، نزدیک به مخزن باشد.

حفاظت کاتدی مبدل های حرارتی

- عمومی

۱. بدلیل دمای بالای آب و جریان زیاد مورد نیاز، حفاظت کاتدی جریان تزریقی برای حفاظت کاتدی جعبه کولرها پیشنهاد می شود، تقریباً فضای مورد نیاز برای آندها کوچک و تعداد و ابعادشان محدود می باشد.

۲. دمای بالای متداول آب در جعبه کولرها، اغلب بالای ۴۰ درجه است که باعث می شود در برابر خودخوردگی آند منیزیم بیش از حد بالا به طور رضایتبخش استفاده شود.

۳. آندهای روی رضایتبخش نیستند زیرا جریان بسیار کمی در دمای بالا تولید می کنند و قطبیتشان(عملکردشان) نسبت به فولاد ممکن است در دمای بالای ۶۰ درجه معکوس گردد.

حفاظت کاتدی مبدل های حرارتی
تعیین جریان

- جریان مورد نیاز

۱. با آب دریا به عنوان منبع خنک کننده و دمای آب تا ۴۵ درجه، دانسیته جریان مورد نیاز برای حفاظت کاتدی فولاد ۱۱۰ تا ۲۲۰ میلی آمپر بر مترمربع است.

۲. معمولاً دیوار جعبه کولر سیمانکاری می شود و جریان مورد نیاز برای حفاظت ناچیز است. محاسبه با استفاده از اطلاعات داده شده در بالا برای محاسبه جریان کافی است.

۳. به خاطر مجاورت نزدیک آندها با لوله های حفاظت شده کاتدی، پتانسیل های لوله نسبت به آب را باید به دقت مورد استفاده قرار داد و نقاطی که در آنها این اندازه گیریهای بررسی انجام می شوند باید تا حد امکان از آندها دور باشند.

۴. پتانسیل لوله نسبت به آب باید در ۸۵/- ولت نسبت به سولفات مس برقرار باشد.

حفاظت کاتدی مبدل های حرارتی

- مواد آند

۱. همانطور که در بالا گفته شد، از آنجا که فضای در دسترس کوچک است، آندهای تیتانیوم با پوشش پلاتین به خصوص مناسب برای استفاده در جعبه های خنک کننده با آب تازه یا حاوی نمک می باشد.

۲. آند های آلیاژی سرب جهت استفاده در آب تازه مناسب نیستند.

۳. امکانات برای اندازه گیری جریان در سیم رابط آند باید فراهم شود.

حفاظت کاتدی غلاف چاه نفت

- عمومی:

۱. علت خوردگی غلاف ممکن است باکتری احیاء کننده سولفات، آب اسیدی، یا پیل های خوردگی ایجاد شده بین ساختارهای آب با محتوی مختلف نمک یا بین غلاف و جریان خطوط باشد.

۲. حفاظت کاتدی فقط در سطح خارجی غلاف از خوردگی جلوگیری می کند.

حفاظت کاتدی غلاف چاه نفت
تعیین جریان

- جریان مورد نیاز

۱. دانسیته جریان مورد نیاز حفاظت مطلوب، از ۵ تا ۳۰ میلی آمپر در مترمربع در سطح غلاف می باشد. مقادیر متوسط جریان برای حفاظت از چاه ها با عمق مختلف به شرح زیر می باشد:

عمق تقریبی (متر)	جریان (آمپر)
۹۰۰	۲
۱۵۰۰	۵
۲۴۰۰	۳۰

حفاظت کاتدی غلاف چاه نفت
تعیین جریان

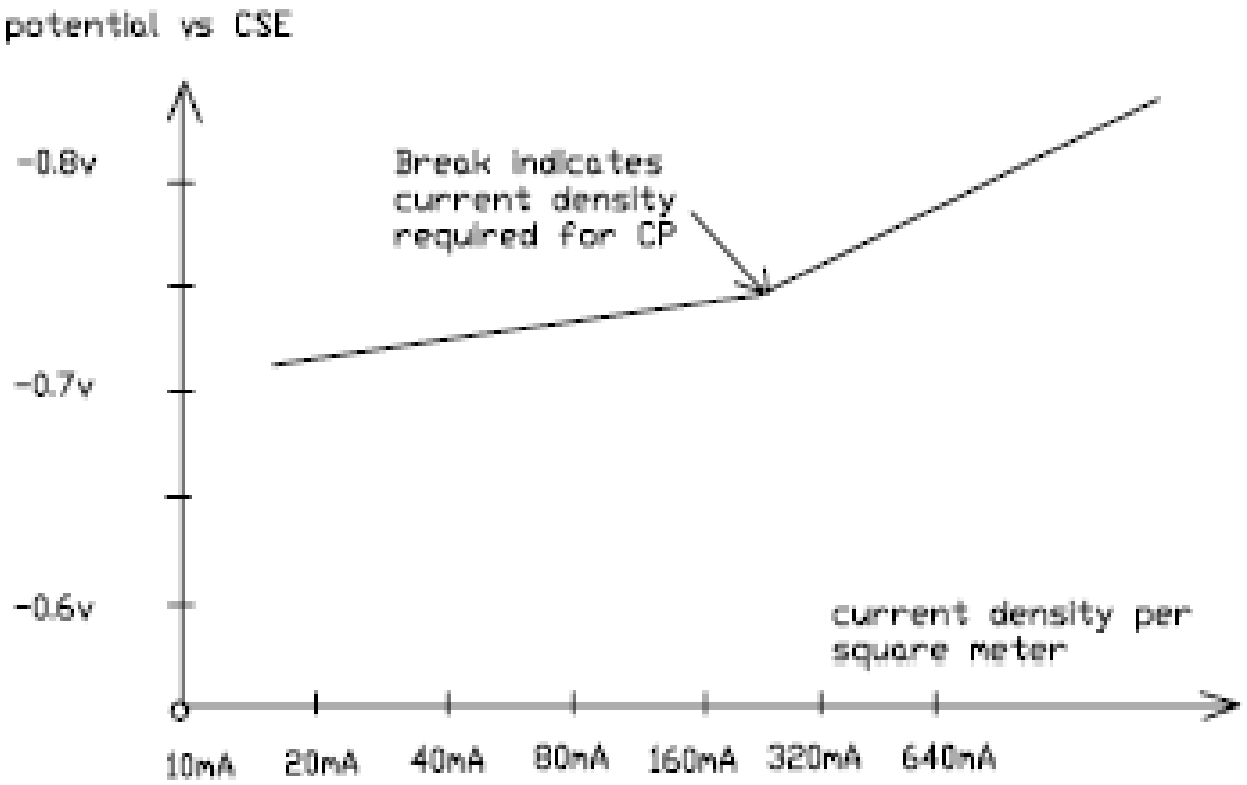
- جریان مورد نیاز برای حفاظت از چاه بوسیله اندازه گیری پتانسیل از سر چاه نسبت به الکترود سولفات مس تعیین می شود، جریان به صورت مرحله به مرحله اعمال می شود.
- جریان مورد نیاز از ارتباط جریان / پتانسیل تعیین می شود.

۱. نمودار نشان می دهد پتانسیل فولاد نسبت به خاک در برابر دانسیته جریان، لگاریتمی است. ارتباط یک خط راست با شیب ناچیز، در یک جریان کم است. بعد از نقطه شکست، منحنی به عنوان یک خط مستقیم با افزایش زیاد در جریان ادامه می یابد. نقطه شکست نشان دهنده دانسیته جریان مورد نیاز برای فراهم شدن حفاظت کاتدی می باشد.

۲. به عنوان کنترل، جریان الکتریکی در غلاف با استفاده از یک ابزار مجهز به فنر تماس (کمربند ایمنی) در فواصل ۷/۵متر که داخل غلاف اجرا شده، اندازه گیری می شود. از اختلاف پتانسیل این تماس ها، جهت و مقدار جریان الکتریکی جاری در غلاف را می توان با استفاده از قانون اهم نتیجه گرفت.

حفاظت کاتدی غلاف چاه نفت

تعیین جریان



حفاظت کاتدی غلاف چاه نفت
تعیین جریان

- **دستورالعمل تست**

۱. اندازه گیری پتانسیل طبیعی سر چاه.

۲. افزایش جریان با ۱/ آمپر هر ۲ تا ۳ دقیقه.

۳. اندازه گیری پتانسیل خاموش لحظه ای.

۴. جریان نباید بیش از دو ثانیه قطع باشد، سپس یک جریان بزرگتر به غلاف اعمال می شود.

۵. پتانسیل غلاف نسبت به خاک و جریان اعمال شده می بایست بر روی کاغذ گراف نیمه لگاریتمی ترسیم شود.

۶. جریان مورد نیاز در نقطه تقاطع گرفته شده است.

۷. یک راه ساده در عمل، حفظ پتانسیل خاموش سر چاه در ۱/۱۵- ولت نسبت به الکترود سولفات مس است. دانسیته جریان کاهش یافته در محدوده ۳۰ - ۵ میلی آمپر در مترمربع است.

حفاظت کاتدی غلاف چاه نفت
انتخاب سیستم

- سیستم جریان تزریقی

۱. با سیستم حفاظت کاتدی جریان تزریقی، بستر آندی در عمق ۳۰ تا ۶۰ متری چاه یا در یک موقعیت مرکزی، وقتی چاههای بیشتری با یک سیستم حفاظت کاتدی جریان تزریقی محافظت می شوند، قرار می گیرند.

۲. سر چاه باید از خط جریان به جهت جلوگیری از هدر رفتن جریان به سایر سازه ها و جلوگیری از جریان سرگردان عایق شود.

۳. وقتی چندین چاه با یک سیستم حفاظت کاتدی جریان تزریقی حفاظت می شوند، هر یک باید از طریق یک مقاومت و یک رابط ۰۱/ اهمی به قطب منفی منبع تغذیه جریان، جهت اندازه گیری جریان وصل شوند. گاهی اوقات استفاده از خطوط جریان به عنوان هادی منفی به جای کابل های بین دیوارها و منبع یکسو کننده/ تبدیل کننده سودمند است.

انتخاب سیستم حفاظت کاتدی برای غلاف چاه نفت

- آندهای فداشونده
- آندهای منیزیم وقتی جریان کمی نیاز است، مورد استفاده قرار می گیرد. به طور کلی، این آندها برای حفاظت تنها ۹۰ - ۶۰ متر از یک چاه نفت مناسب هستند.
- چاههای محافظت نشده واقع در محدوده ۴۵۰ متری از چاه حفاظت شده یا بستر زمین آن، باید در برابر جریان سرگردان بوسیله اتصال یک مقاومت به سیستم حفاظت کاتدی برای تخلیه ۱ آمپر جریان خروجی یا با نصب آندهای منیزیم حفاظت شوند.

تداخل جریان سرگردان

- جریان سرگردان، جریانهای مستقیمی است که در زمین از منبعی غیر از منبع مربوط به خط لوله که تحت تأثیر آنها قرار گرفته است، منتقل می شود. باعث خوردگی در یک خط لوله می شود، جریان سرگردان باید در یک سطح از خط لوله جاری شود، در امتداد خط لوله به سطح دیگر جاری و خط لوله را ترک می کند. در سطحی که جریان خارج می شود، باعث خوردگی می شود.
- منابع جریان سرگردان شامل:

۱. سیستم حفاظت کاتدی جریان تزریقی.

۲. سیستم عبور جریان مستقیم.

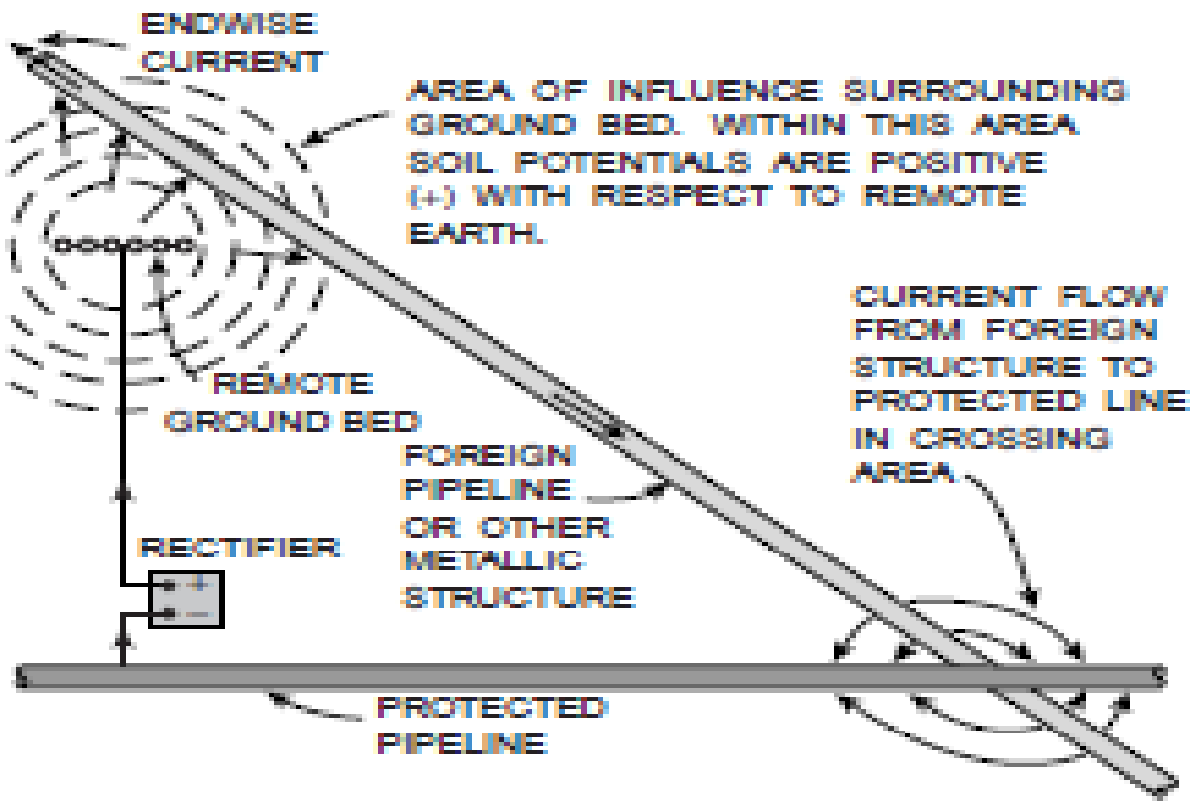
۳. استخراج معادن و جوش جریان مستقیم.

