



PAYESH SANAT NOVIN

Corrosion control and
technical inspection equipment



About Us

Payesh Sanat Novin Co. (PSN) is established in 1999 as an engineering and contracting company providing cathodic protection services to oil, gas, petrochemical, water, power, and marine industries. Since PSN started up, it has gradually expanded its services into corrosion management and other corrosion mitigation techniques by gaining extensive knowledge and experience.

Our team at Payesh Sanat Novin has always helped clients prevent the destructive effects of corrosion and subsequent damages by providing consultation based on the industry's most updated knowledge. We also offer corrosion management strategies, keeping corrosion processes in the pre-activation phase and preventing them from entering into the active phase.

Since 2019, PSN has started cooperating with reputable international companies to expand its business into pipeline inspection by using intelligent Pigs. Being a knowledge-based corporation, PSN has commercialized many great ideas in its field and has produced industry innovations.

درباره ما

شرکت دانش بنیان پایش صنعت نوین در سال ۱۳۷۸ به عنوان یک مؤسسه مهندسی و پیمانکاری تخصصی فعالیت خود را در زمینه سیستم های حفاظت کاتدیک، شامل مشاوره، طراحی، تولید، تامین، نصب، راه اندازی و نگهداری در صنایع نفت، گاز، پتروشیمی، آب، نیرو و دریایی آغاز نمود. این شرکت در طول دوره فعالیت خود، با کسب تجربیات و توانمندی های لازم دامنه خدماتش را به تدریج به تمامی جنبه های مدیریت و کنترل خوردگی گسترش داده است.

شرکت پایش صنعت نوین در طول سالهای فعالیت همواره کوشیده است تا با ارائه خدمات مشاوره و کنترل خوردگی از اثرات مخرب خوردگی و خسارت های متعاقب آن جلوگیری نماید. این شرکت همچنین با ارائه استراتژی های مدیریت خوردگی، فرآیندهای خوردگی را در مرحله پیش از فعال شدن نگاه داشته و آنها را از ورود به مرحله فعال باز می دارد. این شرکت همچنین از سال ۱۳۹۸ همکاری با شرکت های معتبر بین المللی در ارتباط با بازرسی خطوط لوله به روش توپک رانی هوشمند را آغاز نموده و در این راستا هدف انتقال دانش فنی توپک رانی را در چشم انداز خود تدوین نموده است.

این شرکت دانش بنیان با اتکا بر دانش و تخصص بومی و با رویکرد تجاری سازی دانش در صنعت حفاظت کاتدیک، موفق به تولید محصولات نوآورانه و فوق پیشرفته در این زمینه شده و نیاز این صنعت را به نمونه های مشابه خارجی مرتفع نموده است.



131-T-101

حفاظت کاتدیك





تخریب و زوال فلزات در اثر برهمکنش با محیط اطراف به عنوان خوردگی اطلاق می گردد که در نتیجه آن، خواص فلز تغییر کرده و موجب عدم کارایی آن می شود. خوردگی فلزات به دلیل اینکه تمامی مواد به سمت پایدار شدن (تعادل ترمودینامیکی) پیش می روند، به صورت خود به خودی اتفاق می افتد. مواد فلزی در اثر قرار گرفتن در محیط های مختلف، می توانند به صورت یکنواخت و یا موضعی خورده شوند.

خوردگی فرآیندی هزینه بر است، در گزارشی هزینه های مستقیم ناشی از خوردگی در آمریکا برابر با ۷ بلیون دلار در سال برآورد شده است. این پدیده علاوه بر موارد اقتصادی می تواند عواقب جانی و زیست محیطی نیز در بر داشته باشد که توجه به آن را مهم تر می نماید. برای مثال در اثر نشست یک خط لوله ۱۶ اینچی حاوی سوخت در ایالت واشنگتن آمریکا، بیش از ۲۰۰ هزار گالن سوخت وارد محیط اطراف شده و در اثر انفجار به وجود آمده، دو نفر کشته شدند و یک نفر دیگر نیز در اثر استنشاق بخارات سوخت کشته شد؛ همچنین هشت نفر نیز دچار آسیب دیدگی شدند و تمامی تجهیزات موجود در شعاع یک و نیم مایلی حادثه سوختند. خسارت وارده در آن زمان برابر با ۴۵ میلیون دلار برآورد شده است.



واشنگتن- خسارات ناشی از آتش سوزی خط لوله انتقال سوخت

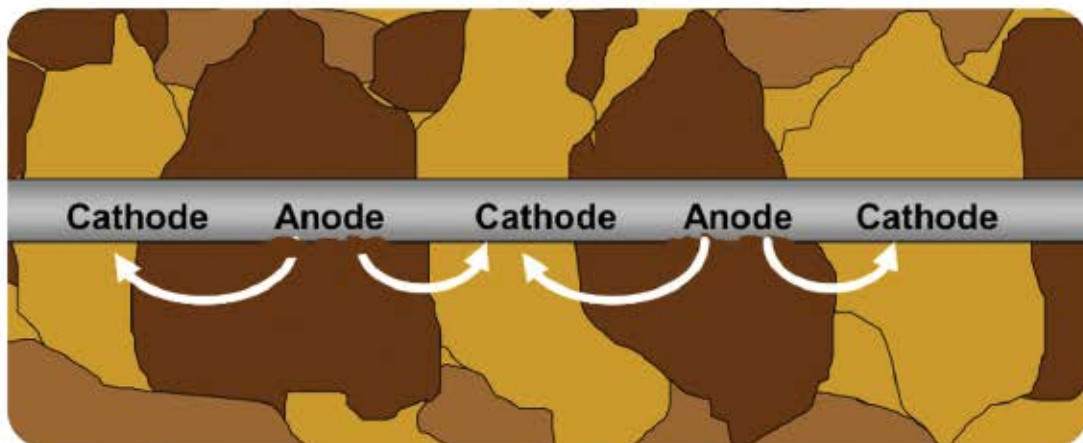
از همین رو شرکت پایش صنعت نوین در جهت حفظ سرمایه های ملی و محیط زیست، قدم به عرصه کنترل خوردگی در صنعت نهاده است.

شرکت پایش صنعت نوین از سال ۱۳۷۸ همواره کوشیده است تا با ارائه خدمات مشاوره و کنترل خوردگی از اثرات مخرب خوردگی و خسارت های متعاقب آن جلوگیری نماید. این شرکت همچنین با ارائه استراتژی های مدیریت خوردگی، فرآیندهای خوردگی را تا حد زیادی کنترل نموده و نرخ آن را به حداقل می رساند.

یکی از روش های کنترل خوردگی سازه های مدفون در آب، خاک و یا بتن (همانند لوله ها، مخازن، بدنه کشتی ها، اسکله ها و ...)، روش حفاظت کاتدیک است. این روش معمولاً همراه با سایر روش های مقابله با خوردگی مانند اعمال پوشش یا عایق کردن فلز نسبت به محیط به کار گرفته می شود. این شرکت با اتکا بر تجهیزات و تولیدات ملی، خدمات مرتبط با مهندسی، تأمین و اجرای (EPC) سیستم های حفاظت کاتدیک را ارائه می دهد.

کلیات سیستم های حفاظت کاتدیک

از منظر ترمودینامیکی، خوردگی به دلیل اختلاف در سطح انرژی آزاد فلز با اکسید آن رخ می دهد. به عبارت دیگر سطح انرژی محصولات خوردگی کمتر از سطح انرژی فلز سالم است و این مسئله به عنوان نیروی محرکه ای جهت رخداد خوردگی عمل می نماید. فرآیند خوردگی الکتروشیمیایی مانند هر فرآیند الکتروشیمیایی دیگر از چهار جزء آند، کاتد، الکترولیت و مسیر رسانا تشکیل شده است. نیروی محرکه واکنش از اختلاف پتانسیل بین آند و کاتد ناشی می شود. واکنش های الکتروشیمیایی به دو دسته واکنش های آندی و کاتدی تقسیم می شوند. در واکنش آندی، اکسیداسیون و خوردگی فلز رخ داده و در واکنش کاتدی، الکترون های آزاد شده مصرف می شوند. برای مثال یک خط لوله در خاک شامل پیل های موضعی کوچکی است که بر سطح آن تشکیل شده است. این پیل ها حاوی مواضع آندی و کاتدی هستند. وجود اختلاف پتانسیل بین آند و کاتد، موجب شار جریان از مواضع آندی به سمت مواضع کاتدی می شود. اگرچه سطوح فلزی معمولاً با استفاده از پوشش یا انتخاب مواد مناسب تا حدودی در مقابل خوردگی مقاوم می شوند، ولیکن به دلیل وجود عیوب پوشش و تخریب آن در طی زمان، همواره نیاز به روش تکمیلی حفاظت کاتدیک وجود دارد.



همانطور که توضیح داده شد، اختلاف در انرژی آزاد نیروی محرکه فرآیند خوردگی است. این اختلاف در انرژی آزاد ارتباط مستقیمی با پتانسیل الکتروشیمیایی فلزات دارد. محاسبه مستقیم پتانسیل فلزات امکان پذیر نیست و میزان پتانسیل می بایست با مقایسه آن با پتانسیلی به عنوان پتانسیل معیار سنجیده شود. بنا بر توافقی بین المللی پتانسیل الکتروود استاندارد هیدروژن صفر در نظر گرفته می شود و پتانسیل باقی فلزات با توجه به این صفر قراردادی گزارش می شود. پتانسیل برخی از فلزات در شرایط تعادلی در جدول پتانسیل استاندارد گردآوری شده است، در این جدول فلزاتی که دارای پتانسیل استاندارد مثبت تر هستند، از لحاظ الکتروشیمیایی از فلزاتی که در قسمت های پایینی جدول قرار دارند نجیب ترند، به عبارت دیگر فلزات با پتانسیل منفی تر از نظر ترمودینامیکی تمایل بیشتری برای شرکت در واکنش در نقش آند را دارند. برای مثال فولاد نیز به عنوان پرمصرف ترین فلز مورد استفاده، در قسمت های پایینی جدول پتانسیل استاندارد قرار داشته و اغلب در نقش آند ظاهر شده و خورده می شود.

می بایست توجه داشت که پتانسیل گزارش شده در این جدول در محیط و دمای مشخص و در شرایط تعادلی گزارش شده اند. میزان پتانسیل فلز بسته به محیطی که در آن قرار می گیرد و دما، می تواند متفاوت باشد و در شرایط واقعی امکان وجود شرایط تعادلی به ندرت وجود دارد. لذا در عمل، عمدتاً از پتانسیل های گزارش شده در سری های گالوانیک استفاده می شود. در این جداول مقدار پتانسیل واقعی در محیط های متداول گزارش می شود. به طور مثال پتانسیل طبیعی سازه فولادی (E_{corr}) در خاک معمولی می تواند $-0.5V_{CSE}$ باشد.

پتانسیل استاندارد برخی عناصر نسبت به الکترود مرجع هیدروژن.

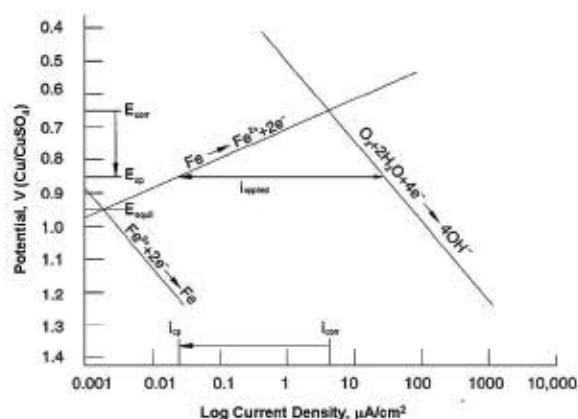
واکنش الکتروشیمیایی کاتدی عناصر خالص	پتانسیل استاندارد در دمای 25 °C نسبت به الکترود مرجع هیدروژن (V_{SHE})	واکنش الکتروشیمیایی کاتدی عناصر خالص	پتانسیل استاندارد در دمای 25 °C نسبت به الکترود مرجع هیدروژن (V_{SHE})
$Au^+ + e^- \rightleftharpoons Au(s)$	+1.83	$Ti^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Ti(s)$	-1.63
$Pt^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Pt(s)$	+1.19	$Al^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons Al(s)$	-1.66
$Ag^+ + e^- \rightleftharpoons Ag(s)$	+0.80	$Mg^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Mg(s)$	-2.37
$Cu^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cu(s)$	+0.34	$Na^+ + e^- \rightleftharpoons Na(s)$	-2.71
$2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2(g)$	0.00	$Ca^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Ca(s)$	-2.86
$Fe^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Fe(s)$	-0.44	$K^+ + e^- \rightleftharpoons K(s)$	-2.93
$Zn^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Zn(s)$	-0.76	$Li^+ + e^- \rightleftharpoons Li(s)$	-3.04

سری گالوانیکی فلزات در خاک معمولی (API 651)

فلزات	پتانسیل نسبت به $CuSO_4$ (V_{cse})	فلزات	پتانسیل نسبت به $CuSO_4$ (V_{cse})
منیزیم خالص تجاری	-1.75	چدن	-0.5
آلیاژهای منیزیم حاوی Zn، Al و Mn	-1.55	مس (برنز و برنج)	-0.2
روی	-1.1	چدن پرسپلیس	-0.2
آلومینیوم حاوی عنصر روی	-1.05	براده آهن	-0.2
آلومینیوم خالص تجاری	-0.8	گرافیت (کک یا کرین)	0.3
فولاد	-0.5		

حفاظت کاتدیک بر پایه تغییر پتانسیل فلز به سمت پتانسیل اکسیدی کمتر از طریق اعمال یک جریان خارجی به فلز بنا شده است. الکترود ها به سمت سطح فلز روانه شده و در واکنش های کاتدی در سطح فلز مصرف می شوند. این جریان خارجی را می توان از طریق یک منبع الکتریسیته یا فلزات فعال که نقش آند فداشونده را دارند، تأمین نمود. فرآیند حفاظت کاتدیک را می توان به کمک دیاگرام های ایوانز توضیح داد. همانطور که در نمودار پلاریزاسیون ایوانز ملاحظه می شود با تغییر پتانسیل به سمت مقادیر منفی تر جریان آندی کاهش و جریان کاتدی افزایش می یابد. از آنجایی که در یک واکنش الکتروشیمیایی مقدار الکترود های مصرف شده و تولید شده می بایست برابر باشد، در پتانسیل های منفی تر نیاز است تا قسمتی از جریان کاتدی از منبعی خارجی تأمین شود. دانسیته جریان مورد نیاز برای کنترل خوردگی فلزات بسته به جنس فلز، پوشش، دمای سطح فلز و شرایط الکترولیت، متغیر است. مطابق نمودار پلاریزاسیون ایوانز، دانسیته جریان حفاظتی عبارت است از دانسیته جریانی (I_{cp}) که در اثر اعمال آن، پتانسیل فلز مطابق نمودار پلاریزاسیون تا حدی کاهش می یابد که سطح فلز حفاظت شود ($E_{corr} \rightarrow E_{a,oc}$).

نمودار پلاریزاسیون ایوانز برای سازه تحت حفاظت کاتدیک



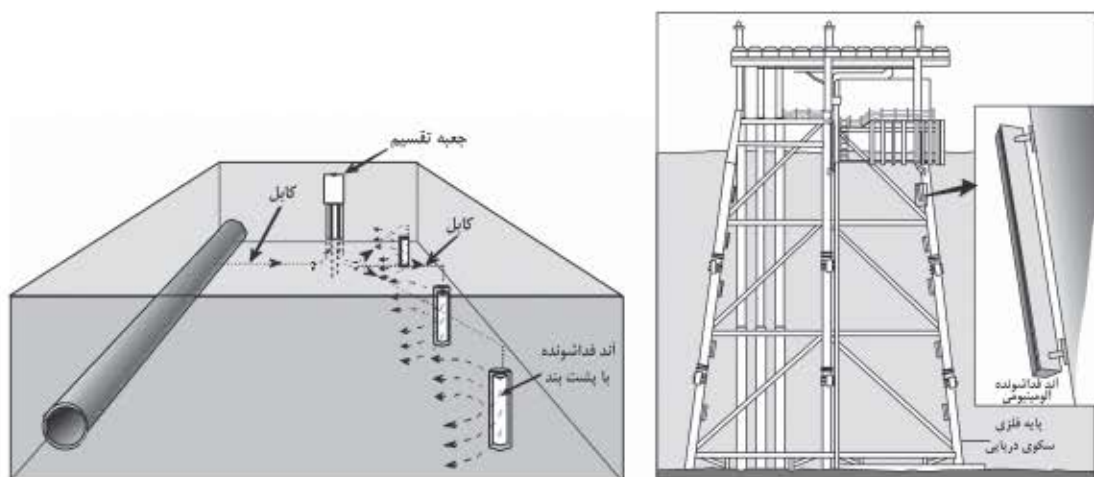
دانشیه جریان مورد نیاز حفاظت کاتدیک مواد در دمای محیط

Material	Coating	Electrolyte	Current Density (mA/m ²)	Ref
Mild Steel	Uncoated	soil	20 - 25	IPS-E-TP-820(1)
		Sea water (with resistivity up to 25 Ω.cm)	80 - 130	IPS-E-TP-820(1) BS EN 12495
	Tape or coal tar/bitumen Fusion bonded epoxy	All types of Soils	1.25	IPS-E-TP-820(1)
	3 layer polyethylene	All types of Soils	0.25	IPS-E-TP-820(1)
Steel Rebar	Uncoated	concrete	2 - 20	EN 12696
Pure copper	Uncoated	soil	80	GS EP COR 110

حفاظت کاتدیک به روش آندفداشونده

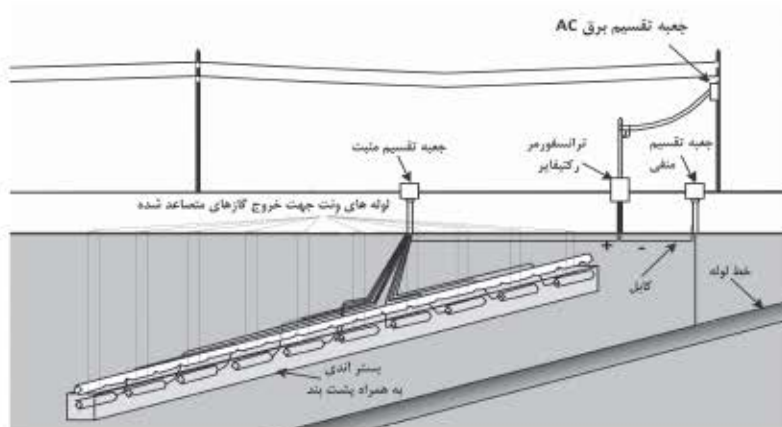
در این روش حفاظت کاتدیک، با تشکیل یک پیل گالوانیک، آند فداشونده خورده شده و از خوردگی سازه جلوگیری می شود. فلز فعال که به عنوان آند فداشونده مورد استفاده قرار می گیرد، دارای پتانسیل منفی تری نسبت به سازه تحت حفاظت است. البته بایستی در نظر داشت که در صورت ثابت بودن مقاومت الکترولیت، هر چه اختلاف پتانسیل بین آند و سازه بیشتر باشد، جریان حفاظتی بیشتری توسط آند تأمین خواهد شد. بنابراین فلزات دارای پتانسیل منفی تر نسبت به سازه، قابلیت حفاظت کاتدیک بهتری ارائه می دهند. باین حال انتخاب نوع آند فداشونده وابسته به شرایط محیط (مقاومت الکترولیت، یون های محلول در الکترولیت و ...) متغیر است. همچنین در برخی موارد استفاده از این آندها که احتمال سوختگی در اثر خروجی جریان بالا وجود دارد، از پوشش یا عایق در موضعی از سازه که در نزدیکی آند قرار دارد استفاده می شود. از این آندها می توان به منیزیم، آلومینیوم و روی اشاره نمود. با گذشت زمان، این آندها مصرف شده و نیاز است که با آندهای جدید تعویض گردند؛ همچنین جریان تولیدی این آندها به نسبت پایین بوده و استفاده از آن برای حفاظت کاتدیک سازه های پیچیده و دارای سطح زیاد، صرفه اقتصادی ندارد. لذا این روش معمولاً جهت اجرای سیستم های حفاظت کاتدیک موقت یا کمکی برای سیستم های حفاظت کاتدیک دائمی به کار می رود. استفاده از این روش برای سازه هایی که در الکترولیت مقاومت پایین مدفون بوده و جریان حفاظتی پایینی نیاز دارند (همانند سازه های مدفون در آب، مقاطع داخلی مخازن، شمع های دریایی و ...)، توصیه می شود.

همچنین در محل هایی که دسترسی به جریان الکتریسیته وجود ندارد و یا اینکه امکان ایجاد تداخل در سازه های مجاور وجود دارد، می توان از این روش حفاظت کاتدیک استفاده نمود. از دیگر مزایای این سیستم، استفاده از آن در مواقعی است که احتمال تخریب هیدروژنی در صورت بهره گیری از سیستم اعمال جریان حفاظت کاتدیک وجود دارد. روش فدا شونده حفاظت کاتدیک نسبت به روش اعمال جریان از مزیت هایی همچون عدم نیاز به منبع تغذیه و کابل کشی برخوردار است. مثال هایی از محل اجرای این سیستم در شکل مشاهده می شود.



حفاظت کاتدیک به روش اعمال جریان

در این روش جریان مورد نیاز حفاظت کاتدیک، از یک منبع خارجی تأمین می شود. در نتیجه اعمال جریان خارجی و اتصال قطب منفی ترانسفورمر رکتیفایر به سازه، سازه تبدیل به کاتد می شود. میزان و نحوه اعمال جریان در این روش، بسته به جنس، ابعاد، نوع پوشش و دمای کاری سازه و همچنین شرایط الکترولیت اطرافش متغیر است. جریان تولید شده از طریق آندهای سیستم اعمال جریان که مدفون هستند، به محیط الکترولیت اطراف سازه تزریق می شود. سازه هایی که نیاز به مقدار جریان زیادی دارند، معمولاً به این روش تحت حفاظت کاتدیک قرار می گیرند. مثالی از اجرای این سیستم جهت حفاظت کاتدیک خط لوله در شکل مشاهده می شود.



بسترهای آندی حفاظت کاتدیک

در مجموع دو نوع بستر آندی دور و نزدیک برای سیستم های حفاظت کاتدیک تعبیه می شود. تعیین نوع بستر بسته به شرایط الکترولیت اطراف بستر آندی تغییر می کند. هر چند فاکتورهای دیگری نظیر هندسه و حجم سازه، در دسترس بودن فضای کافی، نوع الکترولیت و ... نیز در انتخاب بستر دور یا نزدیک مؤثر هستند.

بسترهای آندی نزدیک

در این نوع از بسترها، میدان الکتریکی اطراف آندها، گرادیان پتانسیلی را سازه ایجاد می کند. بدین صورت که با دور شدن سازه از بستر آندی، مقدار گرادیان ایجاد شده بر روی آن کاهش می یابد. بنابراین نیاز است که در فواصل منظمی، آندهای حفاظت کاتدیک در اطراف سازه توزیع گردد. بعضاً، از این نوع بستر جهت ایجاد حفاظت در سطح سازه هایی که سطح کمی دارند نیز استفاده می شود. برخی بسترها که به صورت بستر نزدیک اجرا می شوند عبارت اند از: بسترهای آندی نواری جهت حفاظت کاتدیک کف مخازن، آندهای سیمی در طول خط لوله، آندهای غوطه ور در داخل مخازن حاوی الکترولیت، اغلب بسترهای آندی فداشونده و ...

بسترهای آندی دور

بسترهای دور سطح بیشتری از سازه را تحت حفاظت قرار می دهند. در واقع در فواصل دور (بی نهایت فیزیکی) نسبت به بستر آندی، جریان در نقاط مختلف به صورت همسان وارد سطح سازه می شود، بنابراین سطح بیشتری از سازه محافظت می شود. از اینرو زمانی که بستر آندی در نقطه دور از سطح سازه قرار می گیرد تغییر مکان آن تأثیر محسوسی در پتانسیل خط لوله ندارد. این بسترها شامل بستر آندی سطحی یا عمیق هستند. بسترهای سطحی در دو نوع سطحی افقی یا عمودی، بسته به شرایط طراحی قابل اجرا است. با افزایش عمق زمین، معمولاً مقاومت خاک کاهش می یابد. از طرفی در بسترهای دور معمولاً از چند آند در کنار هم استفاده می شود که این موضوع نیز موجب کاهش مقاومت بستر و در نتیجه کاهش مقاومت کل سیستم حفاظت کاتدیک می شود. بسترهای عمیق یا چاهی به دو صورت خشک و آبی قابل اجرا است. در بستر چاهی، پس از حفاری زمین و کار گذاشتن غلاف، آندها با فواصل مشخص نسبت به یکدیگر به صورت آویزان، تک تک یا پیوسته قرار می گیرند.

معیارهای حفاظت کاتدیک

روش های مختلفی همچون معیار اختلاف پتانسیل و معیار شیفت پتانسیل برای بررسی عملکرد حفاظت کاتدیک توصیه شده است که در ادامه بررسی می گردند.

