

بناام خدا

اصول اندازة گیری پتانسيل حفاظت کاتدی و تجزیه و تحلیل آن



گرد آوری و تدوین : بهمن صفاری

بهار ۱۳۹۲

مقدمه :

امروزه مزایای استفاده از گاز طبیعی بر هیچ کس پوشیده نیست . هزینه های استخراج ، پالایش ، انتقال و توزیع مواد نفتی و همچنین سهولت در استفاده ، عدم اتلاف زمان جهت تهیه مواد سوختنی ، هزینه پایین تر و ... ، تمایل مردم و دولت را به توسعه و استفاده از گاز طبیعی را بیشتر نموده است .

توسعه و گسترش روز افزون خطوط لوله انتقال و شبکه های توزیع گاز طبیعی در سطح کشور و همچنین خطرات احتمالی ناشی از نشت گاز و انفجار ناشی از خوردگی خطوط لوله ، کنترل بیشتر و دقیق تر اجرا و نگهداری خطوط انتقال و توزیع گاز را ضروری می نماید .

اگر چه اقدامات پیشگیرانه متعددی جهت اجرای صحیح خطوط لوله انتقال و توزیع گاز طبیعی صورت می پذیرد ، لیکن حتی در دنیای پیشرفته امروز نیز تخریب های ناشی از خوردگی در خلال بهره برداری، بی وقفه ادامه داشته و عدم توجه به استانداردها و روش های مدون در پایش و کنترل خوردگی ، زیان های اقتصادی ، زیست محیطی و بعضاً " انسانی بسیار کلانی را ببار خواهد آورد .

مجموعه ای که هم اکنون در اختیار شماست ، شامل اطلاعاتی در خصوص مفاهیم خوردگی ، اصول اندازه گیری پتانسیل و جریان حفاظت کاتدی و تجزیه و تحلیل آن ، جهت ارزیابی وضعیت سیستم های حفاظت کاتدی با رعایت معیار های پذیرش حفاظت کاتدی بر اساس روش های مندرج در استاندارد های روز دنیا می باشد . امید است با درک هرچه بیشتر مطالب و رعایت موارد ذکر شده ، گامی در جهت حفظ سرمایه های ملی و جلوگیری از خسارات ناشی از خوردگی در صنایع نفت و گاز برداشته شود .

در خاتمه از زحمات کلیه دوستان و همکارانی که در تهیه این مجموعه مرا یاری نمودند کمال تشکر و امتنان را دارم .

بهمن صفاری

خرداد ۱۳۹۲

بخش اول : مقدمه ای بر خوردگی و تئوری حفاظت کاتدی

- تعاریف خوردگی
- شرایط ایجاد خوردگی
- پیل و پیل الکتروشیمیایی
- واکنش های خوردگی و آندی - کاتدی
- مفاهیم اولیه پتانسیل ، جریان و مقاومت
- انواع خوردگی
- عوامل موثر بر سرعت خوردگی
- تئوری حفاظت کاتدی
- روش های عملی حفاظت کاتدی
- سیستم اعمال جریان
- انواع بستر های آندی

فصل دوم : اصول اندازه گیری پتانسیل حفاظت کاتدی و تجزیه و تحلیل آن

- معیار پذیرش حفاظت کاتدی بر اساس استاندارد (حد پایین)
- اندازه گیری پتانسیل لوله نسبت به خاک
- الف) وسایل مورد نیاز جهت اندازه گیری پتانسیل نسبت به خاک
- ب) نحوه اندازه گیری پتانسیل لوله نسبت به خاک بر اساس معیار های مندرج در استاندارد
- جدایش سطحی و معیار پذیرش حفاظت کاتدی بر اساس استاندارد (حد بالا)
- منابع و انواع خطا در اندازه گیری پتانسیل لوله نسبت به خاک
- تفسیر نتایج اندازه گیری پتانسیل لوله نسبت به خاک
- تنظیمات دستگاه مبدل یکسو کننده
- بررسی پتانسیل لوله نسبت به خاک در فواصل نزدیک (CIPS)
- بررسی نقاط حاد (Hot Spot Survey)
- بررسی وضعیت دستگاه مبدل یکسو کننده

بخش اول :

مقدمه ای بر

خوردگی

و

تئوری حفاظت کاتدی

تعاریف خوردگی :

- ۱- خوردگی به فساد مواد (معمولا " آهن) و خواص آن گفته میشود که در نتیجه واکنش با محیط حاصل می گردد.
- ۲- خوردگی اکسیداسیون است .
- ۳- خوردگی یک حمله شیمیایی به فلز است .
- ۴- خوردگی پدیده ای است الکتریکی، به عبارت دیگر الکترولیز است .
- ۵- خوردگی پدیده ای است الکتروشیمیایی .
- ۶- خوردگی تخریب یا فساد اجسامی است که در رابطه با محیط خود پدید می آید.
- ۷- خوردگی عملی است شیمیایی یا الکتروشیمیایی که بین فلزات و محیط اطرافشان انجام می شود و موجب فساد و دگرگونی در خواص آنها می شود.

شرایط ایجاد خوردگی :

- ۱- وجود آند و کاتد
- ۲- وجود اختلاف پتانسیل (ولتاژ) بین آند و کاتد
- ۳- وجود الکترولیت
- ۴- اتصال آند و کاتد به هم

پیل و پیل الکتروشیمیایی :

هر محیطی که قابلیت جابجایی الکترون را داشته باشد ، الکترولیت نام دارد . در حفاظت کاتدی از زمین به عنوان الکترولیت استفاده می شود .

از قرار دادن آن دو عنصر در داخل یک محیط الکترولیت ، پیل تشکیل می شود .

در پیل ها ، الکترودی که به صورت یون در می آید و یون آن وارد الکترولیت می شود آند و الکترودی که در آن تغییری حاصل نمی شود و اگر به صورت یون در آید با جذب الکترون ، مجدداً احیا می شود ، کاتد نام دارد .

مبنای کلی ، الکترو د استاندارد هیدروژن است . با توجه به جدول زیر متوجه می شویم عناصر بالای هیدروژن نسبت به هیدروژن دارای پتانسیل منفی بوده و تمایل به از دست دادن الکترون دارند ، بنابراین این عناصر با افزایش پتانسیل به شدت خورده می شوند . همچنین عناصر پایین هیدروژن نسبت به هیدروژن دارای پتانسیل مثبت بوده و تمایل به گرفتن الکترون دارند ، بنابراین این عناصر با افزایش ولتاژ به شدت پایدار می شوند .

جدول مقایسه ولتاژ برخی عناصر نسبت به هیدروژن

عنصر	ولتاژ نسبت به هیدروژن (V)
پتاسیم	-۲/۹۱
منیزیم	-۲/۷۱
روی	-۲/۴
روی	-۰/۷۶
هیدروژن	۰
مس	+۰/۳۴
پلاتین	+۱/۲
طلا	+۱/۵

توضیح اینکه عناصر بالای هیدروژن به طور طبیعی در طبیعت وجود ندارند ، در صورتیکه عناصر پایین هیدروژن علاوه بر آنکه در طبیعت به طور طبیعی وجود دارند ، تمایلی هم به ترکیب با مواد دیگر را ندارند

جدول مقایسه ولتاژ برخی عناصر نسبت به الکترو د مبنای مس – سولفات مس

عنصر	ولتاژ نسبت به الکترو د مبنای مس – سولفات مس (V)
منیزیم	-۱/۷۵
روی	-۱/۱
آلومنیوم	-۰/۸
فولاد	-۰/۵ تا -۰/۲
مس	+۰/۲
کربن	+۰/۳

از جدول بالا که ولتاژ را نسبت به الکتروود مبنای مس - سولفات مس نشان می دهد ، می توان دریافت که عناصر یا آلیاژ هایی که نسبت به فولاد منفی ترند ، تمایل بیشتری به از دست دادن الکترون دارند ، خورنده تر می باشند و عناصر یا آلیاژ هایی که تمایل کمتری به از دست دادن الکترون دارند ، پایدار ترمی باشند .

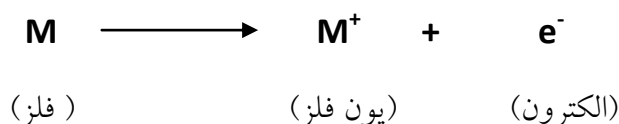
❖ پیل الکترو شیمیایی :

موضوع مهمی که در مورد پیل می توان گفت این است که هر پیل از دو نیم پیل (Half Cell) تشکیل شده است و به همین علت ما به الکتروودهای مرجع نظیر الکتروودهای مس / سولفات مس و ... هاف سل می گوئیم زیرا با کمک آنها توانیم ولتاژ نسبی فلزات را اندازه گیری کنیم و درحقیقت فلز مورد نظر بعنوان نیم پیل دوم عمل خواهد کرد و در مجموع عمل اندازه گیری انجام می شود.

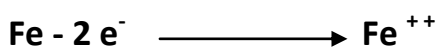
درحفاظت کاتدی ما به انواع پیل هایی برمی خوریم که با پیل های مرسوم متفاوت هستند ولی درعمل نقش یک پیل رابازی می کنند زیرا یک پیل از یک آند و یک کاتد والکتروولیتی که آنها را دربر گرفته تشکیل شده و در طبیعت از این گونه پیل ها فراوان یافت می شود.

واکنش های خوردگی و آندی - کاتدی :

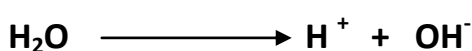
- هنگامی که فلزی در درون الکتروولیتی مانند آب و یا خاک مرطوب قرار گیرد پتانسیل الکتریکی بین فلز والکتروولیت ایجاد می شود که باعث مبادله الکترون و در نتیجه ایجاد فرآیند خوردگی خواهد شد .



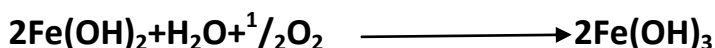
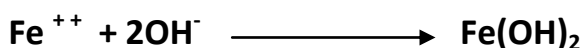
- چگونگی خورده شدن آهن در خاک



- اتم آهن با از دست دادن الکترون به صورت یون مثبت درمی آید.

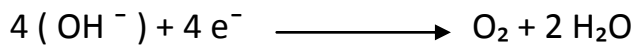
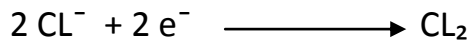


- رطوبت موجود در خاک به یون های مثبت و منفی تجزیه می شوند (الکتروولیز)

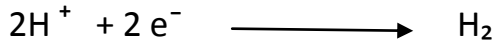


❖ واکنش های تکمیلی آندی و کاتدی :

واکنش های آندی :



واکنش کاتدی :



در حالت وجود حفاظت کاتدی اطراف لوله قلیایی می شود و اطراف بستر آندی اسیدی ، زیرا H^+ از محیط خارج شده و یون OH^- حضور خواهد داشت .

مفاهیم اولیه پتانسیل ، جریان و مقاومت :

❖ مفهوم پتانسیل :

کلیه مواد در طبیعت از اتم ساخته شده اند . اتم از یک هسته که شامل پروتون و نوترون و الکترون هایی که در اطراف هسته در چرخش می باشند تشکیل شده است . تعداد الکترون ها و پروتونها در یک اتم با هم برابر است .

در صورتیکه اتم یک یا چند الکترون خود را از دست بدهد تبدیل به یون می شود . اتمی که الکترون جذب می کند ، دارای بار منفی و اتمی که الکترون از دست می دهد دارای بار مثبت می گردد . طبق قوانین فیزیکی بار های هم نام یکدیگر را دفع و بار های نا هم نام یکدیگر را جذب می کنند . نیروی جاذبه بین دو بار غیر هم نام را پتانسیل (ولتاژ) گویند .

❖ مفهوم جریان :

ماهیت جریان ، همان جابجایی الکترونهاست . طبق قرارداد جهت مرسوم جریان ، عکس جهت حرکت الکترون ها می باشد . وقتی می گوئیم از یک سیم یک آمپر جریان عبور می کند ، بدین معنی است که از آن سیم هادی در هر ثانیه $6/28$ بلیون الکترون عبور می کند .

هر قدر نیروی جاذبه قطب های مثبت و منفی (ولتاژ) اعمال شده بیشتر باشد ، مقدار جابجایی الکترون (جریان) بیشتر است .

❖ مفهوم مقاومت :

چنانچه ماده ای تحت شرایط ذکر شده ، حالت مناسبی برای جابجایی الکترون نداشته باشد(عایق) و عبور جریان به سختی انجام گیرد ، گویند که عمل هدایت برق به خوبی انجام نمی شود و یا به عبارت دیگر ، درمقابل عبور جریان از خودش مقاومت نشان می دهد.

مقاومت و هدایت اجسام بستگی به ساختار اتمی و همچنین ساختمان مولکولی (بلوری) آنها دارد .

عمل انتقال حرارت در فلزات نیز به وسیله جابجایی الکترونها انجام می شود.

$$R = V / I$$

انواع خوردگی :

انواع خوردگی (به صورت کلی) عبارتند از :

۱- خوردگی داخلی (EROSION)

۲- خوردگی خارجی (CORROSION)

❖ خوردگی داخلی :

خوردگی داخلی ، خوردگی سایشی در اثر عوامل فیزیکی می باشد .

سرعت گاز در مصارف زیاد ، بسیار بالا بوده و بدلیل آنکه ذرات معلق موجود در گاز تمایل به حرکت مستقیم دارند ، عموماً در اتصالات ، علاوه بر ایجاد صدا ، باعث ایجاد خوردگی داخلی نیز می شوند .

روشهای مقابله با خوردگی داخلی :

۱- استفاده از ضخامت بالا در تاسیسات

۲- استفاده از آلیاژ مناسب

۳- طراحی صحیح زوایای اتصال

❖ خوردگی خارجی :

واکنش الکتروشیمیایی جسم با محیط اطراف می باشد . در این نوع خوردگی آند همیشه خورده شده و کاتد با دریافت الکترون احیا می شود .

❖ مهمترین انواع خوردگی خارجی :

➤ خوردگی یکنواخت :

- ✓ این نوع خوردگی هنگامی بوجود می آید که با تشکیل پیلهایی به صورت آند و کاتد های ریز و نزدیک بهم و در حضور رطوبت لایه های سطحی فلز را مورد حمله قرار داده و بطور یکنواخت در تمام سطح فلز مشاهده گردد .
- ✓ در این نوع خوردگی کاهش وزن فلز بسیار بالا بوده و با اندازه گیری ضخامت به صورت دوره ای ، عمر مفید فلز قابل پیش بینی است .
- ✓ روش های جلوگیری از این نوع خوردگی ، اعمال پوشش و حفاظت کاتدی می باشد .

➤ خوردگی حفره ای :

- ✓ این نوع خوردگی را خوردگی نقطه ای نیز می گویند.
- ✓ این نوع خوردگی زمانی بوجود می آید که سطح آند خیلی کوچکتر از سطح کاتد باشد .
- ✓ در این خوردگی حفره های ریز و در اندازه های مختلف در سطح فلز ایجاد شده و عمق خوردگی توسط بوسیله Pit Guage قابل اندازه گیری می باشد.
- ✓ موثر ترین روش جلوگیری خوردگی حفره ای کاهش سطح کاتد نسبت به آند از طریق اعمال پوشش می باشد .

➤ خوردگی گالوانیکی :

- ✓ این خوردگی در اثر اتصال دو فلز غیر هم جنس در تماس با الکترولیت ایجاد می گردد . همچنین در حالتی که لوله های فولادی نو و کهنه به هم متصل می گردند به علت اینکه پتانسیل لوله نو نسبت به خاک منفی تر از پتانسیل لوله کهنه می باشد ، لوله نو نسبت لوله کهنه حالت آند پیدا کرده و خوردگی گالوانیکی رخ می دهد .
- ✓ موثر ترین راههای جلوگیری از خوردگی گالوانیکی اعمال حفاظت کاتدی و جدا کردن فلزات غیر هم جنس (لوله های فولادی کهنه و نو) بوسیله اتصالات عایقی است .

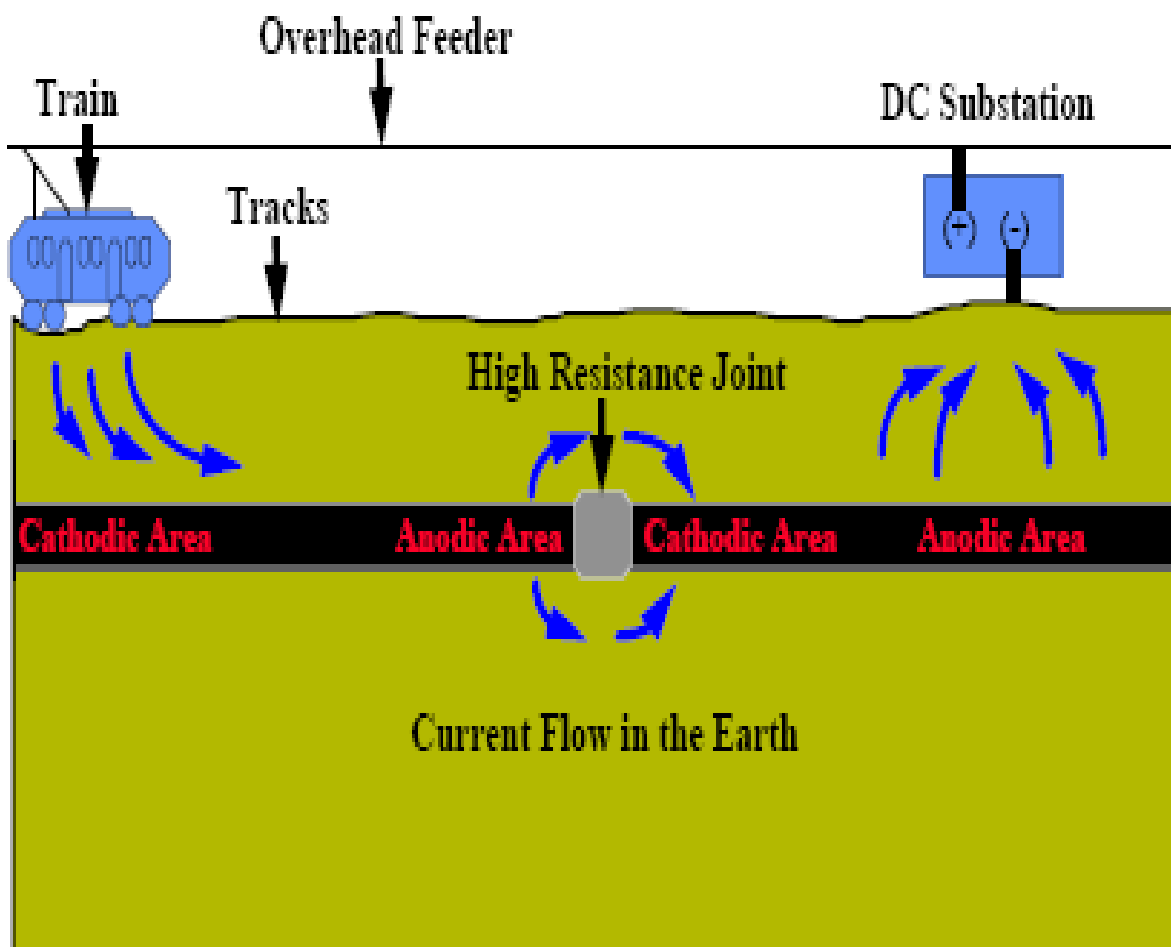
➤ خوردگی میکروبی یا باکتریایی :

- ✓ این نوع خوردگی اولین بار توسط ون ولز کوهنر شناخته شد .