۴. خطوط انتقال جریان مستقیم با ولتاژ بالا.

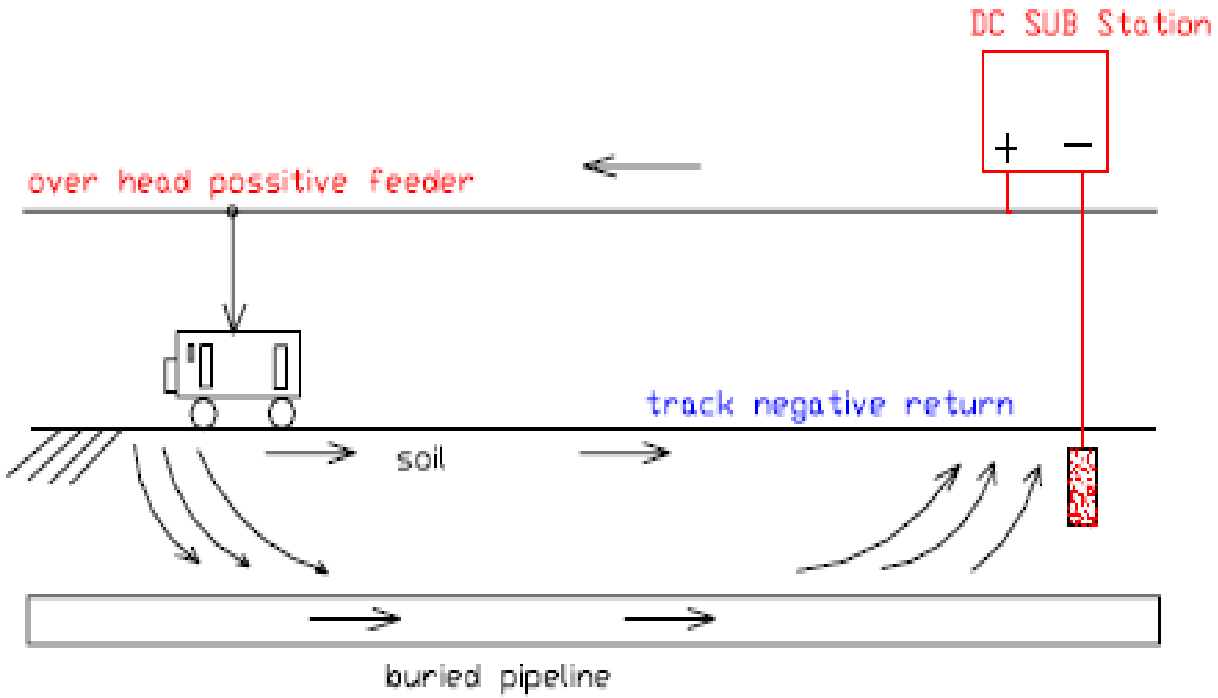
جریان سرگردان ناشی از سیستم های حفاظت کاتدی

- سیستم حفاظت کاتدی جریان تزریقی می تواند در خطوط لوله مجاور، با توجه به موقعیت بستر آندی و خط لوله باعث تداخل جریان سرگردان شود .
- پتانسیل خط لوله غریبه با خاموش و روشن کردن منبع خط لوله حفاظت شده، تغییر خواهد کرد.

جریان سرگردان ناشی از سیستم های حفاظت کاتدی



جریان سرگردان ناشی از سیستم حمل و نقل جریان مستقیم



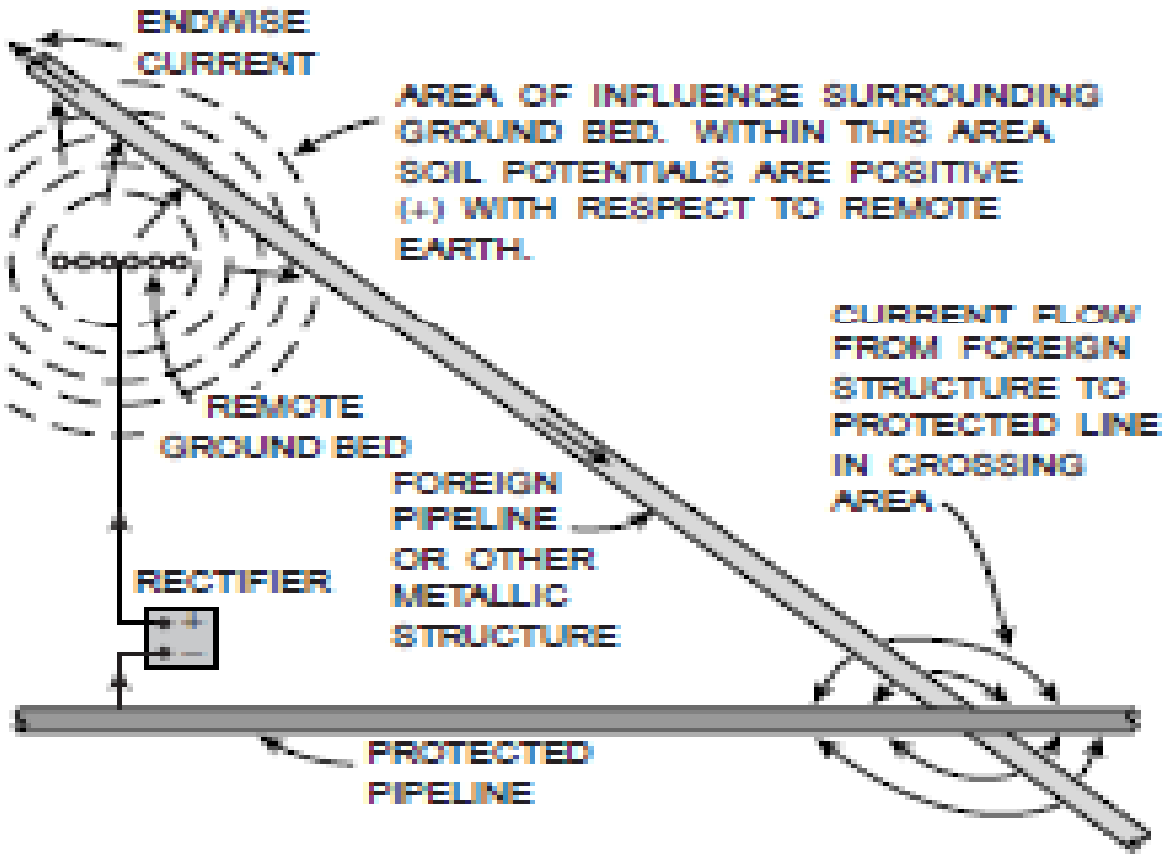
کاهش تداخل جریان سرگردان

- گام اول این است که، آیا سازه دوم، تحت تأثیر می باشد. این بوسیله هر گونه تغییرات ایجاد شده در پتانسیل فولاد نسبت به خاک از سازه حفاظت نشده انجام می شود، وقتی جریان حفاظت کاتدی از وضعیت خاموش به روشن جابجا شود. اگر پتانسیل فولاد نسبت به خاک خیلی مثبت شود، به طور مثال با ۵۰ میلی ولت یا بیشتر، وقتی حفاظت کاتدی در وضعیت روشن است، سازه حفاظت نشده عامل افزایش خوردگی به عنوان یک نتیجه از بهره برداری سیستم حفاظت شده می باشد.
- روش های کاهش تداخل شامل:
- اتصال های بین خطوط لوله تأثیرگذار و تأثیرپذیر.
- استفاده از آند فداشونده یا اضافه کردن تبدیل کننده/ یکسوکننده در نقطه تقاطع.
- استفاده از پوشش ها یا موانع.

کاهش تداخل جریان سرگردان
کابل های انتقال جربان

- مقدار مقاومت کابل به گونه ای انتخاب می شود که مقدار پتانسیل خط غریبه در حالیکه تبدیل کننده/ یکسوکننده روشن و مؤثر کار می کند، با مقدار مشاهده شده و ثبت شده پیش از نصب کابل با تبدیل کننده/ یکسوکننده خاموش، یکسان باشد.
- به عبارتی دیگر، پتانسیل خط غریبه توسط عملیات سیستم حفاظت کاتدی خط لوله حفاظت شده، تحت تأثیر قرار نخواهد گرفت.

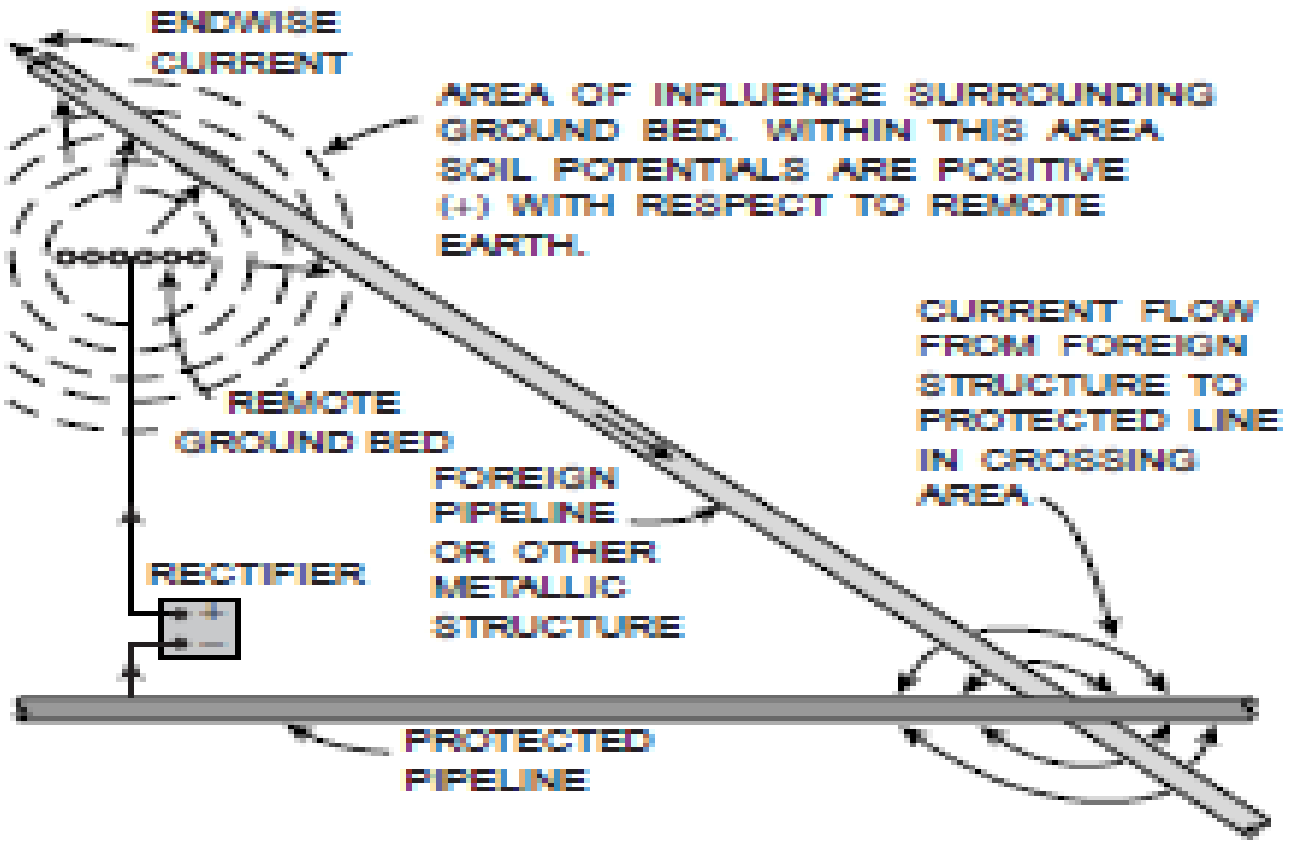
کاهش تداخل جریان سرگردان
کابل های انتقال جریان



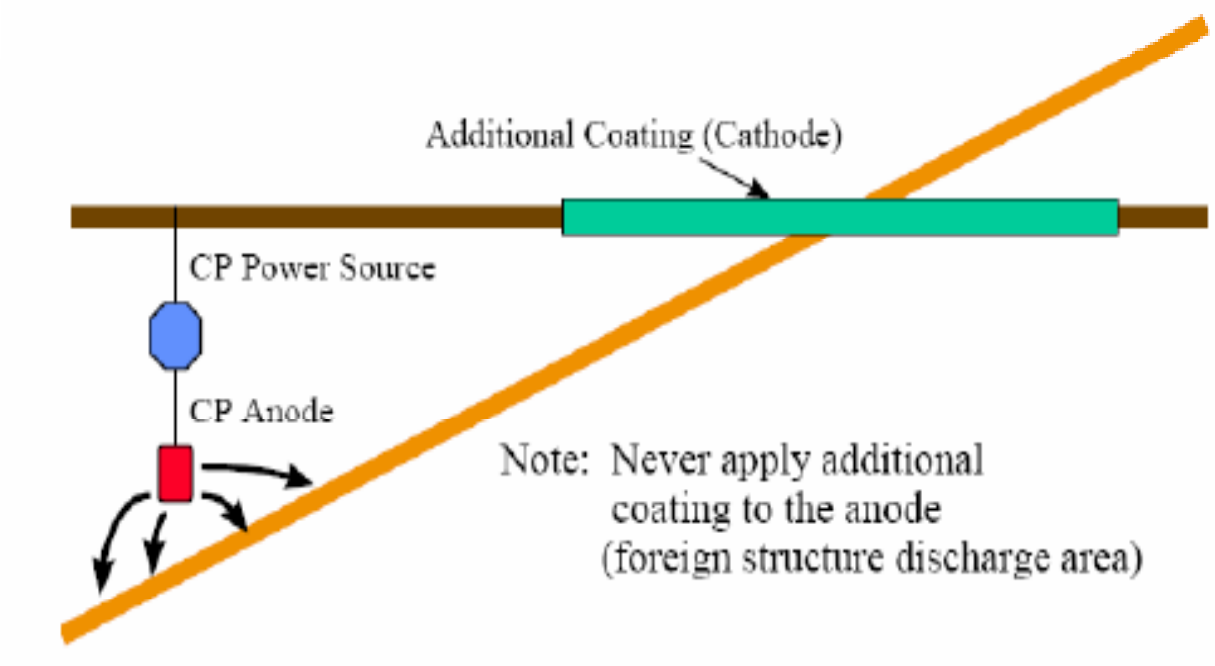
کاهش تداخل جریان سرگردان بوسیله پوشش دوباره خط لوله تحت تأثیر قرار گرفته

- اگر پوشش خط لوله تحت تأثیر قرار گرفته ضعیف باشد و اتصال نتواند پتانسیل اصلی خود را بحال اول برگرداند، پوشش مجدد خط لوله ممکن است ضروری باشد.