معیار اختلاف پتانسیل سازه نسبت به الکترولیت

متداول ترین روش معیار سنجی سیستم حفاظت کاتدیک است. بر اساس استانداردهای بین المللی، مقدار مشخصی از اختلاف پتانسیل Off یا خاموش سازه نسبت به الکترود مرجع به عنوان معیار پذیرش سیستم حفاظت کاتدیک در نظر گرفته می شود. پتانسیل Off سازه، پتانسیلی است که با فاصله زمانی اندکی پس از قطع منبع جریان به صورت لحظه ای قرائت می شود. این پتانسیل به دلیل حذف افت ولتاژ (IR) خاک، همان پتانسیل حقیقی سازه پلاریزه است. توضیح اینکه پتانسیل خاموش سازه معمولاً بعد از ۲۰۰ تا ۵۰۰ میلی ثانیه بعد از قطع جریان سیستم حفاظت کاتدی اندازه گیری می شود. در سازه های تحت حفاظت کاتدیک، افزایش بیش از حد مقدار پتانسیل حفاظتی می تواند موجب آسیب هایی از قبیل تخریب پوشش سازه و تخریب هیدروژنی در فولادهای با استحکام بالا شود. لذا همانطور که رسیدن به مقدار پتانسیل مشخص جهت حفاظت در برابر خوردگی لازم است، پرهیز از پلاریزه نمودن سازه بیش از حد مجاز نیز ضروری است. مینیمم و ماکزیمم حد پذیرش تعیین شده توسط استانداردهای مختلف بر اساس روش اختلاف پتانسیل سازه به خاک، در جدول روبرو مشاهده می شود.

حد پذیرش ماکزیمم و مینیمم پتانسیل حفاظتی فلزات مختلف

Alloy	Electrolyte	Min. negative potential	Max. negative potential	Standard	
Low carbon steel pipe	Soil and water	- 0.85 V _{CSE} *	-	NACE SP0169	
	Soil and water at T > 60 °C or soils consisting of SRB	- 0.95 V _{CSE}	-		
Stainless Steel Piping	Soil in neutral or alkaline conditions	- 0.45 V _{CSE}	-		
Internal submerged surfaces of steel tanks	Natural water	- 0.85 V _{CSE}	- 1.1 V _{CSE}	NACE SP0388	
Carbon steels, low alloyed steels and cast iron	Soils and waters in all conditions except those hereunder described	- 0.85 V _{CSE}	determined experimentally	ISO 15589-1	
	Soils and waters at T > 60 °C	- 0.95 V _{CSE}			
	Soils and waters in aerobic conditions at T < 40 °C with 100 < ρ < 1 000 Ω·m	-0,75 V _{CSE}			
	Soils and waters in aerobic conditions at T < 40 °C with ρ > 1 000 Ω·m	-0,65 V _{CSE}			
	Soils and waters in anaerobic conditions and with corrosion risks caused by Sulfate Reducing Bacteria activity	-0,95 V _{CSE}			
Austenitic stainless steels with PREN < 40 (PREN: pitting resistance equivalent number)	Neutral and alkaline soils and waters at ambient temperatures	-0,5 V _{CSE}			
Austenitic stainless steels with PREN > 40		-0,3 V _{CSE}			
Martensitic or austeno-ferritic (duplex) stainless steels		-0,5 V _{CSE}			
Copper	Soils and waters at ambient temperatures	-0,2 V _{CSE}			
Galvanized steel		-1.2 V _{CSE}			
Carbon steel pipe	Immersed in seawater (Aerobic environment) with salinity of 3.2%-3.8% and resistivity of 30 Ω.cm	-0,8 V _{SCE} **	-1.1 V _{SCE}	ISO 15589-2	
	Immersed in seawater (Anaerobic environment) with salinity of 3.2%-3.8% and resistivity of 30 Ω.cm	-0,9 V _{SCE}	-1.1 V _{SCE}		
Austenitic stainless steel pipe with N _{PRE} W 40 (N _{PRE} = %Cr + 3,3 %(Mo+0,5W) + 16 %N.)	Seawater with salinity of 3.2%-3.8% and resistivity of 30 Ω.cm	-0,3 V _{SCE}	-1.1 V _{SCE}		
Austenitic stainless steel pipe, N _{PRE} <40	Seawater with salinity of 3.2%-3.8% and resistivity of 30 Ω.cm	-0,5 V _{SCE}	-1.1 V _{SCE}		
Duplex stainless steel pipe and Martensitic stainless (13 % Cr) steel piep	Seawater with salinity of 3.2%-3.8% and resistivity of 30 Ω.cm	-0,5 V _{SCE}	-0.8 V _{SCE}		
Unalloyed and low alloy ferrous materials	Soil or water At temp. below 40°C	- 0.85 V _{CSE}	-	IPS-E-TP-820(1)	
	Soil or water At temp. higher than 60°C	- 0.95 V _{CSE}	-		
	In anaerobic media with high activity of sulfate reducing bacteria and Sulfate	- 0.95 V _{CSE}	-		
	In aerobic and in anaerobic media with low activity of sulfate reducing bacteria and sulfates	- 0.95 V _{CSE}	-		
	In sandy soils with resistivities greater than 50000 ohm.cm	- 0.75 V _{CSE}	-		
Stainless steels with a chromium of at least 16% by weight, for use in soil and fresh water	Soil or water At temp. below 40°C	- 0.1 V _{CSE}	-		
	Soil or water At temp. higher than 60°C	- 0.3 V _{CSE}	-		
Copper (copper/nickel alloys)	Soil or water	- 0.5 V _{CSE}	-		
Aluminum	Soil or fresh water	- 0.95 V _{CSE}	-		
Aluminum	salt water	- 0.9 V _{CSE}	-		
Steel in contact with Concrete	Soil or water	- 0.75 V _{CSE}	-		
Galvanized steel	Soil or water	- 1.2 V _{CSE}	-		
* CSE: copper/saturated copper sulphate reference electrode					
** SCE: silver/silver chloride reference electrode					

معیار تغییر پتانسیل ، پلاریزه شدن یا دی پلاریزه شدن

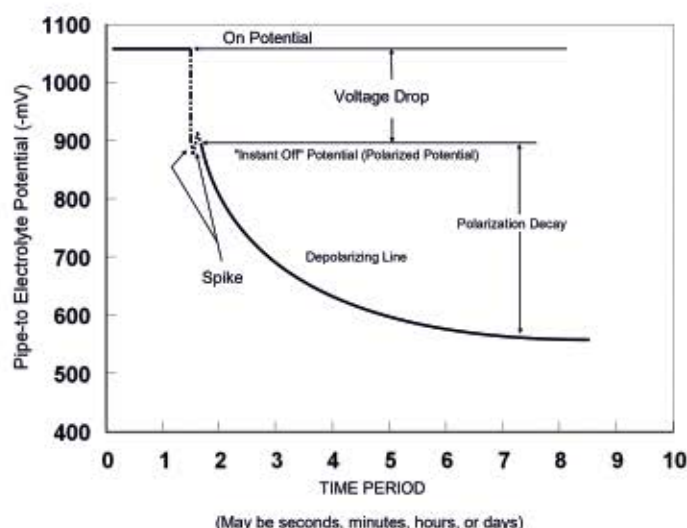
معیار تشکیل پلاریزاسیون و معیار زوال پلاریزاسیون، معیارهایی معتبر برای ارزیابی عملکرد سیستم حفاظت کاتدیک هستند که توسط استانداردهای بین المللی توصیه شده اند. در معیار پلاریزه شدن به منظور حصول اطمینان از رسیدن به پتانسیل مناسب بایستی پس از روشن نمودن سیستم حفاظت کاتدیک و در اثر پلاریزاسیون، پتانسیل سازه پلاریزه (پتانسیل Instant Off) به مقدار حداقل ۱۰۰ میلی ولت با پتانسیل طبیعی آن ($E_{natural}$) اختلاف داشته باشد. توضیح اینکه پلاریتی در اندازه گیری های معمول در حفاظت کاتدیک به نحوی است که پتانسیل سازه پلاریزه شده عددی منفی تر از پتانسیل سازه است.

$$|E_{Instantoff}| - |E_{natural}| \geq 100 \text{ mV}$$

در روش زوال پلاریزاسیون، به منظور حصول اطمینان از رسیدن به پتانسیل مناسب بایستی پس از خاموش نمودن سیستم حفاظت کاتدیک و در اثر دی پلاریزه شدن، پتانسیل سازه حداقل به مقدار ۱۰۰ میلی ولت نسبت به پتانسیل حالت Instant Off آن تغییر یابد. توضیح اینکه که مقدار پتانسیل پس از خاموش نمودن سیستم در نهایت به پتانسیل ثابتی که همان پتانسیل طبیعی سازه است خواهد رسید.

$$|E_{Instantoff}| - |E_{decayed off}| \geq 100 \text{ mV}$$

مثالی از تغییر پتانسیل پس از خاموش کردن سیستم حفاظت کاتدیک در شکل مشاهده می شود.



تغییر پتانسیل سازه نسبت به خاک پس از دی پلاریزه شدن سازه.

مقاومت الکتریکی الکترولیت

مشخصات الکترولیت اطراف سازه تأثیر مستقیم در میزان خوردگی الکترولیت دارد. مهم ترین مشخصات الکترولیت عبارت اند از مقاومت الکتریکی، مشخصات شیمیایی و مشخصات میکروبی. مقاومت الکتریکی الکترولیت رابطه معکوس با نرخ خوردگی آن دارد.

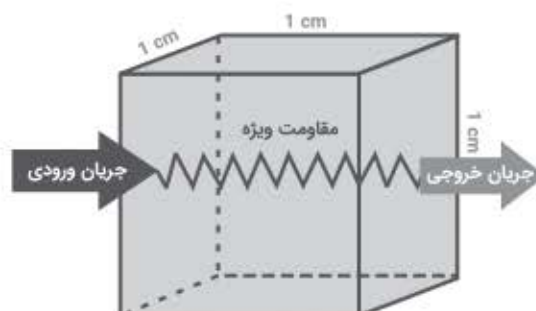
مقدار خوردگی الکترولیت با توجه به مقاومت ویژه (BS EN 15280 و API 651)

Corrosivity Rating	Soil Resistivity ($\Omega \cdot \text{cm}$)
Essentially non-corrosive	> 20000
Mildly corrosive	10000 - 20000
Moderately corrosive	5000 - 10000
Corrosive	3000 - 5000
Highly corrosive	1000 - 3000
Extremely corrosive	< 1000

جهت طراحی سیستم های حفاظت کاتدیک و همچنین تعیین محل استقرار آندها بایستی مقاومت ویژه خاک اندازه گیری شود. واحد مقاومت ویژه خاک برابر با مقاومت الکتریکی یک واحد مشخص (دارای ابعاد مشخص) از خاک است. مقاومت خاک بسته به غلظت نمک، حجم اکسیژن موجود در خاک و رطوبت خاک متغیر است. در اثر کاهش حجم اکسیژن و افزایش رطوبت خاک، مقدار مقاومت خاک کاهش می یابد. بسـتر آندی معمولاً در مناطقی از الکترولیت که مقاومت ویژه پائین تری دارند تعبیه می شوند. مقاومت ویژه الکترولیت های مختلف در جدول زیر مشاهده می شود.

نمونه مقاومت های ویژه الکترولیت های مختلف.

الکترولیت	مقاومت ویژه ($\Omega \cdot \text{cm}$)
آب دریا	20-25
خاک	150 - 5000
ماسه	100000 - 1000000
سنگ	500000 - 5000000



مقاومت ویژه واحد مشخصی از الکترولیت.

روش های متداول اندازه گیری مقاومت ویژه الکترولیت در تعبیه سیستم حفاظت کاتدیک عبارت اند از روش ۴ پین و نر و روش جعبه خاک/آب. روش ۴ پین معمولاً برای اندازه گیری مقاومت ویژه خاک در محل اجرای سیستم حفاظت کاتدیک استفاده می شود. در این روش، ۴ میله از جنس فولاد با فاصله مشخص و برابر (فاصله a) در طول یکدیگر به مقدار کمتر از یک بیستم فاصله a در داخل خاک قرار می گیرد. سپس به دو میله بیرونی (میله ابتدایی و انتهایی) جریان اعمال کرده و اختلاف پتانسیل بین دو میله داخلی (دو میله ای که در وسط قرار دارند) اندازه گیری شده و با استفاده از قانون اهم، مقدار مقاومت خاک (R) به دست می آید. مقاومت اندازه گیری شده مربوط به عمق خاکی است که برابر با فاصله a می باشد. سپس مقاومت ویژه واحد مشخصی از خاک (p) با استفاده از رابطه ذیل اندازه گیری می شود:

$$p=2 aR$$

در روش جعبه خاک/آب، الکترولیت در داخل جعبه ریخته شده و همانند روش ۴ پین، جریان از پین های بیرونی عبور داده شده و مقدار پتانسیل در پین های داخلی اندازه گیری و سپس مقاومت الکتریکی خاک یا آب به دست می آید.



اندازه گیری مقاومت خاک به روش ۴ پین و نر

تعیین مقاومت ویژه خاک به صورت لایه به لایه با استفاده از روش بارنز انجام می گیرد. با تغییر فاصله a، مقاومت ویژه عمق مشخص از خاک و همچنین مقاومت بین لایه های مختلف به دست می آید. این عمل زمانی اهمیت می یابد که مقاومت خاک به میزان زیادی متأثر از عمق است. با کمک این روش می توان پس از تعیین مقاومت ویژه عمق های کمتر، مقاومت ویژه عمق های بالاتر را تخمین زد.

همانطور که عنوان شد، مقاومت الکتریکی الکترولیت متأثر از ترکیب شیمیایی (وجود یون های کلر و سولفور) و pH آن است. با افزایش و یا کاهش اسیدیته الکترولیت، میزان هدایت یونی آن افزایش یافته و مقاومت آن کاهش می یابد.

BARNES LAYER RESISTIVITY

		S	S	S	
0					a
50					b
100					c
150					d
200					e
250					

Pin Spacing (s) Feet	Resistance (R) ohms	Conductance (1/R) Siemens	Layer Name	Layer Conductance Siemens	Layer Resistance Ohms	Layer Resistance Ohms-cm
50	0.50	2.00	a	$2.0-0=2.0$	0.5	4.788
100	0.40	2.50	b	$2.5-2.0=0.5$	2.5	19.151
150	0.35	2.86	c	$2.86-2.5=0.36$	2.8	26.810
200	0.20	5.00	d	$5.0-2.86=2.14$	0.47	4.500
230	0.10	10.00	e	$10-5=5.0$	0.2	1.915

Measured

Calculated

تأثیر ترکیب شیمیایی و pH الکترولیت خاک بر خوردگی سازه (پی بادی)

میزان خوردگی	غلظت	متغیر
بسیار شدید	> 5000	یون های کلراید
شدید	1500 – 5000	
خورنده	500 – 1500	
متوسط	< 500	
بسیار شدید	> 10000	یون های سولفات
شدید	1500 – 10000	
خورنده	150 – 1500	
کم	< 150	
شدید	< 5.5	pH
متوسط	5.5 – 6.5	
خنثی	6.5 – 7.5	
عدم خوردگی	> 7.5	



جعبه اندازه گیری مقاومت خاک

همان طور که عنوان شد مقاومت ویژه الکترولیت با دو روش ۴ پین و جعبه خاک/آب صورت می گیرد. در هر دو روش با استفاده از تجهیز مقاومت سنج زمین (Earth Tester)، مقاومت الکترولیت قرائت می شود.



تجهیزات سیستم حفاظت کاتدیک

ترانسفورمر رکتیفایر (AN or ONAN)

ترانسفورمر رکتیفایرها را می توان از نظر سیستم خنک کنندگی، سیستم کنترل، استاندارد IP، نوع ورودی و مشخصات رنگ دسته بندی نمود.

سیستم خنک کنندگی ترانسفورمر رکتیفایر

معمولاً در سطح توان طراحی شده برای ترانسفورمر رکتیفایرهای سیستم حفاظت کاتدیک، سیستم خنک کنندگی به دو صورت (ONAN: Oil Nature Air Nature) و (AN: Air Nature) مورد استفاده قرار می گیرد.

سیستم خنک کنندگی با روغن و هوا (ONAN):
ترانسفورمر رکتیفایرها با درجه IP54 به بالا معمولاً در هوای آزاد و در معرض مستقیم نور آفتاب قرار دارند، بنابراین وجود یک سیستم خنک کننده در کنار آنها ضروری است. معمولاً به منظور خنک کنندگی این تجهیزات از سیستم خنک کنندگی با روغن و هوا استفاده می شود. در روش خنک کنندگی با روغن سیم پیچ ترانس و تجهیزات یکسوساز به طور کامل در روغن قرار می گیرند. از آنجاکه هر ترانس با توجه به سطح توان آن نیاز به مقدار مشخصی روغن دارد، در کنار مخزن نشان گری تعبیه شده که می توان با آن، میزان روغن را ارزیابی نمود. تأییدیه های مورد نیاز برای آزمون افزایش دما بر اساس استانداردهای IEC 60146 و IPS-M-EL 155 روی تمامی ترانسفورمر رکتیفایرهای ساخت این شرکت دریافت شده است.



ترانسفورمر رکتیفایر تولیدی شرکت پایش صنعت نوین

سیستم خنک کنندگی با هوا (AN): این نوع از ترانسفورمرها معمولاً در داخل اتاق های کنترل قرار داشته و در معرض مستقیم نور خورشید قرار ندارند. طراحی این ترانسفورمرها با نوع قبلی متفاوت بوده و از لحاظ ابعادی، کمی بزرگتر می باشند. بر اساس استاندارد IPS-M-EL-151 حداقل درجه حفاظت IP برای این نوع از ترانسفورمر رکتیفایرها در محیط داخلی IP31 و در محیط خارجی IP33 می باشد.

سیستم کنترل ترانسفورمر رکتیفایر

ترانسفورمر رکتیفایرها معمولاً در چهار نوع کنترل الکترونیکی، الکترونیکی-رگاولتی، رگاولتی و ۶۳ پله ای طراحی و ساخته می شوند.

کنترل الکترونیکی: در این نوع از ترانسفورمر رکتیفایرها از یکسوسازهای دیودی-تریستوری استفاده می شود. با کنترل زاویه آتش تریستورها که توسط برد کنترلی انجام می شود می توان ولتاژ و یا جریان خروجی را تغییر داد. این بردها به وسیله مدارات الکترونیکی آنالوگ طراحی شده که قابلیت کار در شرایط آب و هوایی سخت را دارند. همچنین برد الکترونیکی طراحی شده در ترانسفورمر رکتیفایر قابلیت کنترل خروجی به سه حالت ولتاژ، جریان و پتانسیل ثابت را دارد.

عملکرد ولتاژ ثابت: در این حالت ولتاژ یکسو شده خروجی ترانسفورمر رکتیفایر که توسط اپراتور تنظیم شده است با هر تغییری در ورودی و یا خروجی ثابت می ماند. این تغییرات می تواند شامل کاهش و یا افزایش ولتاژ ورودی و یا تغییر مقاومت خروجی ترانسفورمر رکتیفایر در اثر تغییرات مقاومت خاک باشد.

عملکرد جریان ثابت: در این نوع عملکرد، جریان ترانسفورمر رکتیفایر با تغییر مقاومت خروجی ثابت می ماند. مقاومت خروجی ترانسفورمر رکتیفایر می تواند ناشی از تغییر مقاومت خاک با توجه به تغییر شرایط آب و هوایی و یا تغییر مقاومت مسیر کابل کشی باشد. با توجه به این تغییرات ممکن است ولتاژ خروجی دچار افزایش و یا کاهش شود اما جریان خروجی ترانسفورمر رکتیفایر ثابت می ماند.

عملکرد پتانسیل ثابت: برای بهره گیری از حالت پتانسیل ثابت نیاز است تا الکتروودهای مرجع به صورت مدفون و یا غوطه ور در سیستم حفاظت کاتدیک نصب گردند. در این حالت سیستم به طور پیوسته پتانسیل سازه را قرائت نموده و با توجه به تنظیمات اعمالی بر روی برد، مقدار جریان خروجی ترانس را تنظیم می نماید. اگرچه سیستم قابلیت قرائت پتانسیل از چند الکتروود مرجع را دارد اما در هر لحظه قابلیت کنترل سیستم نسبت به یک پتانسیل قرائت شده وجود دارد.

کنترل رگاولتی: در این مدل ترانسفورمر رکتیفایرها برد الکترونیکی وجود نداشته و یکسوساز تماماً به صورت دیودی است. در این مدل از یک اتوترانسفورماتور (واریاک) در ورودی ترانسفورمر استفاده شده و کاربر با تنظیم ولتاژ خروجی واریاک به صورت دستی، قابلیت تنظیم ولتاژ خروجی ترانسفورمر را دارد. قابل ذکر است این نوع از ترانسفورمر رکتیفایرها هیچ گونه کنترلی بر روی خروجی خود ندارد و با تغییر شرایط خروجی امکان تغییر ولتاژ و جریان خروجی وجود دارد. همچنین این نوع از ترانسفورمر رکتیفایرها را نمی توان برای کنترل پتانسیل ثابت استفاده نمود.

کنترل الکترونیکی - رگاولتی: این نوع از ترانسفورمر رکتیفایرها دارای مشخصات کنترل الکترونیکی و رگاولتی می باشند. البته هنگامی که ترانسفورمر رکتیفایر در حال کار است فقط می توان از یک روش استفاده نمود و قابلیت عملکرد همزمان وجود ندارد. مزیت این سیستمها قابلیت اطمینان بالا و انعطاف پذیری سیستم در صورت خرابی در یک بخش است. در حالت کنترل رگاولتی، تریستورها همانند دیود عمل کرده و کنترل ولتاژ خروجی بوسیله تنظیم واریاک ورودی می باشد.

کنترل ۶۳ پله ای: در این روش سه کلید کنترلی روی تابلو فرمان ترانسفورمر رکتیفایر تعبیه می گردد که با تغییر حالت های مختلف کلیدها می توان به سطح ولتاژ مشخصی در خروجی دست یافت. در این روش کنترل پیوسته روی ولتاژ خروجی وجود ندارد و تنها پله های مشخصی از ولتاژ را می توان در خروجی تنظیم نمود.

با توجه به محل نصب و همچنین شرایط آب و هوایی نیاز است ترانسفورمر رکتیفایرها از درجه حفاظت IP مناسبی برخوردار باشند. معمولاً برای ترانسفورمر رکتیفایرهایی که در داخل اتاق نصب می شوند حداقل درجه حفاظت IP31 مناسب است زیرا در این محل گرد و غبار و همچنین باران وجود نداشته و نیاز به درجه حفاظت بالا نمی باشد. مخازن و تابلو فرمان ترانسفورمر رکتیفایرها که در فضای باز قرار دارند اغلب با درجه حفاظت IP54 یا IP55 طراحی می شوند. البته در برخی موارد با توجه به شرایط محیطی محل نصب نیاز به استفاده از درجه حفاظت بالاتری است. شرکت پایش صنعت نوین موفق شده است که تأییدیه‌های مربوطه به استاندارد IEC 60529 در مورد انواع تست های IP را برای ترانسفورمر رکتیفایرهای تولیدی اخذ نماید.

نوع ورودی: ترانسفورمر رکتیفایرها معمولاً در دو نوع تک فاز و سه فاز طراحی و تولید می شوند. در حالت سطح توان کمتر از ۲/۵ کیلوولت آمپر بهتر است که طراحی ها بر اساس سیستم تک فاز صورت پذیرد. در این حالت بخشی از هزینه ها کاهش پیدا می کند. البته قابل ذکر است در سیستم تک فاز برخی از مشخصات کیفیت توان شبکه همچون ضریب قدرت، مؤلفه‌های هارمونیک جریانی و ورودی و نوسان توان به نسبت سیستم سه فاز بیشتر می باشد. در سیستم های سه فاز ولتاژ ورودی ۴۰۰ ولت می باشد و تا سطح توان ۵۰ کیلوولت آمپر با سطح ولتاژ فوق طراحی می گردند. در این سیستم ها توان نوسانی از سیستم حذف و اغلب مشخصه های کیفیت توان بهبود داده می شوند.

بر اساس شرایط آب و هوایی و محل نصب ترانسفورمر رکتیفایرها مشخصات رنگ آنها تغییر می کند. معمولاً برای ترانسفورمر رکتیفایرهایی که داخل اتاق نصب می گردند رنگ یک لایه به روش الکترواستاتیک کافی بوده و در صورت نصب ترانسفورمر رکتیفایر در هوای آزاد و محیط های بارطوبت بالا رنگ سه لایه، طبق استاندارد IPS و IGS پیشنهاد می گردد. برای پوشش دهی ترانسفورمر رکتیفایرها حتماً بایستی عمل سندبلاست صورت گرفته تا مانع از برآمدگی و یا ریزش رنگ در طول دوره بهره برداری گردد.