- ✓ به طور کلی این نوع خوردگی توسط باکتری های احیا کننده سولفات یا باکتریهای بی هوازی (S.R.B) و باکتری های اکسید کننده گوگرد یا باکتریهای هوازی (S.O.B) ایجاد می شود .

➤ خوردگی ناشی از جریانات سرگردان :

- ✓ جریان سرگردان جریانی مستقیم و یکسو بوده که به صورت مجزا از سیستم مورد نظر ما در زمین جاری می باشد .
- ✓ این جریان ازبهرترین مسیر کم مقاومت (لوله های مدفون در زمین) وارد و پس از خروج از قسمت دیگری ازمسیر مذکور و جذب جریان از طریق قطب مثبت مولد جریان مدارش بسته می شود.
- ✓ یونهای مثبت آهن در محل خروج جریان از لوله ، از آن جدا شده و در داخل الکترولیت (خاک) با جذب یونهای (OH⁻) موجب خوردگی لوله در محل خروج جریان می گردند . در صورتیکه محل خروج جریان دارای سطح کمی باشد ، خوردگی از نوع خوردگی حفره ای و درغیر این صورت خوردگی به صورت یکنواخت خواهد بود . موثر ترین راههای جلوگیری از این نوع خوردگی عبارتند از :
 - ✓ افزایش مقاومت در محل خروج جریان سرگردان از طریق اعمال پوشش مناسب
 - ✓ غلبه بر جریان خروجی از طریق دفن آند های فدا شونده در محل خروج جریان
 - ✓ اتصال لوله مدفون در خاک به قطب منفی مولد جریان سرگردان



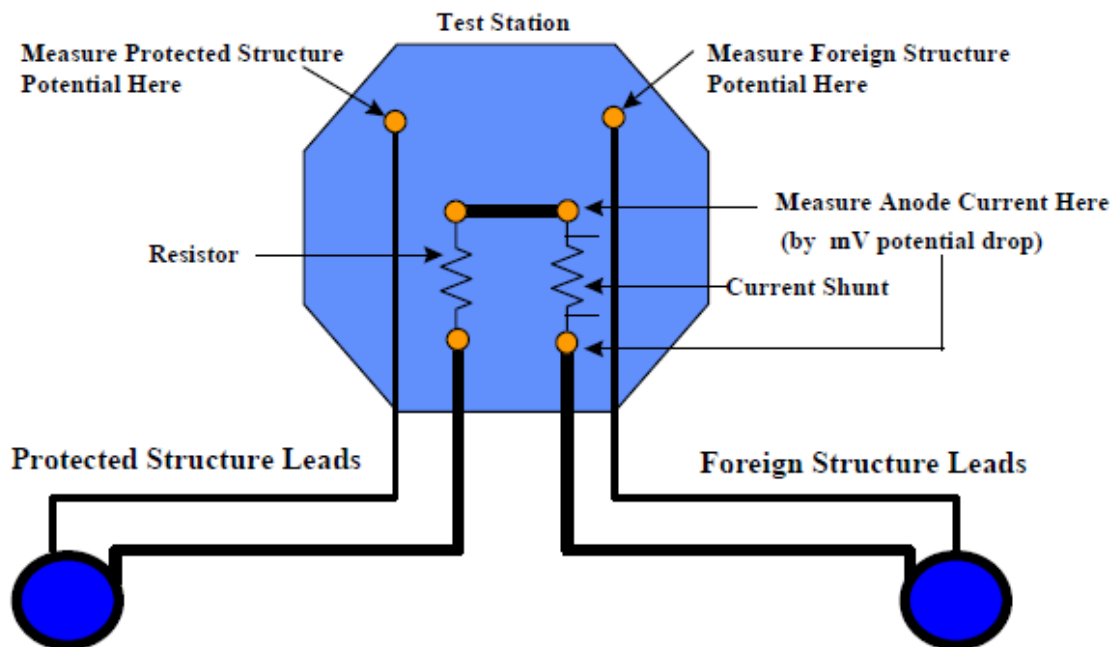


FIGURE 35
CORRECTION OF INTERFERENCE BY RESISTIVE BONDING

عوامل موثر بر سرعت خوردگی :

۱- درجه حرارت :

با افزایش دما، فعل و انفعالات شیمیایی بیشتر شده و در نتیجه سرعت خوردگی بالا می رود. به ازاء هر ۲۵ تا ۵۰ درجه فارنهایت افزایش دما، سرعت خوردگی تا ۲ برابر افزایش می یابد. این نسبت تا ۱۶۰ درجه فارنهایت برقرار می باشد و از این مقدار بیشتر، سرعت خوردگی ثابت می ماند.

۲- پتانسیل الکتریکی (ولتاژ) :

با افزایش اختلاف پتانسیل، سرعت خوردگی افزایش پیدا می کند.

۳- شرایط سطحی فلز :

هرچه سطح صیقلی تر باشد، سرعت خوردگی کاهش پیدا می کند، زیرا هر چه سطح صیقلی تر باشد امکان نفوذ و جایگیری مواد خوردنده کمتر می شود.

۴- عملیات حرارتی :

قسمتی از فلز که روی آن عملیات حرارتی صورت می پذیرد به دلیل آنکه ساختمان بلوری اش تغییر می کند، دارای سرعت خوردگی بالاتری می باشد.

۵- تابش مستقیم خورشید :

تابش مستقیم خورشید باعث بالا رفتن سرعت خوردگی می گردد .

۶- ناخالصی :

خوردگی اصولاً به دلیل وجود ناخالصی ها پدید می آید . افزایش ناخالصی ها باعث افزایش سرعت خوردگی می گردد .

۷- تنش (STRESS) :

افزایش تنشها ، باعث افزایش سرعت خوردگی می گردد .

۸- زمان :

افزایش زمان ، باعث افزایش سرعت خوردگی می گردد .

۹- رطوبت :

افزایش رطوبت ، باعث افزایش سرعت خوردگی می گردد . بطوریکه افزایش سرعت خوردگی در میزان رطوبت تا ۶۰٪ کم و بالاتر از این مقدار ، سرعت خوردگی به شدت افزایش می یابد .

تئوری حفاظت کاتدی :

چنانکه گفته شد نقاط آندی و کاتدی بهرحال و بععل مختلف وجود دارند یا به وجود می آیند.

حفاظت کاتدی عبارت است از جلوگیری یا کاهش خوردگی فلز با اعمال یک جریان الکتریکی مستقیم خارجی ، یا اتصال آن به یک فلز از بین رونده تر ، تا فلز مورد نظر به صورت کاتد درآید. قبل از اعمال حفاظت کاتدی ، فلزی که خورده می شود دارای مناطق آندی و کاتدی بوده است ولی با اعمال سیستم حفاظت کاتدی ، مناطق آندی نیز تبدیل به کاتد شده و در نتیجه سازه مورد نظر کلاً کاتدی می گردد .

حال اگر ما جهت جریان را که از لوله به محیط است ، تبدیل به از محیط به لوله کنیم ، در واقع مانع خوردگی شده ایم ، یعنی اگر در مجاورت لوله آندهایی را قراردهیم و ارتباط این آند ها را به لوله به تنهایی یا از طریق جریان برق برقرارکنیم، لوله تبدیل به قطب منفی یا کاتد شده و روند خوردگی متوقف خواهد شد .

روش های عملی حفاظت کاتدی :

حفاظت کاتدی با دو روش اعمال می شود :

۱ - با اعمال و تزریق جریان برق مستقیم .

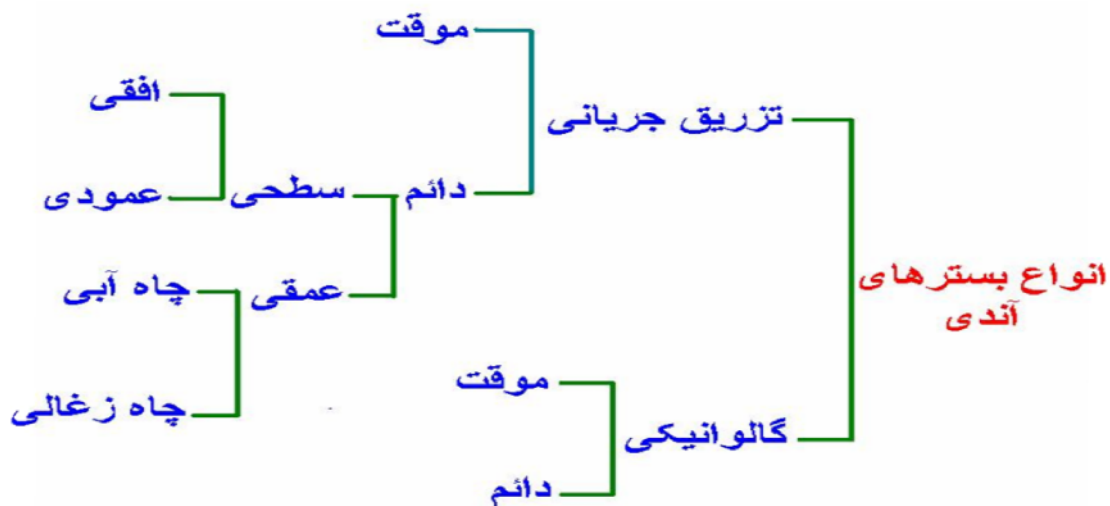
۲ - بدون استفاده از جریان برق وبا استفاده از آندهای فنا شونده .

❖ سیستم اعمال جریان :

اساساً اصول هر دو سیستم حفاظت کاتدی مشابه هم می باشند ، با این تفاوت که در سیستم های جریان تزریقی ، آنداها با استفاده از یک منبع خارجی دارای انرژی می شوند. عموماً " برای تبدیل جریان برق متناوب (A.C) به برق مستقیم (D.C) از یک مبدل یکسو کننده جریان استفاده می شود . جریان مستقیم از طریق آند یا بسترآندی به الکترولیت منتقل می شود . در سیستم جریان تزریقی آندهای مختلفی در اندازه و انواع فراوانی وجود دارند. این آنداها عبارتند از: آندهای گرافیت (Graphit) ، آندهای مگنتایت (Magnetite)، آندهای چدن پرسیلیس (High Silicon Cast Iron) و آندهای تیتانیوم با پوشش اکسیدی (MMO) .

انواع بسترهای آندی :

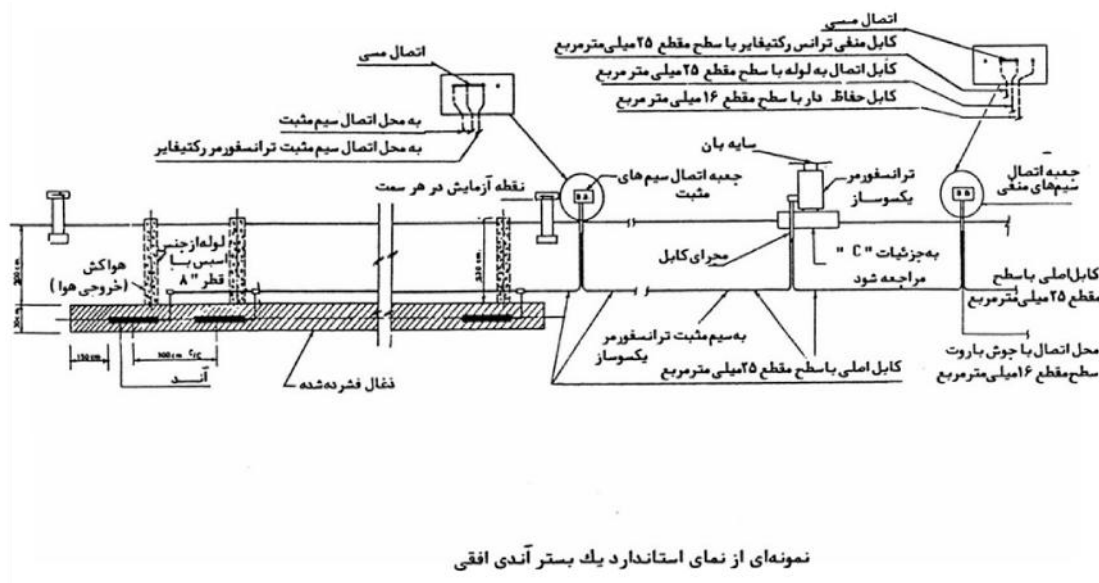
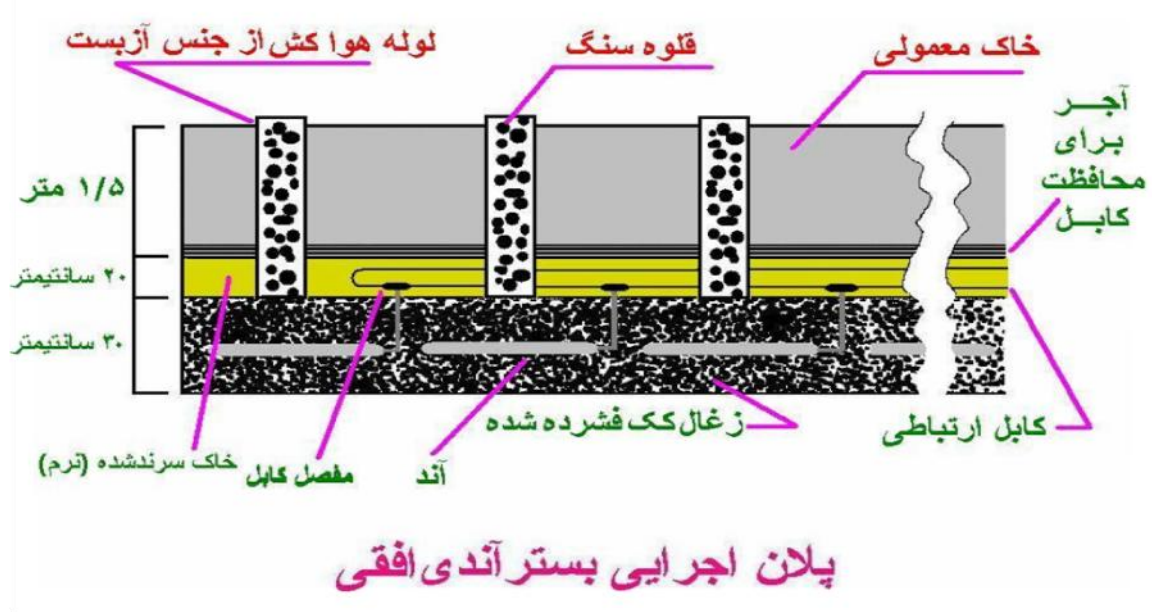
بسترهای آندی را به طور خلاصه می توان به صورت زیر دسته بندی کرد :



الف) بسترهای آندی افقی :

بسترهای افقی : به بسترهایی اطلاق می شود که در سطح زمین و در عمق (معمولاً) ۳ متر و یا کمتری ایجاد می شوند . این نوع بستر در مکانهایی قابل اجرا است که فضای لازم برای ایجاد آن فراهم

باشد زیرا فاصله از شبکه و یا خط لوله و همچنین طول بسترا مواردی است که بایستی در طراحی لحاظ گردد.

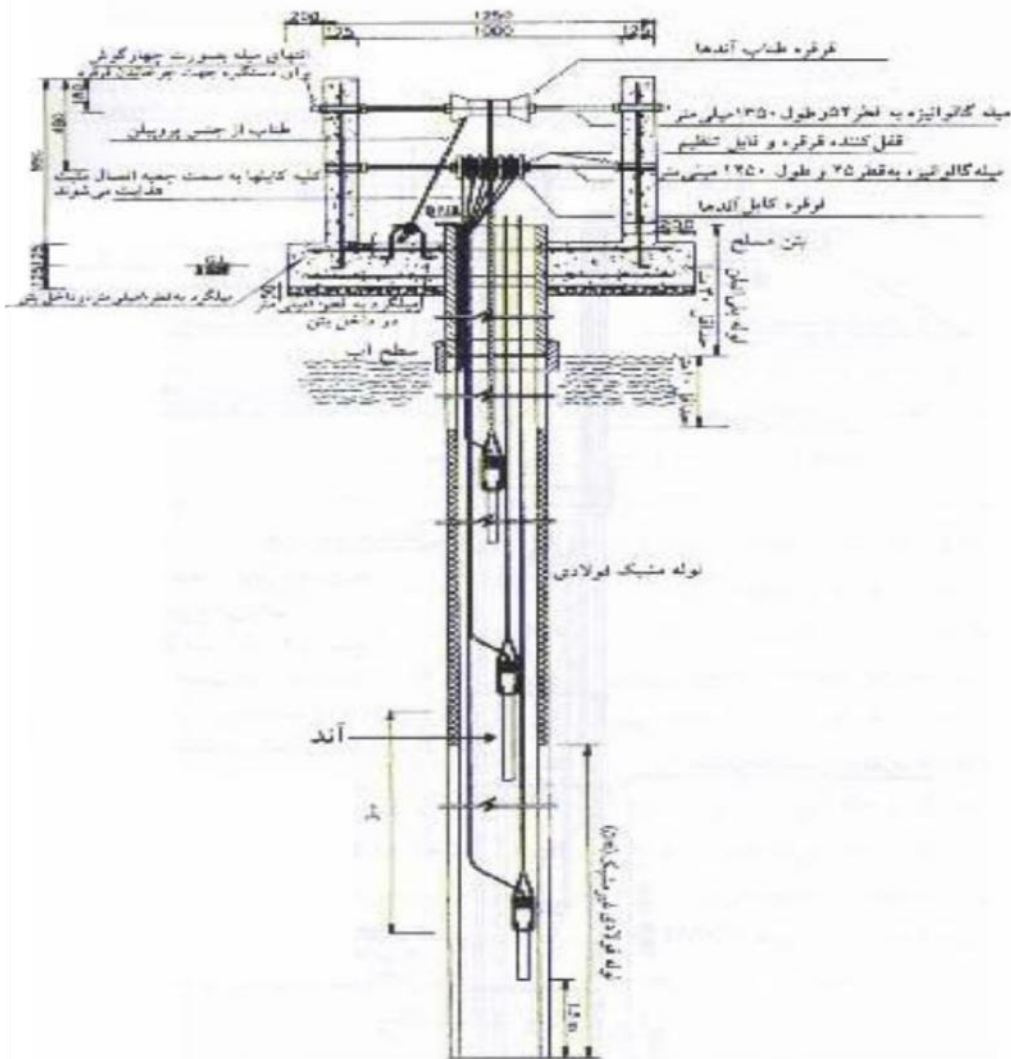


ب) بسترهای عمقی:

به بسترهایی اطلاق می شود که بر حسب ضرورت (بالا بودن مقاومت ویژه خاک در لایه های سطحی و یا نبودن فضای لازم) در اعماق زمین اجرا می گردند، و شامل دو نوع می باشند:

۱- بستر آندی چاه ذغالی

۲- بستر آندی چاه آبی



پلان اجرایی بستر آندی چاه آبی با آندسیٹھیکون

اصول اندازه گیری پتانسیل

حفاظت کاتدی

و

تجزیه و تحلیل آن

مقدمه

❖ ارزیابی عمومی سیستم های حفاظت کاتدی :

✓ بررسی سیستم های حفاظت کاتدی

✓ ارزیابی وضعیت پوشش

✓ بررسی وضعیت خوردگی

❖ بررسی سیستم های حفاظت کاتدی :

✓ بررسی پتانسیل لوله نسبت به خاک

✓ بررسی پتانسیل لوله در فواصل نزدیک (CIPS)

✓ بررسی نقاط حاد (HOT SPOT SURVEY)

✓ بررسی وضعیت دستگاه مبدل یکسو کننده

معیار پذیرش حفاظت کاتدی بر اساس استاندارد (حد پایین)

❖ استاندارد های معیار پذیرش حفاظت کاتدی :

1. NACE – SP 0169
2. NACE – TM 0497
3. ISO – 15589 -1
4. NACE – RP 0104
5. BS – 7361

❖ معیار پذیرش حفاظت کاتدی بر اساس استاندارد NACE – RP 0169 & NACE – TM 0497:

✓ ۸۵۰- میلی ولت پتانسیل لوله نسبت به خاک در حالت روشن (با در نظر گرفتن میزان IRdrop)

✓ ۸۵۰- میلی ولت پتانسیل پلاریزه لوله نسبت به خاک در حالت خاموش لحظه ای (Instantaneous Off)

✓ ۱۰۰ میلی ولت پتانسیل پلاریزاسیون یا تخلیه

❖ مفهوم پلاریزاسیون (Polarization):

• **تعریف شیمیایی پلاریزاسیون:**

➤ جمع شدن گاز هیدروژن یا تشکیل فیلم اکسیدی محافظ بر روی سطح سازه .