کاهش تداخل جریان سرگردان بوسیله پوشش
دوباره خط لوله تحت تأثیر قرار گرفته



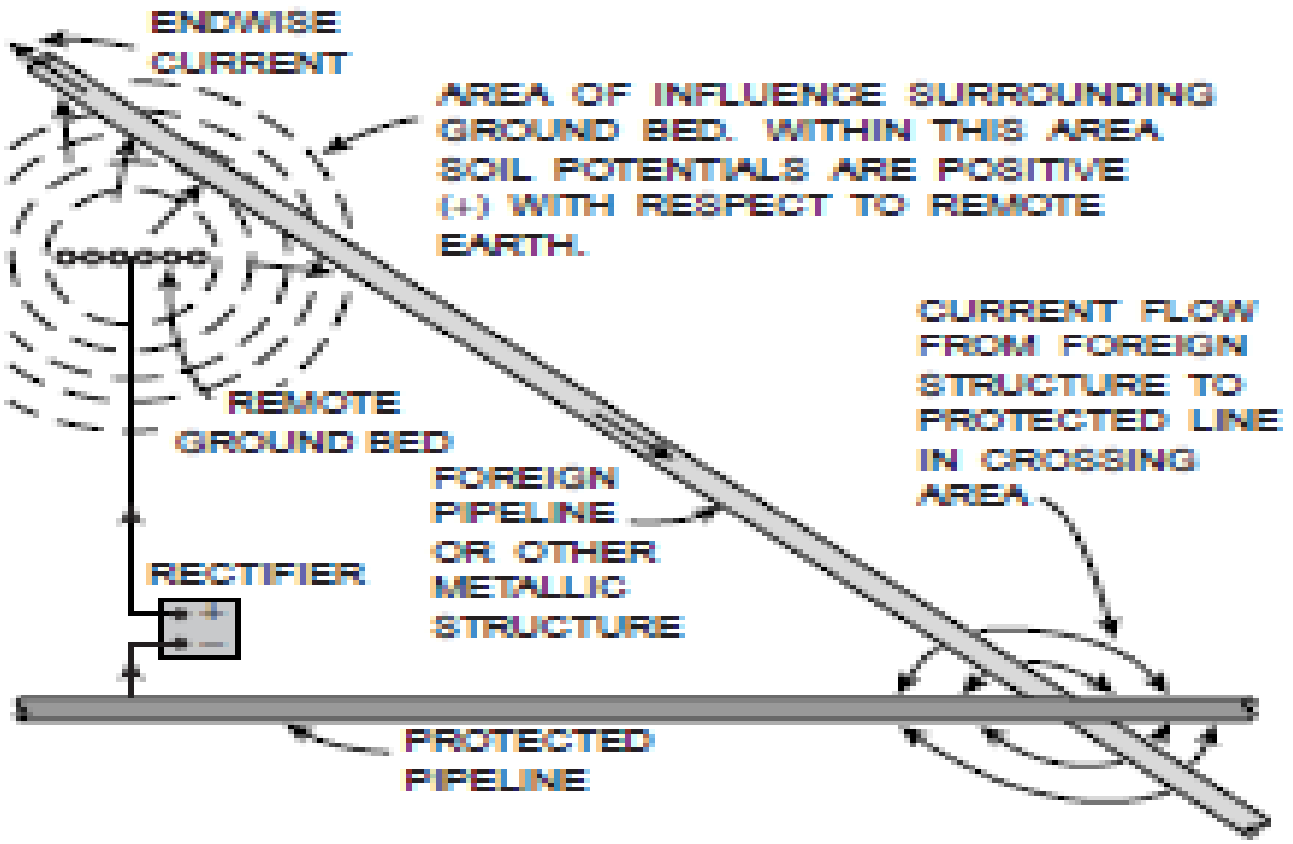
کاهش تداخل جریان سرگردان بوسیله پوشش دوباره خط لوله تحت تأثیر قرار گرفته



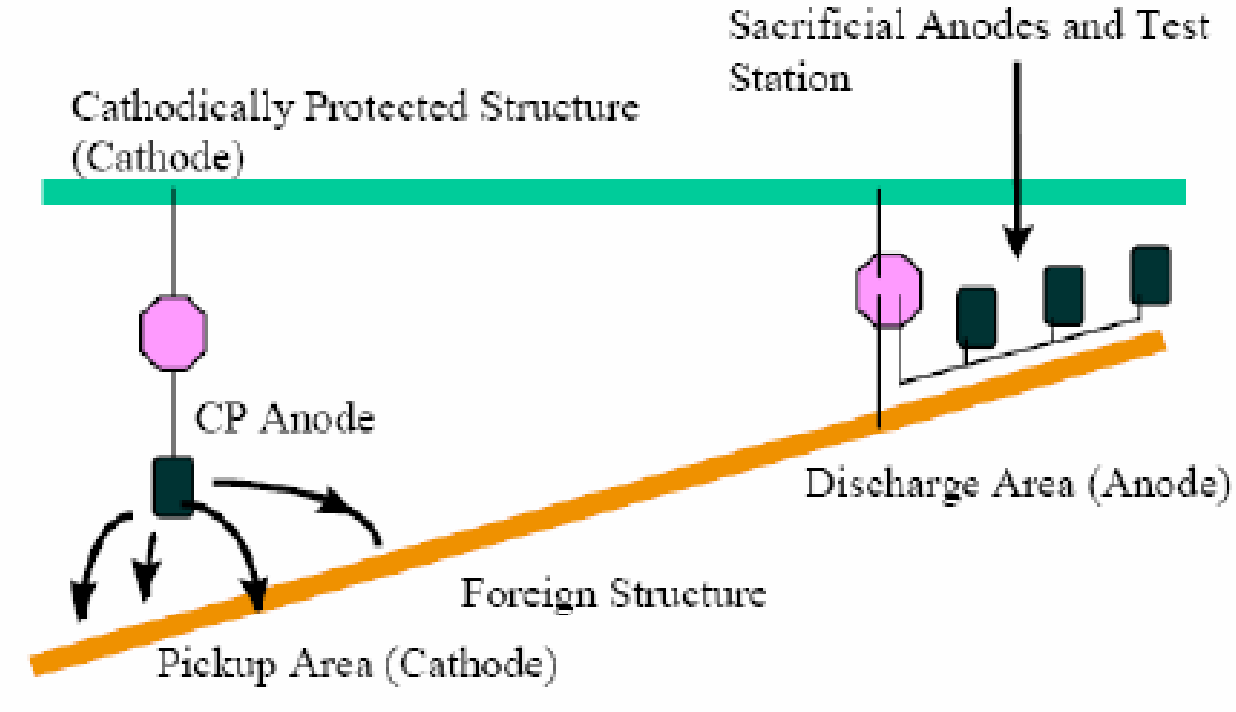
کاهش تداخل جریان سرگردان
بوسیله استفاده از آند فداشونده

- تخلیه جریان از خط تحت تأثیر قرار گرفته از طریق آندها خواهد بود نه خود خط لوله.
- اغلب آندهای منیزیم بخاطر پتانسیل بالایشان برای این منظور استفاده می شوند.

کاهش تداخل جریان سرگردان
بوسیله استفاده از آند فداشونده



کاهش تداخل جریان سرگردان
بوسیله استفاده از آند فداشونده



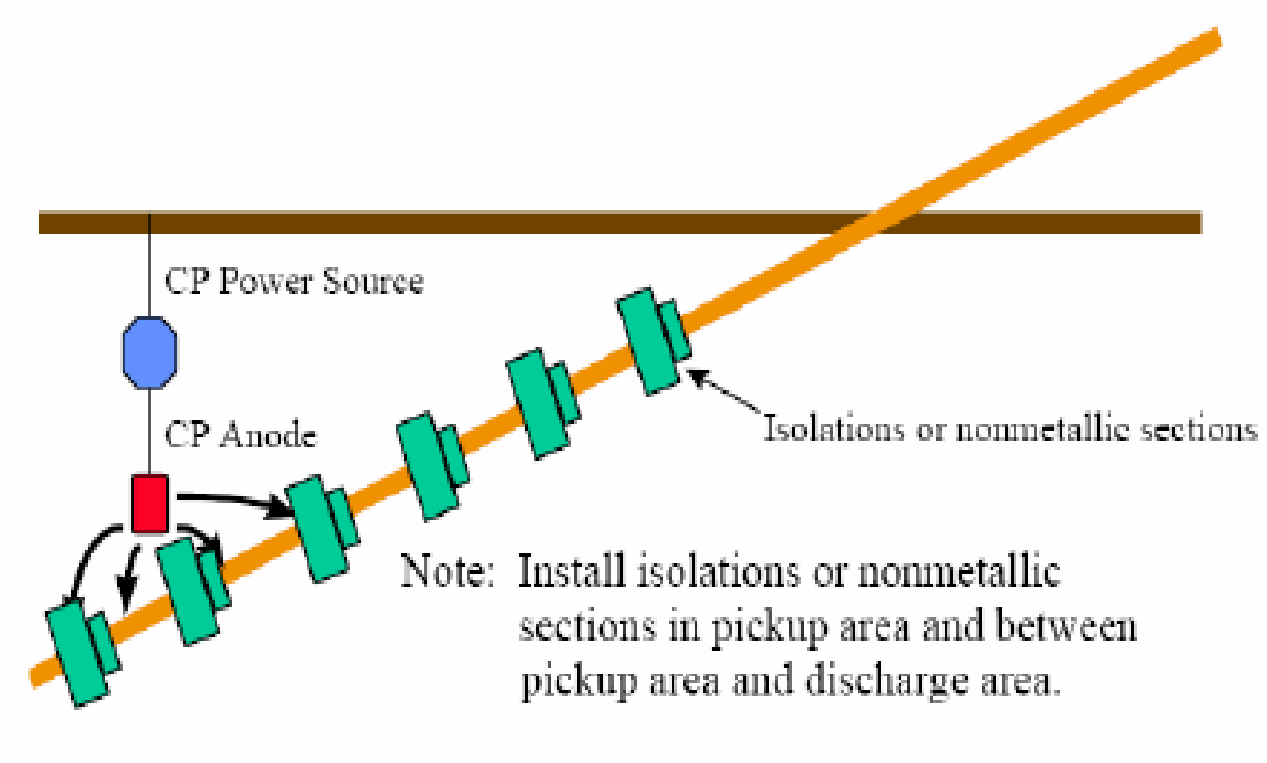
کاهش تداخل جریان سرگردان
بوسیله اصلاح خط لوله

۱. نصب اتصالات عایقی

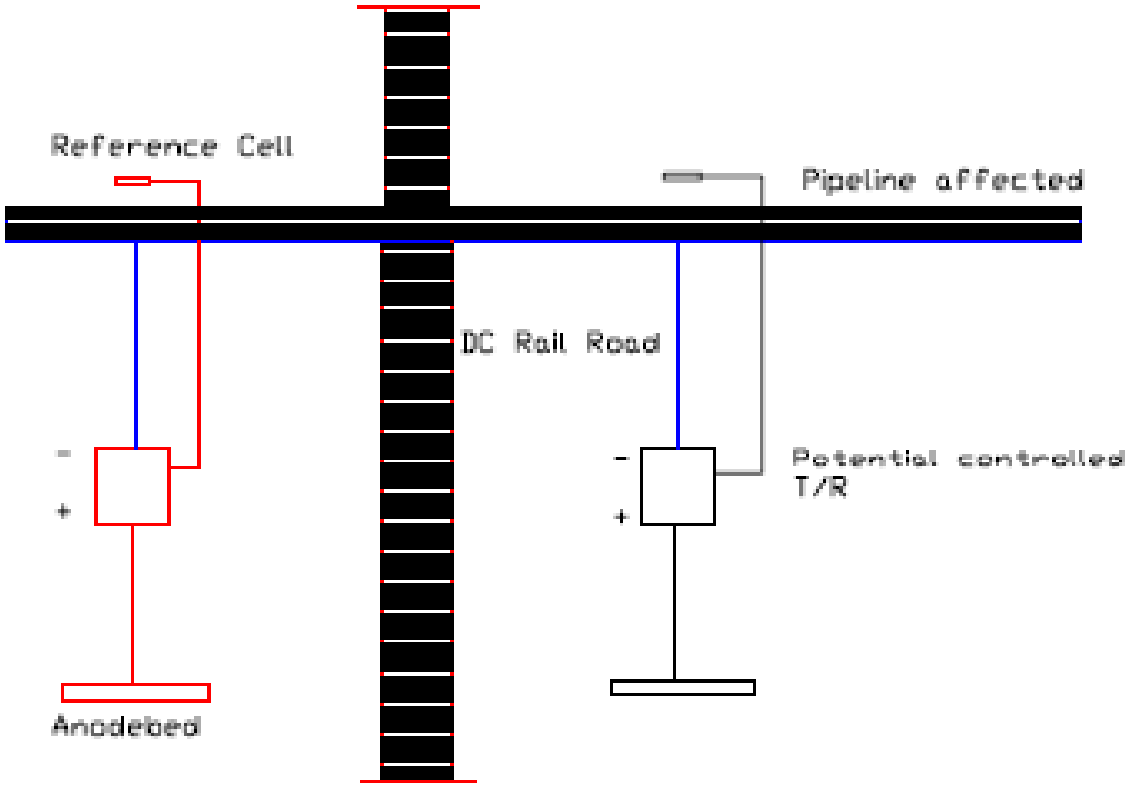
۲. آند منیزیم جائیکه جریان خط لوله را ترک می کند، نصب می شود. اگر آند منیزیم جائی نصب می شود که خط لوله جریان سرگردان را جمع آوری و تخلیه می کند، نصب دیودها برای اطمینان از اینکه جریان تخلیه و جمع آوری نمی شود، ممکن است ضروری باشد.