انواع ترانس و مشخصات آنها

نوع ترانس	سیستم کنترل	سیستم خنک‌کنندگی	محل نصب	مشخصات رنگ	نوع ورودی	استانداردها
الکترونیکی	ولتاژ ثابت جریان ثابت پتانسیل ثابت	روغنی/ هواخنک	داخلی	تک لایه	تک فاز و یا سه فاز	IPS-M-EL155 IEC 60146 IEC 60529 IGS-EL-013 IPS-E-TP-100
رگاولتی	بدون کنترل الکترونیکی					
الکترونیکی رگاولتی	ولتاژ ثابت جریان ثابت پتانسیل ثابت		خارجی	سه لایه		
۶۳ پله ای	بدون کنترل الکترونیکی					



شماتیک داخلی ترانسفورمر رکتیفایر تولیدی شرکت پایش صنعت نوین

قطع کننده همزمان ترانسفورمر رکتیفایرها (GPS-INTERRUPTER)

در سیستم های حفاظت کاتدیک معیار اندازه گیری پتانسیل سازه نسبت به یک مرجع مشخص، پتانسیل زمان خاموشی می باشد. علت این امر حذف منابع خطا که به صورت IR در مسیر اندازه گیری پتانسیل مؤثرند است. در سیستم هایی که مجموعه توسط چندین ترانسفورمر رکتیفایر تحت حفاظت قرار دارد، می بایست تمامی ترانسفورمر رکتیفایرها به صورت همزمان خاموش شوند. برای این منظور نیاز است از تجهیزات همزمان کننده و یا به عبارتی Synchronizer استفاده شود. یکی از روش های همزمان سازی به منظور روشن و خاموش نمودن ترانس رکتیفایرها، استفاده از آنتن های اکتیو GPS بوده که بوسیله ی ماژول های مخابراتی GSM قابلیت راه اندازی دارند. در این سیستم ها با ارسال فرمان از طریق پیام کوتاه به ماژول های نصب شده بر روی ترانسفورمر رکتیفایرها، می توان در زمان مشخص عملیات قطع و وصل را بصورت همزمان انجام داد. همچنین پس از اتمام عملیات اندازه گیری پتانسیل، با ارسال فرمان مجدد به ماژول GSM، قطع و وصل متوقف شده و ترانسفورمر رکتیفایر به حالت عادی باز می گردد. این تجهیز با عنوان GPS Interrupter، قابلیت نصب بر روی ورودی و خروجی ترانسفورمر رکتیفایر را داراست. با اتصال رله موجود بر روی برد اینترپتر به مدار فرمان کنترکتور ورودی و یا تغذیه برد الکترونیکی، امکان قطع و وصل برق ترانسفورمر رکتیفایر وجود دارد.

سوئیچینگ (Switching Power Supply)

به منظور اعمال جریان به سیستم حفاظت کاتدیک از ترانسفورمر رکتیفایرها استفاده می شود. این تجهیزات با اتصال به برق تک فاز و یا سه فاز عمل می کنند. عملکرد این تجهیزات بوسیله ی کاهش ولتاژ توسط یک ترانسفورمر و سپس یکسوکندگی بوسیله ی رکتیفایر می باشد. به علت وجود ترانس با عملکرد در فرکانس ۵۰ هرتز و یا همان فرکانس شبکه و همچنین یکسوساز بر پایه ترایستور و دیود ابعاد ترانسفورمر رکتیفایرها بسیار بزرگ می باشد. منابع تغذیه سوئیچینگ جایگزین مناسبی برای ترانسفورمر رکتیفایرها تا توان ۱/۵ کیلووات می باشند. این تجهیزات با اتصال به شبکه برق تک فاز در ابتدا ولتاژ شبکه را تبدیل به ولتاژ مستقیم نموده و سپس با استفاده از عملکرد سوئیچینگ و استفاده از سوئیچ های نیمه هادی، ولتاژ را مجدداً متناوب می نمایند. ولتاژ متناوب شده دارای فرکانس بالا (عمدتاً بین ۲۰ تا ۵۰ کیلوهرتز) می باشد. با افزایش فرکانس از مقدار ۵۰ هرتز به بازه ی ۲۰ تا ۵۰ کیلوهرتز، هسته ترانس با ابعاد بالا از داخل رکتیفایر حذف شده و از هسته هایی از جنس فریت با ابعاد فوق العاده کوچکتر استفاده می شود. منابع تغذیه سوئیچینگ دارای راندمان بسیار بالاتری نسبت به ترانسفورمر رکتیفایرها می باشند. راندمان آن ها معمولاً بالای ۹۰ درصد است. به علاوه با اتصال مبدل اصلاح ضریب توان به مبدل سوئیچینگ، تمامی مشکلات کیفیت توانی ایجاد شده از جانب ترانسفورمر رکتیفایرها برای شبکه از سیستم حذف می گردد. مبدل های سوئیچینگ در حالت ولتاژ ثابت عمل کرده و دارای حفاظت اتصال کوتاه نیز می باشند. همچنین بدلیل ابعاد بسیار کوچک و نداشتن روغن، تعمیر و نگهداری آنها راحت تر است. سیستم خنک کنندگی مبدل سوئیچینگ با استفاده از سیستم AF (Air Force) بوده و توسط دو فن پر قدرت هوا به داخل مبدل هدایت شده و بدین صورت عمل خنک کاری انجام می شود. باکس مبدل سوئیچینگ از جنس فلز می باشد و تمامی الزامات حفاظتی از جمله حفاظت سیستم زمین و اضافه ولتاژهای گذرا در آن رعایت شده است.

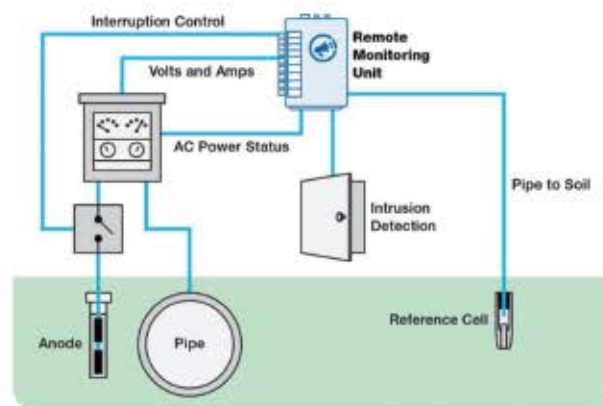


پایش از راه دور سیستم حفاظت کاتدیک

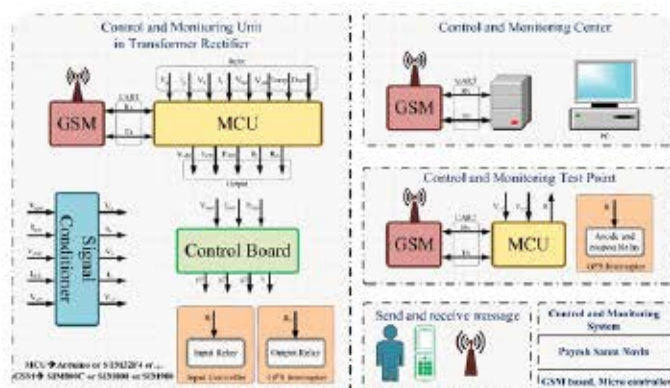
سامانه هوشمند کنترل و پایش طراحی شده توسط شرکت پایش صنعت نوین این امکان را می دهد تا کلیه اطلاعات سیستم حفاظت کاتدیک شامل ترانسفورمر رکتیفایرها، عملکرد آندها، نقطه های اتصال منفی و تست به سازه و از همه مهم تر پتانسیل سازه را به صورت آنلاین و یا با استفاده از شبکه تلفن همراه به صورت دستی مورد پایش و کنترل قرار دهند. این سیستم با استفاده از تکنولوژی جدید، امکان کنترل دقیق و دسترسی به گزارش های حاوی مجموع اطلاعات را برای افراد فراهم کرده و امکان مدیریتی جامع را فراهم می کند که در نهایت منجر به کاهش هزینه و افزایش بهره وری خواهد شد. روش کنترلی سیستم مانیتورینگ بر اساس دو روش کنترل GSM و یا کنترل کابلی صورت می پذیرد. در روش کنترل GSM تمامی اطلاعات سیستم از طریق بستر مخابراتی و با استفاده از مودم های سیم کارتی GSM صورت می پذیرد. از مزایای این روش عدم نیاز به کابل کشی بین تجهیزات داخل سیستم، امکان کنترل و پایش از راه دور هم از طریق اتاق کنترل و هم از طریق گوشی تلفن همراه توسط افراد تعریف شده، عیب یابی آسان و سهولت در اجرا می باشد. به منظور استفاده از این سیستم فقط کافی است که در هر نقطه ای که نیاز به کنترل و پایش دارد یک مودم GSM به همراه سیم کارت و سخت افزار مربوطه نصب گردد. در روش فوق اطلاعات به درخواست کاربر ثبت و در نرم افزار سیستم مانیتورینگ قابل مشاهده می باشد. در روش کابلی نیاز است تا بین کلیه تجهیزات در سیستم و همچنین اتاق کنترل کابل کشی صورت پذیرد. در این روش در صورت قطعی یک نقطه از مسیر تمامی اطلاعات از بین رفته و عیب یابی و اجرای آن پیچیده می باشد. همچنین در این روش امکان کنترل از چند نقطه وجود ندارد و تمامی اطلاعات داخل اتاق کنترل در دسترس است. از مزایای این روش پیوستگی اطلاعات می باشد بدین معنی که نیاز به درخواست کاربر برای دریافت اطلاعات در این سیستم وجود ندارد و اطلاعات از طریق تبادل سریال به طور پیوسته بر روی نرم افزار مانیتورینگ بارگذاری می شود. این روش قابلیت پیاده سازی از طریق بستر فیبر نوری را نیز داشته و فقط نیاز به نصب سخت افزار مربوطه روی سیستم است. در روش کابلی اتصال تا ۲۴۸ دستگاه به صورت همزمان در سیستم وجود دارد اما معمولاً در عمل بین ۱۰ تا ۲۰ دستگاه در این روش به یکدیگر متصل می گردند.

سیستم های مختلف مانیتورینگ

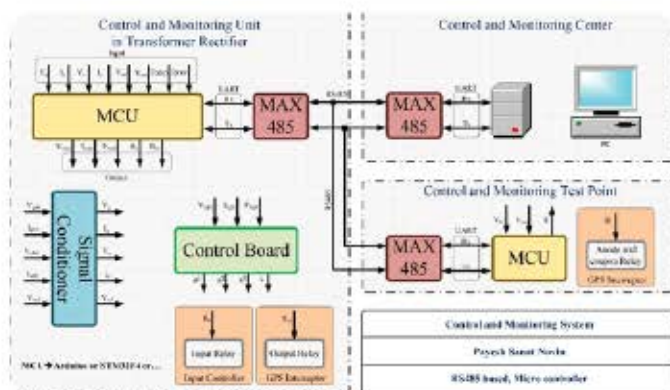
روش مانیتورینگ	پارامترهای اندازه گیری	پارامترهای کنترلی	بستر ارتباطی	سخت افزار
GSM	ولتاژ و جریان خروجی، ولتاژ ورودی، دمای روغن، ولتاژ سازه نسبت به الکترولیت	ولتاژ و جریان خروجی، قطع و وصل ولتاژ ورودی	مخابراتی GSM	Microprocessor, Gsm Module sensors
کابلی	ولتاژ و جریان خروجی، ولتاژ ورودی، دمای روغن، ولتاژ سازه نسبت به الکترولیت	ولتاژ و جریان خروجی، قطع و وصل ولتاژ ورودی	کابلی RS485	Microprocessor, Serial to RS485 sensors



شماتیک کلی سیستم مانیتورینگ



سیستم مانیتورینگ GSM



سیستم مانیتورینگ کابلی RS485

آند سیستم های حفاظت کاتدیک اعمال جریان در شکل های مختلف

آند اکسید فلزی مخلوط MMO

آندهای MMO، آندهایی با ابعاد پایدار هستند که به دلیل خواص منحصر به فرد خود در سیستم های اعمال جریان حفاظت کاتدی، آبکاری و صنایع کلرآلکالی مورد استفاده قرار می گیرند. در این آندها از فلز تیتانیوم که در غالب محیط های شیمیایی مقاوم است و انتقال جریان مناسبی دارد به عنوان فلز پایه استفاده می شود و با لایه ای متشکل از دو و یا چند اکسید فلزی که نقش کاتالیست را در واکنش های آندی ایفا می کنند به روش تجزیه حرارتی پوشش داده می شود. این پوشش نازک کاتالیستی بسته به نوع کاربرد می تواند تلفیقی از دو یا چند اکسید فلزی من جمله اکسیدهای ایریدیوم، تانتالوم، روتنیوم و تیتانیوم باشد.

آندهای MMO بسته به شرایط محیطی و کاربرد، نرخ مصرف بسیار پایین و کمتر از $1 \text{ mg/A} \cdot \text{Year}$ دارند. قابلیت ساخت در شکل های مختلف لوله، نوار، سیم، توری و صفحه از جمله مزایای دیگر این آندها است. شرکت پایش صنعت نوین از آزمون هایی مانند آزمون تسریع شده تخمین عمر آند و آزمون نشستی هلیوم که در استاندارد NACE TM 0108 توصیه شده اند جهت کنترل کیفی آندهای MMO تولیدی خود استفاده می کند.

تجهیز اندازه گیری نشت هلیوم آندهای MMO



آندهای لوله‌ای TUBULAR ANODES

آندهای MMO لوله‌ای در انواع بسترهای آندی همچون بسترهای چاهی و بسترهای افقی و عمودی کم عمق استفاده می‌شوند. کاربرد این آندها در سیستم حفاظت کاتدیک درون مخازن روزمینی و شمع‌های دریایی نیز متداول است. زیرلایه تیتانیوم این آندها بر اساس الزامات استاندارد ASTM B 338 Grade 1,2 انتخاب می‌شود. جریان خروجی و طول عمر آندهای لوله‌ای بر طبق اندازه و شرایط محیطی متفاوت است.

مشخصات آندهای MMO لوله‌ای

Environment	Anode Diameter (mm)	Anode Length (mm)	Current Output (amps)
Coke, Soil & freshwater	19	1220	7
	25	500	4
	25	1000	8
	25	1220	10
	25	1500	12
	31.75	1220	12
Seawater	19	1220	45
	25	500	25
	25	1000	50
	31.75	1220	75

دانسیته جریان خروجی آندهای MMO لوله‌ای مطابق بکفیل و یا محیط اطراف

Environment	Max. current Density (A/m ²)
Carbonaceous backfill	50
Calcined petroleum backfill	100
Fresh water	100
Brackish water	100-300
Sea water	600



آند لوله ای MMO

اندهای نواری MMO مورد استفاده در (MMO RIBBON ANODE) FINE SAND

از اندهای نواری عمدتاً در سیستم حفاظت کاتدیک کف مخازن روزمینی (AST) استفاده می شود. این آندها از تیتانیوم (ASTM B 265 Grade 1,2) روکش داده شده با پوشش MMO تشکیل شده اند.

مشخصات آندهای نواری

NOMINAL DIMENSIONS OF SOLID RIBBON		
	(1)	(2)
Width	6.35 mm	12.7 mm
Thickness	0.635 mm	0.5 mm-0.6 mm
Surface area of Ribbon	0.014 m ² /m	0.0264 m ² /m

مشخصات نوارهای تیتانیومی

TITANIUM CONDUCTOR BAR DIMENSIONS	
Width	12.7 mm
Thickness	0.9 mm

دانشیه جریان خروجی آند MMO نواری

OPERATING CONDITIONS			
	Current output (mA/m)	Current density (A/m ²)	Lifespan (Years)
Fine Sand (1)	42	3	50
Fine Sand (2)	76.2	3	50

اندهای نواری MMO مورد استفاده در آب

از اندهای نواری می توان جهت حفاظت کاتدیک سازه های بتنی مغروق نیز استفاده نمود. به دلیل ساختار نواری شکل، امکان تزریق جریان به صورت کاملاً یکنواخت در آند وجود دارد.

اندهای سیمی MMO (MMO WIRE ANODES)

اندهای سیمی به صورت عمده در بسترهای نوع نزدیک (Close Ground Bed) در حفاظت خطوط لوله استفاده می شوند. این آندها به منظور حفاظت کاتدی داخل مخازن روزمینی (AST) و سطح خارجی مخازن زیرزمینی (UST) نیز به کار می روند. آندهای سیمی را می توان همراه یا بدون پوشش بتنی نصب نمود. پایه تیتانیوم این آندها بر اساس الزامات استاندارد ASTM B 863 Grade 1,2 انتخاب می شود. جریان خروجی آندهای سیمی بر طبق شرایط کاربرد به صورت زیر است:

مشخصات آندهای سیمی MMO

Anode Diameter	Operating Condition	Current Output (A/m)
3 mm	Soil (without backfill)	0.47
	Soil (with backfill)	1
	Fresh water	1
	Sea water	5.65
1.5 mm	Soil (without backfill)	0.24
	Soil (with backfill)	0.47
	Fresh water	0.5
	Sea water	2.83



آند سیمی

اندهای توری MMO (MMO MESH ANODES)

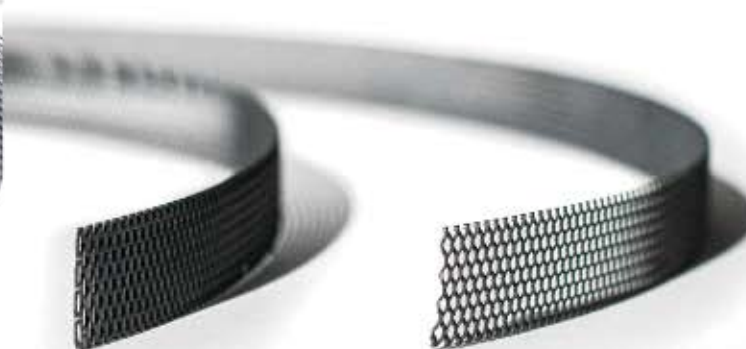
اندهای MMO توری اغلب به منظور حفاظت کاتدی سازه های بتنی به کار می روند. ساختار توری مانند این آندها، امکان تزریق جریان به صورت کاملاً یکنواخت را فراهم می کند.

مشخصات آندهای توری MMO

Anode Width	Anode Length	Operating condition	Current Density	Current Output
20 mm	50 m	Concrete	110 A/m ²	5.6 mA/m



آندهای توری شکل



آندهای مورد استفاده در بتن

آندهای کامپوزیتی صفحه ای به طور خاص به منظور حفاظت کاتدیک به روش جریان اعمالی و بر اساس استاندارد بین المللی EN ISO 12696 به کار گرفته می شود. این آندها به صورت یک سیستم آند پیش ساخته جهت پیشگیری از خوردگی سازه های فولادی در بتن استفاده می شوند. آند صفحه ای توسط یک چسب هادی یونی و یا الکترولیت خمیری شکل مستقیماً روی سطح بتن به کار برده می شود. حضور چسب، آند را قادر می سازد تا به طور ایمن و با دوام به سطح سازه بتنی متصل شود. مزیت عمده این آندها این است که می توانند به طور مستقیم روی سطح بتن استفاده شوند و نیازی به انجام هیچ گونه عملیات روی بتن قبل و پس از نصب آندها نیست.



آند صفحه ای برای حفاظت بتن

آندهای توری شکل استوانه‌ای مورد استفاده در بتن

آندهای توری شکل به عنوان آندهای تیتانیوم- MMO مجزا تولید می‌شوند و در حقیقت الکترودهای توری تیتانیومی به شکل لوله هستند که پوشش MMO دارند. این آندها به طور خاص برای کاربرد در فضای خالی از پیش حفاری شده در بتن، طراحی شده و می‌توان آنها را همراه با ملات‌های سنتی و یا ملات‌های سیلیکاتی ویژه استفاده نمود.



آند توری شکل

آندهای چدنی پرسلیس (HSCI)

جدول - ترکیب شیمیایی آندهای چدنی پرسلیسیم

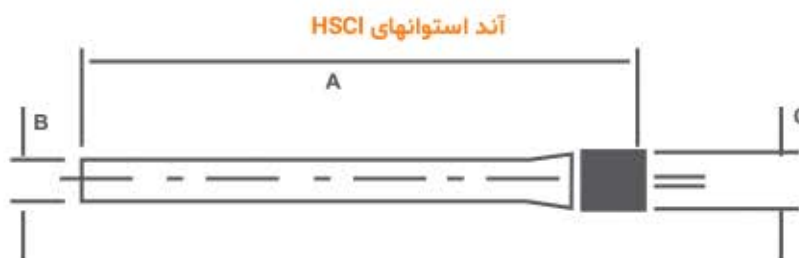
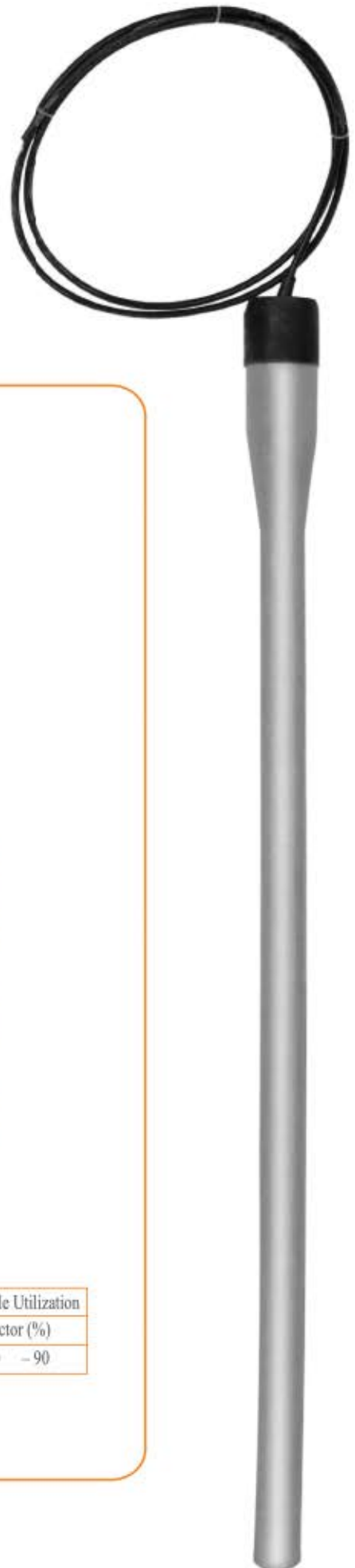
Element	wt. %
C	0.7 - 1.10
Si	14.20 - 14.75
Cr	3.25 - 5.0
Mn	< 1.5
Mo	< 0.2
Cu	< 0.5
Fe	remainder

در سیستم حفاظت کاتدیک به روش تزریق جریان از آندهای HSCI استفاده می‌شود. این آندها دارای ترکیبات سیلیسیم و کروم هستند و در نتیجه مقاومت بالایی در برابر خوردگی دارند. آندهای این شرکت مطابق با استانداردهای IPS-M-TP-750 و ASTM A518 (GRADE 3) و به‌طور معمول با ترکیب شیمیایی زیر تولید می‌شوند.

چدن پرسلیس در دانسیته جریان‌های با دامنه ۵ تا ۵۰ آمپر بر مترمربع با میزان‌های مصرف با دامنه ۰.۲ تا ۱ کیلوگرم بر آمپر سال، طبق شکل و شرایط آند عمل خواهند کرد. آند برای شرایط مدفون یا غوطه‌ور مناسب می‌باشد. پس از ریخته‌گری آند، کابل انتقال جریان با استفاده از لحیم کاری یا به صورت فشاری به انتهای آند متصل شده و سپس با استفاده از شرینگ‌های حرارتی، این اتصال آب‌بندی می‌شود. این اتصال قابلیت تحمل نیرویی تا ۵ برابر وزن آند را دارد.

عمر آند تحت تأثیر دانسیته جریان عملیاتی و کل جریان منتشر شده است. وقتی که آند در پشت‌بند گُک قرار گیرد نرخ مصرف تا ۰.۲ kg/A.year کاهش می‌یابد. برای آندهایی که مستقیماً در خاک مدفون شده یا با لجن و گل و لای در بستر دریا پوشیده می‌شوند، دانسیته جریان قابل‌اعمال برابر 10 A/m^2 حداکثر خروجی و نرخ مصرف 0.8 kg/A.year می‌باشند. مشخصات متداول‌ترین نوع آند HSCI در ادامه مشاهده می‌شود.