• **نتیجه پلاریزاسیون:**

✓ تشکیل لایه محافظ هیدروژن روی سطح فولاد (۹۰٪) ← قابل برداشته شدن

✓ تشکیل فیلم محافظ اکسیدی روی سطح فولاد (۱۰٪) ← غیر قابل برداشته شدن

• **فیلم اکسیدی تشکیل شده بر روی سطح آهن:**

✓ لایه اول (Feo) : اکسید آهن دو ظرفیتی (Wustite)

✓ لایه دوم (Fe₃O₄) : اکسید آهن چهار ظرفیتی (Magnetite)

✓ لایه سوم (Fe₂O₃) : اکسید آهن سه ظرفیتی (Hematite)

✓ لایه اکسیدی محافظ آهن لایه دوم بوده که سیاه رنگ می باشد .

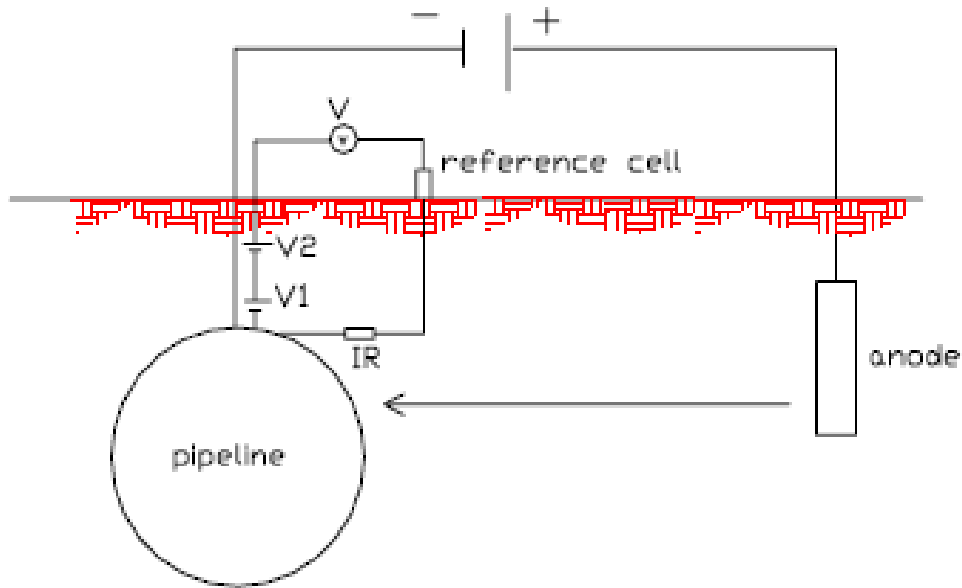
• **تعریف الکتریکی پلاریزاسیون:**

✓ انحراف از پتانسیل خوردگی (پتانسیل طبیعی) یک سازه، در نتیجه عبور جریان بین سازه و الکترولیت .

• پتانسیل پلاریزه :

✓ پتانسیل میان سطح مشترک سازه و الکترولیت که حاصل جمع پتانسیل خوردگی (پتانسیل طبیعی) و پلاریزاسیون کاتدی می باشد .

- V_1 : Corrosion potential (natural potential), V_2 : Cathodic Polarization,
- V_1+V_2 : Polarization Potential, (Off-Potential),
- $V=V_1+V_2+IR$: On-potential,



شکل ۱ : مفهوم پتانسیل پلاریزاسیون

❖ مفهوم IRdrop :

✓ IRdrop عبارتست از حاصلضرب جریان مصرفی در کل مقاومت های موجود در مدار اندازه گیری که باعث افت پتانسیل لوله نسبت به خاک می گردند .

✓ مقاومت های موجود در مدار اندازه گیری عبارتند از :

- مقاومت لوله
- مقاومت پوشش لوله
- مقاومت الکتریکی خاک

- کابل های اندازه گیری
- مقاومت داخلی دستگاه اندازه گیر
- مقاومت داخلی الکتروود مرجع
- محل اتصال کابل به لوله

❖ معیار ۸۵۰- میلی ولت در حالت روشن (ON) :

- ✓ معیاری که بیشترین کاربرد را برای تعیین میزان حفاظت کاتدی دارد .
- ✓ برای یک خط لوله مدفون میزان قابل قبولی از حفاظت کاتدی بدست می آید ، در صورتیکه میزان خطای IRdrop در زمان استفاده از این معیار در نظر گرفته شود .
- ✓ میزان خطای IRdrop با اندازه گیری پتانسیل خاموش لحظه ای حذف خواهد شد .
- ✓ پتانسیل روشن = پتانسیل خاموش لحظه ای + خطای IRdrop

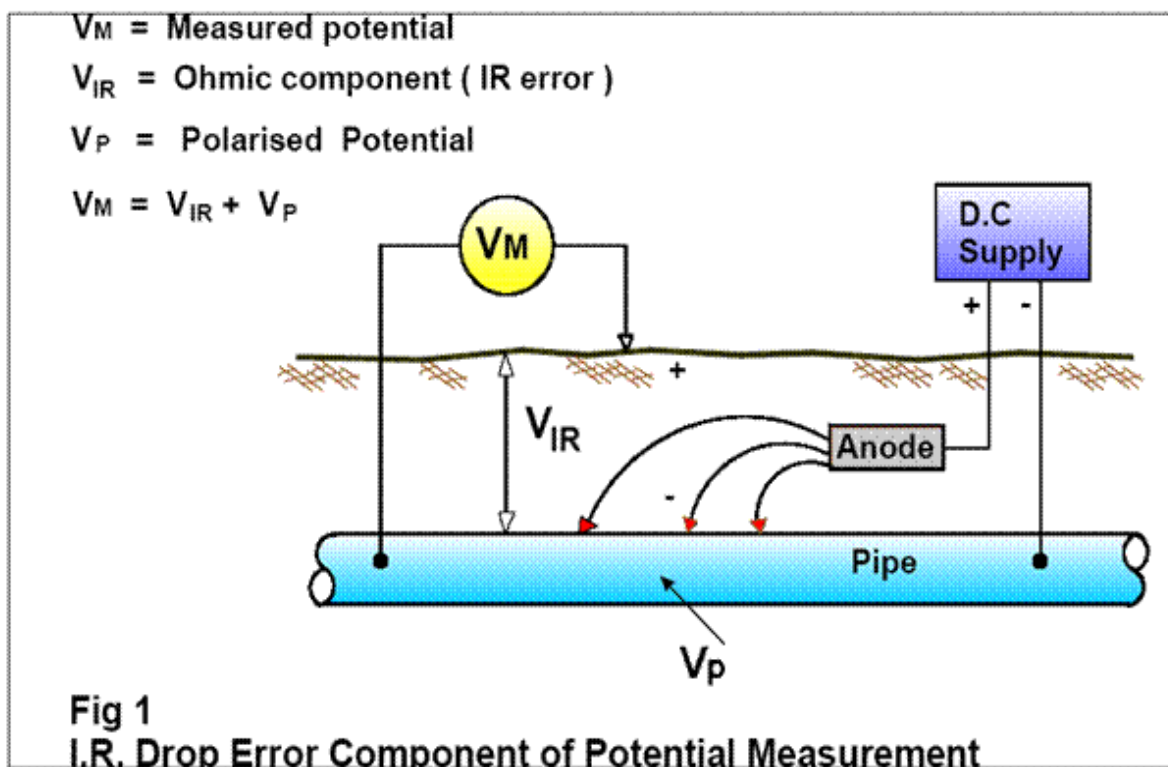
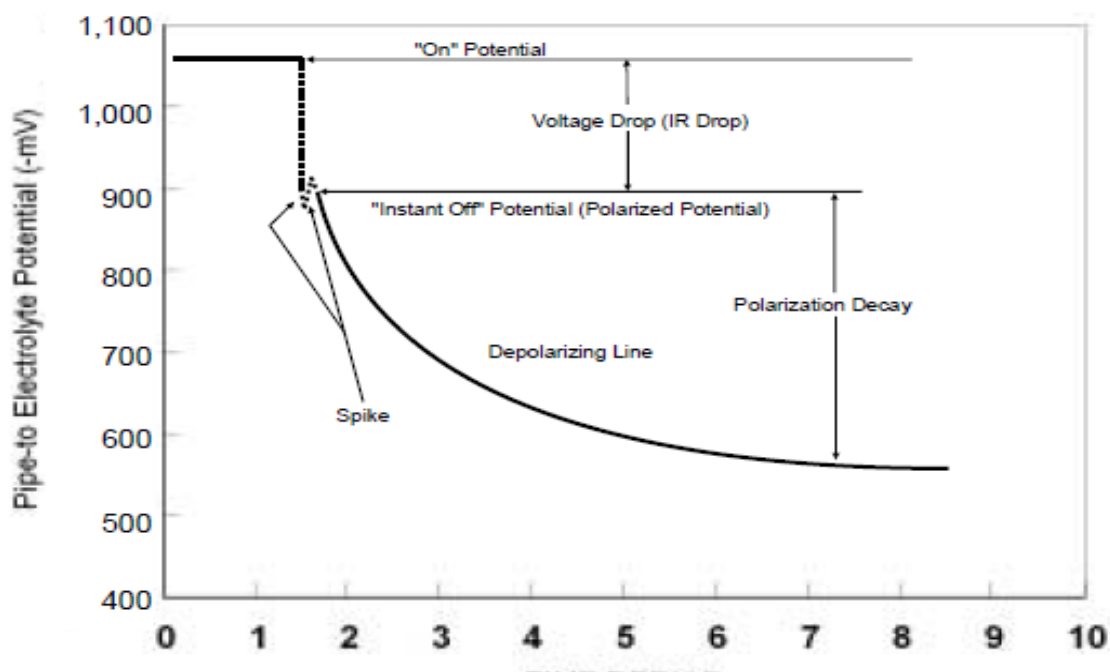


Fig 1
I.R. Drop Error Component of Potential Measurement

شکل ۲ : اندازه گیری پتانسیل لوله نسبت به خاک در حالت روشن (ON)

❖ معیار ۸۵۰- میلی ولت در حالت خاموش لحظه ای (Instantaneous Off) :

- ✓ حفاظت کاتدی کافی با تامین پتانسیل پلاریزه به میزان حداقل ۸۵۰- میلی ولت بدست می آید
- ✓ پتانسیل خاموش لحظه ای برابر است با حاصل جمع پتانسیل خوردگی (پتانسیل طبیعی) و پتانسیل پلاریزاسیون کاتدی .
- ✓ پتانسیل پلاریزه مستقیماً " بلافاصله بعد از قطع کلیه منابع جریان موثر اندازه گیری می شود و به صورت پتانسیل خاموش لحظه ای قابل استناد می باشد .
- ✓ پتانسیل خاموش لحظه ای = پتانسیل پلاریزاسیون + پتانسیل طبیعی



شکل ۳: پتانسیل روشن و خاموش لحظه ای در زمان Off

❖ معیار ۱۰۰ میلی ولت پلاریزاسیون یا تخلیه (Polarization Or Decay) :

- کاربرد های معیار ۱۰۰ میلی ولت پلاریزاسیون یا تخلیه :
- ✓ زمانی که سازه لخت یا پوشش بسیار ضعیف باشد .
- ✓ زمانی که جریان مصرفی و دانسیته جریان بسیار بالا باشد.

✓ زمانی که معیار ۸۵۰- میلی ولت در حالت خاموش لحظه ای برای سازه محقق نشود (مقاومت الکتریکی خاک بسیار بالا باشد) .

✓ برای تاسیسات مجتمع (Congested Area) با پوشش های متنوع و کیفیت پوشش مختلف.

❖ مزایای استفاده از معیار ۱۰۰ میلی ولت پلاریزاسیون یا تخلیه :

✓ احتمال جدایش پوشش (Disbonding) از بین می رود .

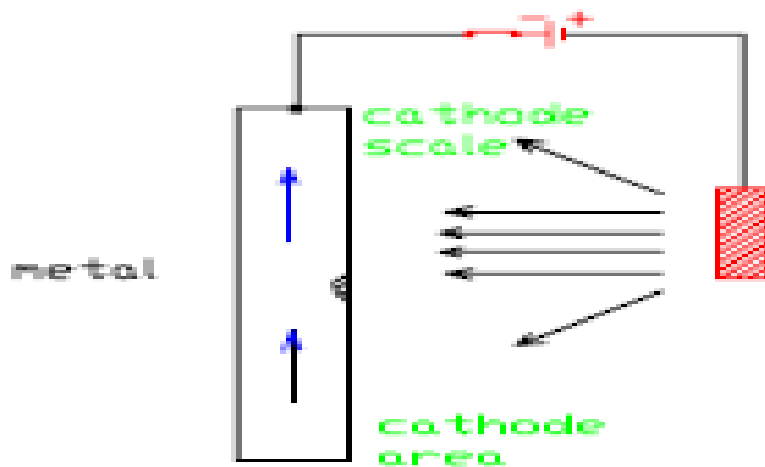
✓ احتمال ایجاد تاول هیدروژنی در لوله از بین می رود .

✓ احتمال تداخل از بین می رود .

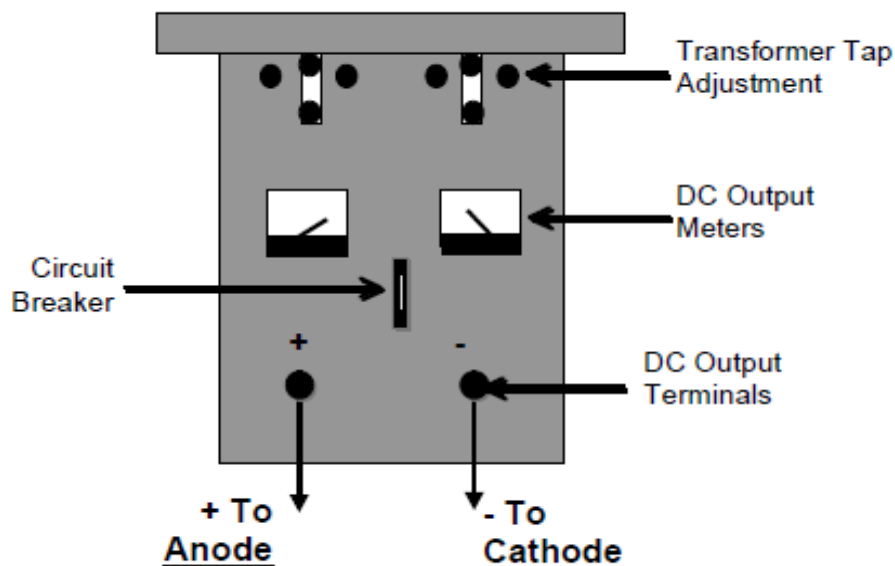
✓ هزینه های برقراری سیستم حفاظت کاتدی کاهش می یابد .

اندازه گیری پتانسیل لوله نسبت به خاک و وسایل مورد نیاز

پس از اطمینان از صحت عملکرد مدار حفاظت کاتدی ، در سرویس قرار دادن دستگاه مبدل یکسو کننده و تنظیم پتانسیل نقطه تزریق ، فرصت لازم جهت تثبیت پتانسیل و جریان حفاظتی که عموماً " ۷۲ ساعت توصیه شده است (جهت اطمینان از پلاریزاسیون کامل) به سیستم حفاظت کاتدی داده شده و پس از گذشت مدت زمان یاد شده ، می بایست تنظیمات دستگاه مبدل یکسو کننده براساس پتانسیل نقطه تزریق مجدداً انجام گردد .