۳. نصب تبدیل کننده/ یکسو کننده که با پتانسیل کنترل می شوند.

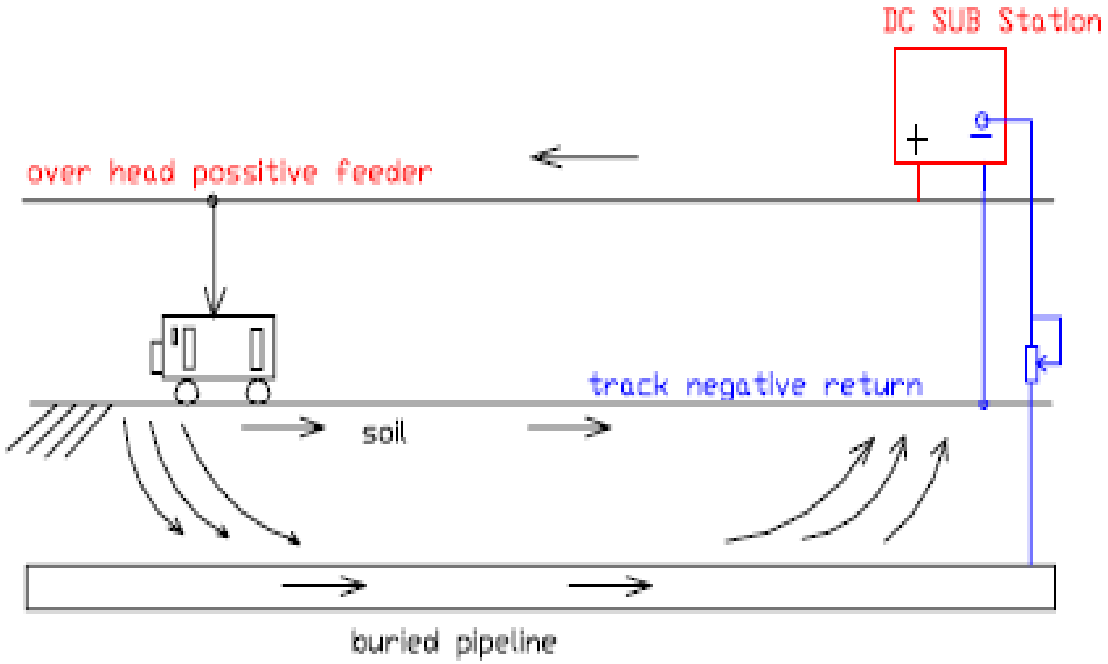
کاهش تداخل جریان سرگردان
بوسیله اصلاح خط لوله



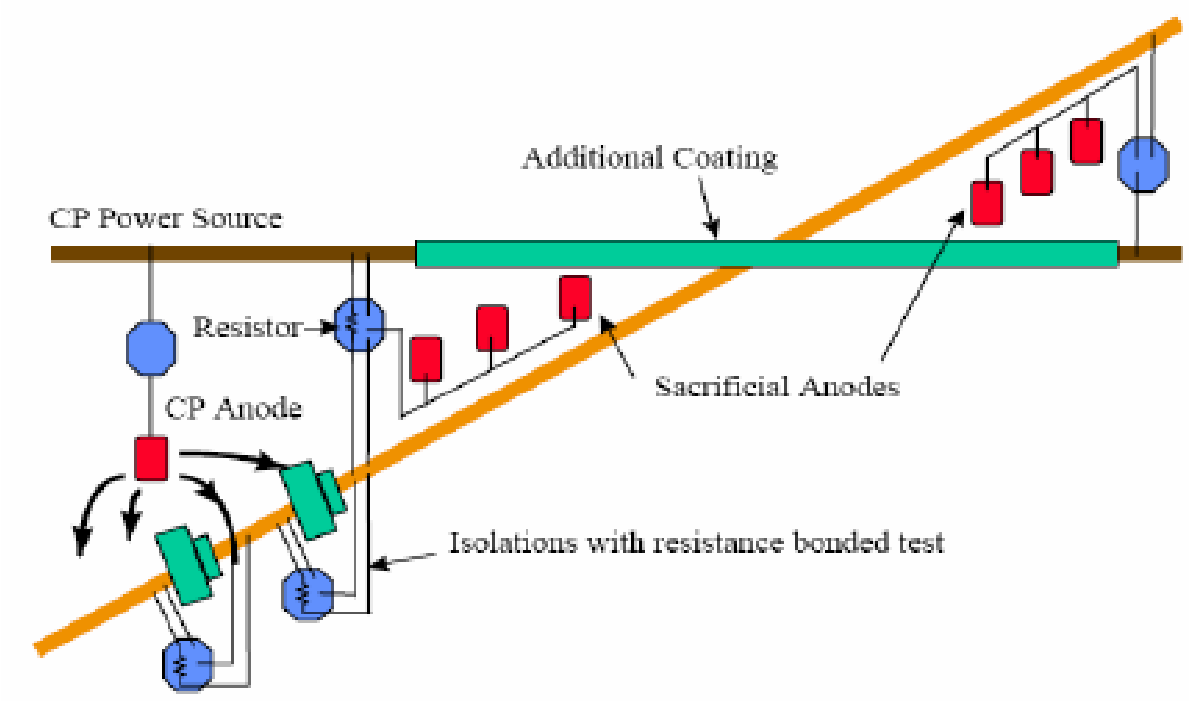
کاهش تداخل جریان سرگردان
بوسیله اصلاح خط لوله



کاهش تداخل جریان سرگردان
کابل اتصال منتقل کننده جریان سرگردان



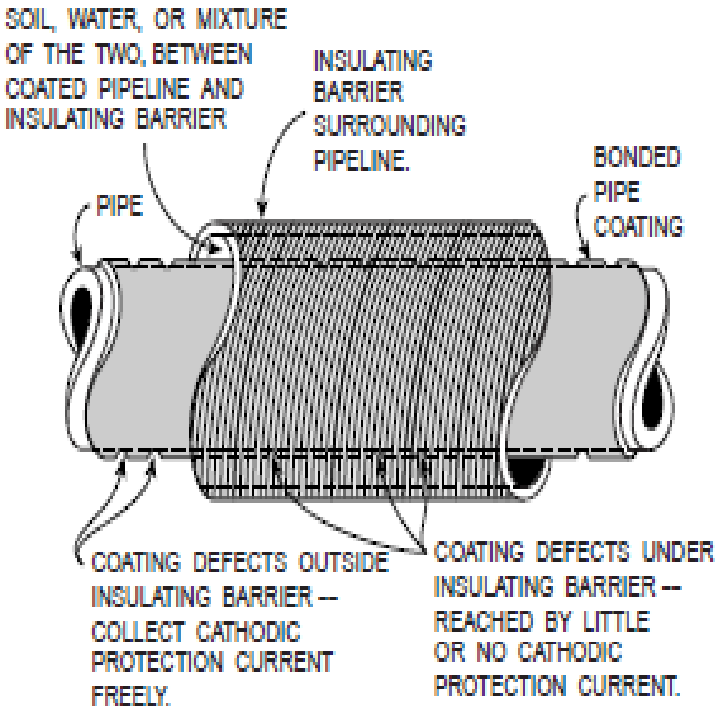
کاهش تداخل جریان سرگردان
بوسیله ترکیب روش ها



مانع الکتریکی حفاظت کاتدی

- مانع الکتریکی: جلوگیری یا انحراف جریان حفاظت کاتدیک از مسیری که برایش در نظر گرفته شده است.
- می توان آن را بعنوان هر مانعی که از انتقال جریان حفاظت کاتدی از خاک یا آب به خط لوله جلوگیری و یا آن را منحرف می کند، تعریف کرد.
- یک مورد، عایق های غیر فلزی می باشند که از انتقال جریان جلوگیری می کنند و دیگری شامل انحراف مسیر جریان به دیگر سازه های فلزی اطراف و در یک تماس الکتریکی با یک خط لوله که حفاظت می شود.

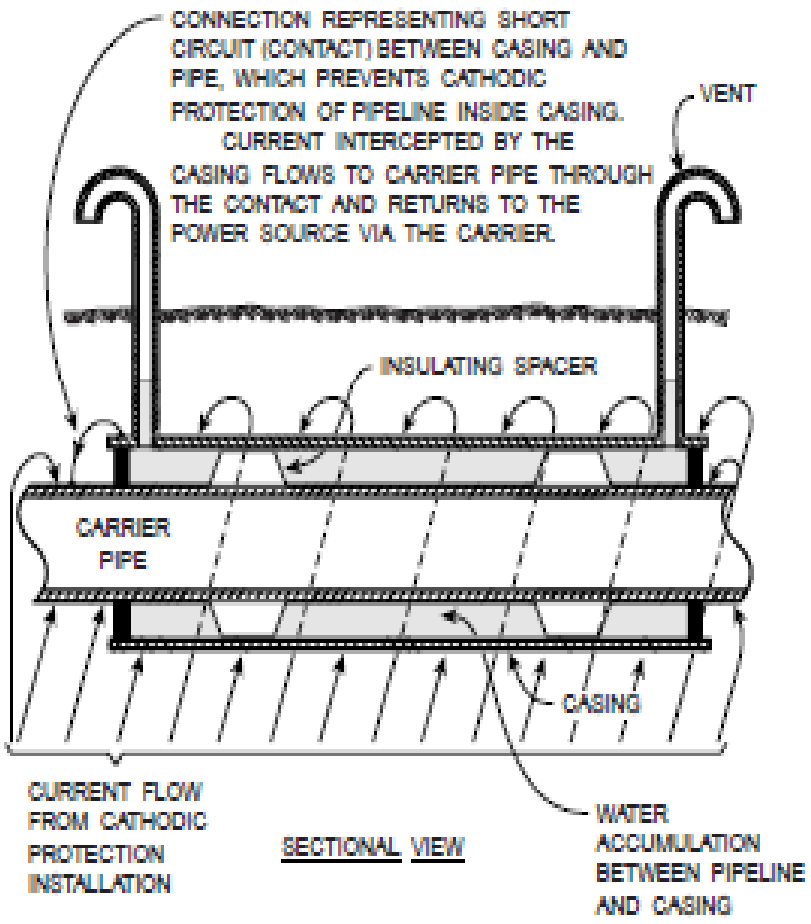
مانع الکتریکی حفاظت کاتدی
ایجاد مانع الکتریکی بوسیله یک مواد عایق



- بخشی از خط لوله پوشش شده، بوسیله یک ماده عایق ضعیف احاطه شده است، فضای بین مانع و خط لوله با خاک یا آب پر شده است، جریان حفاظت کاتدی نمی تواند به سطح فولاد در معرض نقص پوشش، به زیر این مانع برسد.
- به طور معمول جریان می تواند وارد فضای بین مانع و خط لوله با طول کمتر از ۳ تا ۱۰ برابر فاصله بین مانع و خط لوله شود.

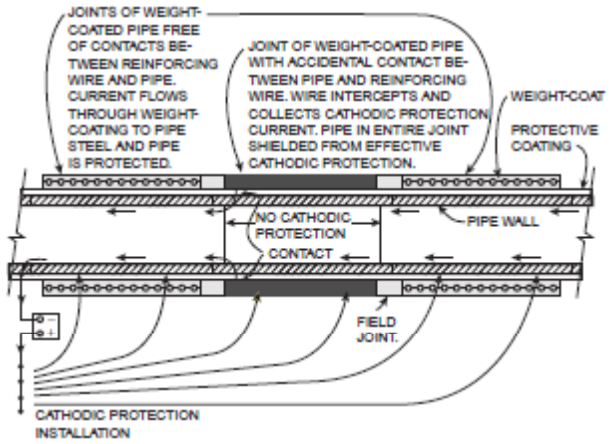
مانع الکتریکی حفاظت کاتدی

ایجاد مانع الکتریکی بوسیله غلاف اتصال کوتاه شده



- با برقرای اتصال کوتاه بین غلاف و خط لوله، جریان حفاظت کاتدی در قسمت بیرونی غلاف جمِ و در نقطه تماس بین غلاف و خط لوله انتقال مِ یابد.
- اگر آب یا خاک درون غلاف وجود داشته باشد لوله، حفاظت کاتدی را دریافت نخواهد کرد خوردگی اتفاق خواهد افتاد.
- از تلاقی غلاف باید در صورت امکان اجتناب شود، زیرا خشک نگه داشتن فضای حلقوی پوشش کامل لوله عملی نمی باشد.