آند چدنی پرسلیس به همراه کابل بالاسری



مشخصات فیزیکی آندهای استوانه ای HSCI

A (mm)	B(mm)	C (mm)	Surface Area (mm ²)	Weight (kg)
915	51	76	160	14.5
915	63.5	90	200	22.3
915	76	102	230	31.4
1220	51	76	200	19.1
1220	63.5	90	250	28.6
1220	76	102	300	40.9
1525	51	76	250	22.7
1525	63.5	90	320	35.9
1525	76	102	380	50
1525	115	115	550	99.1

مشخصات آند استوانه ای HSCI

Density (gr/cm ³)	Electrical resistivity (μΩ.cm)	Output current density (A/m ²)	Anode Consumption Rate (gr/A.year)	Maximum Operating Voltage (V)	Probable Utilization Factor (%)
7 - 7.05	72	10 - 30	250 - 1000	50	50 - 90

پشتبند (Backfill) آندهای سیستم اعمال جریان

در سیستم های جریان اعمالی، برای کاهش مقاومت الکتریکی آند نسبت به زمین، افزایش سطح موثر آند و در نتیجه افزایش جریان خروجی، از پشت بند (Backfill) استفاده می شود. این پشت بند همچنین موجب افزایش طول عمر آند می شود. به دلیل اینکه انتقال جریان در پشت بندهای کربنی به شکل الکتریکی است، نرخ مصرف آند نیز در اثر استفاده از پشت بند کاهش می یابد. این شرکت کک مورد استفاده در پشت بندهای حفاظت کاتدیک را در سه تیپ مختلف با درصد کربن ۸۰، ۹۰ و ۹۵ درصد مطابق استاندارد IPS-M-TP-750 تأمین می کند. ملزومات مورد نیاز کک های مورد تأیید استاندارد IPS به صورت خلاصه در جدول زیر گردآوری شده اند:

مشخصات انواع کک های سیستم جریان اعمالی

خواص	کک نوع ۱	کک نوع ۲	کک نوع ۳
حداقل محتوای کربن (wt%)	۸۰	۹۰	۹۵
حداکثر محتوای رطوبت (wt%)	۵	۵	۱
حداکثر محتوای خاکستر (wt%)	۱۵	۵	۳
حداکثر محتوای گوگرد (wt%)	۱	۵	۱
دانسیته (kg/m ³)	۷۵۰-۸۰۰	۷۰۰-۱۰۰۰	۱۰۵۰-۱۲۰۰





آند فداشونده آلومینیوم

آند فداشونده آلومینیوم

ترکیبات شیمیایی آند آلومینیوم بر اساس استاندارد DNVGL-RP-B401

Element	Marine Type wt. %
Al	remainder
Zn	2.5-5.75
In	0.015 - 0.040
Cd	0.002
Si	0.12
Fe	0.09
Cu	0.003
Pb	Na

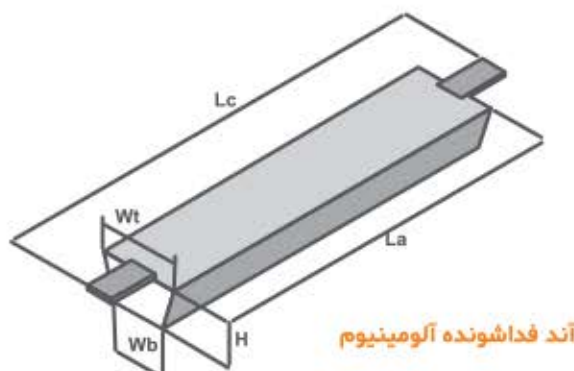
از آندهای آلومینیومی عمدتاً به منظور حفاظت کاتدی سازه‌های دریایی استفاده می‌شود. به دلیل تشکیل لایه اکسیدی محافظ، آلومینیوم خالص را نمی‌توان به عنوان آند فداشونده استفاده نمود. به منظور جلوگیری از تشکیل لایه اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) و روئین شدن فلز (پسیواسیون)، از فلزاتی نظیر جیوه، روی، اینیدیوم و سیلیسیم در ترکیب شیمیایی آندهای آلومینیومی استفاده می‌شود. آند فداشونده آلومینیومی ترکیبی از عناصری همچون روی، کادمیوم، ایریدیوم و قلع است که حضور این عناصر در ترکیب شیمیایی موجب انحلال کنترل شده آلومینیوم در آب می‌شوند مناسب‌ترین محیط جهت استفاده از آندهای آلومینیومی، محیط‌های دریایی است که به دلیل حضور یون کلر شرایط لازم را جهت عملکرد بهینه این آندها فراهم می‌کنند.

ترکیب شیمیایی آندهای این شرکت به شکل معمول مطابق با استاندارد DNV-RP-B401 تولید می‌گردد. شایان ذکر است امکان تولید این آندها بر اساس استانداردهای MIL-DTL-24779D و NORSOK M-503 نیز وجود دارد. کاربرد عمده آندهای آلومینیومی عبارت‌اند از حفاظت کاتدیک لوله انتقال در کف دریا، بدنه شناورها و سازه‌های دریایی. این آندها دارای نگهدارنده فولادی در ابعاد و شکل‌های خاص بوده که به روش‌های مختلفی مانند جوش مستقیم یا به وسیله پیچ و مهره به سازه تحت حفاظت متصل می‌شود.

آزمون الکتروشیمیایی مهم‌ترین آزمون تأیید صلاحیت این نوع از آندها بوده که به منظور تعیین راندمان الکتروشیمیایی و پتانسیل مدار بسته آند انجام می‌شود. مشخصات فنی برخی از انواع متداول آندهای آلومینیوم در جدول و شکل مشاهده می‌شود. قابل ذکر است ابعاد و مشخصات آندهای آلومینیوم به صورت حدودی بیان گردیده و با توجه به نیاز و درخواست مشتریان، این شرکت قابلیت تولید انواع مختلف دیگر این آندها را داراست.

مشخصات آند آلومینیوم بر اساس استاندارد DNVGL-RP-B401

Environment	Electrochemical capacity (Ah/kg)	Closed circuit potential (V)	Max Efficiency (%)
seawater	2000	-1.05	85 %
sediments	1500	-0.95	85 %



Weight (approx.)		Length (mm)		Width (mm) (approx.)		Height (mm)
in lb	in kg	La	Lc	Wb	Wt	H
9	4.08	304.8	406.4	63.5	88.9	63.5
18	8.16	508	635	76.2	114.3	63.5
26	11.79	609.6	736.6	114.3	139.7	63.5
34	15.42	914.4	1041.4	76.2	127	63.5
87	39.46	1384.3	1574.8	101.6	114.3	95.25
101	45.81	1955.8	2133.6	101.6	114.3	85.725
135	61.23	1828.8	2133.6	177.8	203.2	76.2
245	111.13	2286	2590.8	171.45	184.15	101.6

ابعاد متداول آندهای آلومینیوم.

آند فداشونده روی

آند روی به طور متداول در آب دریا و یا آب های شور بکار می رود. در برخی از موارد نیز جهت سازه های مدفون داخل خاک و از بین بردن تأثیرهای القایی شبکه فشارقوی برق استفاده می شود. آند روی از لحاظ کاربرد و ترکیبات شیمیایی به دو دسته تقسیم بندی می گردد:

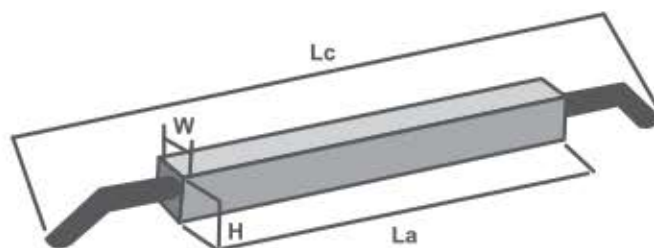
الف) آلیاژ دریایی روی که برای بکارگیری در آب دریا مناسب است.

ب) آلیاژ استاندارد که برای به کارگیری در آب شیرین (موجود در مخازن) و خاک طراحی شده است.

استفاده از آندهای روی در خاک هایی با مقاومت بیش از $50 \Omega.m$ توصیه نمی شود. همچنین این آندها قابلیت استفاده در سازه های بتنی مدفون یا مغروق را نیز دارند. البته این آندها در بتن های مدفون در خاک با مقاومت بالاتر از $100 \Omega.m$ نبایستی استفاده شوند. ترکیب شیمیایی آندهای تولیدی این شرکت مطابق با استانداردهای ASTM B418، MIL-A-18001K و DNV-RP-B401 و NORSOK M-503 تولید می شوند.

آندهای روی در دو دسته نوع ۱ (کاربرد در محیط آب شیرین و یا خاک با مقاومت پایین تر از 1500 اهم-سانتیمتر) و نوع ۲ (کاربرد در محیط آب دریا با دمای کمتر از 65 درجه سانتی گراد)، توسط شرکت پایش صنعت تولید می گردد. آندهای مورد استفاده در محیط خاک بایستی در پشت بند مناسب قرار گرفته و به صورت بسته بندی شده در داخل خاک قرار گیرد. این آندها عموماً به صورت عمودی و یا افقی در عمق مناسب و در موازات سازه نصب می شوند. ابعاد آندهای پک شده معمول روی در جدول مشاهده می شود. قابل ذکر است ابعاد و مشخصات آندهای روی به صورت حدودی بیان گردیده و با توجه به نیاز و درخواست مشتریان، این شرکت قابلیت تولید انواع مختلف دیگر این آندها را داراست.

نوع دریایی این آندها برای حفاظت از شناور استفاده می شوند. این آندها قابلیت استفاده در آبهای فاقد یون کلر را نیز دارند. امکان کاهش پتانسیل محرکه آند روی و پلاریته معکوس در بالای ۶۵ درجه سانتی گراد و غیرفعال شدن در حضور فسفات ها، کرومات ها و سولفیدها وجود دارد. لذا استفاده از آندهای روی برای الکترولیت هایی که ممکن است اینچنین شرایطی را داشته باشند، توصیه نمی شود. در شکل و جدول زیر مشخصات آند فداشونده روی مورد استفاده در حفاظت کاتدیک مخازن مشاهده می شود.



آند فداشونده روی مورد استفاده در حفاظت کاتدیک داخل مخازن

مشخصات ابعادی آند فداشونده روی مورد استفاده در حفاظت کاتدیک داخل مخازن

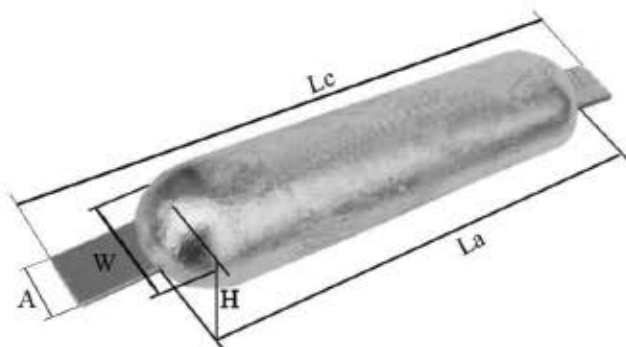
Weight (approx.)		Dimension (mm)			
in lb	in kg	W	H	La	Lc
27	12.25	35.56	35.56	1219.2	1752.6
50	22.68	50.8	50.8	1219.2	1752.6
60	27.22	50.8	50.8	1524	2057.4
70	31.75	63.5	63.5	1219.2	1752.6
100	45.36	63.5	63.5	1524	2057.4

شماتیک نواحی آندی و کاتدی در یک خط لوله

Weight (approx.)		Bare			Packaged		
in lb	in kg	Width	Height	Length	Weight (kg) (approx.)	Dimensions (mm) Dia.	Lp
15	6.80	35.56	35.56	762.00	22.68	127.00	965.20
15	6.80	50.80	50.80	381.00	22.68	152.40	609.60
18	8.16	35.56	35.56	914.40	31.75	127.00	1092.20
30	13.61	50.80	50.80	762.00	31.75	127.00	965.20
33	14.97	35.56	35.56	1524.00	45.36	152.40	1651.00
48	21.77	50.80	50.80	1219.20	45.36	152.40	1473.20
60	27.22	50.80	50.80	1524.00	54.43	152.40	1651.00



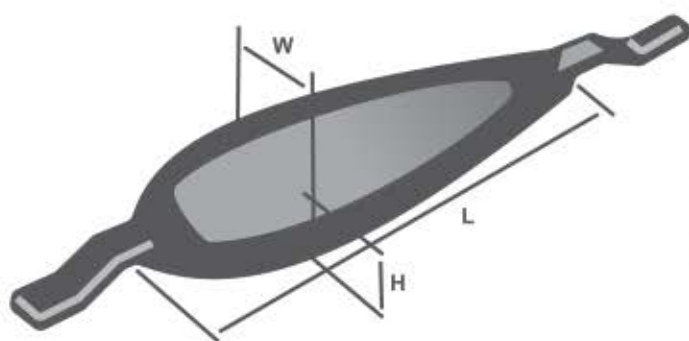
همچنین مشخصات انواع متداول دریایی آند روی که به منظور حفاظت کاتدیک بدنه شناورها و کشتی ها استفاده می شوند، در شکل و جدول صفحه بعد مشاهده می شود.



آند فداشونده روی مورد استفاده در حفاظت کاتدیک بدنه کشتی و شناور

مشخصات ابعادی آند فداشونده روی مورد استفاده در حفاظت کاتدیک بدنه کشتی و شناور

Weight (approx.)		Dimension (mm)				
in lb	in kg	W	H	La	Lc	A
26	11.8	114.3	57.15	355.6	482.6	38.1



آند فداشونده اشکی شکل روی مورد استفاده در حفاظت کاتدیک بدنه شناور

مشخصات ابعادی آند فداشونده اشکی شکل روی مورد استفاده در حفاظت کاتدیک بدنه شناور

Weight (approx.)		Dimension (mm)		
in lb	in kg	W	L	H
5	2.27	76.2	228.6	31.75

ترکیب شیمیایی آند روی نوع ۱ مطابق استاندارد DNV-RP-B401 و آند روی نوع ۲ مطابق استاندارد ASTM B 418 در جدول زیر مشاهده می شود. همچنین مشخصات فنی انواع آندهای فداشونده روی در جدول بعدی آمده است.

ترکیب شیمیایی آند روی

Element	Marine Type wt. % (DNV-RP-B401)	Soil Type wt. % (ASTM B 418)
Zn	remainder	remainder
Al	0.10 - 0.50	< 0.005
Cd	< 0.07	< 0.003
Fe	< 0.005	< 0.0014
Cu	< 0.005	< 0.002
Pb	< 0.006	< 0.003
Other elements, total	Na	< 0.012

Environment	Density (gr/cm ³)	Electrochemical capacity (Ah/kg)	Closed circuit potential	Max Efficiency (%)
Soil	7.14	780	-1.05 V _{CSE}	90 %
seawater		780	-1.00 V _{SSC}	
sediments		700	-0.95 V _{SSC}	

اندهای فداشونده روی مخصوص سازه های بتنی

بتن ماده ای متخلخل است که به آسانی آلاینده ها و عناصر خورنده (همانند یون کلر) را از محیط اطراف خود جذب می کند. آرماتور بتن در اثر خوردگی دچار افزایش حجم شده که این امر باعث ترک خوردن و یا تخریب بتن می شود. یکی از روش های موثر جهت کاهش و یا پیشگیری از خوردگی آرماتور در بتن، استفاده از آندهای فداشونده است. از جمله سازه هایی بتنی که به این روش حفاظت می شوند می توان به موارد ذیل اشاره نمود :

- عرشه های بتنی
- پل، تیر و ستون های بتنی
- بتن های تازه ریخته شده بر روی سازه های قدیمی
- بالکن و نماهای بتنی
- کف بتنی

آندهای روی به صورت گسترده ای برای حفاظت کاتدی بتن به صورت مخفی در داخل بتن یا جایگذاری شده در سطح بتن استفاده می شوند. این آندها بایستی به صورت مستقیم به آرماتور اتصال الکتریکی یابند. و با توجه به نوع کاربرد در دسته بندی های زیر تولید و استفاده می شوند:

الف- آندهای گسترده روی

این آندها از چندلایه روی تشکیل شده اند، که روی آن خمیر هادی یونی پوشش داده شده است، این خمیر باعث می شود تا آندها در طول بازه ای که تحت سرویس هستند فعال باقی بمانند .

- نسبت وزن کل آند به سطح
- سطح آرماتور
- موجود بودن عناصر اکسیدکننده (O₂, H₂O) که باعث فعال ماندن واکنش های کاتدی بر روی سطح آرماتورها می شوند
- ظرفیت آند

با توجه به راحتی و سرعت نصب آندها، هزینه نصب می تواند کاهش یابد. نیروی محرکه بین آندها و آرماتورها باعث جلوگیری از خوردگی در طول بازه سرویس دهی می شود.



نمونه نصب شده آند فداشونده روی دارای خمیر هادی جهت حفاظت کاتدیک آرماتور بتن

ب- آندهای ورقه ای روی

آند ورقه ای روی از یک فویل روی با پوشش چسبنده هادی یونی تشکیل شده اند. چسب آند با یک لایه پلاستیکی پوشیده شده است تا جلوی آلودگی چسب را بگیرد. چسب هادی یونی باعث می شود که آند به سطح بتن چسبد. جریان مورد نیاز برای حفاظت کاتدی به دلیل اختلاف پتانسیل این آندها با سازه تأمین می شود و هیچ گونه منبع انرژی نیاز ندارد. این آندها بر روی سطح سازه بتنی نصب می شوند و باید به صورت الکتریکی به آرماتورها متصل گردند. این آندها همچنین حالت تزئینی نیز به بتن ارائه می دهند.

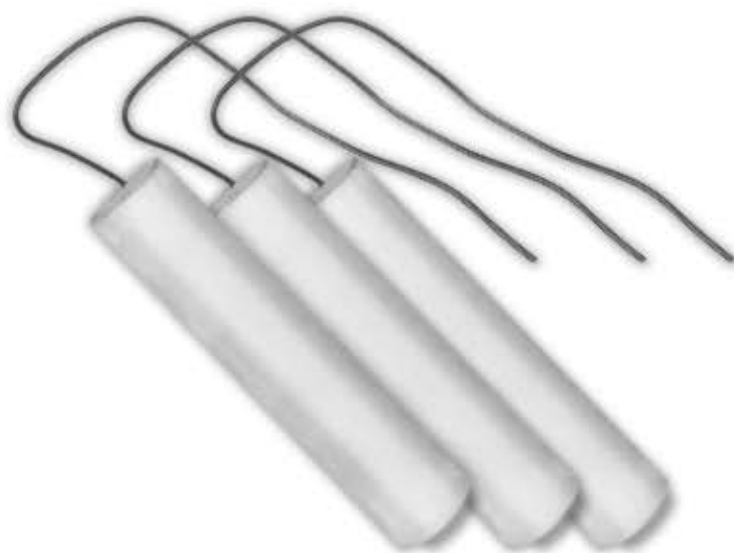


نمونه نصب شده آند فداشونده ورقه ای شکل روی جهت حفاظت کاتدیک آرماتور بتن.



پ- آندهای رولی شکل روی

این آندها از ورقه های روی آغشته به چسب فعال کننده تشکیل شده اند تا امکان فعال سازی آند فراهم گردد.



نمونه آند فداشونده رولی شکل روی جهت حفاظت کاتدیک آرماتور بتن.



اندهای توری شکل روی

این آندها در بتن های مغروق در آب دریا (بتن های در معرض جزر و مد و بتن های موجود در زیر آب دریا) استفاده می شوند. این آندها به شکل یک ورقه نازک یا ورقه مش مانند هستند که بایستی در سطح بیرونی بتن کار گذاشته شوند و سپس روی آنها با گروت پوشانده می شود.

لازم به ذکر است که رویه نصب تمامی این آندها طی مراحل ذیل انجام می پذیرد

بررسی دسترسی به سازه

آماده سازی سطح بتن

بررسی مکان و پیوستگی آرماتورها

تهیه نقشه پتانسیل

نصب آندها

اتصال الکتریکی آرماتور با آند

بررسی اتصال الکتریکی با تجهیز مگر

بررسی پلاریزاسیون آرماتورها توسط الکتروود مرجع

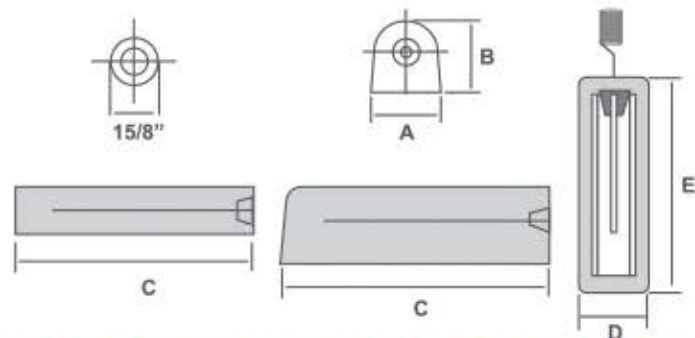
یکی از متداول ترین آندهای فداشونده، آند منیزیم است که جهت حفاظت سازه های مدفون در خاک به کار می رود. بازده آند منیزیم علاوه بر میزان جریان خروجی، به جنس آند و ترکیبات شیمیایی آن نیز بستگی دارد. آندهای منیزیم در دو نوع پتانسیل استاندارد (1.55 V-) و پتانسیل بالا (1.75 V-) تولید می شوند. آند منیزیم مدفون در خاک به طور معمول با پشت بند (Back Fill) استفاده می شوند. پشت بند جاذب رطوبت بوده و به بهبود عملکرد این آندها کمک می کند. البته خواص این آندها به عوامل دیگری همچون خروجی جریان نیز وابسته اند. برای مثال اگر برای حفاظت کاتدیک نیاز به دانسیته جریان های کمتر از 200 mA/m^2 باشد، آنگاه ظرفیت جریانی این آندها به شدت کاهش می یابد.

این شرکت ضمن پایش مداوم ترکیب شیمیایی آندهای تولیدی خود بر اساس استاندارد ASTM-B 843 جهت کنترل کیفی محصولات خود بهره می برد. این آندها نیاز به خاکهای مرطوب با مقاومت های مخصوص کمتر از ۱۰۰۰۰ اهم _ سانتیمتر برای عملکرد رضایت بخش دارند.

به منظور کاهش مقاومت آند به زمین، جذب رطوبت و عملکرد بهتر بستر آندی از پشت بند استفاده می کنند. آندهای از قبل بسته بندی شده، در یک کیسه متخلخل با پشت بند سولفات سدیم-گچ بنتونیت قرار داده می شوند. ترکیب شیمیایی پشت بندها بر اساس استاندارد IPS-M-TP-750 از ۷۵٪ Gypsum، ۲۰٪ Bentonite و ۵٪ sodium sulfate تشکیل شده است. اگر آند به صورت بسته بندی نباشد پشت بند آن به طور دستی در اطراف آن ریخته می شود.

از طرفی آندهای منیزیم بدون پشت بند استاندارد ممکن است برای غوطه ور شدن، در لجن و گل و لای، یا تأسیسات مدفون خشکی استفاده شوند. منیزیم با خلوص متنوع و با عملکردهای متفاوت موجود است. برای تمام رده ها و میزان مصرف ۱۲۰۰ آمپر ساعت بر کیلوگرم، راندمان ۵۰ درصد است و پتانسیل طراحی معمولاً ۱/۵- ولت نسبت به نیم پیل مس/سولفات مس است.

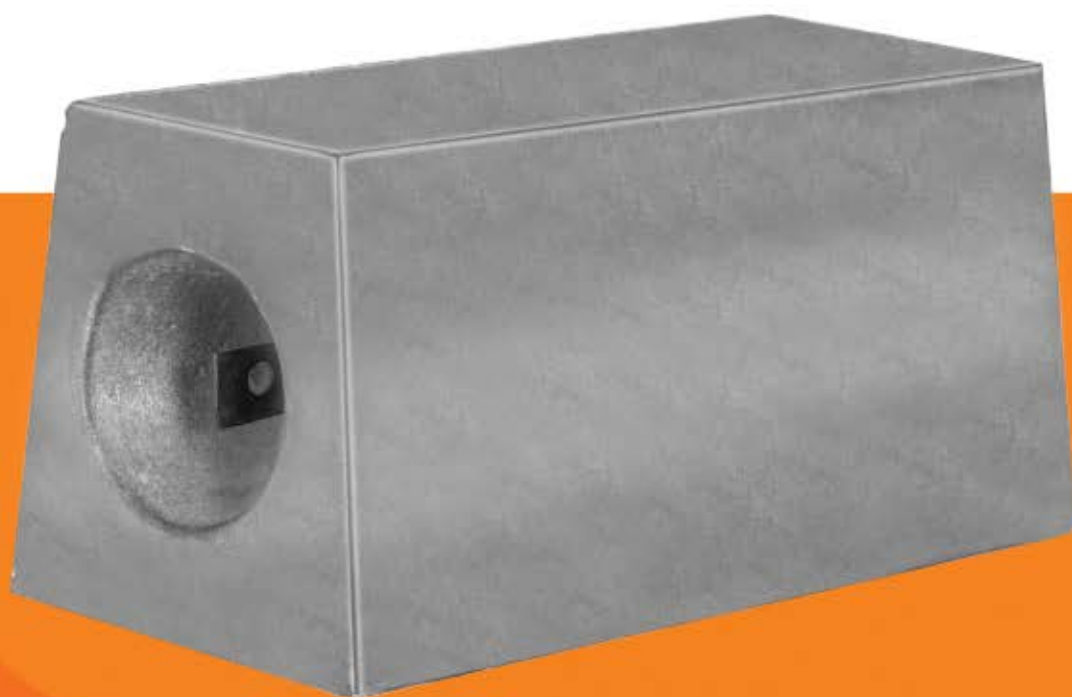
مشخصات برخی آندهای منیزیمی متداول در شکل های ۲۰ الی ۲۲ و جدول های ۱۸ الی ۲۰ مشاهده می شود. همچنین مشخصات فنی انواع آندهای فداشونده منیزیمی در جدول ۲۱ آمده است. قابل ذکر است ابعاد و مشخصات آندهای منیزیم به صورت حدودی بیان گردیده و با توجه به نیاز و درخواست مشتریان، این شرکت قابلیت تولید انواع مختلف دیگر این آندها را داراست.

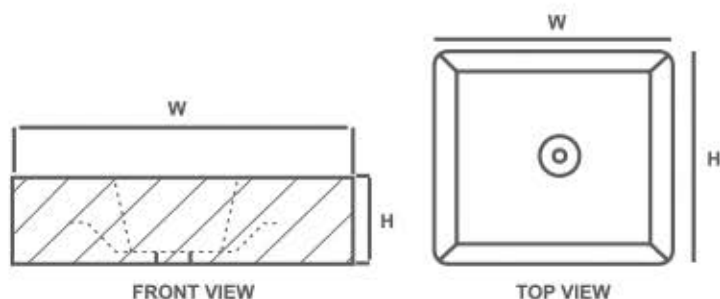


آند فداشونده منیزیمی متداول جهت حفاظت کاتدیك سازه مدفون در خاک

مشخصات ابعادی آند منیزیمی متداول جهت حفاظت کاتدیك سازه مدفون در خاک

		Bare			Packaged			
Weight (approx.)		Dimension(mm)			Weight (approx.)		Dimension(mm)	
in lb	in kg	A	B	C	in lb	in kg	D	E
5	2.3	90	95	203	17	7.7	140	355
9	4.1	90	95	352	27	12.2	152	432
17	7.7	90	95	640	45	20.4	165	735
20	9.1	70	75	1440	70	31.8	140	1675
32	14.5	140	95	505	70	31.8	203	711
40	18.1	90	145	1525	100	45.4	165	1675
48	21.8	140	145	765	100	45.4	203	965
60	27.2	110	100	1525	126	57.2	178	1625





آند فداشونده منیزیم تک اینزرت جهت حفاظت کاتدیک سطوح داخلی مبدل های حرارتی.