شکل ۴ : مدار صحیح حفاظت کاتدی



شکل ۵ : مدار صحیح حفاظت کاتدی در دستگاه مبدل یکسو کننده

الف) وسایل مورد نیاز جهت اندازه گیری پتانسیل:

- ✓ مولتی متر با مقاومت داخلی بالاتر از $10\text{ M}\Omega$ یا پتانسیومتر
- ✓ الکتروود مرجع مس - سولفات مس
- ✓ دستگاه ثبات پتانسیل بر حسب زمان
- ✓ دستگاه ثبات پتانسیل با قابلیت تنظیم زمان تاخیر
- ✓ دستگاه قطع و وصل کننده جریان با قابلیت تنظیم نسبت زمان روشن و خاموش
- ✓ سیم ارتباطی مناسب
- ✓ ظرف آب تمیز

❖ دستگاههای اندازه گیری پتانسیل:

الف) مولتی متر:

- دستگاه اندازه گیر (مولتی متر) که برای اندازه گیری پتانسیل طراحی شده است، توصیه شده که دارای مقاومت داخلی بالاتر از $250\text{ M}\Omega$ باشد (پتانسیومتر). مولتی مترهای دیجیتال رایج دارای مقاومت داخلی $10\text{ M}\Omega$ می باشند.

- در صورتیکه سازه دارای پتانسیل 900 mV ، مولتی متر دارای مقاومت داخلی $10\text{ M}\Omega$ باشد و مقاومت خارجی مدار $10\text{ K}\Omega$ باشد ، 0.1% از پتانسیل قرائت شده افت می کند و 99.9% خوانده می شود. در صورتیکه سازه در الکترولیت با مقاومت بالا باشد و مقاومت خارجی بالاتر از $1\text{ M}\Omega$ باشد ، کل مقاومت مدار حدود $11\text{ M}\Omega$ شده که در این حالت حدود 90 mV از پتانسیل قرائت شده تلف می شود .



شکل شماره ۶ : مولتی متر

- جهت قرائت پتانسیل و اطمینان از صحت عملکرد سیستم حفاظت کاتدی می بایست قطب منفی مولتی متر (COM) را به الکتروود مرجع (هافسل) و قطب مثبت مولتی متر (V/Ω) را به کابل اندازه گیری پتانسیل (T.P) متصل نمود . در این صورت عدد ظاهر شده بر روی صفحه مولتی متر با علامت منفی خواهد بود .

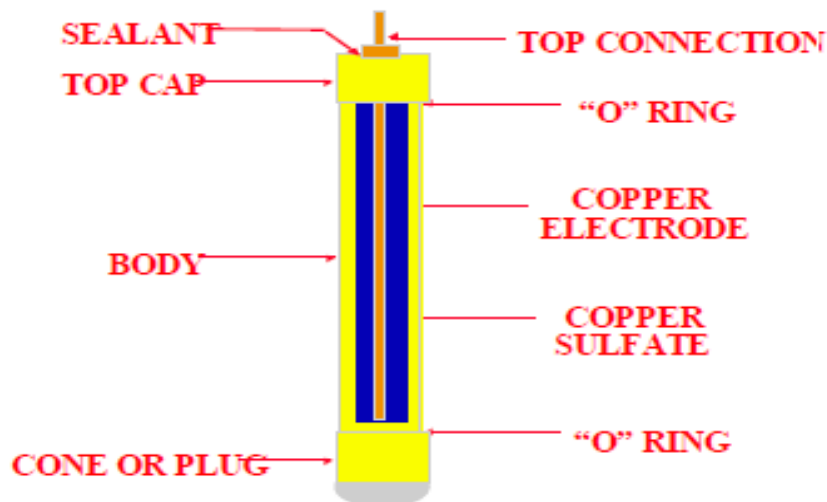
- استفاده از پتانسیومتر و یا مولتی متر با مقاومت داخلی بسیار بالا در کاهش تاثیر مقاومت خارجی در اندازه گیری و نیز اندازه گیری دقیق تر پتانسیل موثر است .

(ب) الکتروود مرجع (Half Cell) :

- ✓ با توجه به اینکه هر پیل الکترو شیمیایی از دو نیم پیل (Half Cell) تشکیل شده است ، لذا جهت تکمیل مدار اندازه گیری از یک الکتروود مرجع مناسب می بایست استفاده شود .
- ✓ اندازه گیری پتانسیل لوله نسبت به خاک از طریق الکتروود مس - سولفات مس انجام خواهد گرفت.

❖ انواع الکتروود مرجع :

- الکتروود مرجع هیدروژن (آزمایشگاهی)
- الکتروود مرجع مس / سولفات مس (مناسب برای اندازه گیری پتانسیل نسبت به خاک)
- الکتروود مرجع نقره / کلرید نقره (مناسب برای اندازه گیری پتانسیل نسبت به آب شور و آب دریا)
- الکتروود مرجع روی (مناسب برای اندازه گیری پتانسیل نسبت به آب دریا)



شکل شماره ۷: الکتروود مرجع $Cu/CuSO_4$

❖ موارد خاص در خصوص دقت الکتروود مرجع مس / سولفات مس :

- آماده سازی محلول سولفات مس
- نگهداری و تمیز کاری الکتروود مرجع
- آزمایش و کالیبراسیون
- تاثیر اثر دما در اندازه گیری پتانسیل نسبت به خاک

❖ نگهداری و تمیز کاری الکتروود مرجع :

- از پارچه زبر یا کاغذ سمباده غیر فلزی برای تمیز کاری الکتروود مس استفاده شود و هرگز از سمباده فلزی ، برس سیمی و... استفاده نشود . اکسید آلومینیوم حاصل از تمیز کاری با سمباده فلزی بر روی سطح الکتروود مس باعث ایجاد خطا در اندازه گیری می گردد .
- الکتروود مس کاملاً تمیز و صیقلی بوده و می بایست از هرگونه آلودگی از جمله اکسید مس (سبز رنگ) ، عاری گردد .
- الکتروود مس نباید دارای خلل و فرج ، خوردگی و یا شکستگی باشد .
- بدنه الکتروود باید کاملاً تمیز بوده و در صورت نیاز با آب مقطر شستشو گردد .
- بدنه الکتروود می بایست کاملاً عاری از هر گونه نشی محلول سولفات مس باشد .
- لایه متخلخل انتهای الکتروود مرجع باید تمیز (عاری از هر گونه آلودگی علی الخصوص چربی) بوده و قابلیت برقراری تماس محلول با خاک مرطوب را داشته باشد .
- محل اتصال کابل می بایست کاملاً تمیز بوده و اتصال با استفاده از سرکابل مناسب و محکم باشد .

❖ آماده سازی محلول سولفات مس :

- ۳۰٪ حجم بدنه تمیز الکتروود مرجع را کریستال های سولفات مس ریخته و مابقی با آب مقطر پر می کنیم .
- با بستن درب و ضمن اطمینان از عدم نشی ، در حالی که مرتباً تکان می دهیم ، در صورت پایین رفتن سطح محلول ، به آن آب مقطر اضافه می کنیم .

- عمل بالا را ادامه می‌دهیم تا محلول سولفات مس آبی رنگ ایجاد شود .
- کم کم و به اندازه ای کریستال سولفات مس اضافه می‌کنیم تا کریستال‌ها دیگر در محلول حل نشود .
- محلول حاصله باید کاملاً " اشباع باشد .

❖ آزمایش دقت و کالیبراسیون :

- وسایل مورد نیاز :
- ✓ الکتروود مرجع کالیبره
- ✓ مولتی متر با مقاومت داخلی بالا ($10\text{ M}\Omega$) و یا بیشتر (
- ✓ انتهای دو الکتروود (کالیبره و مورد آزمایش) را به یکدیگر می‌چسبانیم .
- ✓ سیم‌های ارتباطی را یکی به خروجی V و دیگری را به خروجی مربوط به COM مولتی متر وصل می‌کنیم .
- ✓ اختلاف پتانسیل نباید بیشتر از 5 mv باشد .

ج (دستگاه ثبات پتانسیل بر حسب زمان :

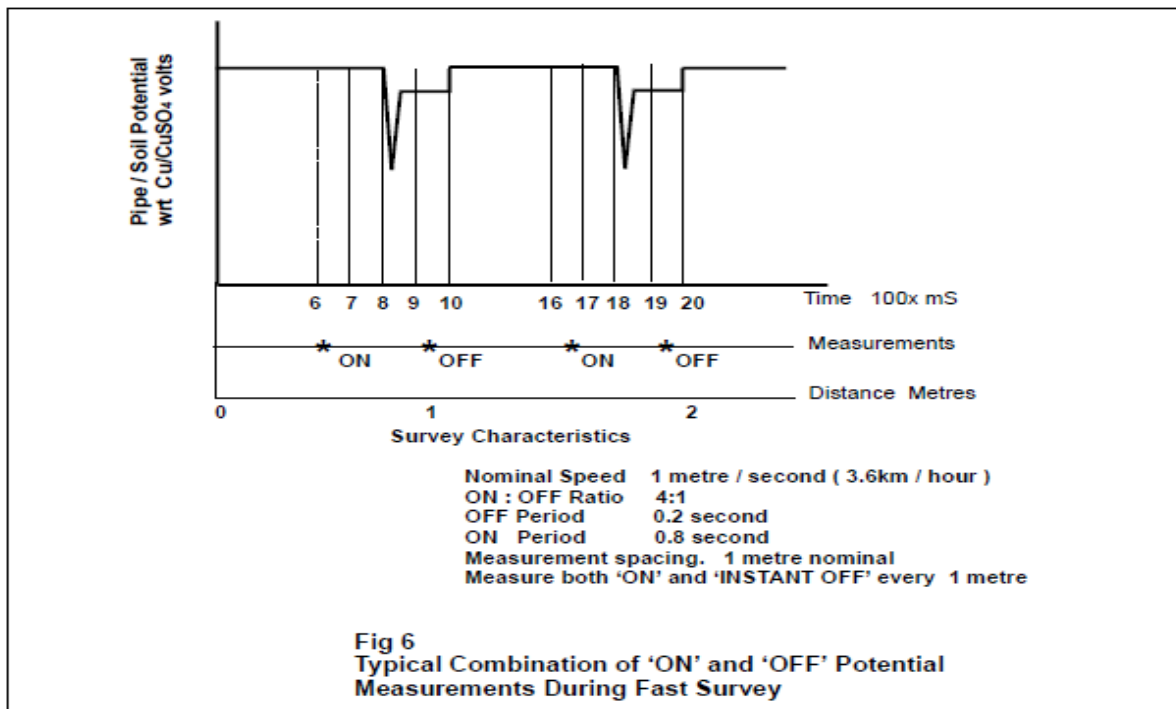
- اندازه گیری پتانسیل به منظور حذف خطای زمان پرش (Spike)، می‌بایست با استفاده از دستگاه ثبت کننده پتانسیل بر حسب زمان بدست آید .
- این دستگاه قابلیت اندازه گیری پتانسیل را در زمانهای بسیار کم (حتی میلی ثانیه) را دارد که با توجه به نمودار حاصل از قطع و وصل جریان ، امکان تعیین زمان تاخیر مناسب (Delay Time) وجود دارد .
- اندازه گیری پتانسیل لوله نسبت به خاک با اعمال زمان تاخیر مناسب (Delay Time) باعث قرائت پتانسیل حفاظتی واقعی (در حالت خاموش لحظه ای) را دارد .

MEMORY HiCORDER 8870-20

Recorders 



شکل ۸: دستگاه ثبت کننده پتانسیل بر حسب زمان

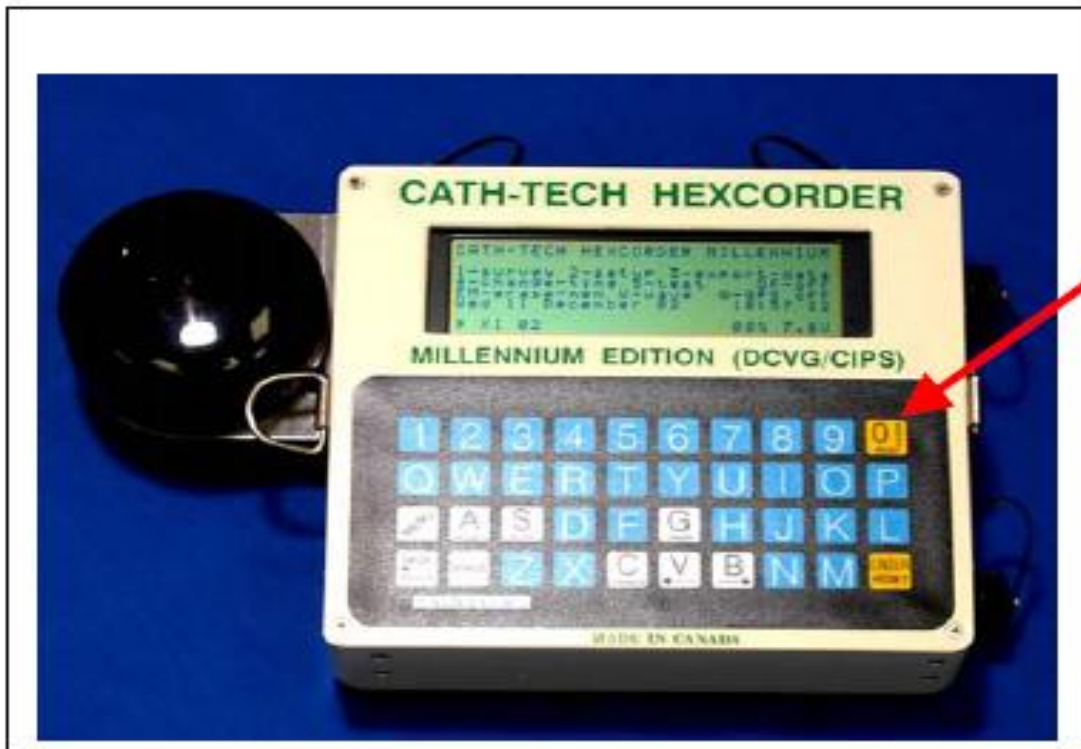


شکل ۸: پتانسیل لوله نسبت به خاک در حالت های روشن و خاموش لحظه ای

د) دستگاه ثبات پتانسیل با قابلیت اعمال زمان تاخیر :

✓ اندازه گیری پتانسیل در حالت خاموش لحظه ای با استفاده از دستگاه ثبات پتانسیل بر حسب زمان با لحاظ زمان تاخیر مناسب صحیح ترین اندازه گیری را بدست می آورد .

✓ پتانسیل در حالت خاموش لحظه ای ، پس از گذشت زمان تاخیر تنظیم شده اندازه گیری می گردد .



شکل ۹ : دستگاه ثبات پتانسیل با لحاظ زمان تاخیر

ب) نحوه اندازه گیری پتانسیل لوله نسبت به خاک بر اساس معیار های مندرج در استاندارد :

اندازه گیری پتانسیل که با استفاده از مولتی متر و الکتروود مرجع $Cu-CuSO_4$ انجام می شود . دقت اندازه گیری پتانسیل با رعایت نکات ذیل حاصل می شود :

✓ نزدیک تر کردن هر چه بیشتر الکتروود مرجع به لوله

✓ ریختن آب کافی در محل قرار گرفتن الکتروود مرجع بر روی خاک

✓ استفاده از سیم مناسب

✓ بهترین سیم بر اساس استاندارد **IEEE 142** ، سیم افشان (**Fine strand**) و با قطر mm^2 ۱۰ (**AWG14**) می باشد .

✓ استفاده از دستگاه اندازه گیری با مقاومت داخلی بالا

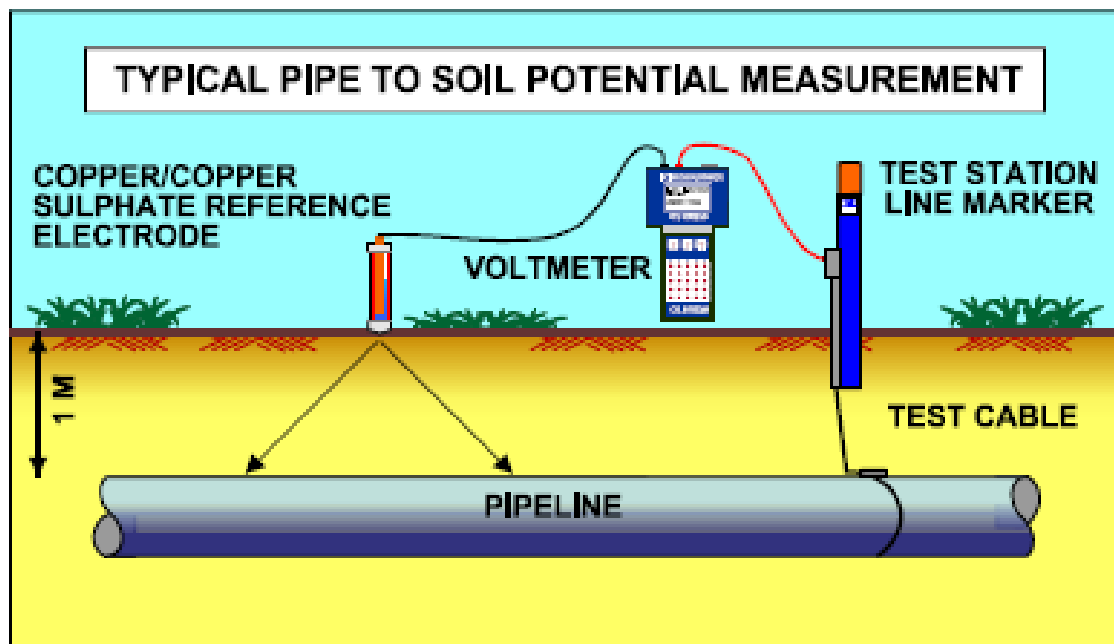
✓ لحاظ نمودن اثرات محیطی بر قرائت مانند دما

❖ اثر دما در اندازه گیری :

✓ اندازه گیری پتانسیل در دمای $21\text{ }^\circ\text{C}$ می بایست انجام گردد.

✓ در صورت افزایش یک درجه سانتیگراد دما ، میزان 0.9 mV باید به پتانسیل افزوده شود .

✓ اثر دما می بایست در ارقام اندازه گیری شده لحاظ گردد .



شکل ۹ : نحوه اندازه گیری پتانسیل لوله نسبت به خاک

الف) اندازه گیری پتانسیل در حالت روشن (ON) :

✓ پس از در سرویس قرار دادن دستگاه مبدل یکسو کننده ، تنظیم پتانسیل نقطه تزریق و دادن فرصت لازم جهت تثبیت پتانسیل و جریان حفاظتی ، پتانسیل لوله نسبت به خاک قابل اندازه گیری بوده و معتبر می باشد .

✓ برای یک خط لوله مدفون میزان قابل قبولی از حفاظت کاتدی بدست می آید ، در صورتیکه میزان خطای IRdrop در زمان استفاده از این معیار در نظر گرفته شود .

نرخ افت پتانسیل لوله نسبت به خاک بستگی دارد به :

✓ مقاومت الکتریکی خاک

✓ زمان لازم برای پلاریزاسیون

✓ وضعیت پوشش لوله

(ب) اندازه گیری پتانسیل در حالت خاموش لحظه ای (Instantaneous Off) :

✓ پتانسیل لوله نسبت به خاک که بلافاصله بعد از قطع جریان اندازه گیری می شود ، مجموع پتانسیل پلاریزه و پتانسیل خوردگی را در سطح مشترک سازه نشان می دهد . این نشانگر وجود حفاظت کاتدی مناسب می باشد.