مانع الکتریکی حفاظت کاتدی
ایجاد مانع الکتریکی بوسیله مفتول تقویت کننده در پوشش های وزنی بتنی



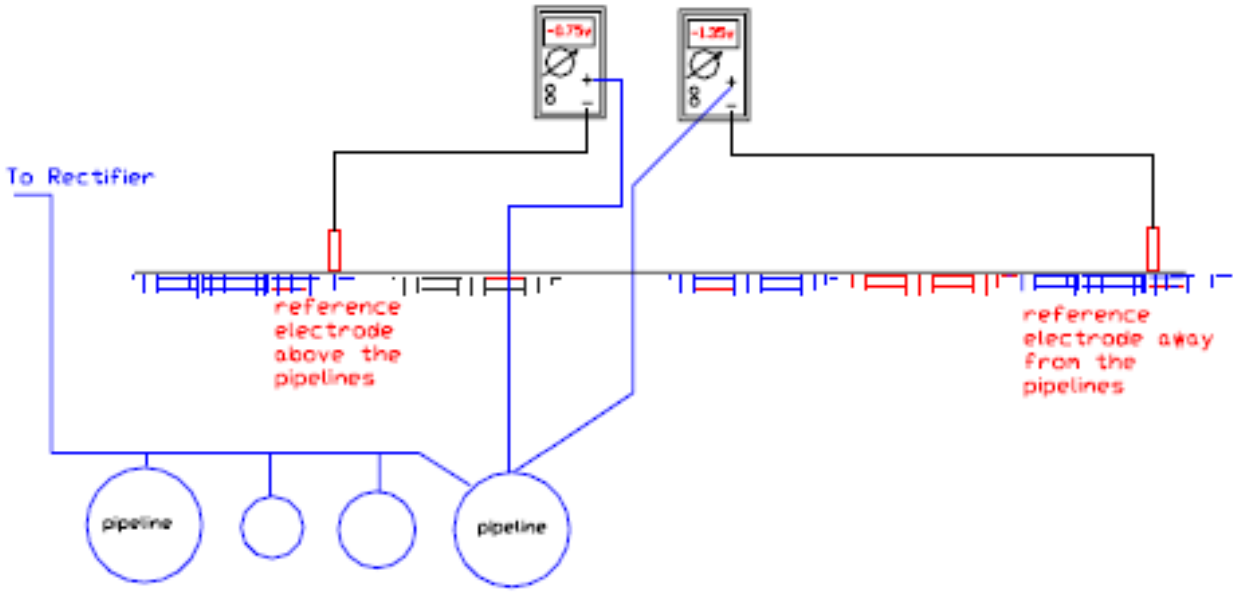
- یک عمل مانع الکتریکی، امکان ایجاد مانع در اثر ایجاد اتصال اتفاقی بین مفتول های تقویت کننده در پوشش های وزنی بتنی و سطح لوله است.
- تقریباً مفتول ها نمی توانند تشکیل یک مانع جامد بعنوان اتصال غلاف را بدهند، فضای نزدیک مفتول ها می تواند بیشتر جریان حفاظت کاتدی را قطع کند.

مانع الکتریکی حفاظت کاتدی
ایجاد مانع الکتریکی در مناطق پر تراکم

- لوله گذاری در مناطق متراکم، همانند ایستگاه پمپ یا محوطه مخازن، ممکن است با شکلی از مانع که نتیجه نزدیکی سازه های مدفون فلزی است، مواجه شود.
- هنگامیکه پتانسیل دور نشان می دهد سازه تحت حفاظت است، قرائت پتانسیل در نزدیکی لوله ممکن است ثابت کند که سازه تحت حفاظت کامل نمی باشد.
- انتقال جریان به این فضا باعث تغییر پتانسیل از مجاورت زمین لوله ها می شود.
- اگر این یک مشکل است، ممکن است توزیع آند برای برطرف کردن آن استفاده شود.

مانع الکتریکی حفاظت کاتدی

ایجاد مانع الکتریکی در مناطق پر تراکم



تعمیرات و نگهداری روزمره حفاظت کاتدی

- بعد از اینکه سیستم حفاظت کاتدی نصب شد، سیستم باید در فواصل معین برای اطمینان از عملکرد صحیح تجهیزات و اینکه سازه حفاظت شده در پتانسیل مورد نیاز برقرار می باشد، بررسی گردد.
- تغییرات ممکن است به علت خرابی پوشش، تغییرات مقاومت ویژه خاک با بارندگی فصلی، تغییر در مقاومت بستر زمین و ... باشد.
- در طی دوره پلاریزاسیون با سیستم جریان تزریقی، بررسی دائم از پتانسیل سازه و خروجی تبدیل کننده/ یکسوکننده، باید به منظور جلوگیری از حفاظت عمده انجام شود. جریان خروجی از تبدیل کننده/ یکسوکننده باید به تدریج برای حفظ پتانسیل لوله نسبت به خاک کاهش یابد.

تعمیرات و نگهداری روزمره حفاظت کاتدی

- اندازه گیری های زیر بطور معمول برای اهداف بازبینی ثبت می شوند :

۱. اندازه گیری های پتانسیل لوله نسبت به خاک

۲. اندازه گیری ولتاژ و جریان خروجی دستگاههای تبدیل کننده/ یکسوکننده و تنظیمات تبدیل کننده اتوماتیک آن ها انجام شود.

۳. اندازه گیری های جریان از آندهای فدا شونده.

۴. اندازه گیری های جریان از کابل ها.

۵. اندازه گیری های جریان از آند یا سیستم های توزیع کاتد به صورت مجزا کنترل می شود.

۶. پتانسیل های سازه / الکترولیت از سازه های دیگر در ارتباط با سیستم های حفاظت کاتدیک اعمال شده است، به عنوان مثال، غلاف های فولادی، مخازن، سیستم های اتصال زمین، سازه های غریبه.

تعمیرات و نگهداری روزمره حفاظت کاتدی

- جمع آوری اطلاعات قبل از شروع بررسی میدانی

۱. مواد لوله، قطر، ضخامت

۲. پوشش خط لوله، تاریخچه نشتی

۳. سایز و وضعیت غلاف

۴. موقعیت و جزئیات نقطه اندازه گیری پتانسیل

۵. موقعیت شاخه، اتصال های عایق، نقشه برداری سازه های غریبه

۶. دمای عملیاتی خط لوله

تعمیرات و نگهداری روزانه حفاظت کاتدی
روش های اندازه گیری و بررسی

- بررسی پتانسیل

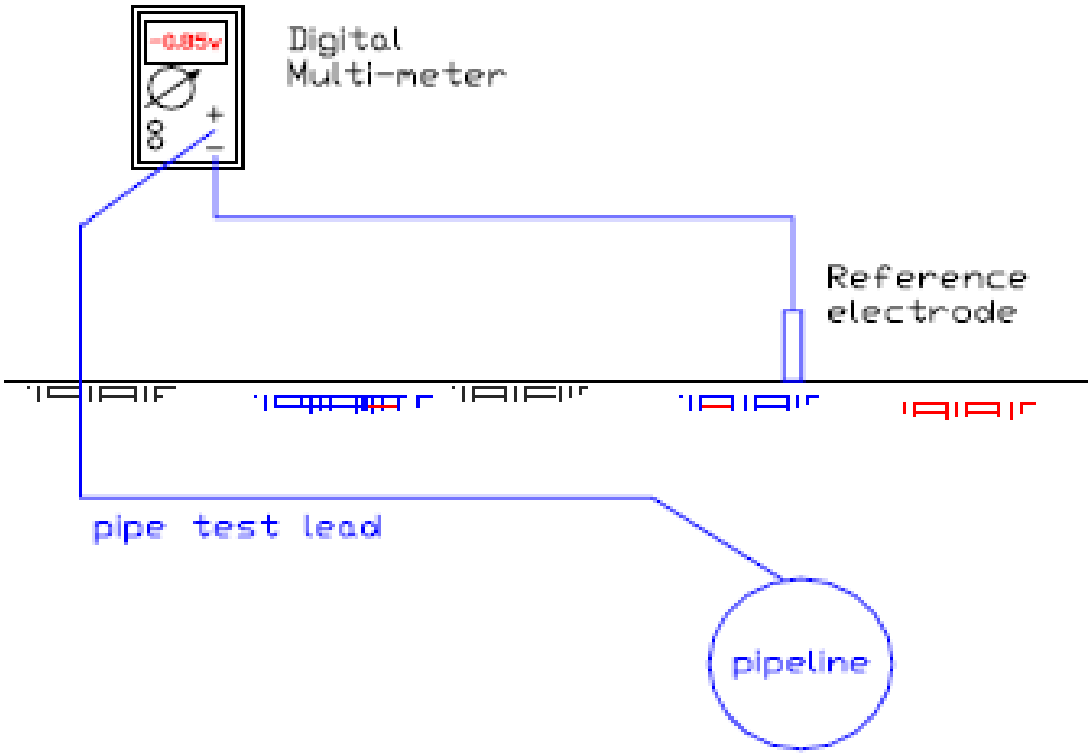
۱. اندازه گیری پتانسیل لوله نسبت به خاک بوسیله قرار دادن الکترود مرجع بالای خط لوله انجام می شود.

۲. در منطقه بسیار خشک ممکن است لازم باشد زمین اطراف الکترود با آب، مرطوب گردد تا یک تماس خوب برقرار شود.

۳. اخیراً خط لوله پوشش شده ممکن است در متوسط پتانسیل طبیعی در رنج ۰/۵- تا ۰/۷- ولت تنظیم شود. در صورتیکه خطوط لوله قدیمی ممکن است یک پتانسیل متوسط بیشتر در محدوده ۱/- تا ۳/- ولت دارا باشد.

تعمیرات و نگهداری روزانه حفاظت کاتدی

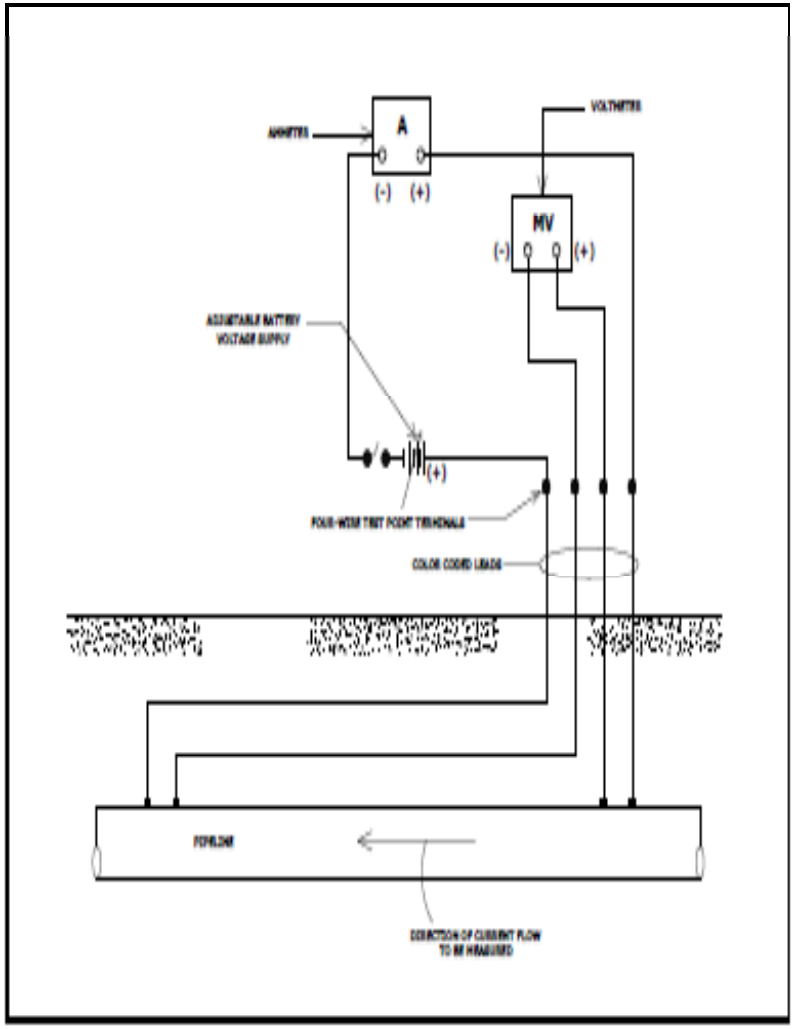
روش های اندازه گیری و بررسی



تعمیرات و نگهداری روزانه حفاظت کاتدی
بررسی پتانسیل خط لوله

- بسیاری از قرائت های پتانسیل در نقطه اندازه گیری پتانسیل گرفته می شوند.
- الکترود مرجع باید دقیقاً بالای خط لوله قرار گیرد و موقعیت برای هر تست بهتر است، ثابت باشد.

اندازه گیری جریان خط
نقطه اندازه گیری پتانسیل چهار سیمه



- جریان خط: جریان مستقیم که در خط لوله انتقال می یابد.
- با یک ولت متر دارای مقاومت داخلی بالا که ما بین جفت سیم داخلی متصل شده است، جریان از باتری بین جفت سیم خارجی در مقابل جریان اندازه گیری شده جاری در لوله منتقل می شود.
- همانطور که جریان مخالف افزایش می یابد ولتاژ اندازه گیری به سمت صفر میل می کند.
- وقتی ولتاژ، صفر یا بسیار نزدیک به صفر است، جریان مخالف اندازه گیری شده با آمپرمتر بزرگی انتقال جریان در فاصله دو ستون خط لوله مورد بررسی را نشان می دهد.

تعمیر و نگهداری بستر آندی

- بازرسی های دوره ای برای اطمینان از این می باشد که هیچ اختلالی در زمین بالای کابل فوقانی و بستر آندی وجود نداشته باشد.
- در جریان انجام تست های معمول، هر افزایش قابل ملاحظه ای در مقاومت اتصال زمین بستر آندی، بدین معنی خواهد بود که مساله ای در بستر آندی اتفاق افتاده است.
- اگر لوله یاب استفاده می شود و در جستجوی پیوسته، ممکن است یک یا بیشتر، آند از کار افتاده باشد.
- اگر آند آسیب دیده باشد، موقعیت آنرا می توان از طریق اندازه گیری پتانسیل آند پیدا کرد.
- دو الکترود مرجع استفاده می شود، یکی در ناحیه دور قرار داده شده، در حالیکه الکترود دیگر در بالای آند قرار می گیرد. الکترود بالای آند در امتداد بستر آندی ۵/ تا ۱ متر در هر لحظه حرکت داده می شود و قرائت پتانسیل انجام می شود.

تعمیر و نگهداری بستر آندی
آندهای سطحی

- نمودار پتانسیل، نقاط ماکزیمم پتانسیل مثبت در هر آند مؤثر(در حال کار) را نشان خواهد داد.
- هر مکانی که در آن نقاط ماکزیمم پتانسیل مشاهده نشد، نشان دهنده آندهایی است که کارایی ندارند و نیاز است که تعمیر یا تعویض شوند.
- تعداد و فاصله آندهای نصب شده در ابتدا باید مشخص باشد.