مشخصات ابعادی آند فداشونده منیزیم تک اینزرتی

Approx Weight in kg	Dimension (mm)		
	W	L	H
0.3	100	100	20
0.5	100	100	30
0.7	100	100	40
0.2	100	60	20
0.4	75	70	40
1.2	150	150	30
1.6	150	150	40
2.8	200	200	40

آند فداشونده منیزیم دو اینزرت جهت حفاظت کاتدیک سطوح داخلی مبدل های حرارتی.

Anode Type	Density (gr/cm ³)	Electrochemical capacity (Ah/kg)	Closed circuit potential (V _{CSE})	Max Efficiency (%)
High potential	1.94	1200	-1.7	50 %
Normal Potential	1.74	1200	1.5	



الکتروود مرجع (Reference Electrode)

الکتروود مرجع (یا هافسل) به عنوان ابزاری جهت اندازه گیری پتانسیل سطوح فلزی نسبت به محیط اطراف آن، به کار می‌رود. مقدار پتانسیل اندازه گیری شده فلزات در مقایسه با الکتروود مرجع گزارش می‌شود. پتانسیل الکتروود هیدروژن در شرایط محیط (دمای 25°C و فشار 1 atm) به صورت قراردادی برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود و مقدار پتانسیل سایر الکتروودها با توجه به این الکتروود بیان می‌شود. قابل ذکر است پتانسیل الکتروودها با توجه به دمای محیط، تغییر می‌کنند. از همین رو با استفاده از ضریب دمایی می‌توان مقدار دقیق پتانسیل سازه در دمای مشخص را اندازه گیری نمود.

پتانسیل الکتروودهای مرجع متداول (NACE TM 0497 – 2018)

الکتروود مرجع	محلول الکتروولیت در الکتروود	پتانسیل در دمای 25°C نسبت به الکتروود مرجع هیدروژن (V/SHE)	پتانسیل در دمای 25°C نسبت به الکتروود مرجع مس/سولفات مس (V/CSE)	ضریب دمایی (mV/ $^{\circ}\text{C}$)	محل/محیط استفاده
Cu/CuSO ₄ (CSE)	Sat. CuSO ₄	+0.316	0.00	0.9	خاک و آب تازه
Ag/AgCl (SSC)	0.6 M NaCl (3.5%)	+0.256	-0.06	-0.33	آب دریا، آب دارای ناخالصی
Ag/AgCl (SSC)	Sat. KCl	+0.222	-0.094	-0.70	آب و خاک دارای ناخالصی
Sat. Calomel (SCE)	Sat. KCl	+0.244	-0.072	-0.70	آزمایشگاهی
Zn (ZRE)	Saline solution	-0.79 ± 0.1	1.1 ± 0.1	-	آب دریا
Zn (ZRE)	Soil	-0.80 ± 0.1	1.1 ± 0.1	-	محل های مدفون

این الکتروودها در دو نوع دائمی و پرتابل تولید می‌شوند. الکتروود مرجع‌های متداول جهت استفاده در پایش سیستم حفاظت کاتدیک در ادامه بیان می‌شوند.

الکتروود مرجع مس-سولفات مس (Cu/CuSO₄)

متداول ترین نوع الکتروودهای مرجع که معمولاً برای اندازه گیری پتانسیل سازه های مدفون در خاک استفاده می‌شود، الکتروود مرجع مس/سولفات مس است که در هر دو نوع پرتابل و دائمی تولید می‌شود. این الکتروود شامل یک میله از جنس مس خالص است که به صورت غوطه ور در محیط الکتروولیت حاوی آب مقطر اشباع شده از مس/سولفات مس قرار دارد. میله مسی و محلول در داخل استوانه پلاستیکی قرار داشته و میله مسی از انتهای پشته‌ای استوانه قابلیت اتصال به مولتی متر را دارد. همچنین در سمت دیگر الکتروود سری متخلخل قرار دارد. درواقع سری متخلخل این الکتروود به صورت عمود بر روی محل آزمون قرار گرفته تا اتصال الکتریکی بین الکتروود مرجع و الکتروولیت (خاک با آب) برقرار گردد. لازم به ذکر است به دلیل اینکه پتانسیل این الکتروود در اثر آلوده شدن الکتروولیت داخل آن به یون کلر تغییر می‌نماید، این الکتروود در محیط حاوی کلر کارایی ندارد.

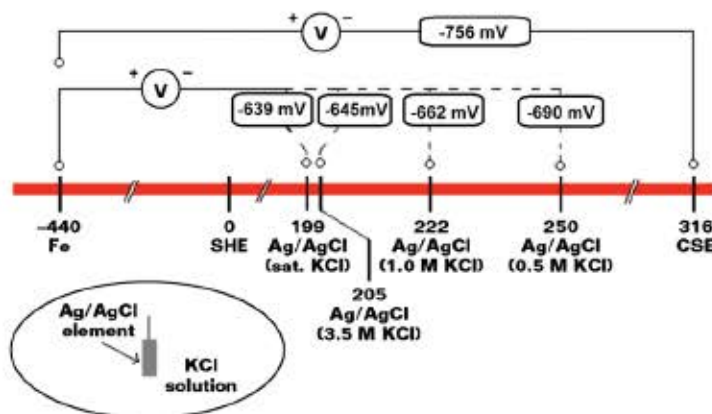


الکتروود مرجع نقره-کلرید نقره (Ag/AgCl Reference Electrode)

پایش صنعت نوین تولید، نصب و تست الکتروود مرجع های دائمی و پرتابل نقره/کلرید نقره، جهت استفاده در محیط دریایی و یا بعضاً بتن را انجام می دهد. این الکتروودها شامل یک الکتروود نقره دارای پوشش کلرید نقره بوده و علاوه بر پایداری بالا، سازگاری بالایی جهت استفاده در الکتروولیت های مختلف دارد. این الکتروولیت ها شامل آب دریا، محلول اشباع KCl و سایر محلول های مشتقه KCl هستند. تغییر غلظت محلول KCl به شدت مقدار پتانسیل خود الکتروود را تحت تاثیر قرار می دهد. مقدار پتانسیل این الکتروود با غلظت های مختلف KCl در مقایسه با فلز آهن به صورت شماتیک نمایش داده شده است. از طرفی الکتروودهای مورد استفاده در دریا، فاقد الکتروولیت KCl هستند و آب دریا به عنوان الکتروولیت این الکتروود می باشد؛ بنابراین پتانسیل این الکتروودها تابع غلظت نمک محلول در آب دریا و دمای الکتروولیت است. الکتروودهای مورد استفاده در بتن حاوی محلول کلرید نقره هستند. زمانی که مقدار مقاومت الکتروولیت در دسترس باشد، می توان با استفاده از دیاگرام ذیل مقدار اختلاف پتانسیل الکتروولیت که توسط الکتروود مرجع مس/سولفات مس اندازه گیری شده را به پتانسیل مدنظر در الکتروود مرجع نقره/کلرید نقره تبدیل نمود.



محاسبه اختلاف پتانسیل الکتروود مرجع نقره/کلرید نقره
نسبت به الکتروود مرجع مس/سولفات مس
در مقاومت الکتروولیت های مختلف



الکتروود مرجع نقره کلرید نقره

الکتروود مرجع روی (Zinc Reference Electrode)

از آنجائی که پتانسیل روی مقدار ثابتی است لذا الکتروودهای مرجع روی قابلیت استفاده در الکترولیت های مختلف همانند خاک های حاوی یون کلر را داراست. الکتروودهای روی قابلیت استفاده در محیط آبی را نیز دارند و این الکتروودها مطابق استانداردهای MIL-A-18001 و NACE SP0176 تولید می شوند. مقدار پتانسیل روی بسته به نوع محیط الکترولیت (خاک و...) متغیر است و در هر محیط خاص این الکتروود دارای پتانسیل مشخصی است.

پلاریزیشن سل (POLARIZATION CELL)

یکی از مشکلات عمده در نحوه عملکرد سیستم های حفاظت کاتدیک به خصوص در مجتمع های صنعتی متمرکز مانند پتروشیمی ها، پالایشگاه ها و نیروگاه ها، نشستی جریان DC محاسبه شده برای خطوط لوله و مخازن ذخیره به سیستم های ارت می باشد. این موضوع موجب هدر رفت جریان تزریقی توسط ترانسفورمر رکتیفایرها در سیستم شده و در نتیجه سیستم توانایی تأمین جریان مورد نیاز جهت پلاریزاسیون این سازه ها برای رسیدن به پتانسیل حفاظتی مطلوب را ندارد. از این رو گاه مجبور به افزایش جریان خروجی ترانسفورمر رکتیفایرها بوده که این امر موجب عبور از ظرفیت نامی ترانس

رکتیفایرها و یا عملکرد در شرایط نامی آنها می باشد. از جمله تجهیزات مورد استفاده در سیستم های حفاظت کاتدیک، پلاریزیشن سل (Polarization cell) می باشد. این تجهیز جریان DC را بلوکه کرده و از طرف دیگر امکان عبور جریان AC را فراهم می کند. گروه تحقیق و توسعه شرکت پایش صنعت نوین موفق به بومی سازی ساخت این تجهیز گردیده و تیم اجرایی این شرکت آن را در پروژه های حفاظت کاتدیک، نصب و به مرحله بهره برداری رسانده است. این سیستم ها شامل الکترولیتی است که با قرارگیری صفحات فولادی داخل محلول و تشکیل پیل های خازنی همانند یک خازن عمل نموده و ولتاژ DC را سد می نماید. با این حال این سیستم توانایی عبور جریان های AC را داشته و در مواقع خطا و یا بروز جریان های القایی سرگردان قابلیت انتقال جریان به سیستم ارت را دارد. پلاریزیشن سل مایع قابلیت دارد ولتاژ DC را به صورت متقارن تا ۱/۲ ولت مسدود کند. همچنین با توجه به قرار گرفتن در محلول، سطح جریان اتصال کوتاه این محصول را می توان ۵ تا ۳۰ کیلوآمپر ۳۰ سیکل در نظر گرفت. با قرار دادن اسپارک گپ به صورت مجزا بر روی این محصول می توان سازه های تحت حفاظت را در مقابل ولتاژهای ناگهانی صاعقه نیز محافظت نمود.



پلاریزیشن سل

دی کوپلر (PCR)

تجهیز PCR به عنوان جایگزین پلاریزیشن سل (Polarization cell replacement) یا دی کوپلر در سازه های تحت سیستم حفاظت کاتدیک مورد استفاده قرار می گیرد. این تجهیز با استفاده از یک مدار الکترونیکی جریان DC را بلوکه کرده و از طرف دیگر امکان عبور جریان AC را فراهم می کند. داخل این تجهیز در مقایسه با پلاریزیشن سل از هیچ محلولی استفاده نمی شود. طراحی PCR کاملاً مبتنی بر المان ها و قطعات نیمه هادی است. طول عمر این تجهیز بسیار بالا بوده و نیاز به تعمیر ندارد. در این نوع از PCR قابلیت سد ولتاژ DC با ظرفیت های مختلف وجود داشته و به نوعی این یکی از بزرگ ترین مزایای آن می باشد. همچنین سطح اتصال کوتاه در این مدل تا مقدار ۱۴ کیلو آمپر در مدت زمان ۳۰ سیکل وجود دارد. زمان در نظر گرفته برای حالت اتصال کوتاه معمولاً با توجه به زمان عملکرد رله های حفاظتی سیستم قدرت در نظر گرفته می شود تجهیزات PCR به صورت داخلی دارای اسپارک گپ بوده و سازه را در مقابل ولتاژهای گذار ناشی از صاعقه محافظت می نماید.

جعبه های تقسیم و تست

جعبه اتصال

در سیستم حفاظت کاتدیک خط لوله عمدتاً از جعبه اتصال (باکس های تقسیم)، به منظور اتصال بستر آندی و نقاط تخلیه جریان منفی به شبکه کابل کشی استفاده می شود. تعداد ترمینال ها و ابعاد جعبه ها با توجه به تعداد کابل های ورودی و خروجی تعیین می گردند. بدنه جعبه های تولیدی این شرکت با توجه به کاربرد از انواع مختلف فلزات شامل فولاد معمولی، فولاد زنگ نزن و آلومینیوم آندایز شده ساخته می شود. در جعبه های فولادی عموماً از پوشش رنگ تک لایه و یا سه لایه جهت محافظت در برابر خوردگی اتمسفری استفاده می شود. از ساپورت های مختلف اعم از لوله ای، نبشی و ... می توان برای این جعبه ها استفاده نمود. همچنین قابلیت نصب سبب مقاومت متغیر و شانت در داخل این جعبه ها وجود دارد. انواع مختلف جعبه های تقسیم شامل و نه محدود به موارد ذیل می باشد و بعضاً این جعبه ها تلفیقی از دو یا چند مورد ذیل هستند:

- جعبه اتصال مثبت یا منفی (Anode/Cathode Junction Box, Positive/Negative Bond Box, ...)
- جعبه کنترل جریان (Current Control Box)
- جعبه های باندینگ و اتصال منفی (Bond Box)
- و





تست پونیت

تست پونیت ها دسترسی الکتریکی به سطح سازه، کوپن حفاظت کاتدیک و الکتروود مرجع دائمی را میسر می سازند. از طریق تست پونیت می توان پتانسیل سازه نسبت به خاک را اندازه گیری نمود. برای نشان دادن مسیر خط لوله و محدوده بستر آندی از مارکر استفاده می شود. برخی از مارکرها علاوه بر علامت گذاری مسیر، امکان اندازه گیری پتانسیل خط لوله را فراهم می کنند. با توجه به نوع کارکرد و شرایط محیطی تست پونیت ها در شکل ها و از جنس های مختلفی تولید می شوند.



مارکر برای نشان دادن مسیر خط لوله یا محدوده بستر آندی



تست استیشن بیگ فینک

بیگ فینک

با توجه به صرفه اقتصادی، سبک بودن، نیاز به فضای کم و قابلیت پشتیبانی از تعداد زیادی ترمینال اتصال، تست استیشن های بیگ فینک (Big Fink) پلیمری جایگزین مناسبی برای جعبه های تست هستند. بیگ فینک های این شرکت، قابلیت استفاده از شانت و مقاومت متغیر را دارند. مطابق، اجزای این تست استیشن ها عبارت اند از: لوله های ساپورت (در قطرهای ۰٫۷۵، ۱٫۵، ۳٫۵ اینچی و طول ۱٫۵ متری)، سری تست استیشن (شامل درپوش، برد شفاف، واش). پلیمر به کار رفته در بدنه این تست استیشن مقاومت بسیار بالایی در برابر تغییرات آب و هوایی، نور خورشید (اشعه UV) و شرایط سخت محیطی داشته و ثبات ابعادی بسیار خوبی ارائه می دهد.

اسپارک گپ

اسپارک گپ از دو الکترود فلزی با فاصله هوایی که داخل یک محفظه شیشه ای و یا سرامیکی قرار دارند تشکیل شده است. این فاصله با توجه به کاربرد می تواند از هوا یا گازهای خاص مانند هگزا فلوراید گوگرد (SF₆) پر شده باشد. در هنگام بوجود آمدن اضافه ولتاژ گذرا در صورتی که یونیزاسیون گاز داخل اسپارک گپ به حد کافی برسد شکست رخ داده و مسیر جریان بین دو الکترود برقرار می شود. جریان تا زمانی که شکست داخل گاز وجود داشته باشد برقرار بوده و به سیستم ارت منتقل می شود. پس از رفع خطا اسپارک گپ به حالت اول خود برگشته و مانند سرج ارستر نیازی به تعویض ندارد. کاربرد دیگر اسپارک گپ جلوگیری از آسیب رسیدن به کیت های عایقی بین فلنچ ها بوده که در صنایع نفت و گاز بسیار مورد استفاده قرار می گیرند. یکی از پارامترهای مهم در انتخاب اسپارک گپ زمان تخلیه و مشخصه عملکرد آن می باشد. در انتخاب اسپارک گپ بایستی به مشخصه زمانی تخلیه جریان خطا توجه نمود. این مشخصه به دو صورت ۱۰/۳۵۰ و ۸/۲۰ میکروثانیه می باشد. مشخصه های مذکور زمان رسیدن جریان خطا به پیک و زمان تخلیه آن توسط اسپارک گپ می باشد. همچنین میزان تحمل جریان بر حسب کیلوآمپر و ولتاژ شکست از دیگر مشخصه های انتخاب اسپارک گپ می باشد.



اسپارک گپ

صاعقه گیر (برقگیر) ساده

صاعقه گیرهای ساده یا فرانکلین از جنس مس یا استیل طبق استاندارد BS 6651 تولید می شوند. قطر این میله ها ۱۶ و ۲۰ میلی متر است و طول آن ها بسته به نوع طراحی متغیر می باشد. به منظور جلوگیری از اکسید شدن میله های مسی از پوشش نیکل کروم بر روی این میله ها استفاده می شود. در طراحی میله ها یک سر آن نوک تیز است و انتهای میله بر روی پایه صاعقه گیر قرار می گیرد. با اضافه نمودن یک کلاهک چند شاخه استیل بر روی این میله ها شعاع حفاظتی اطراف میله افزایش می یابد. از این برقگیر می توان در ساختمان های نه چندان مرتفع و در جاهایی که سطح حفاظت بالایی برای آن مدنظر نباشد استفاده نمود.

صاعقه گیر اکتیو

صاعقه گیر اکتیو مجهز به سیستمی است که دارای زمان فعال سازی (Δt) بوده و در هنگام برخورد صاعقه، نسبت به جذب آن عملکرد سریعتری دارد. وجود (Δt) موجب افزایش شعاع حفاظتی در صاعقه گیر اکتیو می شود که عملکرد این نوع را در مقایسه با صاعقه گیر ساده بر جسته می نماید. در انتخاب صاعقه گیر اکتیو زمان فعال سازی (Δt) پارامتر بسیار مهمی می باشد و واحد آن میکروثانیه است.

شمارنده صاعقه گیر

شمارنده ها یا کانترهای برقگیر و صاعقه گیر جهت شمارش تعداد صاعقه های عبوری از سیستم و گزارش ساعت و تاریخ وقوع سرج مورد استفاده قرار می گیرند.

دستگاه آزمایش کیت عایقی (RF TESTER)



دستگاه های آزمایش کیت عایقی با بهره گیری از امواج رادیویی قادر به تشخیص اتصال کوتاه عایق های الکتریکی است. این دستگاه در دو مدل مناسب برای فلنج های روز مینی و زیرزمینی به صورت آنالوگ و دیجیتال عرضه می شود.



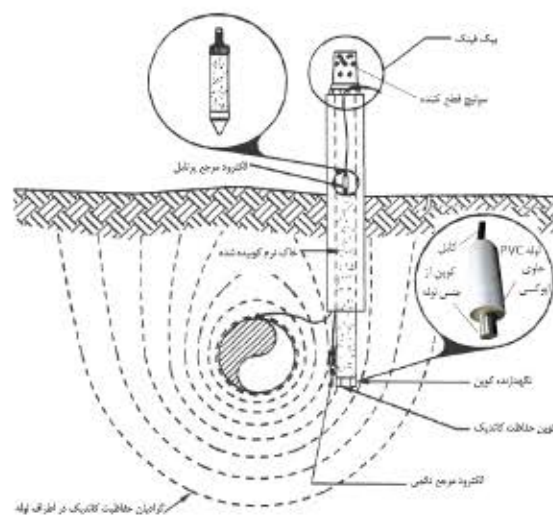
دستگاه آزمایش کیت عایقی

سرج ارستر (Surge Arrester)

سرج ارستر تجهیز برای حفاظت کلیه تأسیسات و تجهیزات الکتریکی در مقابل انواع اضافه ولتاژهای گذرا ناشی از صاعقه و سوئیچینگ می باشد. سرج ارستر در حالت کار عادی مانند یک مقاومت بسیار بزرگ بوده و عملکردی شبیه عایق الکتریکی دارد. این تجهیز در مقابل اضافه ولتاژهای گذرا مقاومت بسیار کمی داشته و باعث عملکرد فیوز ورودی وسیله الکترونیکی می شود. به عبارت دیگر، توانایی یک سرج ارستر منحرف کردن اضافه ولتاژهای گذرا به سیستم ارت می باشد. این تجهیز بایستی پس از برخورد صاعقه و یا اضافه ولتاژ گذرا به علت عدم کارایی با نمونه سالم تعویض گردد.

کوپن حفاظت کاتدیک

کوپن های حفاظت کاتدیک تولیدی شرکت پایش صنعت نوین به منظور ثبت پتانسیل Instant disconnect سازه تحت حفاظت با کمترین افت ولتاژ (IR drop) به کار می رود. این کوپن ها قطعات کوچکی از جنسی مشابه با سازه هستند که به صورت الکتریکی و از طریق یک سوئیچ به آن متصل می شوند. کوپن ها بایستی در عمق یکسان و به موازات سازه (به نحوی که سازه مابین آندها و کوپن باشد) دفن شوند. به منظور ثبت پتانسیل، Instant Off سوئیچ کوپن را قطع نموده و بلافاصله (حداکثر تا ۳ ثانیه پس از قطع سوئیچ) مقدار پتانسیل خاموش به کمک الکترومتر مرجع اندازه گیری می شود. مشخصات کوپن های حفاظت کاتدیک این شرکت در جدول مشاهده می شود:



نحوه نصب و عملکرد کوپن حفاظت کاتدیک.

مشخصات فنی کوپن حفاظت کاتدیک

Metal	surface area (mm ²)	Cable
Steel	100 - 10000	PVC

زینک ارتینگ سل به همراه پشت بند (Zinc Earthing Cell)

زینک ارتینگ سل به منظور تخلیه جریان های (AC جریان القاشده در لوله به وسیله خطوط انتقال برق فشرقی یا صاعقه) از خطوط لوله تحت حفاظت کاتدیک، به کار گرفته می شود. این آند با تخلیه جریان AC از سازه (لوله) به زمین، مانع تخریب عایق بین لوله ها می شود. از آنجایی که برق گیرها ممکن است نتوانند ولتاژ بالای ایجاد شده در سازه را در زمان کوتاه و قبل از آسیب دیدن عایق فلنج عبور دهند، در نتیجه استفاده از زینک ارتینگ سل پیشنهاد می شود.

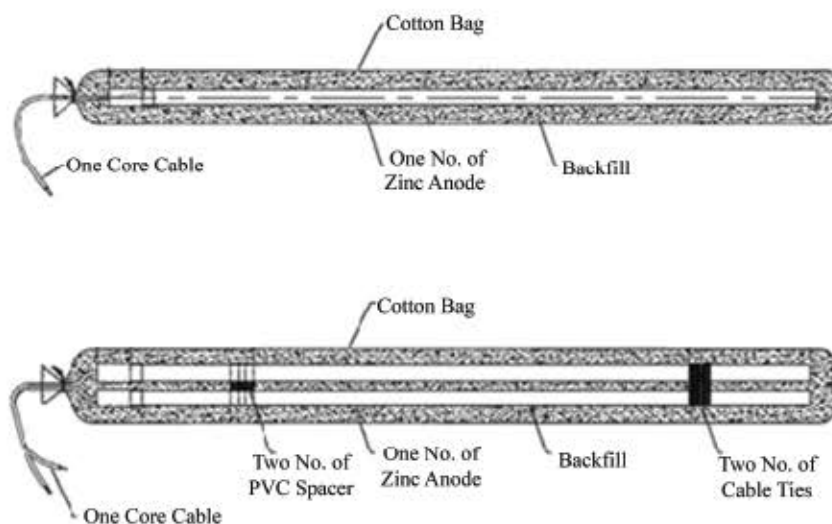
این آندها قابلیت استفاده به صورت تکی یا چندتایی (معمولاً دوتایی) را داشته و می توان آن ها را به صورت از پیش بسته بندی شده یا بدون بسته بندی (قرار دادن آند در داخل پشت بند حین نصب) استفاده نمود. در پیل های حاوی دو آند، مقاومتی بین دو آند ایجاد می شود که مقدار آن وابسته به ترکیب شیمیایی پشت بند، بین ۰.۲ - ۰.۵ اهم متغیر است. زمانی که پتانسیل بالا در سازه ایجاد می شود، این سل در نقش هادی ظاهر شده و اختلاف ولتاژ در دو سمت عایق قرار گرفته در فلنج را کاهش می دهد. زمانی که مقدار جریان القاشده یا جریان خطا در سازه ها بسیار بالا باشد، بهتر است که از سل های دارای چهار آند استفاده گردد.