✓ اندازه گیری پتانسیل لوله نسبت به خاک نیازمند تعیین زمان تاخیر مناسب جهت قرائت صحیح می باشد .

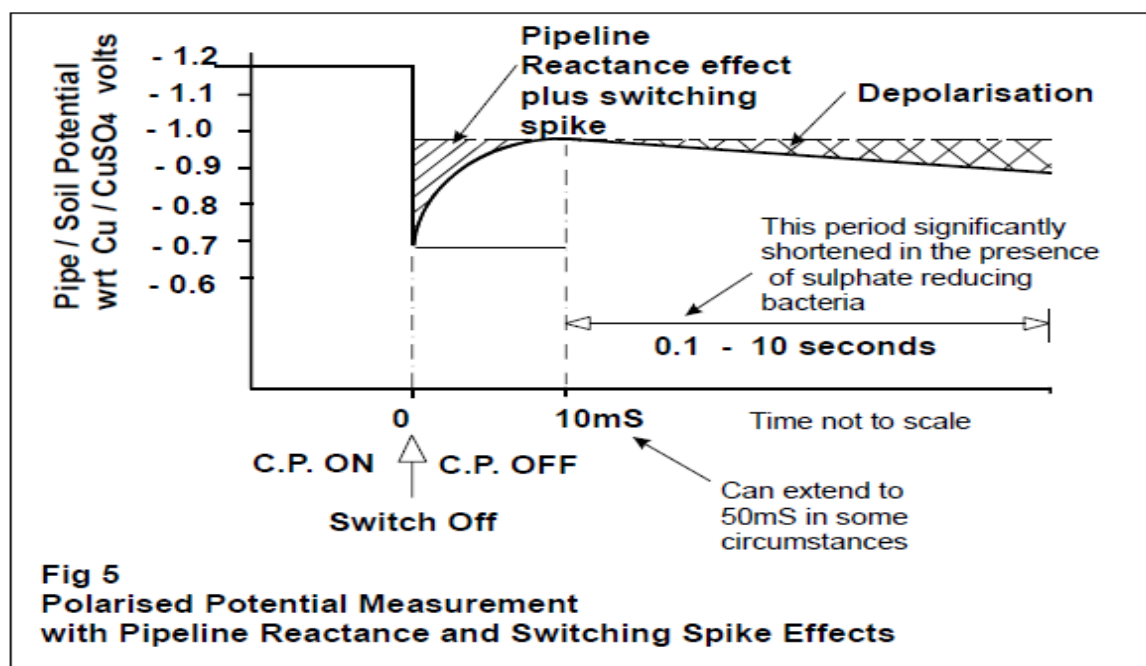
✓ در زمان اندازه گیری پتانسیل حالت خاموش لحظه ای امکان ایجاد پرش (Spike)، بلافاصله بعد از قطع جریان حفاظت کاتدی که حاصل از اثر القایی خط لوله و سیستم حفاظت کاتدی است وجود دارد .

✓ در خطوط لوله با پوشش و خاک های با مقاومت بالا و متغیر ، زمان تاخیر برای قرائت پتانسیل در حالت خاموش لحظه ای یک تا چند صد میلی ثانیه و یا بیشتر افزایش می یابد . زمان تاخیر می تواند در محدوده ۰/۲ تا ۰/۵ ثانیه و با استفاده از تجهیزات مناسب تعیین گردد. (این زمان باید کمتر از ۰/۵ ثانیه باشد)

✓ نسبت زمان قطع به وصل جریان می بایست ۴ به ۱ در نظر گرفته شود .

✓ در صورت استفاده از چند ایستگاه حفاظت کاتدی برای تامین جریان مورد نیاز جهت پلاریزاسیون ، جریان حفاظتی در دستگاههای مبدل یکسوکننده می بایست بطور همزمان (Synchronize) قطع و وصل گردند .

✓ با اندازه گیری پتانسیل لوله نسبت به خاک در حالت خاموش لحظه ای ، میزان خطای IRdrop ، کاملاً قابل صرفه نظر کردن بوده و پتانسیل اندازه گیری شده ، همان مجموع پتانسیل پلاریزه و پتانسیل خوردگی می باشد .

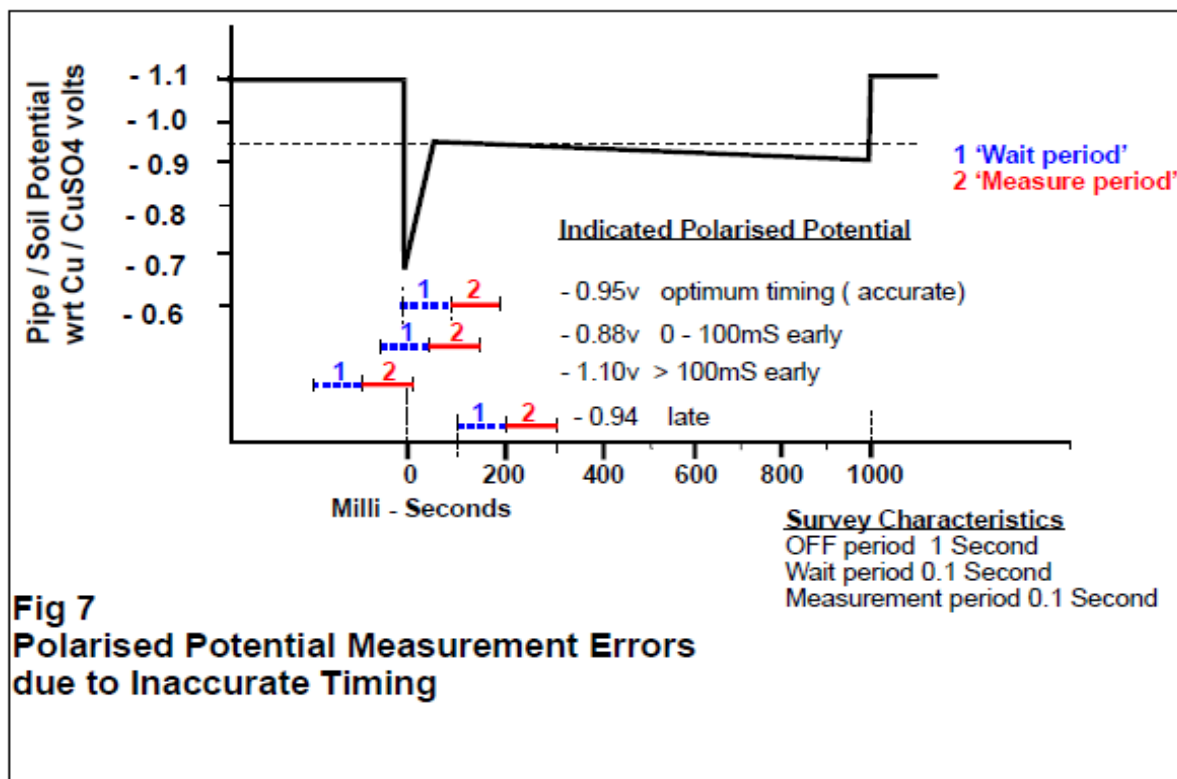


شکل ۱۰: پتانسیل لوله نسبت به خاک در حالت های روشن و خاموش لحظه ای

❖ نحوه اندازه گیری صحیح پتانسیل لوله نسبت به خاک در حالت های خاموش لحظه ای:

- در زمان اندازه گیری پتانسیل حالت خاموش لحظه ای امکان ایجاد پرش (Spike)، بلافاصله بعد از قطع جریان حفاظت کاتدی که حاصل از اثر القایی خط لوله و سیستم حفاظت کاتدی است وجود دارد .
- اندازه گیری پتانسیل به منظور حذف خطای زمان پرش (Spike)، می بایست با استفاده از دستگاه ثبت کننده پتانسیل بر حسب زمان بدست آید .

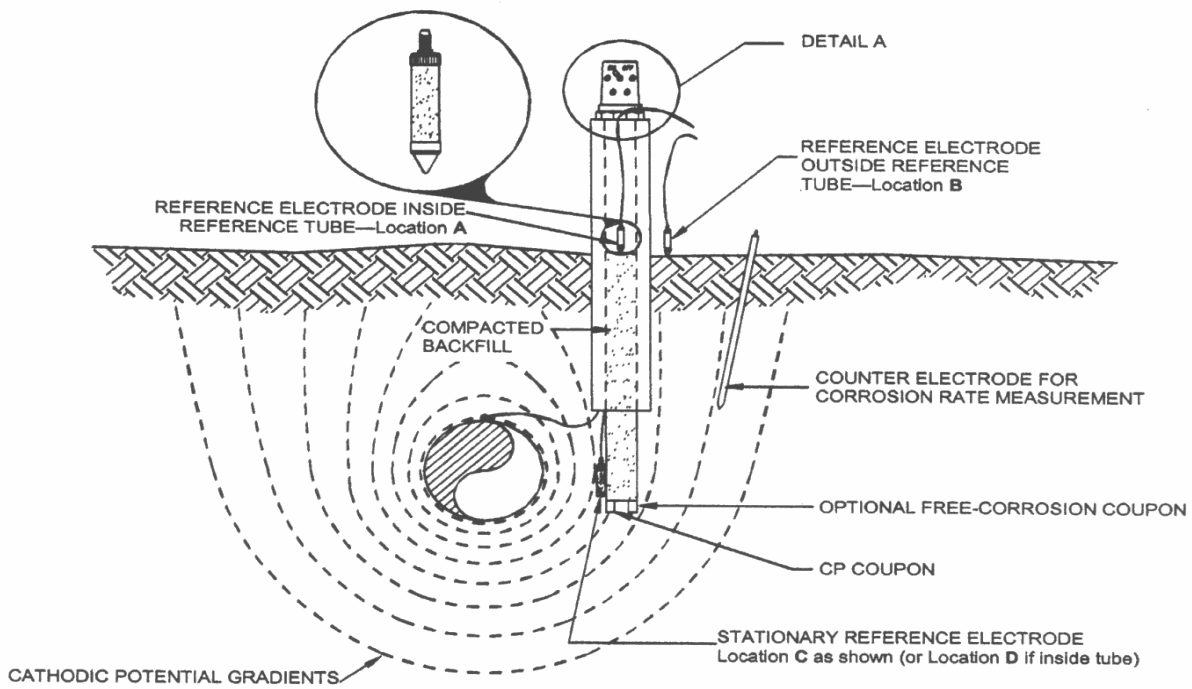
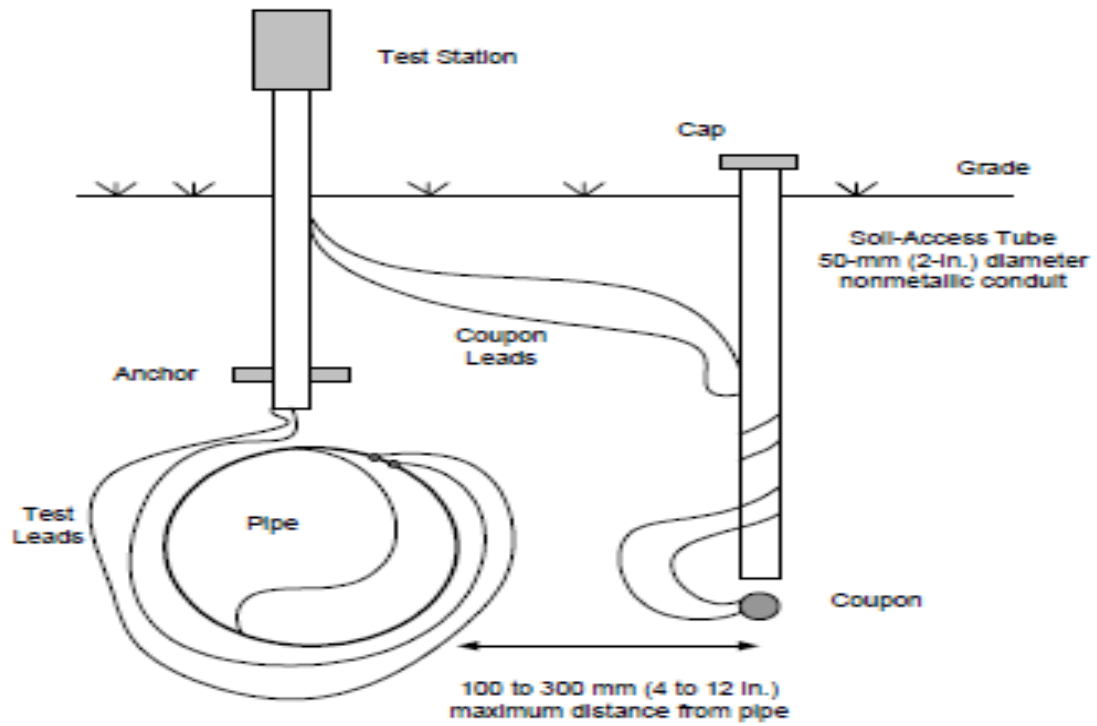
- ✓ اندازه گیری پتانسیل حالت خاموش لحظه ای با استفاده از دستگاه ثبات پتانسیل بر حسب زمان با لحاظ زمان تاخیر مناسب صحیح ترین اندازه گیری را بدست می آورد .
- ✓ لحاظ نمودن زمان تاخیر نامناسب سبب ایجاد خطا در اندازه گیری می گردد .



شکل ۱۱: اندازه گیری پتانسیل حالت خاموش لحظه ای با لحاظ زمان تاخیر

❖ کوپن اندازه گیری :

- ✓ از کوپن های اندازه گیری عموماً در جایی استفاده می شود که امکان قطع و وصل جریان وجود نداشته باشد .
- ✓ کوپن ها قطعات کوچکی از جنس سازه می باشند که به صورت الکتریکی به سازه از طریق یک سویچ متصل می باشند . کوپن ها باید در عمق دفن لوله ، در خاک با مقاومت پایین ، در مسیر جریان حفاظتی و در کنار سازه به حالت ایزوله دفن گردد .
- ✓ پتانسیل اندازه گیری شده بلافاصله بعد از قطع جریان ، پتانسیل عاری از IRdrop خوانده می شود .



ج) معیار ۱۰۰ میلی ولت پلاریزاسیون :

- ✓ برای رسیدن به معیار ۱۰۰ میلی ولت پلاریزاسیون ، با اطمینان از تخلیه کامل پتانسیل خط لوله ، ابتدا باید پتانسیل طبیعی را اندازه گرفت .
- ✓ پس از در سرویس قرار دادن سیستم حفاظت کاتدی و اطمینان از تثبیت پتانسیل حالت روشن ، پتانسیل حالت خاموش لحظه ای با رعایت کلیه موارد اشاره شده اندازه گیری گردد .
- ✓ حاصل تفریق پتانسیل حالت خاموش لحظه ای و پتانسیل طبیعی باید از ۱۰۰- میلی ولت بیشتر باشد.

د) معیار ۱۰۰ میلی ولت تخلیه :

- ✓ در حالی که سیستم حفاظت کاتدی در سرویس است و اطمینان از تثبیت پتانسیل حالت روشن ، پتانسیل حالت خاموش لحظه ای با رعایت کلیه موارد اشاره شده اندازه گیری گردد .
- ✓ با از سرویس خارج کردن کلیه منابع انرژی موثر و با اطمینان از تخلیه کامل پتانسیل خط لوله ، باید پتانسیل طبیعی را اندازه گرفت .
- ✓ حاصل تفریق پتانسیل حالت خاموش لحظه ای و پتانسیل طبیعی باید از ۱۰۰- میلی ولت بیشتر باشد .

جدایش سطحی پوشش و معیار پذیرش حفاظت کاتدی بر اساس استاندارد (حد بالا) :

❖ پتانسیل اضافی (Over Protection) :

- منفی بودن بیش از حد پتانسیل حفاظت کاتدی به ۲ روش باعث خرابی پوشش می شود :
- ✓ قلیایی شدن که باعث از بین رفتن پوشش می شود .
- ✓ تولید هیدروژن اضافی که بین پوشش و سطح لوله به صورت تدریجی جریان پیدا می کند و باعث جدایی پوشش می شود .

- جریان اضافی حفاظت کاتدی به طور پیوسته در سطح کاتد گاز هیدروژن تولید می کند . اگر تولید هیدروژن سریعتر از نفوذ آن به زیر پوشش باشد ، تاول در سطح پوشش ایجاد می شود .
- میزان خرابی بستگی به مقدار گاز تولیدی و نوع پوشش لوله دارد .
- وقتی جدایش پوشش از سطح لوله اتفاق می افتد ، سازه در معرض الکترولیت قرار گرفته و مقاومت مدار بین آند و کاتد کاهش می یابد . در نتیجه جریان بیشتری برای حفاظت مورد نیاز بوده و هیدروژن بیشتری تولید می شود .
- این پدیده منجر به جدایش بیشتر پوشش شده و برای توزیع مناسب جریان ، بسیار زیان آور است زیرا بیشتر جریان به طرف یک بخش از سازه رفته و به بخش های دیگر که دورترند ، جریان کمتری می رسد .
- جدایش پوشش از بین رفتن چسبندگی بین پوشش و سطح فلز به دلیل هیدروژن تولیدی حاصل از واکنش کاتدی می باشد .
- تشکیل و انتشار گاز هیدروژن در پتانسیل حالت خاموش لحظه ای ۱/۱۲- شروع و در پتانسیل حالت خاموش ۱/۲- بر مبنای الکتروود مس / سولفات مس رشد و توسعه پیدا می کند .
- حداکثر میزان مجاز پتانسیل لوله نسبت به خاک برای هر نوع پوشش در حالت خاموش لحظه ای (براساس استاندارد جهانی ISO 15589-1) و نسبت به الکتروود مرجع مس / سولفات مس ، ۱/۲- ولت تعیین گردیده است .
- پتانسیل حالت روشن سازه های زیر زمینی خطاهای زیادی در اندازه گیری دارند و به عنوان معیار معتبر برای انتشار گاز هیدروژن در نظر گرفته نمی شوند .

❖ پتانسیل اضافی و جدا شدگی سطحی پوشش :

- عیوب ناشی از پتانسیل اضافی عبارتست از :
 - ✓ جدا شدگی سطحی در پوشش (Cothing Disbonding)
 - ✓ تردی هیدروژنی در لوله (Hydrogen Damage)

✓ ایجاد سپر الکتریکی (Electrical Shielding)

- مراحل جداسازی سطحی پوشش :
 - ✓ مرحله شروع (Initial) ← ایجاد تاول در سطح پوشش
 - ✓ مرحله پیشرفت (Propact) ← حرکت و چسبیدن تاول ها
- مرحله شروع جدا شدگی سطحی به چسبندگی پوشش (Adhesion) به سطح لوله دارد .
- مرحله پیشرفت جداسازی سطحی به پیوستگی پوشش (Cohesion) بستگی دارد .
- ✓ هرچه چسبندگی پوشش بیشتر باشد ، پیوستگی آن کاهش می یابد .