تعمیر و نگهداری بستر آندی
آندهای عمیق

- اگر آند عمیق آسیب ببیند، کاری نمی توان انجام داد.
- در برخی موارد افزایش مقاومت چاه عمیق به علت محبوس شدن گاز در آن را می توان به وسیله تزریق هوا یا آب از طریق لوله تهویه اصلاح نمود.
- اگر تزریق محلول شیمیایی با مقاومت ویژه پایین مورد توجه باشد، اثر احتمالی بر روی مواد آند و عایق کابل و همچنین احتمال آلودگی آب زیرزمینی می بایست مطالعه گردد.

تعمیر و نگهداری بستر آندی
آند فداشونده

- جریان خروجی را می توان طی بررسی سالیانه اندازه گیری کرد.
- هرگونه آسیب درکابل ها می بایست تعمیر گردد.
- اگر کاهش مشخص در خروجی آند فداشونده وجود دارد و هیچ دلیلی برای اعتقاد به اینکه عمر آند نزدیک به اتمام است وجود نداشته باشد، قطع کابل بالایی یا سیم رابط آند علت آن می باشد.

تعمیر و نگهداری اتصالات عایقی

- عملکرد اتصالات عایقی، قطع جریان و محدود کردن جریان به بخش خط لوله می باشد.
- تست به جهت اطمینان از اینکه اتصال عایقی اتصال کوتاه نشود، نیاز است و این می تواند بوسیله اندازه گیری پتانسیل در هر طرف اتصالات عایقی مشخص شود.
- پیل اتصال زمین فلز روی می بایست در هنگام تست قطع گردد.

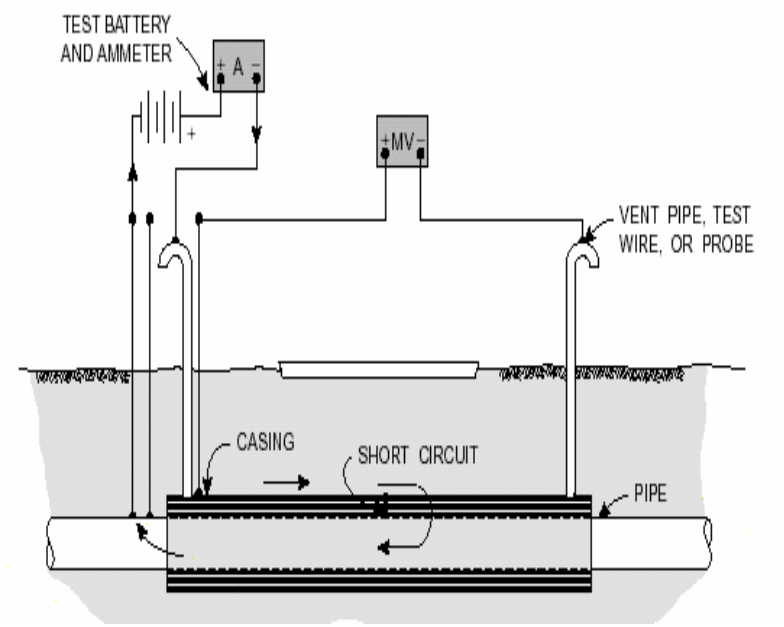
تعمیر و نگهداری نقطه اندازه گیری پتانسیل و کابل

- عملکرد نقطه اندازه گیری پتانسیل، فراهم کردن یک اتصال با خط لوله است. کابل ها باید به طور مداوم نگه داشته شوند.
- اگر یک پتانسیل بسیار مثبت در طی اندازه گیری پتانسیل بدست آید، ممکن است که سیم رابط از خط لوله جداشده و تعمیر آن باید انجام شود.
- کابل بین خطوط لوله، برای تداوم و هر گونه فرسودگی یا خرابی که نیاز به تعمیر دارد، باید بررسی شود.

تعمیر و نگهداری غلاف

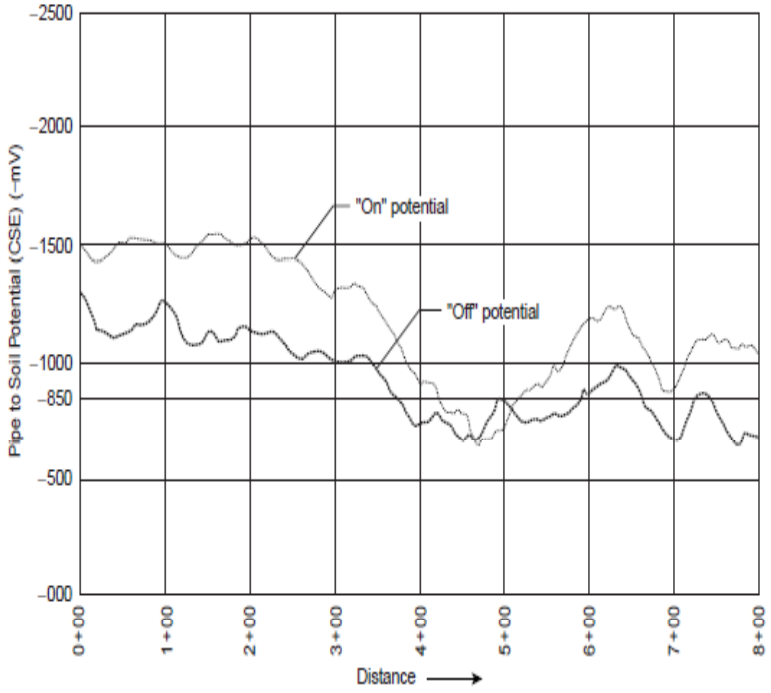
- غلاف باید از خط لوله کاملاً جدا نگه داشته شود.
- تماس لوله غلاف و خط لوله ممکن است با اندازه گیری پتانسیل لوله غلاف و خط لوله پیدا شود و پتانسیل باید یک اختلاف بزرگ داشته باشد.

تعمیر و نگهداری غلاف



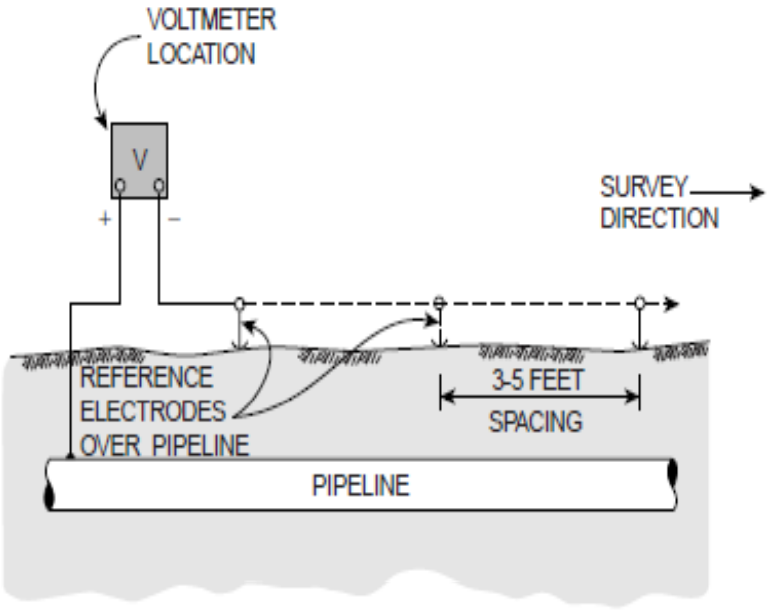
- اگر غلاف با خط لوله اتصال کوتاه پیدا کند، نیاز است نقطه تماس پیدا و تعمیر گردد.
- تماس را می توان با یک باتری و دو آمپرمتر برقرار کرد.
- اگر نشت جریان و افت ولتاژ وجود دارد، تا زمانی که غلاف واحد اهم را بشناسد، محل را می توان بوسیله قانون اهم یافت.

ممیزی پتانسیل روی خط
خط لوله تحت حفاظت کاتدی



- انحناء در منحنی (حداقل پتانسیل منفی) نشان دهنده مکان هایی است که ممکن است حفاظت کاتدی مؤثر نباشد، بدلیل آنکه پوشش آسیب دیده یا با دیگر سازه ها در تماس می باشد.
- نتایج ارزیابی می توانند برای مکان یابی مناطقی بر روی یک خط لوله بدون حفاظت کاتدی که به خوردگی حساس ترند (نقاط حساس) یا مناطق با پتانسیل فرو رفته بر روی خط لوله با حفاظت کاتدی استفاده شوند.

ممیزی پتانسیل روی خط
خط لوله تحت حفاظت کاتدی



- به طور معمول یک دستگاه اندازه گیری با سیم سبک برای اتصال دائم به خط لوله به همراه یک داده نگار برای ضبط داده ها روی یک فرم با انجام بررسی، مورد استفاده قرار می گیرند.
- موقعیت مکان الکترود مرجع با پتانسیل مشاهده شده ثبت می گردد.

ممیزی پتانسیل روی خط
ممیزی پتانسیل فواصل نزدیک

- عملکرد سیستم حفاظت کاتدی، به طور معمول نظارت بر اساس یک نمونه است. به عنوان مثال در ایستگاه تست، انشعابات عمومی، شیرها و غیره، هر جا که تماس با خط لوله می تواند ایجاد شود. بر اساس داده های جمع آوری شده، اثربخشی سیستم حفاظت کاتدی تشخیص داده می شود. اگر یک عیب از هر نوع در خط لوله در مکانی دور از نقطه آزمایش اتفاق بیافتد، مشخص است که هر چقدر فاصله اندازه گیری پتانسیل نزدیکتر باشد، محتمل است که عیب غیر قابل تشخیص باقی خواهد ماند. این پتانسیل ها بیشتر نشان دهنده شرایط درست سیستم حفاظت کاتدی می باشند.

ممیزی پتانسیل روی خط
ممیزی پتانسیل فواصل نزدیک

- به منظور دستیابی صحیح تر به پتانسیل خطوط لوله، اندازه گیریها در فواصل ۷۶/ مترانجام می شوند. این بررسی با راه رفتن در پائین جاده سرویس با یک جفت از پیل های مرجع متصل به یک جفت عصای پیاده روی انجام می شود. پیل ها به واحد جمع آوری داده های ریزپردازشگر از طریق سیمهای عصای پیاده روی متصل می شوند. ارزیاب، پیل های مرجع را روی زمین مستقیما بالای خط لوله قرار می دهد. پیل ها با فاصله ۷۶/ متر قرار می گیرند به طوری که یک پیل مرجع همیشه در تماس با زمین است. واحد جمع آوری داده ها از طریق یک سیم مقیاس با خط لوله تماس الکتریکی دارد.

ممیزی پتانسیل روی خط
ممیزی پتانسیل فواصل نزدیک

- با قدم زدن ارزیاب، سیم اندازه گیر یا سیم ارزیابی از داخل یک ایستگاه اندازه گیری یا چینر کشیده می شود. چینر یک میکروسوئیچ دارد که واحد جمع آوری داده ها را هر ۲/۵ فوت فعال می کند. چیزی که ارزیابی ایجاد می کند، طرحی از فاصله در مقابل پتانسیل است. ارزیابی را می توان با رکتی فایرهای سیستم حفاظت کاتدی نیز انجام داد. با این حال، این اندازه گیریها شامل خطای افت IR ایجاد شده توسط جریان از زمین می گردند.

ممیزی پتانسیل روی خط
ممیزی پتانسیل فواصل نزدیک

- جهت حذف خطای IR، قطع کن ها یا تایمرهای چرخه ای در مدار حفاظت کاتدی قرار می گیرند اندازه گیریهای پتانسیل به گونه ای انجام می شود که پتانسیل روشن و خاموش توسط واحد جمع آوری داده ها گرفته می شود. نتیجه این نوع ارزیابی، طرحی از فاصله در مقابل پتانسیل است که روی سطح دیده می شود و پتانسیل آزاد IR می باشد. نتایج این طرح ها، تصویری دقیق از راه اندازی و پوشش های سیستم های حفاظت کاتدی فراهم خواهد کرد.

ممیزی پوشش روی خط
گرادیان ولتاژ جریان مستقیم

- DCVG یا ضریب زاویه ولتاژ جریان مستقیم روشی برای آشکار کردن، تعیین مکان و تعیین اندازه نسبی عیب ها در پوشش خط لوله می باشد.
- DCVG، تغییر در پتانسیل یا ضریب زاویه در امتداد خط لوله را اندازه گیری می کند. وقتی یک عیب به گرادیان پتانسیل نزدیک شود(تغییر در پتانسیل پیل نسبت به پیل) بزرگتر خواهد شد. در بزرگترین ضریب زاویه ولتاژ بیش از یک عیب در پوشش خط لوله خواهد بود. با دنبال کردن ضریب زاویه پتانسیل، اپراتور می تواند مکان عیب را پیدا کند.

DCVG: Direct Current Voltage Gradient

ممیزی پوشش روی خط
گرادیان ولتاژ جریان مستقیم

ممیزی پوشش روی خط
گرادیان ولتاژ جریان مستقیم

- تعیین مکان دقیق عیب توسط تعیین مکان نول (پتانسیل بین پیل ها صفر است) انجام می شود. در این نقطه، عیب حد وسط بین کاوشگرهاست. ارزیابی، مشابه GIS است. از این لحاظ که مستلزم حرکت اپراتور یا ارزیاب در جاده سرویس و انجام اندازه گیریهای پتانسیل می باشد. اختلاف عمده، پتانسیل های اندازه گیری شده بین دو پیل مرجع نگاه داشته شده توسط اپراتور است.

ممیزی پوشش روی خط
گرادیان ولتاژ جریان مستقیم

- یک قطع کن با بسامد بالا در مدار حفاظت کاتدی قرار گرفته و با بسامد یک هرتز، چرخه اش روشن و خاموش می شود. ارزیاب از دو کاوشگر با فاصله ۱/۸۲ متر استفاده کرده و در امتداد خط پیش می رود. همانطور که ارزیاب در جاده سرویس راه می رود، کاوشگرها را موازی یا عمود بر خط لوله قرار می دهد.