مشخصات فنی زینک ارتینگ سل

Type	Size Bare	Size Pckaged	Cable	Weight
Double	2 No 35*35*1525 c/w	165mm Dia *	1*25 mm ²	70 Kgs
	12 mm Dia. M.S core extending 25mm at one end	1700mm length	XLPE/PVC	
Single	1 No 35*35*1525 c/w	120mm Dia *	1*25 mm ²	35 Kgs
	12 mm Dia. M.S core extending 25mm at one end	1700mm length	XLPE/PVC	

ترکیب عنصری روی

جدول ترکیب عنصری روی							
Composition	Zn	Cu	Al	Fe	Cd	Pb	Others
%	Remainder	< 0.005%	0.10 - 0.50%	< 0.005%	0.025 - 0.07%	< 0.006%	0.10%



کابل

کابل ها بر اساس جنس مغزی، تعداد رشته ها، اندازه سطح مقطع، وجود و یا عدم وجود محافظ فلزی، جنس عایق و غلاف، کاربرد، جریان و محدوده ولتاژ مجاز دسته بندی شده و مورد استفاده قرار می گیرند. از جمله عایق های متداول در صنعت حفاظت کاتدیک عمدتاً از کابل های XLPE/PVC و یا PVDF/HMWPE استفاده می شود که با توجه به نوع کارکرد انتخاب می شوند. برای مثال کابل های کاینار PVDF/HMWPE از روکش مقاوم به کلر PVDF و روکش مقاوم به سایش HMWPE تشکیل شده اند و مقاومت بسیار مناسبی در محیط های اسیدی و حاوی کلر دارند. لذا از این نوع کابل ها در چاه های آندی و محیط دریایی استفاده می شود. یکی از مهم ترین خصوصیات یک کابل در طراحی حفاظت کاتدیک مقاومت الکتریکی آن است که مقدار آن به جنس، اندازه سطح مقطع و دما وابسته است. مقاومت الکتریکی به همراه برخی از اطلاعات متداول مورد استفاده سیستم های حفاظت کاتدیک (کابل های Class 2) مطابق استاندارد BS EN 60228 در جدول مقاومت الکتریکی کابل ها، گردآوری شده است. همچنین مقدار مجاز جریان عبوری از کابل های سیستم حفاظت کاتدیک مطابق استاندارد IPS-E-TP-820(1) در جدول داده های طراحی کابل، ملاحظه می شود.

اطلاعات مقاوت الکتریکی کابل ها (BS EN 60228)

Nominal cross-sectional area (mm ²)	Minimum number of wires in the conductor						Maximum resistance of conductor at 20°C		
	Circular		Circular compacted		Shaped		Annealed copper conductor		Aluminium or aluminium
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Plain wires (Ω/km)	Metal-coated wires (Ω/km)	alloy conductor ^c (Ω/km)
0.5	7	-	-	-	-	-	36	36.7	-
0.75	7	-	-	-	-	-	24.5	24.8	-
1	7	-	-	-	-	-	18.1	18.2	-
1.5	7	-	6	-	-	-	12.1	12.2	-
2.5	7	-	6	-	-	-	7.41	7.56	-
4	7	-	6	-	-	-	4.61	4.70	-
6	7	-	6	-	-	-	3.08	3.11	-
10	7	7	6	6	-	-	1.83	1.84	3.08
16	7	7	6	6	-	-	1.15	1.16	1.91
25	7	7	6	6	6	6	0.727	0.734	1.20
35	7	7	6	6	6	6	0.524	0.529	0.868
50	19	19	6	6	6	6	0.387	0.391	0.641
70	19	19	12	12	12	12	0.268	0.270	0.443
95	19	19	15	15	15	15	0.193	0.195	0.320
120	37	37	18	15	18	15	0.153	0.154	0.253
150	37	37	18	15	18	15	0.124	0.126	0.206
185	37	37	30	30	30	30	0.0991	0.1	0.164
240	37	37	34	30	34	30	0.0754	0.0762	0.125
300	61	61	34	30	34	30	0.601	0.0607	0.1
400	61	61	53	53	53	53	0.0470	0.0475	0.0778
500	61	61	53	53	53	53	0.0366	0.0369	0.0605
630	91	91	53	53	53	53	0.0283	0.0286	0.0469
800	91	91	53	53	-	-	0.0221	0.0224	0.0367
1000	91	91	53	53	-	-	0.176	0.0177	0.0291
1200	b						0.0151	0.0151	0.0247
1400 ^a							0.129	0.0129	0.0212
1600							0.113	0.0113	0.0186
1800 ^a							0.0101	0.0101	0.0165
2000							0.0090	0.0090	0.0149
2500							0.0072	0.0072	0.0127

^a These sizes are non-preferred. Other non-preferred sizes are recognized for some specialized applications but are not within the scope of this standard.

^b The minimum number of wires for these sizes is not specified. These sizes may be constructed from 4, 5 or 6 equal segments (Milliken).

^c For stranded aluminium alloy conductors having the same nominal cross-sectional area as an aluminium conductor the resistance value should be agreed between the manufacturer and the purchaser.

داده های طراحی کابل

Nominal cross-section (mm ²) Copper Conductor	Number of Strands	Diameter of strands (mm)		Actual cross-section (mm ²)		Signal (Kg/Km)	Alloable Current (A)
2.5	1		1.78		2.49	22.2	18
	1	0.0808		0.00513	3.31		20
4.0	7		0.85		3.972	36.1	24
	1	0.1019		0.00816	5.26		30
6.0	7		1.04		5.95	54.0	31
	1	0.1285		0.013	8.37		40
10	7		1.35		10.02	90.8	42
	7	0.0612		0.0206	13.3		55
16	7		1.70		15.89	145	56
	7	0.0772		0.033	21.14		70
25	7		2.14		25.18	229	73
	7	0.0867		0.041	26.66		80
	7	0.0974		0.052	33.66		95
35	19		1.53		34.93	317	90
	19	0.0664		0.066	42.45		110
50	19		1.78		47.28	429	145
	19	0.0745		0.083	53.43		125
	19	0.0837		0.1045	67.45		145
70	19		2.14		68.34	620	185
	19	0.0040		0.132	85.07		165
95	19		2.52		94.75	860	230
	19	0.0055		0.166	107.76		195
120	37		2.03		119.75	1086	260
	37	0.0822		0.196	126.58		270
150	37		2.25		147.11	1334	355
	37	0.0900		0.235	151.86		300
	37	0.0973		0.275	177.50		325
185	37		2.52		184.54	1673	405
	37	0.1040		0.314	202.78		360
240	61		2.25		242.54	2199	480
	37	0.1162		0.392	253.15		405
300	61		2.52		304.2	2759	560
	61	0.0992		0.471	304.2		455
	61	0.1071		0.550	354.5		490
	61	0.1109		0.589	380.1		500
400	61		2.85		389.1	3528	680
	61	0.1145		0.628	405.2		515
	61	0.1215		0.709	456.3		555
500	61		3.20		490.6	4448	600
	61	0.1280		0.785	506.4		585
630	127		2.52		633.4	5744	910

هندی کپ

نقاط اتصال اعم از اتصالات تست ها یا اتصال سازه به سیستم حفاظت کاتدیک، دارای شرایط بسیار حساسی بوده و بایستی در برابر شرایط محیطی و عوامل مکانیکی پایدار و نسبت به محیط اطراف کاملاً ایزوله گردیده تا از خوردگی این نقاط ممانعت گردد. هندی کپ به عنوان تجهیز ایزوله کننده نقاط اتصال کابل به سازه به کار می رود. هندی کپ ها در دو نوع قابل استفاده با پرامیر داخلی (IP type) و بدون پرامیر است.

مشخصات فنی هندی کپ های شرکت پایش صنعت

Substrate Compatibility	Steel, Stainless Steel, Ductile Iron, Other Metals, FBE, Epoxy, PE, PP	
Surface Preparation	SSPC SP-3 Power Tool Cleaning or SSPC SP-6/NACE No. 3 Commercial Blast Cleaning	
Properties	Handy Cap IP	Handy Cap
Overall size	4" x 4" (101 mm x 101 mm)	4" x 4" (101 mm x 101 mm)
Plastic Sheet Size	2.75" x 4" (70 mm x 101 mm)	2.75" x 4" (70 mm x 101 mm)
Holiday Detection Setting	5000 V	5000 V
Service Temperature Range	-20°F to +140°F -29°C to +60°C	-40°F to +165°F -40°C to +74°C



هندی کپ

مفصل چند راهی

جهت عایق نمودن انشعاب کابل ها به یکدیگر از مفصل ها استفاده می شود. مفصل ها از قاب، رزین، چسب مخصوص و لاین تپ تشکیل شده و در انواع دوراهی، سه راهی و ... تولید می شوند.

کیت عایقی

جهت جلوگیری از هرز روی جریان سیستم حفاظت کاتدیک و ایزوله نمودن الکتریکی لوله های مدفون به لوله های روز مینی از کیت های عایقی در فلنج ها استفاده می شود. کیت های عایقی در سایزها، مدل ها و کلاس های فشـاری مختلف ساخته می شوند. یک کیت عایقی از سه قسمت اصلی گسکت، اسلیو و واشر تشکیل شده است. از گسکت به منظور جداسازی سطح بین دو فلنج و از اسلیو و واشر به ترتیب برای عایق نمودن پیچ و مهره ها نسبت به بدنه فلنج استفاده می شود. گسکت می تواند از مواد عایق مختلفی ساخته شود ولیکن عمدتاً از فنولیک ساخته می شوند. گسکت ها در سه دسته بندی کلی تقسیم می شوند.

نوع E: تمام سطح بین دو فلنج Full Face را به طور کامل می پوشانند و سوراخ هایی برای عبور پیچ ها در آن تعبیه شده است.
نوع F: بدون سوراخ بوده و لبه های داخلی فلنج (Rasied Face) را در بر می گیرد.
نوع D: تنها به صورت حلقه در فلنج قرار می گیرد.



اجزای کیت عایقی



ارتینگ

در طی سالیان گذشته تا قرن هجدهم میلادی، تجهیزات الکترونیکی بدون در نظر گرفتن نقطه خنثی طراحی می شدند. نشت جریان الکتریکی ناشی از اضافه ولتاژهای موقت، کلیدزنی و صاعقه باعث آتش سوزی و برق گرفتگی های متعدد در سازمان ها و مکان های عمومی و حتی منازل مسکونی می شد و خسارت های فراوانی به مردم و دولت وارد می کرد، اما متأسفانه فیوزهای حفاظتی قادر به تشخیص مشکلات موجود در شبکه نبودند.

تحقیقات گسترده ای به منظور تشخیص مشکل و جلوگیری از این حوادث انجام شد. برای نخستین بار انجمن مهندسان برق در انگلستان (IEEE) در سال ۱۹۲۴ با اجباری کردن اتصال بدنه های فلزی به زمین ساده ترین نوع ارت را استفاده نموده و تا حدودی از خسارات وارده جلوگیری کردند. بدین ترتیب با ارائه این طرح ابتدا در صنعت و سپس در ساختمان ها اجرای سیستم ارت اجباری گشت. پس از آن، فرانسه نیز ارتینگ را در لیست استانداردهایش قرار داده و آنرا اجباری نمود. در طی تحقیقات بعدی و توسعه صنایع، سیستم ارتینگ با تجهیزات تخصصی طراحی شده و استفاده شدند. سیستم ارتینگ به مجموعه ای از تجهیزات و روش ها گفته می شود که به وسیله آن جریان الکتریکی اضافی به زمین که همان نقطه صفر است منتقل می شود.

جوش احتراقی یا کدولد (Thermit Welding) برای اتصال دائمی بین فلز مس با یکدیگر و یا با سایر هادی ها مورد استفاده قرار می گیرد. لوازم مورد نیاز برای انجام جوش کدولد عبارت از قالب جوش گرافیتی، دستگیره قالب، پودر جوش، تفنگ احتراق، کیت تمیزکننده، فتیله و دیسک می باشند. در ادامه به معرفی کامل تجهیزات ارتینگ می پردازیم:

قالب گرافیتی کدولد (Welding Mold)

یکی از تجهیزاتی است که برای انجام اتصالات هادی ها مورد استفاده قرار می گیرد. این قالب ها از جنس گرافیت با خلوص بالا ساخته شده و بسته به نوع جوش در مدل های اتصال دوراهی سیم به سیم، سه راهی سیم، چهارراهی سیم، سیم به میله ارت، سیم به صفحه، سیم به لوله و تهیه می گردند.

این نوع قالب ها به دلیل سهولت استفاده و حمل آسان، در مدل های بسیار متنوع و طبق سفارش مشتری تولید می شوند. در شرایط مطلوب و نگهداری صحیح از قالب معمولاً بین ۵۰ الی ۶۰ عملیات جوش را می توان با آن انجام داد.

دستگیره قالب

برای نگهداری و محکم کردن قالب کدولد در هنگام اجرای جوش از دستگیره قالب کدولد استفاده می‌شود. جنس دسته‌ی دستگیره‌ها از جنس باکالیت نسوز بوده و بر اساس طراحی قالب ساخته می‌شود.

پودر جوش احتراقی

پودر جوش یا همان پودر کدولد مخلوطی از پودر آلومینیوم، اکسید مس و ترکیبات دیگر است که در مقادیر مختلف بسته‌بندی می‌شود. وزن پودر جوش بستگی به اندازه مخزن قالب جوش داشته و اغلب محصولات در محدوده ۱۵ تا ۲۵۰ گرمی تولید می‌شوند. هر بسته پودر جوش شامل فتیله و دیسک می‌باشد. دیسک‌ها از جنس آلومینیوم بوده که پودر جوش بعد از قرارگیری این دیسک‌ها در انتهای مخزن احتراق، در قالب ریخته می‌شوند. فتیله (چاشنی انفجار) از گوگرد ساخته شده و به وسیله تفنگ احتراق شعله‌ور می‌گردد و بدین ترتیب حرارت مورد نیاز برای ذوب کردن پودر جوش فراهم می‌شود.

کیت تمیز کاری

به منظور تمیز کردن قالب کدولد بعد از عملیات جوش از تجهیزات کیت تمیزکاری استفاده می‌شود که شامل دستکش کار، برس سیمی، قلمو، اسکرابر و تفنگ احتراق می‌باشد.



قالب جوش احتراقی به همراه فتیله آتشزنه

ابتدا قالب جوش گرافیتی تا دمای ۱۳۰ درجه سانتی گراد پیش گرم می شود. دلیل این عملیات، حذف رطوبت و دستیابی به نتیجه مطلوب پس از عملیات جوش می باشد. سطح دو مقطع فلز مورد نظر از آلاینده ها و چربی تمیز شده و در جای مشخص در قالب قرار می گیرد. سپس دستگیره قالب در جای مخصوص گذاشته شده و دیسک آلومینیمی در انتهای مخزن قالب قرار می گیرد. پس از آن پودر جوش درون مخزن ریخته شده و فتیله روی آن قرار داده می شود به صورتی که پس از بستن درب قالب، به اندازه ۱ تا ۲ سانتی متر از فتیله جهت احتراق بیرون بماند. دستگیره قالب محکم در سر جای خود ثابت شده و احتراق انجام می شود.

نکات مهمی که در اجرای جوش مطلوب و استاندارد باید رعایت شود عبارت اند از:

- تعداد پودر جوش احتراقی برابر با تعداد جوش های مورد نیاز است این بدین معناست که هر بسته پودر متناسب با اجرای یک جوش است و نمی توان جهت اجرای دو جوش از آن استفاده کرد؛ زیرا پودر جوش جاذب رطوبت بوده و استفاده مجدد از آن منجر به جوش نامطلوب با فرم غیر استاندارد می شود.
- از بیرون آوردن و درون جیب قرار دادن فتیله های احتراقی خودداری شود زیرا رطوبت را جذب نموده و قابلیت احتراق خود را از دست نمی دهد.
- فواصل بین هر نقطه جوش ۱۰ الی ۱۵ دقیقه است زیرا باید قالب خنک شده و سپس محفظه احتراق آن به وسیله برس سیمی و اسکرaper تمیز گردد.

تجهیزات مدفون انتقال الکتریسیته (میله ارت، صفحه ارت و ...)

میله ارت

یکی از تجهیزات مهم در اجرای سیستم ارتینگ، میله ارت است. میله ارت در مکان هایی به کار می رود که زمین و خاک مناسب جهت حفر چاه ارت وجود ندارد. این میله ها به طریق کوبش در زمین فرو می روند سپس با کمک یراق آلات و یا جوش احتراقی مربوطه به سیم ارت متصل می شوند. میله ها بسته به نوع طراحی، از جنس روکش مس، تماما مس و فولاد ضد زنگ تولید می شوند.

میله ارت در دو قطر نامی معمول (Nominal diameter) ۱۶ و ۲۰ میلی متر و مطابق با استاندارد UL467 تولید می شود. لازم به ذکر است اندازه دقیق میله ارت ها معمولا کمتر از مقدار نامی ذکر شده می باشد.

میله ها به طور معمول در اندازه های ۱۲۰۰ و ۱۵۰۰ میلی متر تولید می شوند لذا جهت افزایش طول مسیر باید میله ها را به وسیله یراق آلات با هم سری نمود. نوک فولادی (سر هدایت کننده) در ابتدای میله اول بسته شده و به انتهای میله سر ضربه خور (چکش خوار) وصل می کنیم و به وسیله کوبش به داخل زمین فرو می رود. میله اول را تا جایی در زمین فرو می بریم که حدود ۲۰ سانتی متر آن از خاک بیرون بماند و سپس سر ضربه خور را نصب می کنیم و به وسیله کوپلر میانی (رابط) میله دوم را قرار می دهیم. بدین ترتیب میله های ارت ۱۲۰۰ و یا ۱۵۰۰ میلی متری قابل انشعاب به میله های ۲۴۰۰ و ۳۰۰۰ میلی متر می باشند.

میله ارت

میله ارت مسی و فولاد ضد زنگ

این میله ها در دو سایز ۱۶ و ۲۰ میلی متر و به طول ۱۲۰۰ و ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میلی متر تولید می شوند. ماشین کاری ابتدا و انتها به سفارش مشتری صورت می گیرد.

میله ارت کاپربان

میله ارت روکش مس به دو روش مختلف تولید می‌شود:

۱) میله ارت با روکش مس: در این روش میله فولادی با غلافی از جنس مس روکش داده می‌شود و در کوره‌ای با دمای مشخص قرار می‌گیرد تا جایی که با نفوذ اتم‌ها پیوند مناسبی برقرار گردد.

طبق استاندارد UL467 قطر غلاف مسی در هیچ نقطه‌ای نباید کمتر از ۰/۱ اینچ (۲/۵ میلی‌متر) باشد و شرایط و پارامترهای چسبندگی و خمشی باید در آن رعایت شده باشند، به این ترتیب در برابر خوردگی مقاومت بسیار خوبی حاصل شده که مانع از فعالیت‌های الکترولیتی می‌گردد.

۲) میله ارت با پوشش مس به روش الکترولس: در این روش ابتدا به منظور حذف لایه اکسید و چربی‌های صنعتی، میله فولادی چربی‌زدایی و اسید شویی می‌شود. در نهایت، یون‌های مس به روش الکترولس روی سطح میله فولادی نشانده می‌شوند. بر اساس استاندارد UL467 ضخامت لایه مس نشانده شده باید تقریباً ۲۵۴ میکرون باشد.

سیم مسی و کابل مسی

سیم و کابل‌های ارت بر طبق استاندارد BS EN 13602 و IEC 60228 ساخته می‌شوند. از سیم‌های بدون روکش مسی و کابل‌های مسی روکش دار سبز و زرد جهت استفاده درون چاه ارت و یا هم‌بندی سیستم ارت استفاده می‌شود. این سیم‌ها به صورت چند رشته‌ای در هم تابیده شده با خلوص مس ۹۹/۹۹٪ تولید می‌شوند.

سیم مسی بدون روکش

Normal Cross section	Number& Nominal Wire diameter	Approx Overall diameter	Approx conductor weight	Max D.C Resistanceat 20 c	Cloulated Breaking load
mm	NR×mm	mm	Kg/Km	Ohm/km	KN
50	1.80×19	9	436	0.3759	19.8
70	2.10×19	10.5	593	0.2762	26.9
95	2.50×19	12.5	840	0.1949	38.1
120	2.80×19	14	1054	0.1554	47.8
150	2.50×37	15.7	1326	0.1238	60.1
185	2.50×37	17.5	1640	0.1003	74.2
240	2.25×61	20.2	2208	0.0753	89
300	2.50×61	22.5	2226	0.061	122.3
400	2.89×61	26	3643	0.0456	163.4
500	3.23×61	29.1	4550	0.0365	204.2

کابل مسی با روکش سبز و زرد

Cross Section	Permissible Pulling Force	Min Bending Radius	Overall diameter	Insulation thickness	Current Carrying Capacityin Free air
mm ²	N	mm	mm	mm	A
6	300	20	4.7	0.8	54
10	400	26	6	1	73
16	800	32	7	1	98
25	1250	39	8.7	1.2	129
35	1750	44	10	1.2	158
50	2500	52	11.5	1.4	198
70	3500	60	13.5	1.4	245
95	4750	68	15.7	1.6	292
120	6000	76	17.5	1.6	344
150	7500	84	19.2	1.8	391
185	9250	94	21.5	2	448
240	12000	106	24.5	2.2	528
300	15000	118	27.5	2.4	608

تسمه (شیننه) مسی

تسمه‌های ارت در دو نوع مسی و قلع اندود در ابعاد مختلف و طبق استاندارد BS EN 62305 مختلف جهت تهیه شینه (لینک مسی) و یا سیستم همبندی ارت استفاده می‌شوند. خلوص مس بکار رفته در این تسمه‌ها ۹۹/۹۹٪ می‌باشد.

تسمه قابل انعطاف

در همبندی سیستم ارت، تسمه قابل انعطاف جهت اتصال بین نقاطی که متحرک هستند مانند لولای در و پنجره‌ها استفاده می‌شود. دو طرف این تسمه‌ها با ورق مس پرس و پانچ شده است. در دو نوع مسی و قلع اندود و در ابعاد مختلف ساخته می‌شود.

صفحه مسی

از صفحات مسی با ابعاد مشخص در اجرای سیستم ارت به روش حفر چاه استفاده می‌شود. این صفحات در انتهای چاه به صورت عمودی جهت تماس هر چه بیشتر با خاک استفاده می‌شود.

صفحه مشبک

در صورتی که زمین نیمه سنگی یا سنگی باشد و امکان حفر چاه عمیق وجود نداشته باشد لازم است از ارت صفحه‌ای یا مشبک یا گسترده استفاده گردد. این صفحات از جنس گالوانیزه گرم و در ابعاد مختلف قابل تولید است.

جعبه تست و اتصالات و ارت بار

کلمپ و کابلشو

کلمپ‌های ارت معمولاً از جنس برنجی ساخته می‌شوند. کلمپ‌ها به جهت اتصال در قسمت‌هایی که امکان اجرای جوش احتراقی به سبب دسترسی آسان وجود ندارد، به کار رفته و به دو صورت ریخته‌گری و فورج تولید می‌شوند.

مهم‌ترین انواع آن‌ها عبارت است از:

- کلمپ اتصال سیم به میله ارت (یو کلمپ و یا O کلمپ): جهت اتصال میله که در زمین کوبیده شده و یا آرماتور به سیم ارت تولید می‌شود.
- C کلمپ: این کلمپ جهت اتصال دو سیم به صورت موازی به کار می‌رود و پس از قرارگیری سیم‌ها درون کلمپ به وسیله دستگاه پرس محکم می‌شود.
- کلمپ اتصال سیم به دیوار و تسمه به دیوار: جهت اتصال سیم و یا تسمه به دیوار استفاده می‌شوند و در واقع نقش نگهدارنده سیم و یا تسمه را ایفا می‌کنند. این کلمپ‌ها از جنس برنجی و با استحکام بالا تولید می‌شوند و دارای دو پیچ از جنس فولاد ضد زنگ می‌باشند. طبق استاندارد طراحی سیستم حفاظت در برابر صاعقه (IEC62305)، هر یک متر اتصال هادی نزولی (سیم یا تسمه) به دیوار سه عدد بست در فواصل معین جهت نگهداری هادی نزولی مورد نیاز است.
- کلمپ دو پیچ موازی: این نوع کلمپ نگهدارنده برای دو سیم به صورت موازی می‌باشد. پیچ‌ها از جنس فولاد ضد زنگ بوده و بدنه کلمپ برنجی و در مقاطع مختلف (بر اساس سایز سیم) تولید می‌شود.
- کلمپ اتصال سیم به سیم-کلمپ اتصال تسمه به سیم: این کلمپ از جنس برنج بوده و جهت اتصال سیم‌ها به یکدیگر و سیم به تسمه به کار می‌رود. به این نوع از کلمپ‌ها، تست کلمپ سیم و تست کلمپ تسمه نیز گفته می‌شود.
- از دیگر انواع پرکاربرد کلمپ‌های ارت می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:
کلمپ اتصال دوراهی سیم (یا تسمه)، کلمپ چهارراهی سیم (یا تسمه)، Conductor Clamp، کلمپ اتصال سیم به استراکچر، کلمپ اتصال تسمه به میله ارت و ...



ارت بار

ارت بار یا شینه ارت جهت به اشتراک گذاشتن یک ورودی و چند خروجی در سیستم اتصال زمین و در جریان های پایین مورد استفاده قرار می گیرد. ارت بارها از سه قسمت تشکیل شده که شامل شینه مسی، عایق یا همان مقره و پایه فولاد می باشند. تعداد سوراخ های روی شینه بر اساس نوع طراحی کارفرما مشخص می شود و این شینه به وسیله مقره از پایه استیل جدا می شود. ابتدای هادی های ورودی و خروجی به وسیله کابلشو پرس شده و با پیچ و مهره به شینه ارت متصل می گردند. ارت بارها در انواع ۴، ۶، ۸ و ۱۰ سوراخ تهیه می گردند و در صورت نیاز کارفرما از یک لینک قطع و وصل کمکی نیز بهره می گیرند که به تست لینک معروف است.