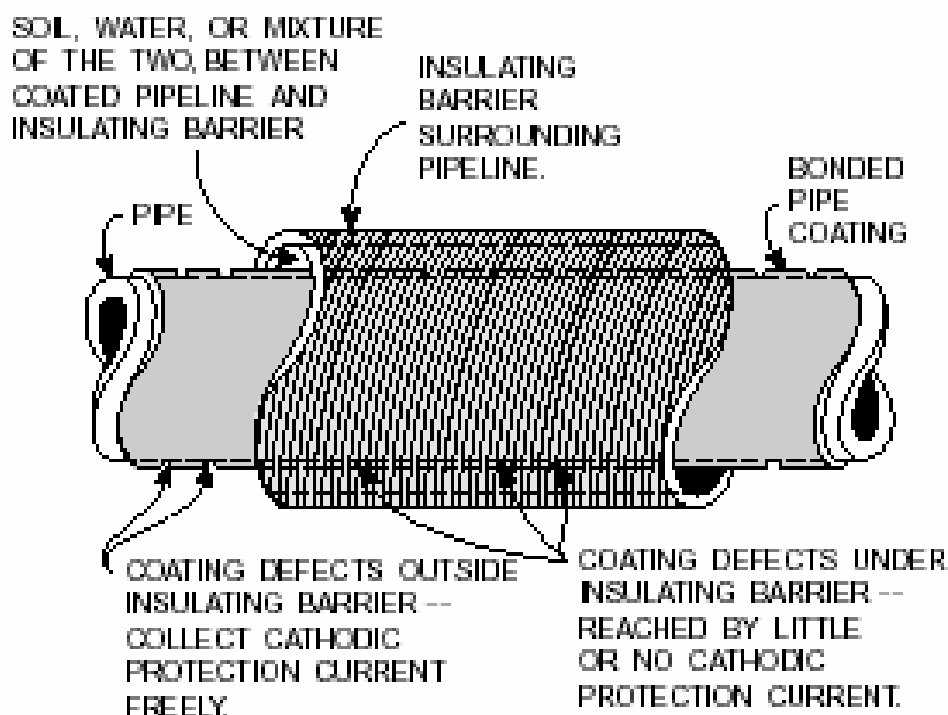
❖ عوامل موثر بر جداسازی سطحی پوشش :

- ✓ جذب آب پوشش ← با خاصیت دی الکتریک پوشش نسبت عکس دارد
- ✓ تجمع رنگدانه ای پوشش ← با خاصیت چسبندگی پوشش نسبت مستقیم دارد
- ✓ مقاومت در برابر قلیایی شدن
- ✓ مقاومت در برابر یونی شدن
- ✓ مقاومت در برابر اثرات سپر الکتریکی

❖ پدیده سپر الکتریکی (Electrical Shielding) :

- تعریف پدیده سپر الکتریکی :
- ممانعت یا انحراف جریان حفاظت کاتدی از مسیر دلخواه
- عوامل موثر بر ایجاد پدیده سپر الکتریکی :
 - ✓ یک فیلم عایق غیر فلزی که از جاری شدن جریان جلوگیری می کند .
 - ✓ انحراف و جذب جریان از طریق دیگر سازه های فلزی اطراف .

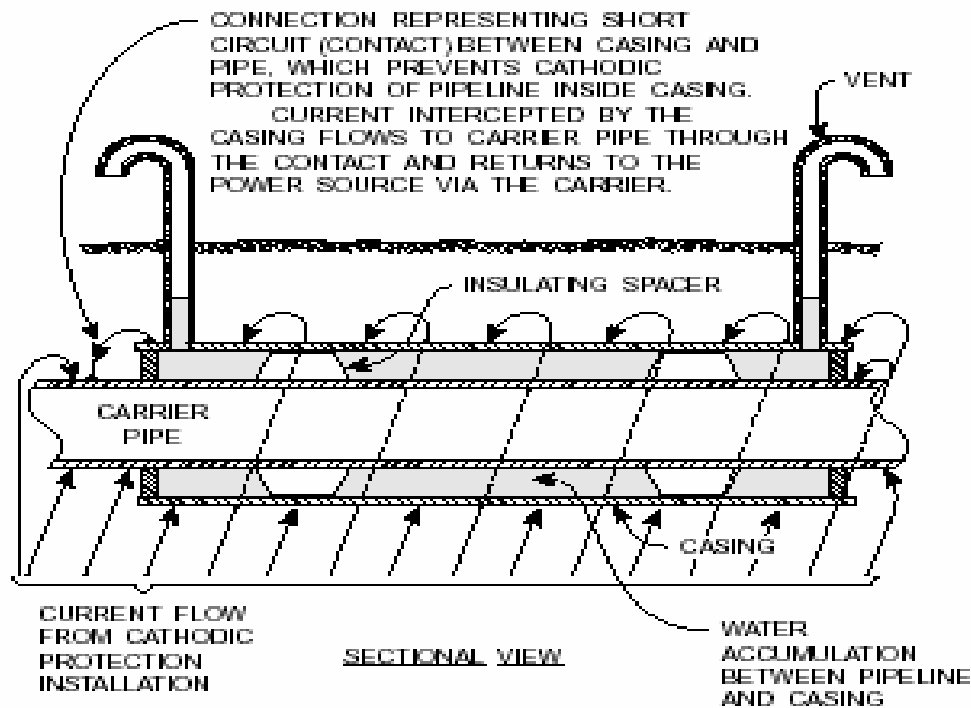
- بخشی از پوشش لوله توسط یک توسط یک فیلم عایق احاطه شده و فضای بین فیلم و سطح لوله توسط خاک و رطوبت پر می شود و جریان حفاظت کاتدی نمی تواند به سطح فلز برسد .
- عموماً "جریان از فضایی که فاصله اش از ۳ تا ۱۰ برابر ضخامت بین فیلم عایق و لوله بزرگتر باشد ، نمی تواند عبور کند .
- پدیده سپر الکتریکی گاهی در نتیجه ایجاد چروک بر روی پوشش و نفوذ خاک و رطوبت به فضای مابین پوشش و لوله ایجاد می شود .



شکل ۱۲: پدیده سپر الکتریکی

• عوامل ایجاد پدیده سپر الکتریکی :

- ✓ فیلم عایقی
- ✓ غلاف فلزی عبور از جاده دارای اتصال الکترولیتی
- ✓ لوله عبور کرده از درون بتن مسلح
- ✓ سازه های مجتمع (Congested Area)
- ✓ پوشش لوله چروک شده عموماً " در ساعات ۳ و ۹



شکل ۱۳: پدیده سپر الکتریکی در غلاف

منابع و انواع خطا در اندازه گیری پتانسیل لوله نسبت به خاک

❖ منابع ایجاد خطا در اندازه گیری پتانسیل :

- دقت الکتروود مرجع
- خطای IRdrop
- خطای گرادیان ولتاژ بستر آندی
- مقاومت اتصال
- خطای Mixed Potential

الف) دقت الکتروود مرجع :

- ✓ نگهداری و عدم آلودگی بخش متخلخل چربی
- ✓ تمیز کاری
- ✓ آماده سازی محلول سولفات مس

✓ کالیبراسیون و دقت

✓ اتصال صحیح کابل و عدم آلودگی محل اتصال به اکسید مس

ب (خطای IRdrop :

✓ خطای IRdrop با اندازه گیری پتانسیل در حالت خاموش لحظه ای حذف می شود .

✓ خطای ایجاد شده در جهت منفی می باشد .

✓ منابع ایجاد خطای IRdrop :

➤ جریان بالا

➤ مقاومت بالا

➤ فاصله زیاد الکتروود مرجع تا سازه

➤ نزدیک بودن به عیب پوشش (در صورت مناسب بودن وضعیت پوشش)

انواع خطا اندازه گیری پتانسیل :

✓ خطای IRdrop داخلی (مقاومت های موجود در مدار حفاظت کاتدی)

✓ خطای IRdrop خارجی

❖ خطای IRdrop داخلی (مقاومت های موجود در مدار حفاظت کاتدی):

✓ مقاومت داخلی منبع انرژی (دستگاه مبدل یکسو کننده ، باطری و...)

✓ مقاومت سازه

✓ مقاومت کابل متصل به سازه

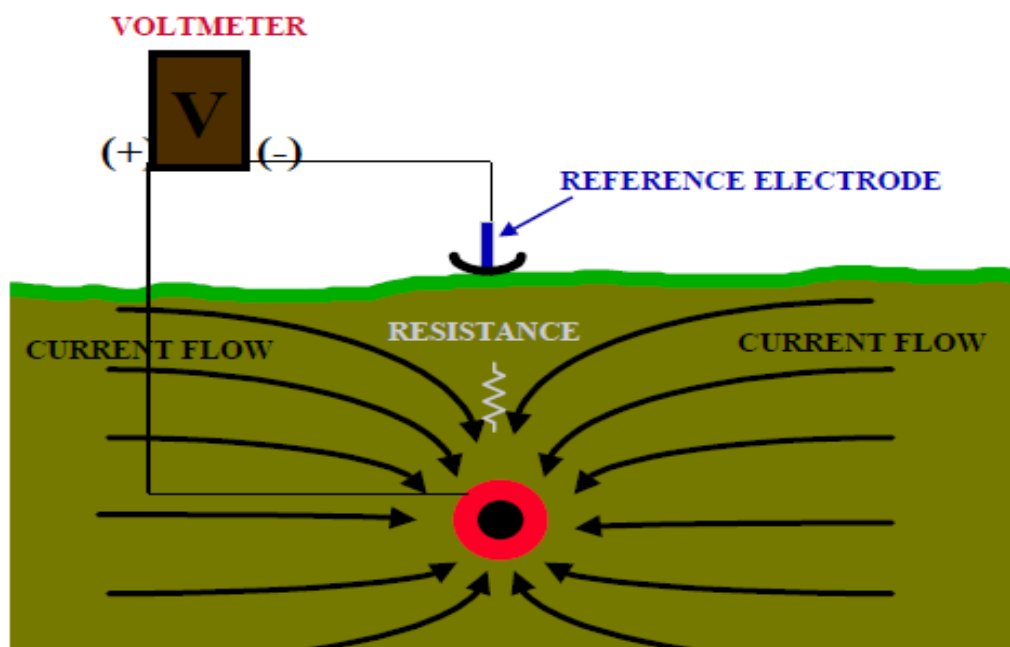
✓ مقاومت داخلی دستگاه اندازه گیر (مولتی متر ، پتانسیومتر)

✓ مقاومت داخلی الکتروود مرجع

✓ مقاومت سیم متصل به الکتروود مرجع

- در خلال اندازه گیری جریان از داخل مدار ، از قانون اهم استفاده می شود .
- افت پتانسیل در خلال عبور جریان از هریک از مقاومت های اشاره شده ، باعث ایجاد خطا در اندازه گیری می گردد .
- راه کاهش خطای ناشی از IRdrop داخلی ، کاهش مقاومت های فوق الذکر می باشد . به طور مثال بیشتر الکتروود های مرجع مورد استفاده در اندازه گیری پتانسیل دارای مقاومت داخلی $1\text{ k}\Omega$ بوده که در حدود 1 mv افت پتانسیل می دهد .
- با توجه به وجود مقاومت های مختلف الکتروولیت ، توصیه می شود از مولتی متر با مقاومت داخلی بالا استفاده شود .

Figure 7-2. IR Drop Error



شکل شماره ۱۴ : خطای IRdrop

❖ خطای IRdrop خارجی :

- جریان های خارجی عبوری از الکتروولیت در نواحی بین الکتروود مرجع و سازه باعث ایجاد IRdrop و در نتیجه خطا در اندازه گیری خواهد شد .
- روشهای حذف خطای IRdrop خارجی :

- ✓ اندازه گیری پتانسیل خاموش لحظه ای با استفاده از قطع و وصل جریان
- ✓ استفاده از کوپن اندازه گیری
- پتانسیل اندازه گیری شده بلافاصله بعد از قطع جریان ، پتانسیل عاری از IRdrop خوانده می شود.

❖ روش کاهش خطای IRdrop در اندازه گیری پتانسیل :

- نزدیک تر کردن هر چه بیشتر الکتروود مرجع به لوله
- ریختن آب کافی در محل قرار گرفتن الکتروود مرجع بر روی خاک
- استفاده از سیم مناسب
- ✓ بهترین سیم بر اساس استاندارد IEEE 142 ، سیم افشان (Fine strand) و با قطر 10 mm^2 (AWG14) می باشد .

ج (خطای گرادیان ولتاژ بستر آندی:

- ✓ این خطا زمانی ایجاد می شود که سیستم حفاظت کاتدی در سرویس بوده و اندازه گیری پتانسیل لوله در حوزه بستر آندی باشد.
- ✓ این خطا با افزایش ولتاژ و قرار گرفتن هافسل در حوزه بستر آندی افزایش می یابد .
- ✓ عوامل موثر در افزایش دامنه گرادیان ولتاژ بستر آندی :
 - بالا بودن مقاومت مدار حفاظت کاتدی
 - افزایش تعداد آند های بستر آندی
 - مقاومت بالای خاک

❖ راه حل حذف خطا گرادیان ولتاژ بستر آندی:

- خارج شدن از حوزه بستر آندی از طریق آزمایش زمین دور (Remote Earth)
- اندازه گیری پتانسیل در حالت خاموش لحظه ای

✓ دلایل بالا بودن مقاومت مدار حفاظت کاتدی:

- بالا بودن مقاومت الکتریکی خاک
- کم بودن تعداد آند های بستر آندی
- نزدیک بودن آند ها به یکدیگر
- نامرغوب بودن آنداها ، غیر فعال شدن آنداها (Passive) ، قطع شدن کابل رینگ آنداها از مقاطعی ، عدم یکنواختی بستر آندی ، عدم اتصال صحیح کابل آند ها به کابل رینگ ، نامرغوب بودن کک و ...

د) مقاومت اتصال الکتروود مرجع :

- ✓ اتصال ضعیف الکتروود مرجع با الکترولیت باعث ایجاد خطا می شود .
- ✓ وجود مقاومت بالا در تماس الکتروود مرجع با زمین سنگی یا خشک باعث ایجاد خطا می شود .
- ✓ راه حل حذف خطا :
- خیس کردن زمین در محل تماس
- قرار دادن هافسل بر روی خاک مناسب
- استفاده از بخش متخلخل مناسب در هافسل
- استفاده از مولتی متر با مقاومت داخلی بالا
- اطمینان از برقراری تماس الکتریکی هافسل با مولتی متر

ه) خطای Mixed Potential :

- ✓ عوامل موثر در ایجاد خطا :
- وجود جریانهای سرگردان
- ایزوله نبودن خط لوله و داشتن ارتباط الکتریکی با خط لوله بیگانه
- نزدیک بودن به عیب پوشش (در صورت مناسب بودن وضعیت پوشش)

✓ راه حل در خصوص حذف خطا :

➤ ایزوله کردن خط لوله

➤ اندازه گیری پتانسیل در حالت خاموش لحظه ای

❖ عوامل موثر در کاهش مقدار خطای افت پتانسیل :

• بالا بودن مقاومت پوشش (ضریب دی الکتریک عایق)

• پایین بودن مقاومت الکتریکی خاک

• بالا بودن PH الکتروولیت

• کاهش دما

• عدم حضور باکتری در الکتروولیت

• عدم حضور جریانهای سرگردان و القای AC

• وجود دانسیته جریان مناسب

تفسیر نتایج اندازه گیری پتانسیل لوله نسبت به خاک :

تفسیر نتایج بررسی سیستم های حفاظت کاتدی باید بر اساس:

➤ بررسی ارقام اندازه گیری شده (بر اساس معیار حفاظت کاتدی)

➤ مقایسه ارقام اندازه گیری شده با ارقام اندازه گیری شده دوره قبل

✓ هرچه پتانسیل لوله نسبت به فاصله از محل تزریق جریان یکنواخت تر باشد ، توزیع جریان

مناسب تر است .

❖ عوامل موثر بر تغییرات پتانسیل لوله نسبت به خاک :

✓ افزایش مقاومت بستر آندی

✓ تغییر شرایط محیطی

✓ افزایش و توسعه خط لوله

✓ کاهش عمر یا آسیب دیدگی پوشش خط لوله

✓ ایجاد جریانهای سرگردان

✓ از بین رفتن عایق کابلها و اتصالات کابل

✓ کاهش خروجی دستگاه مبدل یکسو کننده به دلیل بالا رفتن عمر پل دیود

نمونه فرم اندازه گیری پتانسیل لوله نسبت به خاک :

نام خط لوله : -	نوع پوشش : پلی اتیلن سه لایه
قطر خط لوله : ۱۰ اینچ	تعداد ایستگاههای حفاظت کاتدی : ۱
طول خط لوله : ۱۰ کیلومتر	تاریخ اندازه گیری :

ردیف	محل اندازه گیری	دمای محیط	ساعت	پتانسیل لوله (V) نسبت به خاک در حالت روشن	پتانسیل لوله (V) نسبت به خاک در حالت خاموش	ولتاژ (V) و جریان (I) مبدل یکسو کننده جریان	ملاحظات
1	0.6	17	10	1.13	0.97		
2	1.6	17	10:05	1.13	0.98		
3	2.6	17	10:10	1.12	0.99	A.C = 0.25 v	
4	4.1	17	10:15	1.18	1.01	A.C = 2 v	
5	5.1	17	10:20	1.15	0.99	A.C = 0.4 v	
6	6.2	17	10:25	1.04	0.89		
7	7.3	17	10:30	1.14	0.99		
8	8.3	17	10:35	1.14	0.99		
9	9.3	17	10:40	1.16	1.00		
10	10.3	17	10:45	1.2	1.01	4.02v/1.2A	

رییس هماهنگی و نظارت بر تعمیرات برق و خوردگی:

تایید کننده:

قرائت کننده:

❖ مهمترین عوامل موثر در شرایط محیط :

✓ مقاومت الکتریکی خاک

✓ PH خاک

✓ دمای خاک

✓ تغییر رطوبت

➤ مقاومت الکترولیت با افزایش دما کاهش می یابد .

➤ خورنده ترین خاک : تابستان + بارندگی

تنظیمات دستگاه مبدل یکسو کننده

✓ تنظیمات دستگاه مبدل یکسو کننده با توجه به نوع پوشش ، قدمت خط لوله ، مقاومت خاک و... ، بر اساس پتانسیل نقطه تزریق انجام می پذیرد .