ممیزی پوشش روی خط
گرادیان ولتاژ جریان مستقیم

- اندازه عیب به صورت نسبی اندازه گیری می شود. می توان تشخیص داد که یک عیب بزرگتر از عیب دیگر است. این اندازه گیری با مقایسه درصد IR انجام می شود. IR=(OL/RE ×۱۰۰)/PS٪ که در آن داریم:
- OL/RE: ضریب زاویه پتانسیل از عیب تا ارت از راه دور بر حسب میلی ولت.
- PS: پتانسیل لوله نسبت به خاک. اندازه گیری پتانسیل لوله نسبت به خاک در امتداد خط لوله در ایستگاههای تست انجام می شود.
- مقدار استفاده شده برای PS باید از نزدیک ترین ایستگاه تست یا از GIS باشد.

ممیزی پوشش روی خط
C- Scan

- الکترومغناطیس یک تکنیک ارزیابی است که اطلاعاتی در مورد شرایط کلی پوشش های خطوط لوله، عمق پوشش و مکان عیب را فراهم می کند.
- دو تکنیک ارزیابی دیگر که ما مرور کرده ایم، به استفاده از یکسوکننده حفاظت کاتدی به عنوان سیگنال ژنراتور خود بستگی داشتند. بخاطر این، اساس کار آنها بر پایه جریان مستقیم می باشد. در ارزیابی الکترومغناطیس از جریان متناوب به عنوان سیگنال استفاده می شود.

ممیزی پوشش روی خط
C- Scan

- اگر شما یک سیگنال را برای یک خط لوله پوشش شده مدفون اعمال کنید، قدرت آن سیگنال با افزایش فاصله از منبع کاهش می یابد. زیرا جریان مرتبط با سیگنال به زمین نشت می کند. یک نشت بزرگتر سیگنال در عیب های درون پوشش رخ می دهد. هر چه قدر عیب بزرگتر باشد، افت سیگنال بیشتر است. تجهیزات ارزیابی الکترومغناطیس، جریان سیگنال باقیمانده را در هر نقطه ای در امتداد خط لوله اندازه گیری کرده و آن مقدار را نشان می دهد.

ممیزی پوشش روی خط
C- Scan

- تجهیزات الکترومغناطیس از یک ژنراتور سیگنال جریان متناوب و گیرنده تشکیل می شوند. ژنراتور سیگنال و گیرنده با بسامدی خاص تنظیم می شود. سیگنال از ژنراتور در جریان ثابتی نگه داشته می شود. ژنراتور سیگنال به خط لوله متصل می شود و یک سیگنال جریان متناوب را وارد خط لوله می کند. اپراتور در جاده سرویس با فاصله های ۳۰۰ و ۴۰۰ فوت با داده های مجموعه و گیرنده حرکت می کند. داده ها یا به طور دستی برای فاصله های کوتاه و یا با یک داده نگار برای فاصله های طولانی جمع آوری می شوند. ارزیابی می تواند چند مایل خط لوله را در روز پوشش دهد.

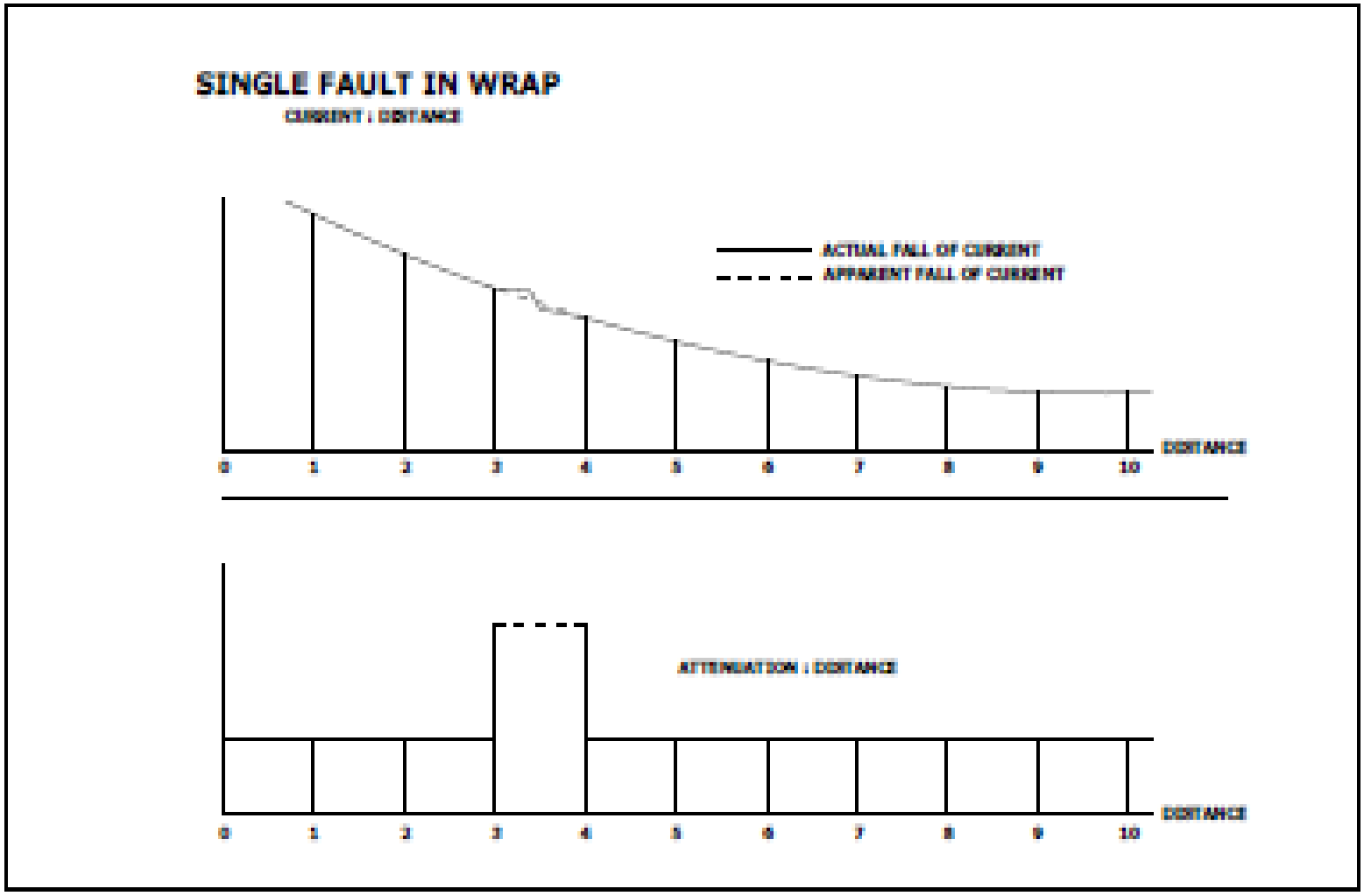
ممیزی پوشش روی خط
C- Scan

- اطلاعات به یکی از دو روش ترسیم می شوند، ترسیم به صورت جریان باقیمانده بر اساس فاصله یا تضعیف سیگنال بر اساس فاصله می باشد. اگر طرح جریان باقیمانده استفاده شود، شیب ترسیم دارای شیبی یکنواخت است. تغییر منفی ناگهانی شیب طرح، محدوده ای را نشان می دهد که در آنها افت جریان بیشتری وجود دارد. طرح تضعیف نشان دهنده افت سیگنال برای یک فاصله داده شده است. هر چقدر تضعیف در آن فاصله داده شده بالاتر باشد، افت جریان بیشتر است. هر چقدر افت جریان شدیدتر باشد، صدمه پوشش نیز شدیدتر است. موارد دیگر که می توانند در افت سیگنال دخالت داشته باشند، سازه های فلزی بدون پوشش مثل لوله های غریبه کوتاه یا آندهای فداشونده می باشند.

ممیزی پوشش روی خط
C- Scan

- ارزیابی الکترومغناطیس را می توان روی بتن، آسفالت، و آب تا عمق ۷/۶ متر انجام داد. ارزیابی را می توان در آب تا عمق ۶۱ متر با مبدل قابل غوطه وری انجام داد. نواحی شناسایی شده با الکترومغناطیس که دارای عیبی در پوشش می باشند با یک ارزیابی اضافی با استفاده از ضریب زاویه ولتاژ جریان متناوب یا DCVG مورد بررسی قرار می گیرند.

ممیزی پوشش روی خط
C- Scan



ممیزی پوشش روی خط
سیستم موقعیت یاب جغرافیایی

- GPS بر اساس ۲۴ ماهواره است که حول زمین می چرخند. ماهواره ها در یک مدار همزمان جغرافیایی می باشند. به بیان ساده، موقعیت این ماهواره ها با توجه به زمین، اندکی تغییر می کند. مدارها به طور مداوم کنترل می شوند، به گونه ای که مکان دقیق آنها مشخص است. ماهواره به عنوان یک نقطه مرجع عملکرد دارد. که از آن، گیرنده های روی زمین موقعیتشان را تعیین می کنند.

ممیزی پوشش روی خط
سیستم موقعیت یاب جغرافیایی

- با اندازه گیری زمانی که صرف رسیدن سیگنال منتقل شده از ماهواره ها به گیرنده می شود، یک گیرنده GPS روی زمین می تواند فاصله اش را از هر ماهواره تعیین کند. با استفاده از اندازه گیری فاصله و مکان مشخص ماهواره، گیرنده می تواند مکان دقیق را از لحاظ عرض، طول جغرافیایی و ارتفاع محاسبه کند.

ممیزی پوشش روی خط
سیستم موقعیت یاب جغرافیایی

- با استفاده از این قابلیت تعیین مکان دقیق، ارزیابی GPS می تواند نقشه ای دقیق از خط لوله فراهم کند. نقشه را می توان به صورت یک طرح و ترسیم وضعیت به همراه جزئیات نقاط اتصال، شیرها، خمیدگی خط لوله و دیگر ویژگیهای قابل کاربرد نشان داد.

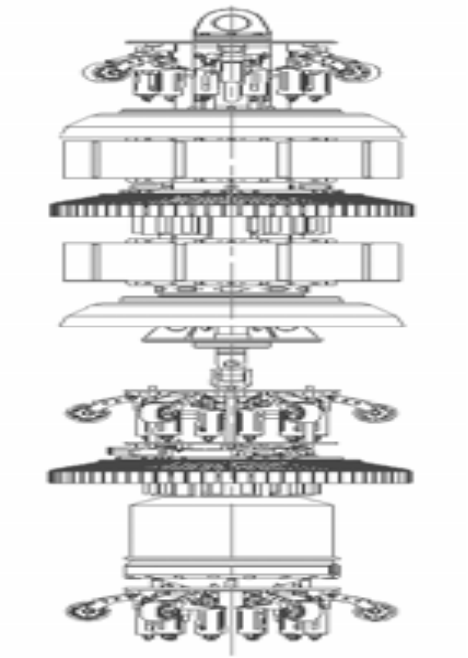
ممیزی پوشش روی خط
سیستم موقعیت یاب جغرافیایی

- فرایندهای ارزیابی با یافتن ۵- ۳ نقطه ارزیابی شروع می شوند. این نشانه های موجود توسط یک ارزیابی GPS ایستا (وضعیت ثابت) تائید می شوند. این نشانه ها، خط لوله و ویژگیهای نسبی در فاصله های خاصی ارزیابی می شوند. ارزیابی مکان شیرها، ایستگاههای آزمایش، تغییر در جهت، تقاطع های جاده و غیره را نشان می دهد. ارزیابی همچنین می تواند موقعیت نابهنجاری های آشکار شده توسط ارزیابی پوشش داخلی یا خارجی را نشان دهد.

ممیزی پوشش روی خط
سیستم موقعیت یاب جغرافیایی

- ویژگی های فیزیکی طی ارزیابی و ورود به پایگاه داده ها به گونه ای کد گذاری می شوند که آنها را بتوان روی نقشه ایجاد شده یک گزارش ارزیابی، نشان داد. ارزیابی سپس دانلود، تحلیل و توسط کد ,N,Eوبه کاربر تحویل داده می شود.Z

بازرسی درون خط



- بازرسی درون خطی عمدتاً برای هندسه خط لوله و اندازه گیری کاهش ضخامت فلز است.
- دو نوع پیگ هوشمند وجود دارد که معمولاً استفاده می شوند:

۱. نشت جریان مغناطیسی

۲. ابزار ماوراء صوت

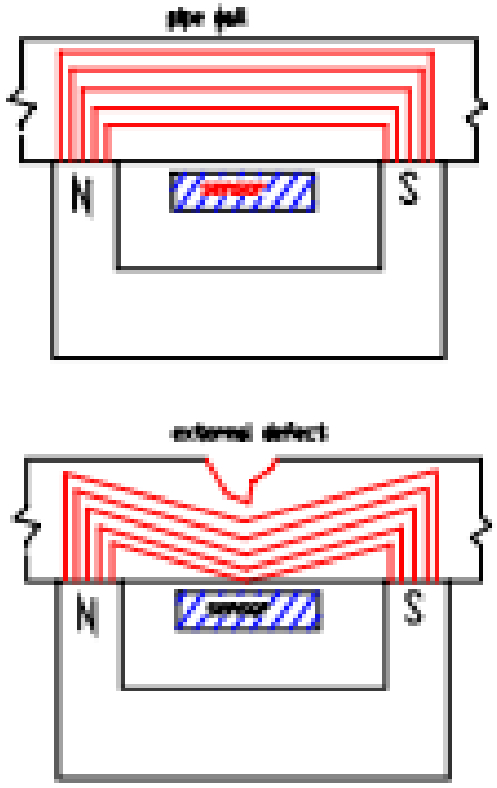
بازرسی درون خط
نشت جریان مغناطیسی

- ابزار نشت جریان مغناطیس برای آشکارسازی تغییرات اندک در جریان مغناطیسی القاء شده خط لوله طراحی می شود. بخش اندازه گیر ابزار نشت جریان مغناطیسی از یک مغناطیس کننده و حسگرها تشکیل می شود. حسگرها برای پوشش دادن کل محیط خط لوله تنظیم می شوند. تعداد سنسورها به اندازه خط لوله و نوع ابزار نشت جریان مغناطیسی با تحلیل بالا یا متعارف، آنالوگ یا دیجیتال بستگی دارد.