دریچه های ارت بتنی ، گالوانیزه و تست باکس

به منظور دسترسی، بازدید و تست های دوره ای سیستم اتصال زمین از نوع میله ای و یا حفر چاه ارت، از تست باکس ارت و یا دریچه های ارت بتنی و گالوانیزه استفاده می شود. تست باکس از جنس ورق گالوانیزه با پوشش رنگ الکترواستاتیک به ارتفاع ۱/۵ متر از سطح اجرای ارتینگ بر روی دیوار نصب می شود. دریچه های ارت از جنس بتن و یا گالوانیزه گرم است که به صورت مدفون در خاک در محل اجرای چاه ارت نصب می شوند. به منظور برقراری اتصالات مورد نیاز در داخل دریچه ها و تست باکس از شینه ی مسی استفاده می گردد.

تجهیزات سرچاهی (بنتونیت و مواد کاهنده)

بنتونیت حاوی عناصری مانند کلسیم، پتاسیم، سدیم و آلومینیوم است. این ماده معدنی جهت پر نمودن چاه ارت در جاهایی که خاک مرغوب باشد استفاده می شود و در کیسه های ۱۵ الی ۳۰ کیلویی بسته بندی می گردد. به صورت دوغاب درون چاه ارت ریخته می شود. جهت پر نمودن چاه ارت تنها به وسیله بنتونیت باید به این نکته توجه نمود که این روش یک راه موقت است و پس از چند سال نیاز به بازدید و احیای چاه ارت می باشد.

مواد کاهنده متشکل از مواد معدنی با پایه کربن می باشد. از این محصول در خاک های نامرغوبی که مقاومت آن بالاست و جهت کاهش مقاومت استفاده می شود و در کیسه های ۱۵ الی ۳۰ کیلویی بسته بندی می گردد. به صورت ملات با سیمان و یا بنتونیت باید در چاه ارت ریخته شود و یک روش دائمی برای سیستم ارت می باشد.



پوشش ها

پوشش‌ها متداول‌ترین روش کنترل خوردگی اند و همواره به‌عنوان خط مقدم مقابله با خوردگی شناخته می‌شوند. پوشش‌ها می‌توانند به صورت یک لایه مانع عمل کنند، دارای پیگمنت‌های ممانعت‌کننده باشند و یا از طریق وجود پیگمنت‌های فدا شونده مانع خوردگی گردند.

گاهی به کارگیری رنگ‌ها و روش‌های متداول برای کنترل خوردگی کافی نیست. برای مثال پوشیدگی کف مخازن ذخیره یکی از معضلات متداولی است که رخداد آن بسیار هزینه‌بر بوده است. وجود فاصله بین کف مخازن ذخیره و فونداسیون موجب نفوذ رطوبت به سطح فلز می‌شود. از طرفی عمده‌تاً به دلیل جوشکاری پوشش اعمال شده اولیه بر کف مخزن آسیب دیده و آنرا مستعد خوردگی می‌کند. به دلیل عدم تماس با الکترولیت در نواحی بلند شده از کف فونداسیون، امکان کنترل خوردگی به روش حفاظت کاتدیک وجود ندارد. لذا نیاز به راهکاری وجود دارد تا از نفوذ رطوبت به کف مخزن جلوگیری نماید. در این بین پوشش‌های ویسکوالاستیک می‌توانند به خوبی از ورود رطوبت ممانعت به عمل آورند. این پوشش‌ها همواره سطح را تر نگاه داشته و ترک نمی‌خورند، لذا از آن‌ها به‌عنوان مؤثرترین روش برای کنترل خوردگی به همراه راهکارهای دیگر همچون استفاده از ممانعت‌کننده‌های فاز بخار استفاده می‌شود. در ادامه به توضیح در مورد این پوشش‌ها پرداخته می‌شود.



فاصله ایجاد شده بین کف مخزن و دیواره فنداسیون

پوشش‌های ویسکوالاستیک

ویسکوالاستیک‌ها به دلیل خواص ویژه‌ای که دارند، در طی زمان، کارایی خود را حفظ نموده و به مدت طولانی از سازه محافظت می‌نمایند. همانطور که ذکر شد این پوشش‌ها همواره سطح را تر نگاه داشته و ترک نمی‌خورند. سیستم پوشش عمده‌تاً متشکل از نوعی ژل ویسکوالاستیک به همراه پوششی نواری است که یک مش ساخته شده از فیبر با روکش پلی‌استر سفید تشکیل شده که امکان رنگ آمیزی آن را بلافاصله پس از اعمال پوشش میسر می‌سازد. توضیح اینکه این پوشش بلافاصله به لایه زیرین می‌چسبد و نیازی به طی زمان عمل آوری (curing) ندارد.

ژل ویسکوالاستیک (Visco elastic Gel)

ژل ویسکوالاستیک نوعی ترکیب پلیمری است که همواره خاصیت ترکندگی خود را حفظ نموده و سفت نمی شود. ژل ویسکوالاستیک در حقیقت ترکیبی است که در مقابل نفوذ آب و رطوبت به شدت مقاوم بوده و می تواند نقش یک آب بند را ایفا کند. این محصول تلفیقی از خواص الاستیسیته و ویسکوزیته را همزمان دارد. به دلیل ویسکوز بودن می تواند به راحتی درزها و حفره ها را پر کرده و با خاصیت الاستیسیته مناسب، استحکام مکانیکی لازم را فراهم نماید. ژل ویسکوالاستیک با خاصیت چسبندگی به تمام سطوح فلزی، بتنی و... می تواند لوله ها و مخازن را در محیط های به شدت خورنده مانند سکوها، کنار دریا و نواحی ساحلی محافظت نماید. این محصول بر اساس استاندارد ASTM B117-09 مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج حاکی از مقاومت بالای این ژل در برابر محیط های خورنده است. ژل ویسکوالاستیک به عنوان یک ماده مانع در برابر نفوذ آب و گاز مطرح شده و می تواند برای انواع کاربردهایی که نیاز به آب بندی و محافظت در برابر نفوذ رطوبت و خوردگی مطرح است استفاده گردد. این محصول میتواند برای محافظت فلنج های روی سطح زمین در برابر خوردگی به کار رود. همچنین به عنوان سیلنت برای آب بندی لوله ها و کابل ها استفاده شود. این محصول به صورت ژل نسبتاً روان ارائه شده و توسط ابزار مخصوص در فضای مورد نظر تزریق می شود.

مهمترین ویژگیهای ژل ویسکوالاستیک عبارتند از

خاصیت چسبندگی به تمام سطوح

سهولت تزریق

طول عمر نامحدود

حفظ خاصیت ترکندگی

حفظ خاصیت انعطاف پذیری و چسبندگی

بدون نیاز به زمان گیرش

مقاومت شیمیایی زیاد

فرمولاسیون خنثی و غیرسمی

مقاوم به عوامل خورنده میکروبیولوژیکی، نمکها و اسمز

رنج پایداری دمایی ۳۴- تا ۵۵+ درجه سانتیگراد

دمای کاربرد بیشتر از ۵+ درجه سانتیگراد

آماده سازی سطح آسان (فقط شامل تمیز کردن سطوح از ذرات گرد و خاک، زنگ زدگی و آلودگی ها)

محصولات ویسکوالاستیک به عنوان بهترین محصول جهت محافظت فلنج ها و مخازن، نیاز به آماده سازی پیچیده ای نداشته و به راحتی قابل کاربرد هستند. برای استفاده از این محصولات، ابتدا اثر زنگ زدگی و انواع آلودگی ها به صورت دستی از روی سطوح حذف می گردد. سپس ژل ویسکوالاستیک در این فضای خالی تزریق شده تا به طور کامل فضای خالی را پر نماید. در نهایت نیز با پوشش ویسکوالاستیک روی سطح آن پوشانده می شود. از آنجا که هر دوی خمیر و پوشش قابلیت ارتجاعی داشته، در برابر افزایش و کاهش حجم مخزن منعطف بوده و هیچگاه درز یا شکافی بین کف مخزن و این مواد به وجود نخواهد آمد. از سویی دیگر به دلیل خاصیت ویسکوز بودن، تمام درزها توسط این مواد پُر شده و کاملاً مخزن در برابر نفوذ رطوبت و هوا آب بندی می شود.



پوشش نواری ویسکوالاستیک (Visco elastic Wrap)

پوشش نواری ویسکوالاستیک محصولی است که به منظور آب بندی و ممانعت از نفوذ رطوبت استفاده می گردد. این پوشش ها به صورت رول ارائه می شوند. روی سطح پوشش با یک لایه پلاستیک پوشانده شده تا از آلودگی سطح جلوگیری شود. قبل از اعمال پوشش، لایه محافظ پلاستیکی از روی محصول جدا شده و سپس پوشش از طرف سطح چسبناک، روی مکان مورد نظر اعمال می گردد. پوشش ویسکوالاستیک راهکاری سریع و به صرفه است که می تواند به راحتی و بدون نیاز به آماده سازی سطح روی انواع سطوح استفاده شده و آن ها را در برابر نفوذ آب محافظت نماید. این پوشش ها به منظور آب بندی تجهیزات در برابر نفوذ رطوبت در صنایع مختلف از جمله نفت و گاز، آب و فاضلاب، ارتباطات، حمل و نقل و کشاورزی کاربرد دارند. این محصول با طول عمر بالا و کارایی خوب می تواند در انواع محیط ها استفاده شده و مانع نفوذ رطوبت و در نتیجه خوردگی و تخریب تجهیزات شود. به منظور دستیابی به نتیجه بهتر و محافظت کامل تجهیزات در برابر خوردگی، از این پوشش ها به همراه ژل ویسکوالاستیک استفاده می گردد.



دستورالعمل اجرای پوشش های ویسکوالاستیک برای مخازن

- در صورت وجود ذرات خارجی آن را به کمک برس فلزی از روی سطح پاک نمایید.
- سطح رینگ بتنی و قسمت مورد پوشش را به کمک هوای فشرده و یا آب با فشار بالا تمیز نمایید.
- به کمک برس فلزی هرگونه زنگ آهن (Scale rust) و اسلگ های ایجاد شده حین جوشکاری را از روی سطح پاک نمایید. پس از آماده سازی، سطح می بایست عاری از هرگونه روغن، ذرات گل و لای، گریس و ذرات تولید شده حین برشکاری باشد.
- جهت چربی زدایی از استون و یا الکل صنعتی (Denatured alcohol/Isopropanol) استفاده نمایید. از تیتر جهت تمیز کاری نمی توان استفاده نمود.
- برای اعمال حلال می توانید از کهنه تنظیف، اسکاچ، قلمو استفاده کنید و یا اینکه حلال را اسپری نمایید. مراحل تمیز کاری به کمک حلال می بایست بر اساس استاندارد SPC-SP1 و به شرح زیر انجام پذیرد :
 - حذف چربی های با جرم بالا به کمک کاردک
 - پاک سازی سطح به کمک پارچه آغشته به حلال
 - اسپری کردن تمیز کننده در مرحله آخر
- از تمیز کننده های قلیایی به شرط شستشو با آب و عدم قلیایی کردن pH سطح نیز می توان استفاده نمود. (pH را می توان به کمک کاغذ تست pH بررسی نمود)
- جهت بررسی میزان تمیزی سطح، ۱۵۰ میلی متر نوار را بر روی سطح بتن و مخزن اعمال نموده و فشار دهید. پوشش را با سرعت زیاد از روی سطح جدا کنید در صورتی که مقدار زیادی از پوشش روی سطح باقی ماند چسبندگی مناسب است. در صورتی که پوشش از روی سطح کنده شد، تمیز کاری را تکرار نمایید.
- خمیر ویسکوسیلانت را به کمک تفنگ مخصوص، حتی المقدور تا یک اینچ داخل درز بین فولاد و رینگ بتنی اعمال نمایید.
- از یک کاردک برای یکنواخت اعمال شدن این خمیر استفاده نمایید و از اینکه هوای محبوسی (Air Pocket) در محصول وجود ندارد اطمینان حاصل نمایید.
- از تمیز کننده های قلیایی به شرط شستشو با آب و عدم قلیایی کردن pH سطح نیز می توان استفاده نمود. (pH را می توان به کمک کاغذ تست pH بررسی نمود).
- اعمال پوشش EZ Wrap را از بالاتر از درز جوش آغاز نمایید. نوار EZ Wrap می بایست حداقل ۲ اینچ روی رینگ بتنی قرار گیرد.
- اعمال پوشش بالاتر از درز جوش
- در خصوص توالی اعمال نوارها (در صورتی که عرض مورد نظر با یک لایه پوشش داده نشود)، باید توجه داشت که اعمال پوشش از روی رینگ بتنی آغاز می شود و تا بالای درز جوش روی بدنه ادامه پیدا میکند. در صورت نیاز به دو لایه (یا بیشتر) بایستی همپوشانی صورت بگیرد و مقدار این همپوشانی تقریباً ۵۰ درصد پهنای نوار است.
- از یک رولر و یا چکش لاستیکی برای اعمال فشار یکنواخت روی نوار، استفاده نمایید.
- اعمال یکنواخت پوشش به کمک رولر
- در صورتی که در مسیر اجرای نوار مانعی وجود داشت به کمک برش و ترمیم اطراف آن پوشش داده شود.
- محصول نهایی را می توانید رنگ آمیزی نمایید. در صورت نیاز به رنگ آمیزی می بایست این کار بلافاصله پس از اعمال پوشش صورت گیرد.



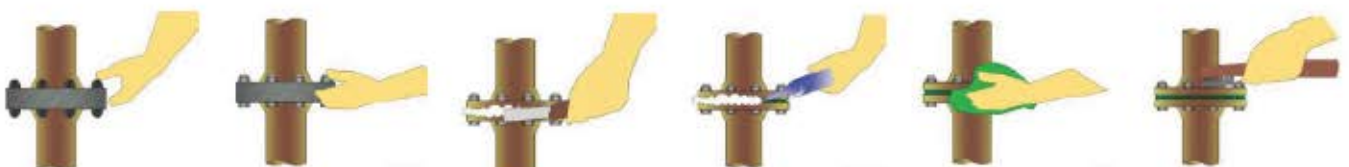
اعمال خمیر ویسکوسیلانت



عبور صحیح نوار ضد خوردگی از مانع

دستورالعمل اجرای پوشش های ویسکوالاستیک برای فلنج ها

- آماده سازی سطح
تمیز کاری سطح به صورت دستی و بر اساس استاندارد SSPC-SP انجام می شود. به کمک برس فلزی سطح از هر گونه زنگ آهن و ذرات خارجی تمیز می گردد. به کمک پارچه آغشته با الکل صنعتی یا استون، هرگونه روغن، ذرات گل و لای، گیریس و رطوبت از روی سطح حذف می شود. می بایست همواره سطح را تمیز، خشک و عاری از رطوبت نگه داشت.
- تزریق خمیر ویسکوالاستیک
به منظور کارایی بهتر، فلنج تا دمای ۴۵ درجه سانتیگراد پیشگرم می شود. خمیر ویسکوالاستیک به کمک تفنگ مخصوص، به اندازه کافی داخل درز بین فلنج اعمال می گردد. توسط کاردک سطح تمیز شده و خمیر اضافی حذف می گردد. همچنین با اینکار از عدم وجود هوای محبوس در بین فلنج اطمینان حاصل می شود.
- اعمال پوشش نواری مخصوص
ابتدا فیلم محافظ پوشش از روی آن حذف گردیده و پوشش نواری از سمت سطح چسبناک بر روی فلنج پوشش داده می شود. در صورت نیاز این پوشش تکرار می گردد تا تمام فضای بین فلنج پوشانده شود. برای محافظت از مهره ها و پیچ های فلنج می توان از کلاهک های محافظ پیچ استفاده کرد.



پوشش های آب گریز مناسب برای شرایط سخت دریایی

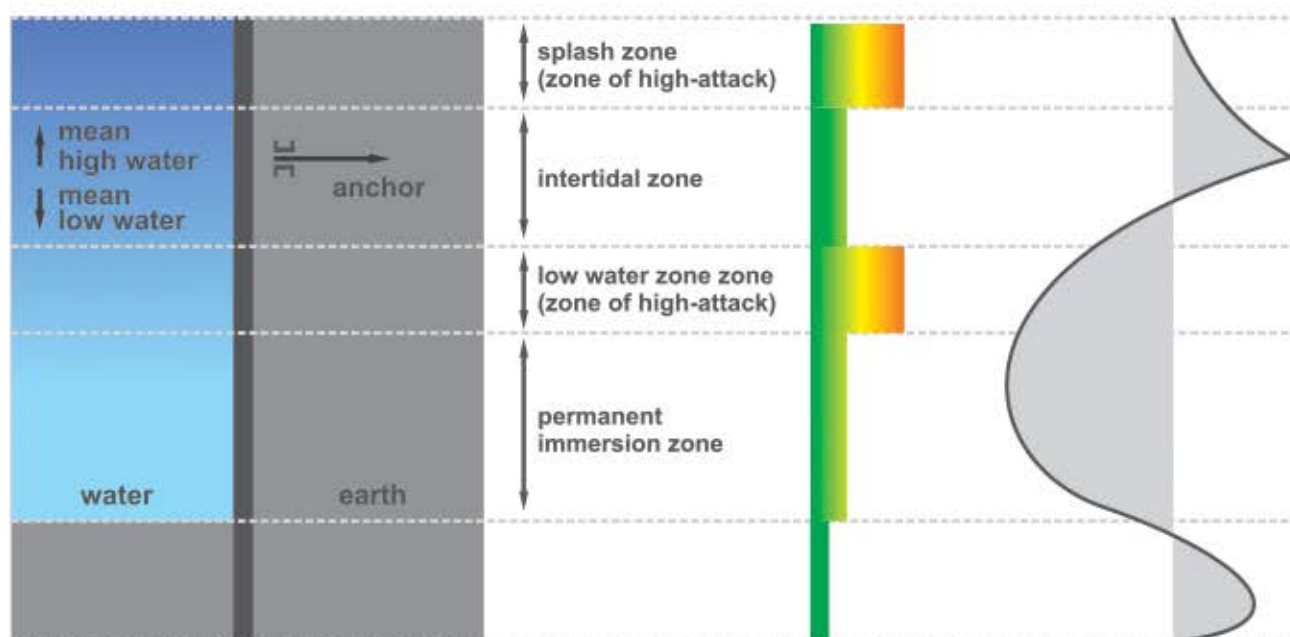
سازه های دریایی و تأسیسات بندری موجود در بنادر کشورمان در زمره تأسیسات زیربنایی مهمی به شمار می روند که به دلیل پوسیدگی و تخریب ناشی از قرارگرفتن در محیط دریایی می توانند خسارات زیادی را به صنعت دریایی کشورمان تحمیل نمایند. بنابراین محافظت از اسکله ها و شمع های دریایی می تواند در پیشگیری از هدر رفت سرمایه های کشور مؤثر باشد.



پوشش پترولاتوم شمع دریایی

بررسی میزان خوردگی در سازه های دریایی

آسیب پذیری یک شمع دریایی وابستگی شدیدی به محل قرارگیری سازه نسبت به تراز آب دریا دارد. با توجه به تفاوت در شرایط محیطی همچون میزان غلظت اکسیژن، شرایط جزر و مدی، پاشش نمک و موارد دیگر، سازه های کوبش شده در دریا را می توان به نواحی مختلفی از نظر میزان خوردگی تقسیم بندی نمود. عموماً این تقسیم بندی شامل قسمت مدفون در خاک، ناحیه غوطه وری (Seawater immersion zone) ناحیه نزدیک به سطح آب (low water zone) ناحیه جزر و مدی (Splash zone) و ناحیه اتمسفری است.



تقسیم بندی شمع ها به ناحیه های مختلف

ناحیه پاشش (Splash zone)

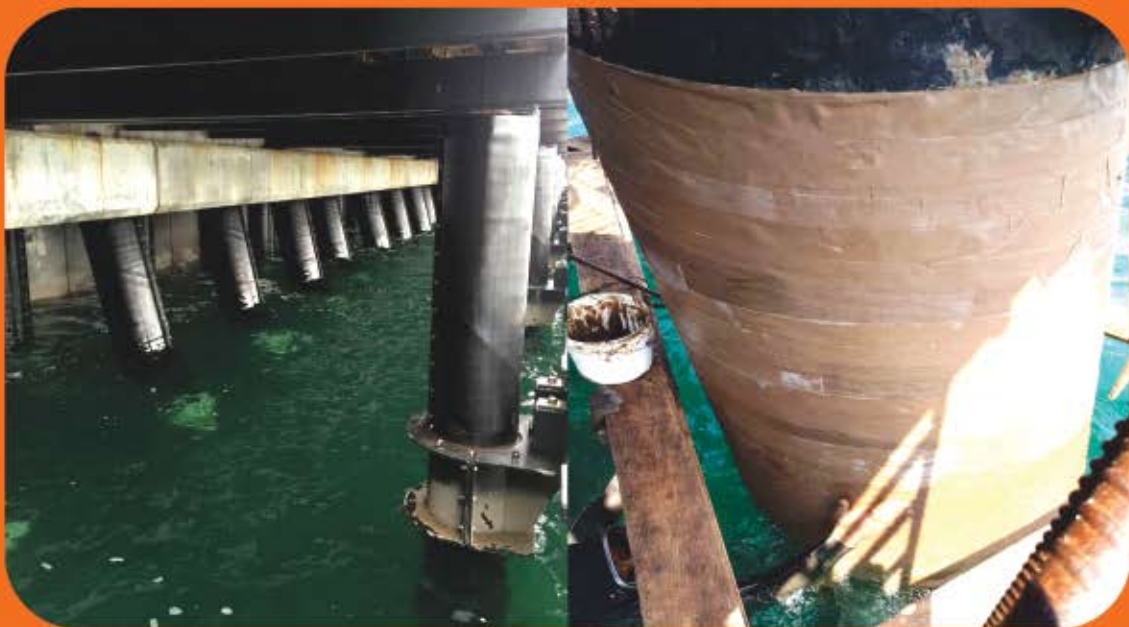
ناحیه splash zone، بالاترین ناحیه دریایی است که در معرض امواج دریا و پاشش نمک قرار دارد و برخلاف ناحیه جزر و مدی (Tidal zone)، جلبک های دریایی در سطح پایل در این ناحیه رشد نمی کنند. Splash zone یک ناحیه آسیب پذیر است که هم از دریا و هم از اتمسفر در معرض خوردگی قرار دارد. از آنجاکه این ناحیه در بالای خط آب است در معرض ضربه و سایش نیز قرار دارد. حفاظت از این ناحیه برای صاحبان صنعت که قصد دارند عمر سازه های خود را افزایش دهند و هزینه های تعمیر و نگهداری را کاهش دهند، بسیار حیاتی است. لازم به ذکر است انجام حفاظت کاتدیک در این ناحیه مؤثر نیست و لذا به کارگیری روشی مناسب برای کنترل خوردگی ضروری است.

کنترل خوردگی شمع های دریایی با اعمال پوشش های خاص

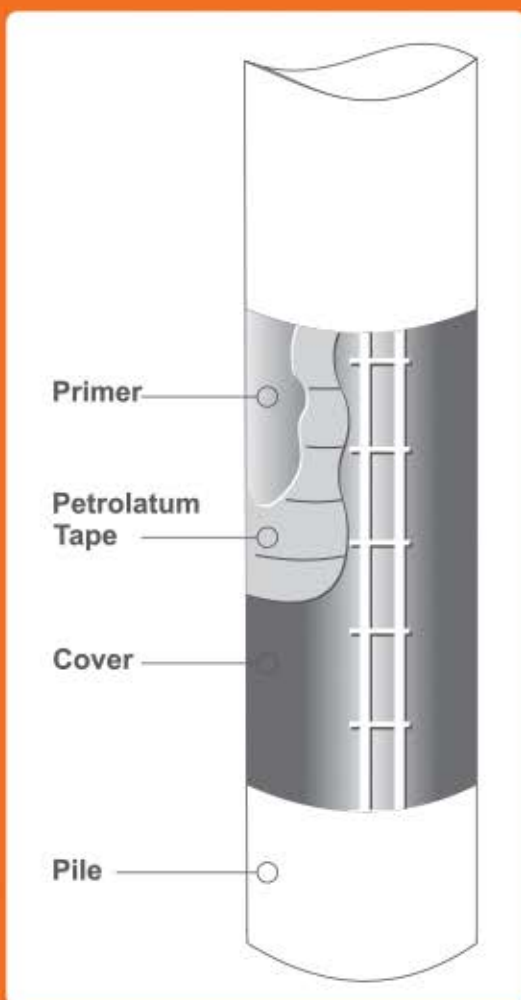
یکی از سیستم های پوشش به کار گرفته شده جهت کنترل خوردگی در ناحیه Splash Zone سیستم پوششی شامل ماستیک مخصوص، نوار پترولاتوم و غلاف HDPE است. جهت اعمال این پوشش ابتدا آماده سازی سطح صورت گرفته و در ادامه پس از اعمال ماستیک، نوارهای پترولاتوم اجرا می گردد. این نوارها آغشته به پارافین بوده و با توجه به خاصیت آب گریزی روی سطح شمع اعمال می شوند. در نهایت این نوارها توسط لایه محافظ از جنس HDPE پوشانده می شوند. از این غلاف ها به عنوان محافظ در برابر سایش و صدمات مکانیکی استفاده می شود. ضخامت این غلاف ها به صورت یکنواخت و ۲ میلی متر می باشد و از دیگر خصوصیات این غلاف ها مقاومت در برابر اشعه فرابنفش (UV) است.