✓ اندازه گیری های ذیل می بایست انجام و بر طبق دوره تعیین شده درج گردد .

• ولتاژ دستگاه مبدل یکسو کننده

• جریان دستگاه مبدل یکسو کننده

• پتانسیل لوله نسبت به خاک در نقطه تزریق

• مشخصات خط لوله

• مشخصات دستگاه مبدل یکسو کننده

❖ نمونه فرم تنظیم دستگاههای مبدل یکسو کننده :

ردیف	ایستگاههای حفاظت کاتدی			مشخصات خط لوله			مشخصات دستگاه مبدل یکسو کننده				گروهی دستگاه قبل از تنظیم			گروهی دستگاه بعد از تنظیم			ملاحظات																	
	نام خط	تمام محل ایستگاه	موقعیت (km)	قطر لوله (IN)	توجش	سیستم توجش	توج کنترل (-/+)	تعداد فاز	طریقت اسمی		ولتاژ (ولت)	جریان (آمپر)	ولتاژ (ولت)	جریان (آمپر)	ولتاژ (ولت)	توزیع (ولت)																		
									ولت	آمپر																								
۴۶	خط ۱۰۰ بردهسیر	CGS بردهسیر	37	10	کنتار	R	Vc	1	25	10	8.8	1.26	1.452	8.2	1.14	1.409																		
۴۷	خط ۱۰۰ رفتهجان	کمریندی رفتهجان	11	10	کنتار	R	Vc	3	150	50	96.2	3.77	1.87	86.3	3.34	1.79																		
۴۸	خط ۶ کنتار	کنتار CGS	15	6	کنتار	R	Vc	1	75	50	2.7	0.63	1.34	—	—	—																		
۴۹	خط ۲۰۰ آلومینیوم المهدی	آلومینیوم المهدی	2	20	نوار	T	leVc	1	75	25	3.7	4.8	1.4	—	—	—																		
۵۰	چاه شماره ۱ کنتار یک	پالایشگاه سرخون فاز یک	—	6	کنتار	R	Vc	3	100	100	—	9.6	3.8	1.2	—	—	—	مشترک با ایستگاه																
																		چاه شماره ۲ کنتار یک	پالایشگاه سرخون فاز یک	—	8	پس اینین	R	Vc	3	9.6	3.5	1.185	—	—	—			
																		چاه شماره ۳ کنتار یک	پالایشگاه سرخون فاز یک	—	10	پس اینین	R	Vc	3	9.6	3.9	1.2	—	—	—	—	—	
																		چاه شماره ۴ کنتار یک	پالایشگاه سرخون فاز یک	—	10	پس اینین	R	Vc	3	9.6	3.9	1.28	—	—	—	—	—	
																		چاه شماره ۵ کنتار یک	پالایشگاه سرخون فاز یک	—	8	پس اینین	R	Vc	3	9.6	3.9	1.3	—	—	—	—	—	
																		چاه شماره ۶ کنتار یک	پالایشگاه سرخون فاز یک	—	10	کنتار	R	Vc	3	9.6	0.5	1.47	—	—	—	—	—	—
																		چاه شماره ۷ کنتار یک	پالایشگاه سرخون فاز یک	—	8	کنتار	R	Vc	3	9.6	3.1	0.717	—	—	—	—	—	—
۵۱	خط اب آتش تفتابی ۲	پالایشگاه سرخون - فاز دو	—	8	کنتار	T-R	leVc	3	150	150	—	52.7	3.1	0.717	—	—	—	مشترک با ایستگاه																
																		خط ۱۱۰ از پلایس فاز دو ۲	پالایشگاه سرخون - فاز دو	—	6	کنتار	T-R	leVc	3	—	—	0.478	—	—	—			
																		چاه شماره ۱۰ - جمع آوری سرخون	پالایشگاه سرخون - فاز دو	—	8	کنتار	T-R	leVc	3	—	—	0.755	—	—	—	—	—	
تأیید کننده										نام و نام خانوادگی:																								
محمود مهربی										سمت:																								
رئیس واحد حفاظت از رنگ										امضا و تاریخ:																								
تأیید کننده										سمت:																								
سعيد داوری پور										سمت:																								
مهندس برق										امضا و تاریخ:																								
* سگتیسیم کنترل:										* سگتیسیم کنترل:																								
** توج کنترل:										** توج کنترل:																								
R) رگولاسی (R) تریستوری (T) رگولاسی - تریستوری (T-R)										R) رگولاسی (R) تریستوری (T) رگولاسی - تریستوری (T-R)																								
جریان ثابت (IC) ولتاژ ثابت (VC) هوستند (PC)										جریان ثابت (IC) ولتاژ ثابت (VC) هوستند (PC)																								

شکل شماره ۱۵: نمونه فرم تنظیمات ایستگاههای حفاظت کاتدی

الف) اندازه گیری جریان :

روش های اندازه گیری جریان :

- قرار دادن آمپر متر به طور سری در مدار
- استفاده از کلمپ میتر (Clamp Meter)
- استفاده از مقاومت موازی (Shunt) در داخل ترانس رکتیفایر

• روش قرار دادن آمپر متر در مدار :

- خاموش کردن ترانس رکتیفایر
- جدا کردن کابل منفی از محل اتصال در داخل ترانس رکتیفایر
- قرار دادن آمپر متر در درجه مناسب برای اندازه گیری
- روشن کردن ترانس رکتیفایر
- قرار دادن آمپر متر به طور سری در مدار و قرائت جریان

- **دلایل عدم توصیه به استفاده از روش قرار دادن آمپر متر در مدار :**

- خطا در اندازه گیری
- خطرات جانی در جریان های بالا
- نیاز به قطع و وصل مدار حفاظت کاتدی و احتمال تخلیه پتانسیل پلاریزاسیون
- نیاز به ابزار مناسب برای قطع مدار حفاظت کاتدی

- **روش استفاده از کلمپ میتر (Clamp Meter):**

- ✓ روشن کردن و کالیبره کردن (Adjusting) کلمپ میتر (Clamp Meter)
- ✓ قرار دادن کابل منفی ترانس رکتیفایر در مرکز قلاب
- ✓ قرائت جریان با در نظر گرفتن زمان تاخیر کافی و پس از ثابت شدن عدد

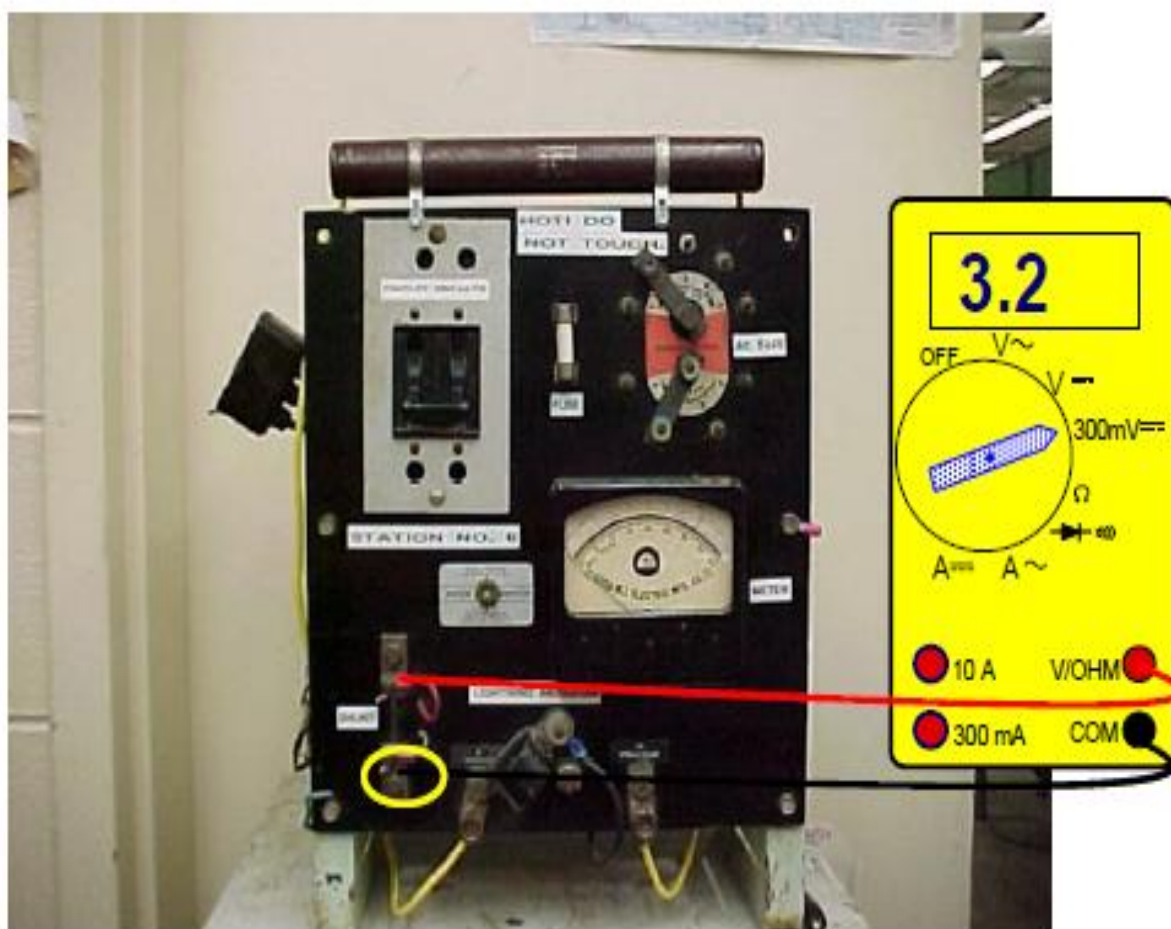
- **دلایل عدم توصیه به استفاده از کلمپ میتر (Clamp Meter):**

- ✓ خطای دستگاه اندازه گیری
- ✓ خطای تاثیر جریان عبوری از کابل مثبت و در مواردی کابل برق ورودی در قرائت جریان

- **روش استفاده از مقاومت موازی (Shunt) :**

- ✓ قرار دادن مولتی متر در وضعیت قرائت میلی ولت
- ✓ قرار دادن کابل های اندازه گیری (Probe) در دو طرف مقاومت موازی و قرائت مقدار ولتاژ
- ✓ اندازه گیری مقدار جریان با فرمول زیر:

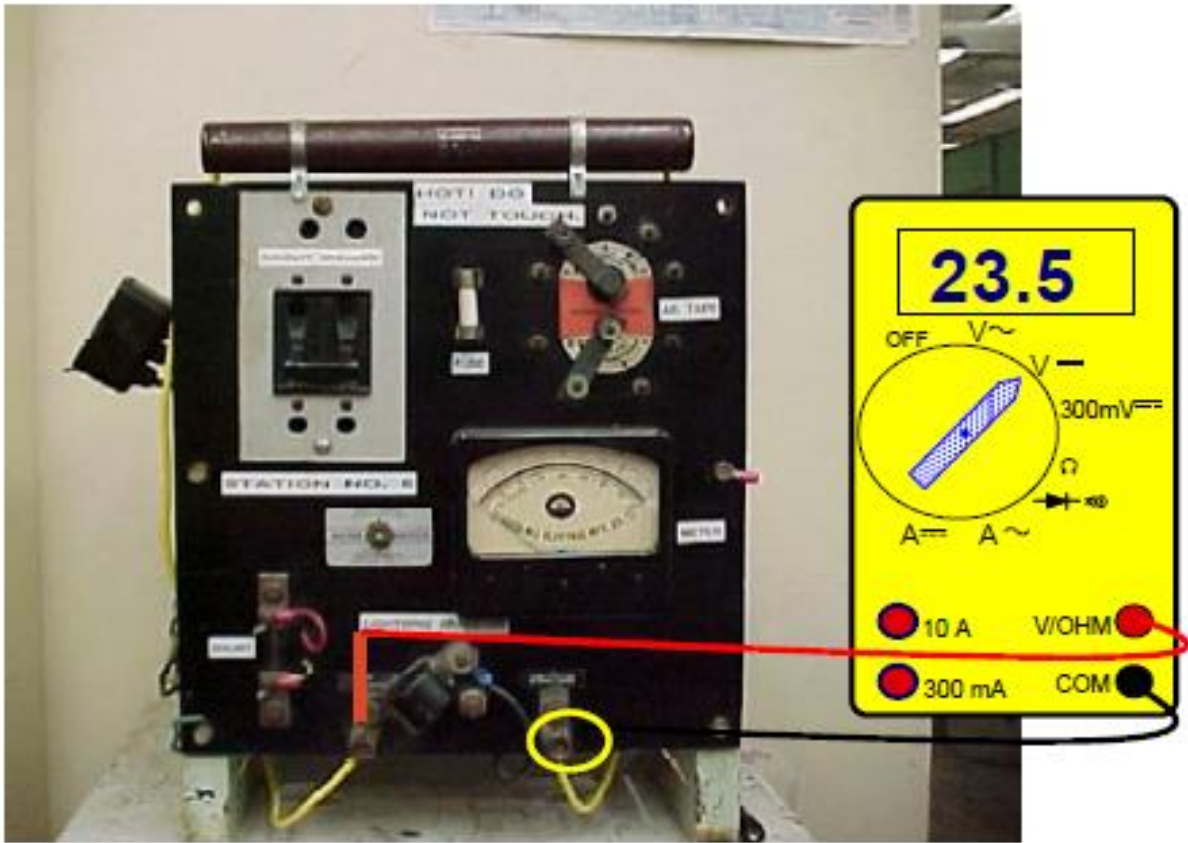
$$\text{Multi Plate Factor} \times \text{mili Volt} = I \text{ (Amp)}$$



شکل شماره ۱۶ : روش اندازه گیری جریان با استفاده از مقاومت موازی (Shunt)

ب) اندازه گیری ولتاژ دستگاه مبدل یکسو کننده :

- ✓ جهت اندازه گیری ولتاژ ترانس رکتیفایر ، سیم های اندازه گیری مولتی متر (Probes) را که به قطب منفی (COM) و قطب مثبت (V) می باشد و با قرار دادن Selector در موقعیت اندازه گیری ولتاژ D.C ، قرائت انجام می شود .
- ✓ ولتاژ دستگاه مبدل یکسو کننده را می بایست پس از تثبیت پتانسیل نقطه تزریق اندازه گیری نمود .



شکل شماره ۱۷: نحوه اندازه گیری ولتاژ دستگاه مبدل یکسو کننده

ج) اندازه گیری مقاومت مدار حفاظت کاتدی:

- اندازه گیری مقاومت مدار:

✓ مقاومت مدار حفاظت کاتدی از طریق رابطه اهم قابل محاسبه است:

$$R = V / I$$

✓ با گذشت عمر سیستم حفاظت کاتدی، بنا به دلایل ذیل، سیستم حفاظت کاتدی می بایست احیا و یا مورد طراحی مجدد قرار گیرد.

➤ بالا رفتن مقاومت بستر آندی

➤ ضعیف شدن اتصال کابلها

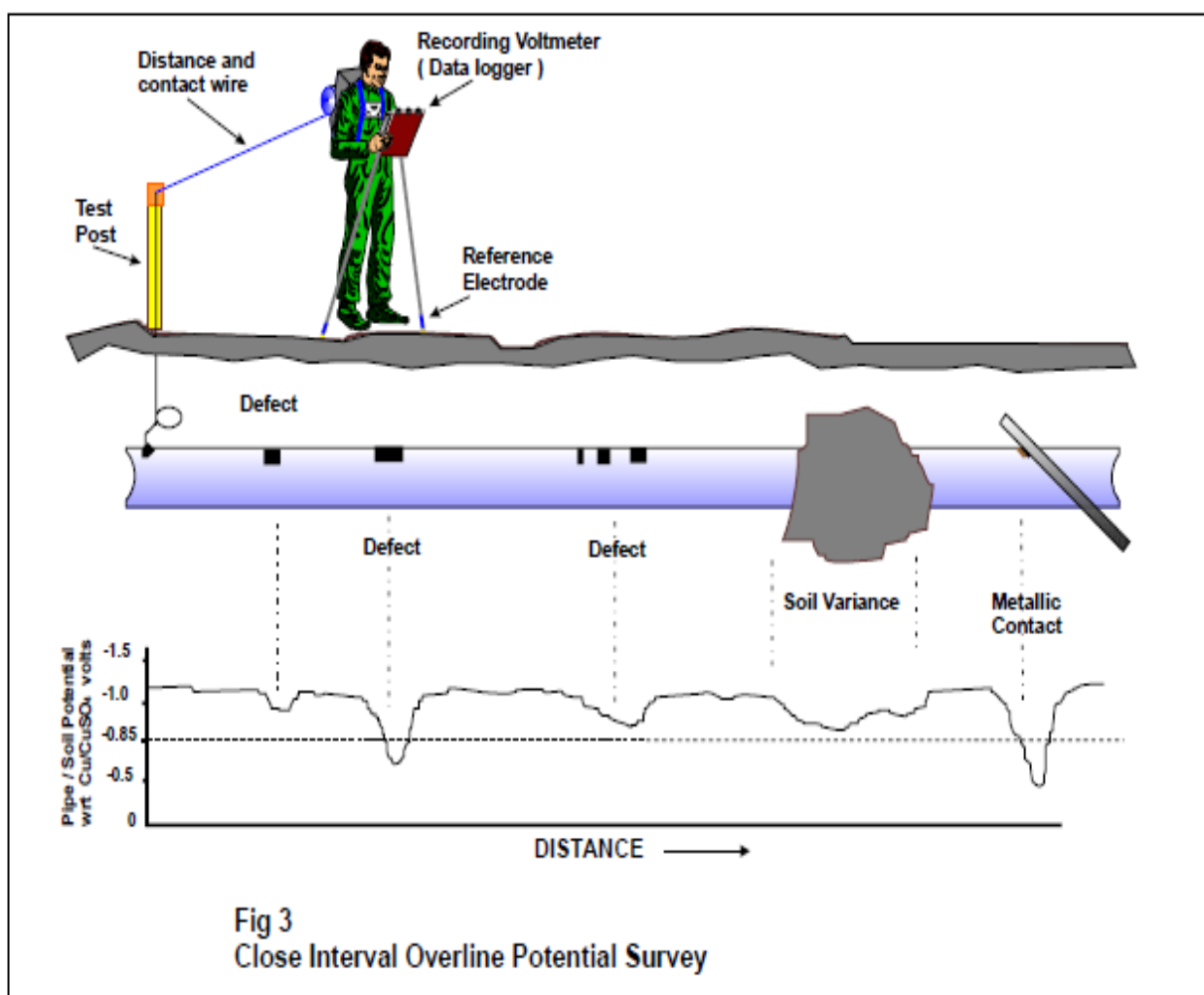
➤ بالا رفتن عمر پل دیود ترانس رکتیفایر

➤ توسعه خط لوله

بررسی پتانسیل لوله در فواصل نزدیک (Close Interval Potential Survey)