بازرسی درون خط
نشت جریان مغناطیسی

- جزء مغناطیس کننده ابزار نشت جریان مغناطیسی شامل یک میدان مغناطیسی قوی، شار مغناطیسی، برای خط لوله می باشد. میدان مغناطیس شار مغناطیسی با دیواره های خط لوله موازی است. مسیر شار مغناطیسی که نزدیک یک عیب پیچیده می شود، دارای یک ترکیب کوچک نرمال برای خط لوله هم قبل و هم بعد از عیب می باشد. همانطور که سنسورها از عیب، عبور می کنند، این ترکیب از صفر به حداکثر می رسد و سپس به صفر می رسد. تغییرات در شار مغناطیسی درون سنسورها، ولتاژی را در هر کدام از سنسورهای نشت شار که از عیب عبور می کنند، القاء می کند. ولتاژ ایجاد شده با اندازه عیب متناسب است. ابزار نشت جریان مغناطیسی سپس می تواند در هر محیط مایع یا گاز عملکرد داشته باشد. ابزار، بخش را به تحریک واداشته و جزء الکترونیک می تواند لوله های با قطر دوگانه را ارزیابی کند.

بازرسی درون خط
نشت جریان مغناطیسی



- هر کاهش ضخامت فلزی که در دیواره روی می دهد، منجر به انحراف خطوط شار می شود و این انحراف توسط آشکار کننده ای که یک سیگنال الکتریکی را ایجاد می کند، احساس می شود. سیگنال، ثبت شده و برای تحلیل آینده ذخیره می شود.
- آن را می توان در مایع یا گاز مورد استفاده قرار داد و کاهش ضخامت فلز را اندازه گیری کرد.
- برای دیوار ضخیم، کاربرد ندارد.

بازرسی درون خط
پیگ بازرسی آلتراسونیک

- تست آلترلسونیک یک تست غیر مخرب است که از یک سیگنال کم دامنه استفاده می کند و در زیر تنش مواد به خوبی عمل می کند. از آنجا که تست آلتراسونیک یک پدیده مکانیکی است، برای تعیین یکپارچگی ساختاری ماده قابل تطبیق می باشد. کاربردهای اصلی شامل این موارد می باشد:

۱. اندازه گیری ضخامت

۲. تشخیص ناپیوستگی

۳. تشخیص ترک

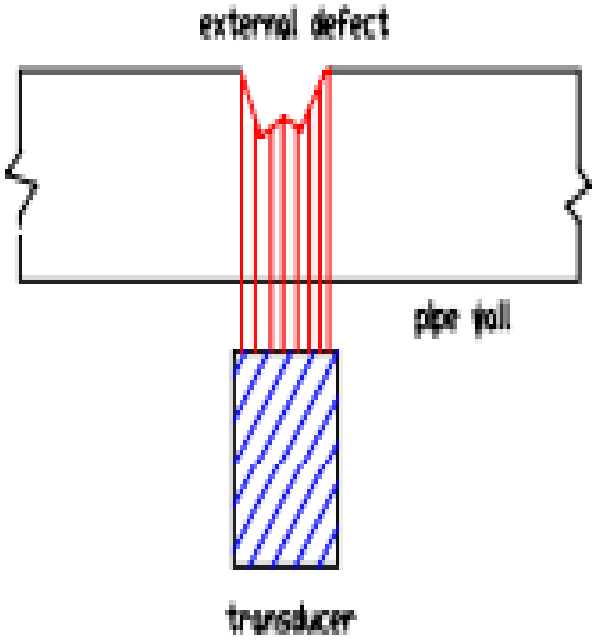
بازرسی درون خط
پیگ بازرسی آلتراسونیک

- ابزار آلتراسونیک توسط انتشار پالس در رنج ۵ مگاهرتز با سرعت پالس ۳۰۰ بار در ثانیه و اندازه گیری انرژی پالس منعکس شده به کار می افتد. تجهیزات تست آلتراسونیک مستلزم وجود یک منتقل کننده (منتشرکننده صوت)، یک کوپلنت برای انتقال انرژی به شیء تحت آزمایش می باشد (نفت خام، تولید پالایش شده یا آب)، کوپلنت، برای انتقال انرژی برگشتی به گیرنده و فرستنده شیء مورد آزمایش می باشد.

بازرسی درون خط
پیگ بازرسی آلتراسونیک

- ابزار آلتراسونیک، اندازه گیریهای دقیق و مستقیمی از دیواره برای اندازه گیری میزان خوردگی و عیب های میان دیواری مثل ناخالصی های لایه ای را فراهم می کند. هم عیب های داخلی و هم خارجی با تعیین دقیق مکان، عمق، میزان و موقعیت با استفاده از همه سنسورها شناسایی می شوند. بخش اندازه گیری ابزار آلتراسونیک از مبدل های بسیاری تشکیل می شود. یک مبدل، هم فرستنده و هم گیرنده است. مبدل ها برای پوشش دادن کل محیط خط لوله تنظیم می شوند. تعداد مبدل ها به سایز خط لوله و نوع ابزار آلتراسونیک بستگی دارد.

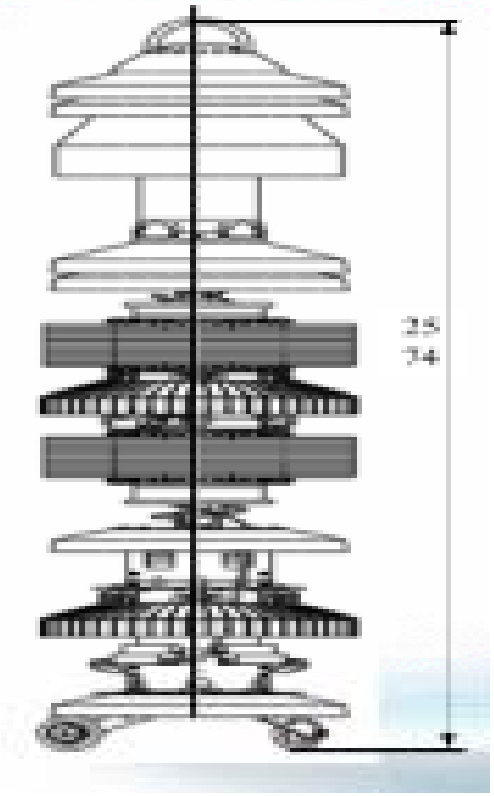
بازرسی درون خط
پیگ بازرسی آلتراسونیک



- مبدل آلتراسونیک سیگنالها را عمود بر سطح لوله منتقل کرده و سیگنال های انعکاسی را هم از سطح داخلی و خارجی لوله دریافت می کند.
- سیگنال ها به داده های دیجیتالی تبدیل شده و هر گونه نابهنجاری را آشکار می کنند.
- اگر برای خط لوله گاز استفاده شود، ضروری است ابزار در گلوله ای مایع با قالب های مهر و موم شده در جلو و عقب آن قرار گیرد.

بازرسی درون خط
پیگ بازرسی آلتراسونیک

- پیگ آلتراسونیک



بازرسی درون خط
پیگ اندازه گیر

- ابزار اندازه گیری شامل مجموعه ای از صفحات اندازه گیری آلومینیوم و قالب می باشد که روی یک بدنه فولادی نازک نصب می شوند. قطر و موقعیت صفحات روی بدنه قالب برای شبیه سازی ترکیب سخت یا غیر قابل فشردگی ابزار بازرسی طراحی می شوند. بازرسی دقیق صفحات اندازه گیر با دریافت ابزار، نوع مشکلات موجود در خط را نشان می دهد و این نشان می دهد که آیا یک کولیس الکترونیکی نیاز است یا خیر.

بازرسی درون خط
پیگ اندازه گیر

- پیگ اکتشافی فوم، یک پیگ مونولیتیک نرم انعطاف پذیر است. این ابزار اولین قالب است که از سیستم عبور می کند. این قالب چند عملکرد دارد. اول اینکه آیا یک قالب از خط عبور می کند یا نه را تعیین می کند. همچنین تفاوت های ابعاد پتانسیل و اولیه یا جلو آمدگی را نشان خواهد داد. توسط بررسی ماده همراه قالب، آنرا می توان برای تعیین نوع و تخمین حجم ضایعات موجود در خط مورد استفاده قرار داد. نوع و مقدار ضایعات، به کاربردن فرایند پاکسازی را اجباری می کند. پیگ فوم معمولاً شامل یک فرستنده الکترونیک برای یافتن این است که آیا ضربه خورده است یا نه.

بازرسی درون خط
ابزار نیرو محرکه – پمپ شده

- اولین و معمولترین مورد، سیستم پمپ شده است که از جریان گاز خط لوله برای به جلو راندن ابزار از نقطه شروع به پایان ارزیابی استفاده می کند. ابزار درون یک ارسال کننده قرار می گیرد که از لوله و شیرها تشکیل می شود. ارسال کننده به گونه ای طراحی می شود که ابزار را بتوان بدون اختلال بارگذاری کرد. بعد از اینکه ابزار وارد ارسال کننده شد و درب تله بسته می شود. مجموعه ای از شیرها در حالت عملیاتی قرار می گیرند. بنابراین جریان خطوط لوله به ارسال کننده برگردانده می شود. شیر خط لوله اصلی اکنون باز می شود. ابزار درون خط لوله اصلی توسط جریان عقب خود به جلو رانده می شوند.

بازرسی درون خط
ابزار نیرو محرکه – پمپ شده

- ابزار از طریق خط لوله حرکت می کند و اطلاعات جمع آوری می شود تا به دریافت کننده برسد. دریافت کننده شبیه ارسال کننده است و شامل ترکیبی از لوله و شیرها می باشد. بنابراین پیگ می تواند خط لوله اصلی را ترک کند. به عنوان پیگ تحت فشار، به داخل دریافت کننده یا تله وارد می شود. شیرها در حالت عملیاتی هستند، بنابراین جریان از دریافت کننده تقسیم می شود. تخلیه فشار خط انجام می شود، مواد در خط لوله تخلیه می شوند. اکنون دریافت کننده می تواند باز شده و ابزار برداشته شوند.

بازرسی درون خط
ابزار نیرو محرکه – پمپ شده

- به طور کلی ارسال کنندگان و دریافت کنندگان در ایستگاه بالاتر قرار گرفته است. سیستم هایی که در آن ها ارسال کننده و دریافت کننده دائمی نصب شده، وجود دارند. برای سیستم هایی که امکانات دائمی ارسال کننده و دریافت کننده ندارند،می توان برنامه بازرسی را اجاره کرد.

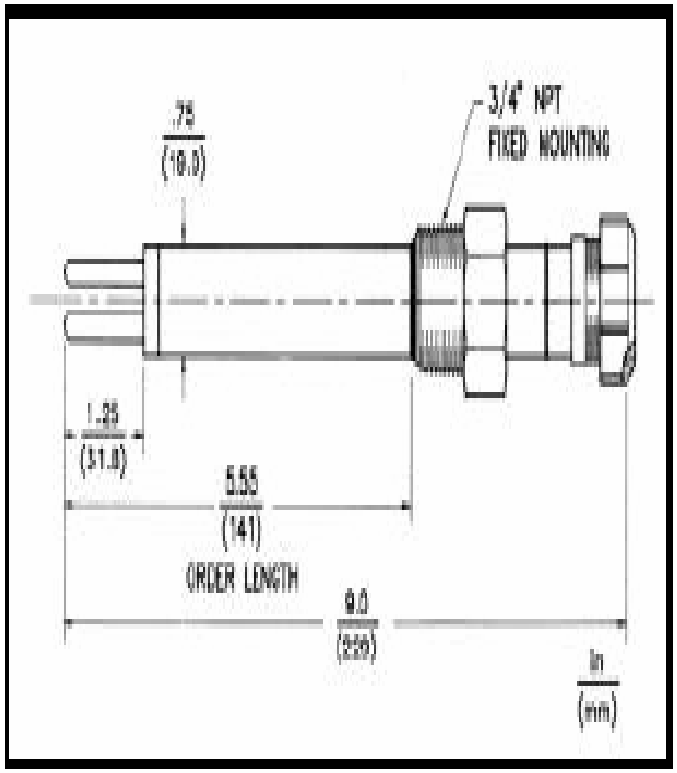
بازرسی درون خط
ابزار نیرو محرکه – پمپ شده

- سیستم مهارشده با استفاده از سیم یا کابلی به عنوان روش ارائه حرکت برای ابزار است. سیستم مهار شده معمولاً برای طول های کوتاه لوله کشی به طور کلی کمتر از ۳۰۰۰ فوت استفاده می شود. لوله کشی در دو انتهای بخش برای بررسی، حفاری می شود. سپس خط لوله با نیتروژن پاکسازی می شود و برای دسترسی به ابزار بریده می شود. جهت کمپرسور هوا یک فلنچ در یک طرف خط با واشر آب بند و کوپلینگ تعبیه می شود.

بازرسی درون خط
ابزار نیرو محرکه – پمپ شده

- ابزار به مهار متصل شده و از طریق خط کشیده می شود. این سیستم می تواند یک اتصال یا دو اتصال به خط داشته باشد. اتصال دوتایی مفید است، اگر تکرار یک بخش از خط لوله نیاز باشد. اتصال دوتایی همچنین وسیله ای برای عقب کشیدن ابزار فراهم می نماید.

پروب مقاومت پلاریزاسیون خطی



- در این روش جریان مستقیم از طریق رابط فلز/ مایع که در نتیجه قطبش یک یا دو الکترود از مواد مورد مطالعه بوسیله کاربردهای یک پتانسیل الکتریکی کوچک، اندازه گیری می شود.
- نتایج روش LPR در قرائت نرخ خوردگی، لحظه ای است. این یک مزیت ویژه بیش از روشهای کوپن گذاری و الکتریکی است که در آن یکسری قرائت در طی یک دوره مورد نیاز برای تعیین نرخ خوردگی است.
- LPR نمی تواند در مایعات نارسانا مورد استفاده قرار گیرد و عمدتاً در سیستم آب صنعتی استفاده می شود.