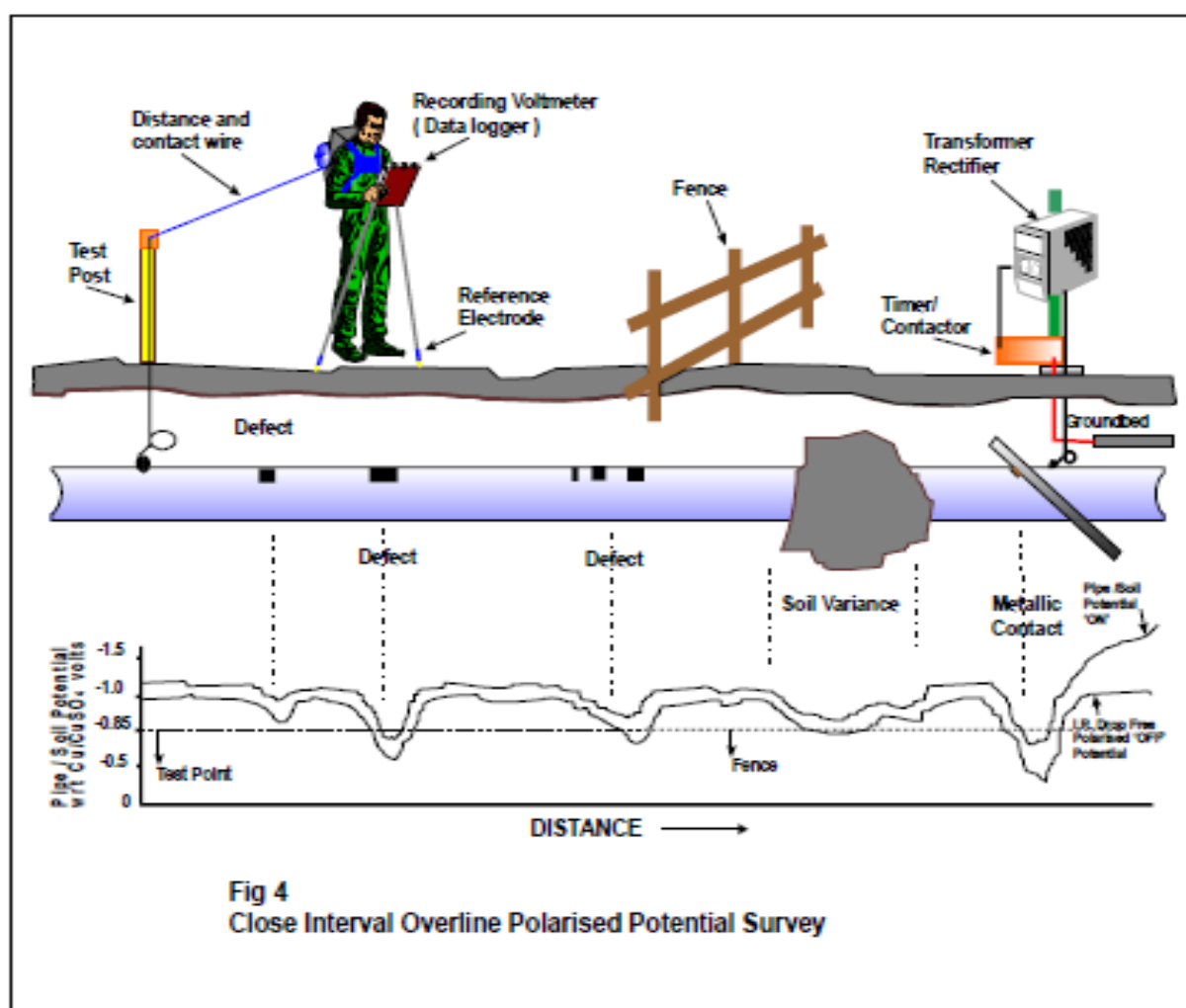
❖ بررسی پتانسیل لوله در فواصل نزدیک (CIPS):

- این روش برای تعیین سطح حفاظت کاتدی در طول یک خط لوله کاربرد دارد. این روش همچنین نواحی متاثر از تقابل جریانها (جریانه‌های سرگردان) و نقاط دارای عیب پوشش را نشان می‌دهد.
- پتانسیل لوله نسبت به خاک در فواصل نزدیک (۱ تا ۱/۵ متری) توسط یک ولت متر با مقاومت بالا که توانایی ثبت ارقام اندازه‌گیری شده را، یک الکترو مرجع مس / سولفات مس و یک قرقره سیم متصل به لوله از طریق نقطه اندازه‌گیری پتانسیل (T.P)، اندازه‌گیری می‌گردد.
- رسم نمودار تغییرات پتانسیل نسبت به فاصله، نمایی از تغییرات مقادیر پتانسیل که به دلیل تغییرات دانسیته جریان در نقاط مختلف خط لوله ایجاد می‌شود را نشان می‌دهد.

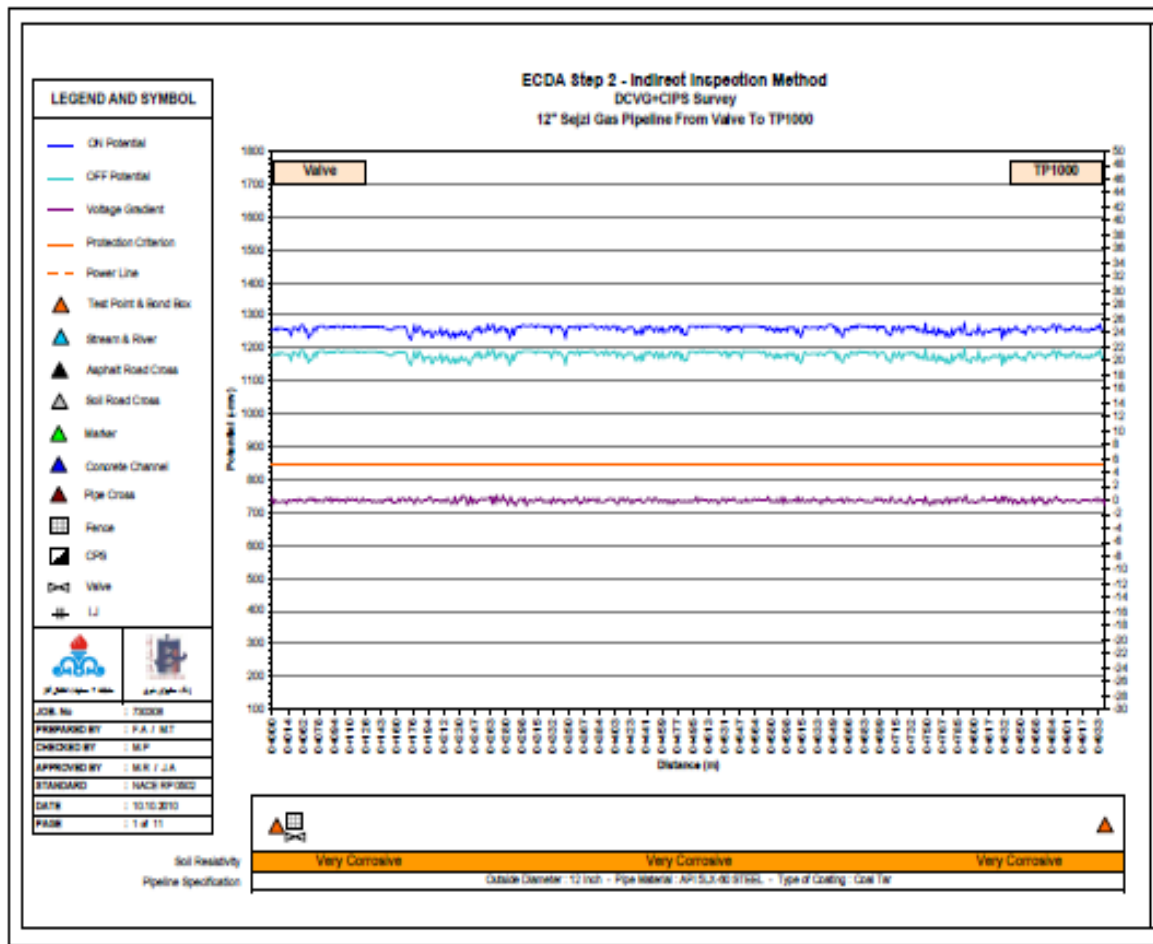


شکل شماره ۱۷: بررسی پتانسیل لوله در فواصل نزدیک (CIPS) در حالت روشن

- این بررسی در حالت های روشن ترانس رکتیفایر و نیز در حالت های خاموش و روشن لحظه ای با استفاده از دستگاه قطع و وصل کننده جریان (Interrupter) انجام می شود .
- در صورت استفاده از چند ایستگاه حفاظت کاتدی در یک خط لوله ، همزمانی قطع و وصل جریان (Synchronizing) در دریافت ارقام صحیح ، حائز اهمیت می باشد .
- این روش در بازه های زمانی زیر می بایست انجام شود :
- ۳۰ روز پس از برقراری سیستم حفاظت کاتدی
- ۵ سال پس از آخرین بررسی انجام شده در یک خط لوله



شکل شماره ۱۸ : بررسی پتانسیل لوله در فواصل نزدیک (CIPS) در حالت روشن و خاموش



شکل شماره ۱۹ : DCVG+ CIPS

بررسی نقاط حاد (HOT SPOT SURVEY)

- این روش برای شناسایی نواحی آندی و یا نواحی بدون حفاظت خط لوله کاربرد دارد و با در نظر گرفتن جهت جریان در زمین انجام می شود .
- برای انجام آزمایش از دو الکتروود مرجع کالیبره شده و یک مولتی متر با مقاومت داخلی بالا استفاده می شود .
- فواصل بین دو الکتروود مرجع می بایست کاملاً "یکسان باشد .
- تغییر قطبیت عدد اختلاف پتانسیل روی مولتی متر (علامت مثبت یا منفی) بین دو الکتروود مرجع ، نشاندهنده جهت جریان بوده و بسیار حائز اهمیت می باشد .
- به این روش Cell To Cell می گویند .

• موارد کاربرد روش Cell To Cell :

- ✓ تشخیص نقاط نشت جریان
- ✓ تشخیص چگونگی توزیع جریان
- ✓ تشخیص نقاط آندی
- ✓ تشخیص بستر های آندی گم شده
- ✓ تشخیص آند های موثر در بستر آندی افقی

• تعیین نقاط نشت جریان :

- اگر عدد روی ولت متر مثبت باشد ← نشت جریان جلوتر می باشد .
- اگر عدد روی ولت متر منفی باشد ← نشت جریان عقب تر می باشد .

Figure 7-10. Positive Reading for Cell-To-Cell Survey

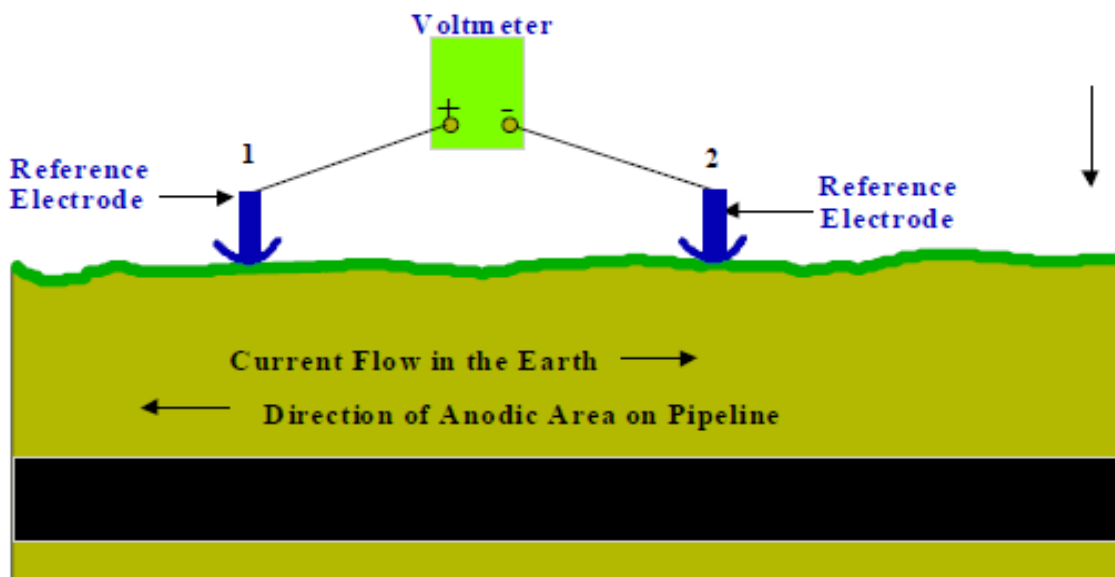
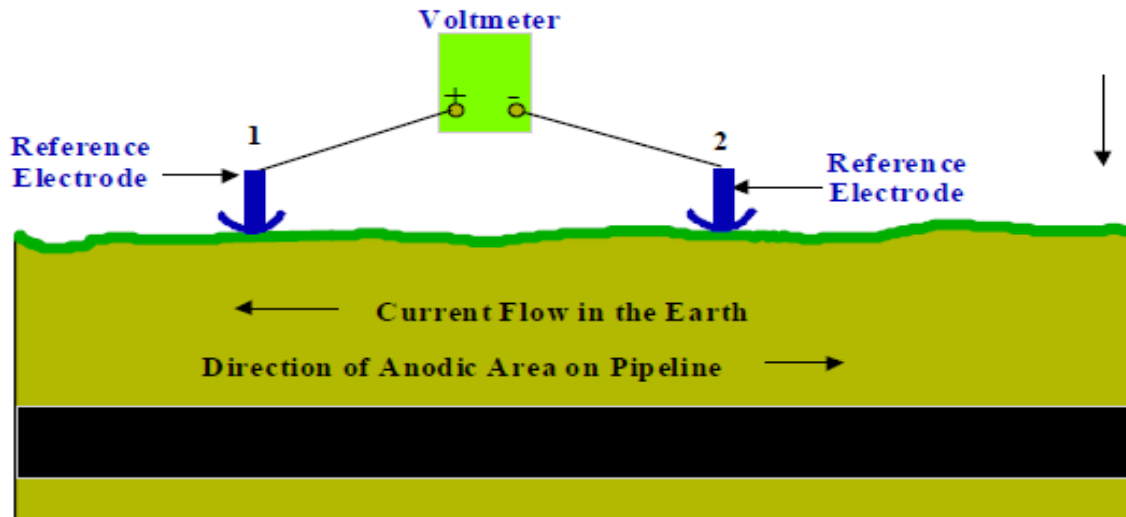


Figure 7-11. Negative Reading for Cell-To-Cell Survey



شکل شماره ۲۰ : Cell To Cell

بررسی وضعیت دستگاه مبدل یکسو کننده :

الف) بررسی کارایی دستگاه مبدل یکسو کننده :

➤ ترانس رکتیفایر تک فاز :

$$(V * I)_{Dc} / (V * I)_{Ac}$$

➤ ترانس رکتیفایر سه فاز :

$$(V * I)_{Dc} / \sqrt{3}(V * I)_{Ac} * \cos \Psi$$

ب) مشکلات مدار حفاظت کاتدی :

• در صورتیکه ولتاژ ترانس رکتیفایر طبیعی ولی جریان بالا باشد :

➤ اتصالات عایقی خط معیوب می باشد.

➤ خط لوله تحت حفاظت کاتدی توسعه یافته است .

➤ پوشش لوله معیوب شده است .

➤ خطا از دستگاه اندازه گیری است .

• **در صورتیکه ولتاژ ترانس رکتیفایر طبیعی ولی جریان پایین باشد :**

- ✓ مقاومت مدار یا بستر آندی افزایش یافته است . (بستر آندی خشک می باشد)
- ✓ کابل رینگ بستر آندی قطع شده است .
- ✓ برخی از آند های بستر آندی کارایی ندارند .
- ✓ برخی آند های بستر آندی غیر فعال (Passive) شده است .

• **در صورتیکه ولتاژ ترانس رکتیفایر طبیعی ولی جریان نزدیک به صفر باشد :**

- کابل رینگ بستر آندی قطع شده است .
- کارایی آند های بستر آندی از بین رفته است . (بستر آندی نیاز به احیا دارد)
- مقاومت الکتریکی خاک افزایش یافته است . (عدم وجود رطوبت)
- کابل اتصال به لوله (کابل منفی) قطع شده است .

• **جریان خروجی ترانس رکتیفایر صفر و ولتاژ ترانس رکتیفایر با افزایش در صد رگولت**

، بسیار کم تغییر می کند :

- کابل مثبت ترانس رکتیفایر قطع شده است .

• **در صورتیکه ولتاژ و جریان ترانس رکتیفایر غیر طبیعی باشد :**

- یکسو کننده (دیود) کارایی نداشته یا معیوب شده است .
- اتصالات مدار یکسو کننده (دیود) معیوب شده است .
- ولتاژ برق ورودی (AC) کاهش یافته است .

• **در صورتیکه ولتاژ و جریان ترانس رکتیفایر نزدیک به صفر باشد :**

- برق ورودی (AC) قطع شده است .
- فیوز سوخته یا مدار را قطع کرده است .

- اتصالات برقی ترانس یا برقگیر (Lightning Arrester) معیوب شده است .
- یکسو کننده از کار افتاده است .
- ترانس رکتیفایر معیوب و یا سوخته است .
- ولت متر و آمپر متر ترانس معیوب می باشند .
- کابل مثبت یا منفی قطع شده است .

• **فیوز یا قطع کننده جریان در هنگام راه اندازی ترانس رکتیفایر عمل می کند :**

- اتصالات عایقی خط لوله معیوب شده است .
- سیم کشی داخلی ترانس رکتیفایر دارای اتصال کوتاه می باشد .
- اتصال کوتاه بین کابل بستر آندی (کابل مثبت) و کابل متصل به لوله (کابل منفی) یا سیم اتصال زمین ایجاد شده است .
- تماس الکتریکی بین آند و سازه وجود دارد .
- ظرفیت فیوز نامناسب است .
- روغن ترانس رکتیفایر دارای رطوبت زیاد بوده و سطح روغن پایین می باشد .

• **گرمای زیادی در داخل ترانس رکتیفایر ایجاد می شود :**

- تجهیزات داخلی معیوب شده است .
- مقاومت در محل اتصالات ایجاد شده است .
- مقاومت در محل اتصالات داخلی ترانس رکتیفایر ایجاد شده است .
- پوشش اضافی بر روی بدنه ترانس رکتیفایر وجود دارد .
- روغن ترانس رکتیفایر فاقد کارایی می باشد .
- روغن کافی در ترانس رکتیفایر وجود ندارد .