به منظور اعمال این پوشش، ابتدا در صورت وجود رسوبات دریایی، از روی سطح تمیز می گردد. همچنین هرگونه رنگ و زنگ آهن می بایست به کمک وایر براش، چکش، سند بلاست و یا واتر بلاست از روی سطح تمیز شود. در مرحله بعد پرایمر مخصوص زیر آب در سطح شمع اجرا می شود. در ادامه ماستیک پترولاتوم بر روی شمع اعمال می شود تا ناهمواری های سطح را بپوشاند. سپس پوشش های پترولاتوم با همپوشانی ۵۵٪ اجرا شده و در نهایت نوار پترولاتوم به کمک لایه ای محافظ از جنس HDPE پوشانده می شود.

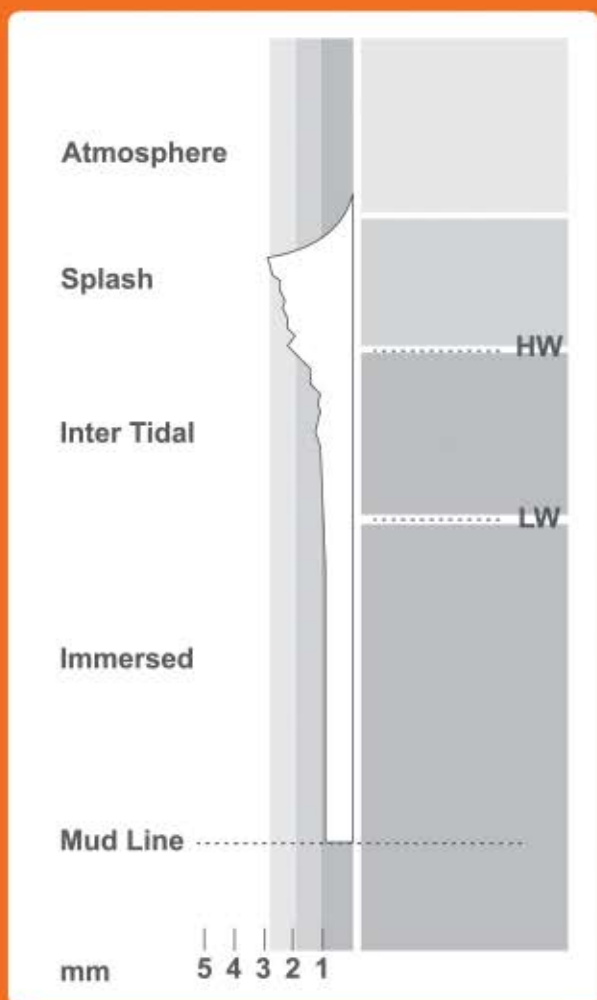
از نوارهای پترولاتوم جهت محافظت خوردگی سطوح خشک و تر استفاده می شود. این نوارها آغشته به پارافین بوده، آب گریزند و می توانند جهت پوشش دهی شمع به کار گرفته شوند. ماستیک و نوارهای پترولاتوم این شرکت از آخرین ویراست استاندارد AWWA C217 تبعیت می کنند و جزو مناسب ترین پوشش ها جهت استفاده در ناحیه SPLASH ZONE هستند. از غلاف HDPE به عنوان محافظ لایه مقاوم به سایش و صدمات مکانیکی استفاده می شود.



پوشش پترولاتوم شمع دریایی.



پوشش نواری پترولاتوم سطح شمع دریایی



پروفایل نرخ خوردگی شمع دریایی پس از ۱۰ سال در صورت نبود پوشش در سطح آن



LPS

ارزیابی پوشش خطوط لوله و سیستم حفاظت کاتدیک



ارزیابی پوشش خطوط لوله

ECDA فرآیندی سازمان یافته و پیشگیرانه است که با استفاده از کاهش تاثیر خوردگی خارجی جهت بهبود امنیت خط لوله به کار گرفته می شود. این فرآیند به عنوان یکی از موارد تکمیلی و مقرون به صرفه در مدیریت یکپارچه است. یکی از موارد مطرح در ECDA وجود عیوب در پوشش خارجی است. فرضیه اصلی این است که وجود عیوب در پوشش، قسمت های بالقوه ای را که دچار خوردگی شده اند، در حال خورده شدن بوده و یا در آینده خورده می شوند مشخص می کند. همچنین ECDA موثر بودن سیستم حفاظت کاتدیک را نشان می دهد، تداخل AC/DC را مشخص می کند و اطلاعاتی نظیر میرایی جریان، اتصالات غریبه، موانع عبور جریان حفاظت کاتدیک و میزان موثر بودن برنامه کنترل خوردگی را فراهم می کند.

پوشش نقش مهمی در عملکرد سیستم حفاظت کاتدیک دارد. زمانی که حفاظت کاتدیک با یک پوشش دی الکتریک به صورت همزمان به کار گرفته می شود، جریان مورد نیاز با توجه به موثر بودن پوشش کاهش می یابد. به عبارت دیگر تنها نیاز است تا سیستم حفاظت کاتدیک در قسمت هایی که پوشش دارای عیب است و فلز در تماس با خاک و یا آب قرار دارد عمل نماید.



فرآیند ECDA شامل چهار مرحله است

پیش ارزیابی: در این مرحله به جمع آوری سوابق و داده های موجود پرداخته می شود و در خصوص عملی بودن انجام ECDA تقسیم بندی مناطق مورد بررسی و روش های بازرسی غیر مستقیم تصمیم گیری می شود.

بازرسی غیر مستقیم: در این مرحله از روش هایی برای تشخیص عیوب پوشش و سایر موارد غیر متعارف خوردگی بهره گرفته می شود و مناطقی که خوردگی اتفاق افتاده و یا احتمال رخداد آن داده می شود شناسایی می گردند. از دو یا چند روش بازرسی غیر مستقیم در طول کل لوله استفاده می شود تا تشخیص عیب در شرایط مختلفی به وجود آمده برای خط لوله قابل اعتماد باشد.

● **بازرسی مستقیم:** در این مرحله نتایج بازرسی غیر مستقیم آنالیز شده و نواحی مختلفی که می بایست جهت دسترسی به سطح لوله حفاری شود انتخاب می گردد. از داده های بازرسی مستقیم در کنار داده های قبلی برای شناسایی و ارزیابی تاثیر خوردگی بر خط لوله بهره گرفته می شود. علاوه بر آن ارزیابی عملکرد پوشش، تعمیرات صورت گرفته در نواحی خورده شده و اشکالات در نحوه کنترل خوردگی در این مرحله بررسی می شوند.

● **ارزیابی نهایی:** این مرحله شامل جمع بندی داده های به دست آمده در سه مرحله قبل است و در آن به ارزیابی موثر بودن فرآیند ECDA و مشخص نمودن بازه های ارزیابی بعدی پرداخته می شود.



روند بررسی پوشش خطوط لوله مدفون

همانطور که ذکر شد بازرسی غیر مستقیم از مراحل اصلی در فرآیند ECDA است. از میان روش های موجود جهت بازرسی، این شرکت در زمینه های ذیل ارائه خدمات می نماید:

● اندازه گیری پتانسیل در بازه های کوتاه (CIPS)

● اندازه گیری میرایی جریان توسط دستگاه PCM که غالباً در کنار روش تکمیلی ACVG به کار می رود

● اندازه گیری گرادیان ولتاژ (DCVG DC)

انتخاب روش مناسب برای ارزیابی خطوط لوله بستگی به عوامل مختلفی من جمله شرایط محیطی در اطراف لوله مورد بررسی دارد. جدول ذیل برگرفته از استاندارد SP 0502 است و از آن می توان به عنوان راهنمایی مناسب جهت انتخاب و بررسی امکان پذیری روش بازرسی غیر مستقیم بهره برد. برای مثال از جدول ذیل می توان استنباط نمود که در محیط های صخره ای امکان بررسی عیوب کوچک در پوشش لوله وجود ندارد و تنها روش پیشنهاد شده استفاده از تکنیک های میرایی جریان است.

ماتریس انتخاب روش بررسی لوله به صورت ECDA

CONDITIONS	Close Interval Survey (CIS)	Current Voltage Gradient Surveys (ACVG and DCVG)	Pearson 7	Electro magnetic	AC Current Attenuation Surveys
Coating holidays	2	1,2	2	2	1,2
Anodic zones on bare pipe	2	3	3	3	3
Near river or water crossing	2	3	3	2	2
Under frozen ground	3	3	3	2	1,2
Stray currents	2	1,2	2	2	1,2
Shielded corrosion activity	3	3	3	3	3
Adjacent metallic structures	2	1,2	3	2	1,2
Near parallel pipelines	2	1,2	3	2	1,2
Under high-voltage alternating current (HVAC) overhead electric transmission lines	2	1,2	2	3	3
Shorted casing	2	2	2	2	2
Under paved roads	3	3	3	2	1,2
Uncased crossing	2	1,2	2	2	1,2
Cased piping	3	3	3	3	3
At deep burial locations	2	2	2	2	2
Wetlands (limited)	2	1,2	2	2	1,2
Rocky terrain/rock ledges/rock backfill	3	3	3	2	2

(A) Limitations and Detection Capabilities: All survey methods are limited in sensitivity to the type and makeup of the soil, presence of rock and rock ledges, type of coating such as high dielectric tapes, construction practices, interference currents, other structures, etc. At least two or more survey methods may be needed to obtain desired results and confidence levels required.

Shielding by Disbonded Coating: None of these survey tools is capable of detecting coating conditions that exhibit no electrically continuous pathway to the soil. If there is an electrically continuous pathway to the soil, such as through a small holiday or orifice, tools such as DCVG or electromagnetic methods may detect these defect areas. This comment pertains to only one type of shielding from disbonded coatings. Current shielding, which may or may not be detectable with the indirect inspection methods listed, can also occur from other metallic structures and from geological conditions.

Pipe Depths: All of the survey tools are sensitive in the detection of coating holidays when pipe burials exceed normal depths. Field conditions and terrain may affect depth ranges and detection sensitivity.

KEY

1-Applicable: Small coating holidays (isolated and typically <600 mm² [1 in.²]) and conditions that do not cause fluctuations in CP potentials under normal operating conditions.

2-Applicable: Large coating holidays (isolated or continuous) or conditions that cause fluctuations in CP potentials under normal operating conditions.

3-Not Applicable: Not applicable to this tool or not applicable to this tool without additional considerations.

تهیه پروفایل پتانسیل خطوط لوله مدفون (CIPS)

CIPS یکی از روش‌های توصیه شده در فرآیند ECDA است. در این روش پتانسیل خط لوله در فواصل مشخص اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. CIPS عمدتاً به صورت همزمان با DCVG استفاده می‌شود. همچنین این روش به عنوان راهکاری مؤثر، وضعیت کنونی سیستم حفاظت کاتدیک را مشخص می‌کند و می‌توان از آن به عنوان ابزاری مناسب در جهت شناسایی تداخل جریان و رفع آن استفاده نمود. عمدتاً پیمایش در فواصل کوتاه انجام می‌پذیرد و در دیتالاگر ثبت می‌شود.

از جمله مواردی که می‌توان از داده های CIPS استنباط نمود عبارتند از

- مشخص شدن محل های خارج از گستره پتانسیل حفاظت کاتدیک با علم بر فاصله ای که هر نقطه می‌تواند از پتانسیل معیار داشته باشد.
- شناسایی عیوب متوسط تا بزرگ در پوشش ها (مجزا و یا پیوسته که عمدتاً اندازه ای بیش از ۶۰۰ میلی متر مربع دارند).
- شناسایی محل های جذب و دفع جریان های سرگردان
- تشخیص اتصال الکتریکی به وجود آمده بین خط لوله و کیسینگ، اتصال الکتریکی ناخواسته بین لوله و سازه فلزی غریبه و عمل نکردن عایق های الکتریکی
- مکان یابی و اولویت بندی نواحی که در ریسک خوردگی خارجی قرار دارند به عنوان قسمتی از برنامه مدیریت خوردگی



طرح شماتیک تهیه پروفایل پتانسیل خط لوله

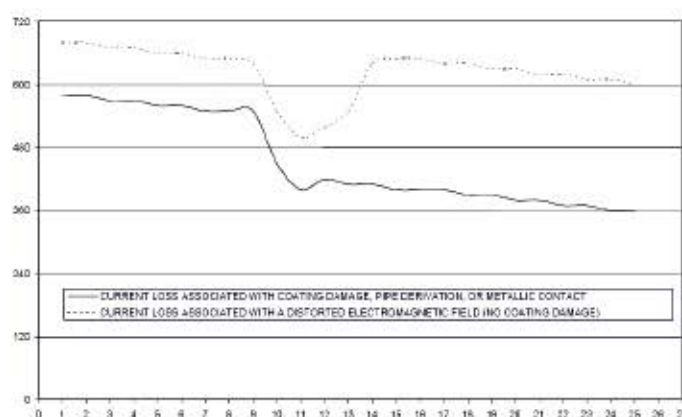
اندازه گیری میرایی جریان AC

یکی از روش های نوین در ارزیابی پوشش و نشستی جریان خطوط لوله زیر زمینی، روش AC Current Attenuation یا همان روش میرایی جریان الکتریکی می باشد که یکی از تکنیک های موثر توصیه شده در استانداردهای NACE SP0502 است.

در این روش جریان AC به خط لوله پوشش داده شده تزریق می شود و میزان تضعیف جریان در طول خط لوله با توجه به میدان الکترومغناطیسی ناشی از جریان AC در اطراف لوله محاسبه می گردد. در صورتی که پوشش مقاومت دی الکتریک یکسانی در طول خط لوله داشته باشد و آن را از محیط اطراف در تمامی نقاط از نظر الکتریکی جدا نماید، قدرت سیگنال ایجاد شده در اثر جریان AC به صورت لگاریتمی کاهش می یابد. میرایی جریان به هدایت الکتریکی پوشش و فرکانس اعمال شده به خط لوله وابسته است. در صورت وجود عیب در پوشش اضمحلال جریان سریع تر خواهد بود.

از این روش می توان در هر ناحیه ای که بتواند میدان مغناطیسی را عبور دهد استفاده نمود. برای مثال استفاده از این تکنیک در زمین های خشک، برف، یخ، بتن و آب امکان پذیر است. در تفسیر جریان محاسبه شده می بایست مواردی نظیر اعوجاج در میدان مغناطیسی را در نظر داشت. در صورت وجود اعوجاج در میدان مغناطیسی جریان AC ابتدا کاهش و سپس افزایش می یابد. تصویر ذیل مثالی از رفتار جریان در یک میدان مغناطیسی را نشان می دهد. با توجه به ماهیت الکترومغناطیسی این روش، می بایست تاثیر مواردی نظیر کابل ها، بستهای آندی، سیستم ارتینگ، تجهیزات نزدیک به خط لوله و هر آنچه می تواند بر میدان مغناطیسی اطراف آن تأثیرگذار باشد در تفسیر نتایج حاصله در نظر گرفته شود.

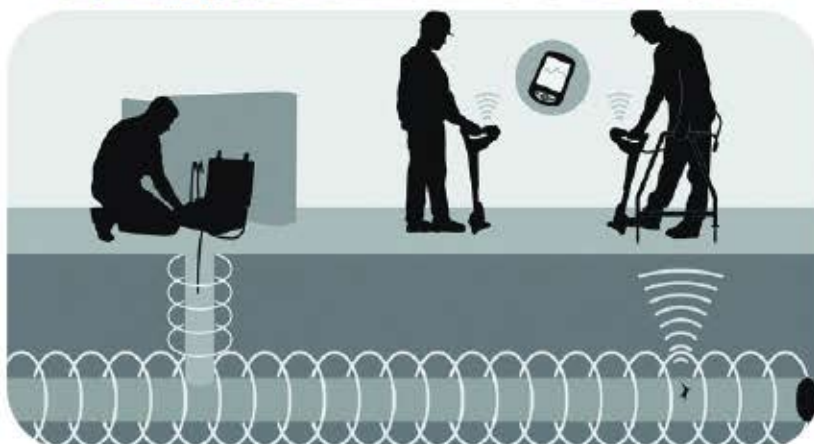
مثالی از تغییرات میدان مغناطیسی حین بررسی لوله بروش ACVG



در این روش از یک ترانسمیتر برای تزریق جریان به لوله و یک رسیور برای تشخیص میدان مغناطیسی بهره گرفته می شود. ترانسمیتر وظیفه ی تولید و انتشار جریان های اعمالی AC را با فرکانس ها و طول موج های مختلف را دارد. جریان اعمالی به خط لوله منجر به تشکیل یک میدان مغناطیسی اطراف لوله مدفون در زیر زمین شده و این میدان مغناطیسی منتشر شده در محیط توسط رسیور شناسایی می شود. رسیور، بزرگی میدان مغناطیسی دریافتی را محاسبه و تبدیل به جریان الکتریکی متناسب با آن کرده و بر روی نمایشگر نشان می دهد.

تجهیزات مختلفی توسط سازندگان متفاوت تولید شده و جهت اندازه گیری میرایی جریان و بازرسی غیر مستقیم استفاده می شوند. از این میان دستگاه PCM ساخت شرکت Radio Detection توانسته محبوبیت زیادی را کسب کند. این دستگاه علاوه بر رسیوری که وظیفه دریافت میدان مغناطیسی و تفسیر آن را بر عهده دارد به تجهیز دیگری به نام A-Frame مجهز بوده که با بهره گیری از روش ACVG امکان تشخیص محل دقیق عیب پوشش را فراهم می کند. به عبارت دیگر با توجه به توصیه استاندارد NACE SP 0502 مبنی بر استفاده از دو روش بازرسی در روند ECDA، این دستگاه امکان به کارگیری دو روش Current Attenuation و ACVG را به صورت توأم فراهم می کند.

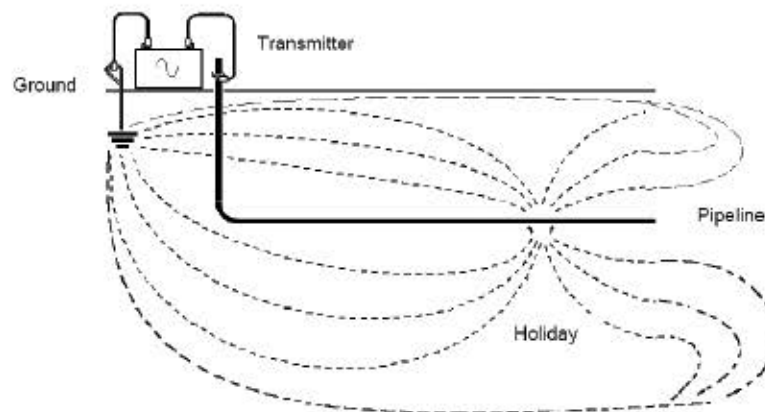
لازم به ذکر است شرکت پایش صنعت نوین با استفاده از به روزترین نسخه دستگاه PCM پروژه های متعددی را با صنایع و پتروشیمی ها مانند پتروشیمی آریاساسول و پتروشیمی متانول کاوه با موفقیت به انجام رسانیده است که بالغ بر صدها کیلومتر خطوط لوله زیرزمینی مورد عیب یابی قرار گرفته است.



تجهیز PCM و نحوه انجام تست.

روش بررسی گرادیان پتانسیل AC

ACVG روشی است که به کمک آن می توان عیوب را در پوشش لوله مدفون یافت. ولتاژ AC اعمال شده به خط لوله موجب عبور جریان بین بسستر و خط لوله از میان الکترولیتی که در تماس با عیوب پوشش قرار دارد می شود. به عبارتی دیگر جریان از طریق بسستر منبع ولتاژ به عیوب پوشش وارد می شود و از طریق خط لوله به منبع ولتاژ وارد می شود. شکل جریان در عیوب به صورت نرمال به شکل چند جهتی است و قبل از رسیدن به حالتی پایدار در فاصله ۳ الی ۵ متری در اطراف عیب پوشش در تمامی جهات به صورت تقریباً یکسانی پراکنده شده و در فواصل دورتر در جهتی مشخص از ترانسمیتر قرار می گیرد.



شماتیک نواحی آندی و کاتدی در یک خط لوله

جریان AC وارد شده به زمین در زمین اطراف عیب اختلاف ولتاژی ایجاد می کند که در نتیجه امپدانس خاک است. بر اساس قانون اهم، هرچه جریان بیشتر باشد، اختلاف ولتاژ به وجود آمده بیشتر است. تمرکز جریان زیاد در اطراف عیب به یافتن آن به کمک این روش کمک می کند. شخص پیمایش گر روی زمین حرکت می کند و پتانسیل سطح را به کمک چیدمانی مناسبی از الکترودها و یک دریافت کننده اندازه گیری می کند. زمانی که یکی از الکترودها دقیقاً بر عیب قرار داده شود و الکتروود دیگر عمود بر خط لوله باشد، اختلاف در ولتاژ اندازه گیری شده به حداکثر مقدار خود می رسد. توضیح اینکه مواردی نظیر مقاومت خاک بر ولتاژ قرائت شده تاثیر می گذارد و می بایست در تفسیر ACVG مدنظر قرار گیرد. از مزایای تجهیز PCM، تجهیز آن به A-frame است. لذا در صورت به کارگیری PCM می توان به صورت همزمان وضعیت پوشش خط لوله را به دو روش اندازه گیری میرایی جریان و ACVG بررسی نمود.

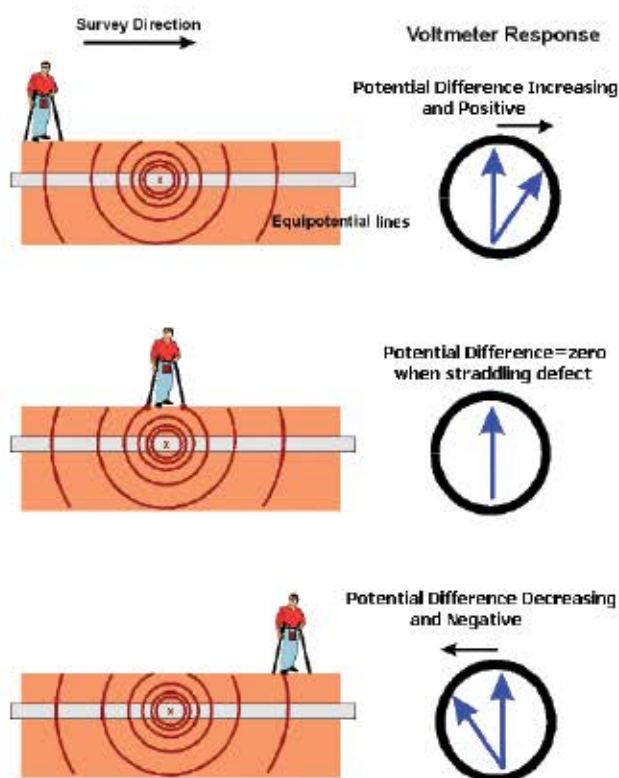
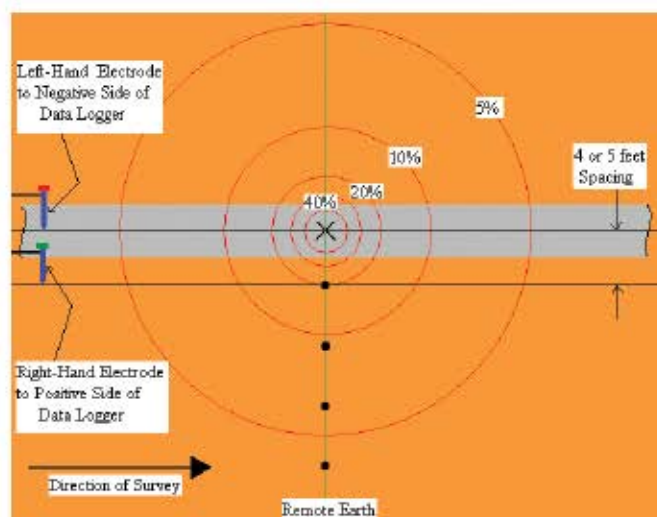


ارزیابی بروش DCVG

روش بررسی گرادیان پتانسیل DC (DCVG)

روش DCVG روشی سنتی و مؤثر در ارزیابی پوشش خطوط لوله زیرزمینی است. در این روش علاوه بر یافتن محل عیب پوشش می توان جزئیات دیگری از جمله شدت عیب، شکل تقریبی عیب، آندی و یا کاتدی بودن عیب و میزان خطرناک بودن آن را نیز ارزیابی نمود.

در این روش از یک یا چند قطع کننده جریان جهت قطع و وصل نمودن جریان DC در فواصل مشخص و منظم بهره گرفته می‌شود. اپراتور پس از بررسی شدت سیگنال ایجاد شده، با پیمایش بر روی خط لوله در فواصل مشخص، گرادیان ولتاژ DC بین دو الکترود مرجع را به کمک یک ولت‌متر با امپدانس داخلی بالا رصد می‌نماید و با بررسی تغییرات در ولت‌متر محل عیب را مشخص و ثبت می‌نماید. در ادامه با اندازه‌گیری پتانسیل دور و روش‌های دیگر اطلاعات تکمیلی در خصوص عیب از جمله شدت آن را ثبت می‌کند.







تجهيزات پایش خوردگی

مشاوره و بررسی خوردگی تجهیزات و مواد (فلزی)

اجرای موفق برنامه های کنترل خوردگی بدون ارزیابی دقیق شرایط خوردگی و نرخ آن ممکن نیست. شرکت پایش صنعت نوین با تجربه طولانی در ارائه موفق خدمات در زمینه خوردگی تجهیزات و متريال مختلف، هم اکنون مشاوره تخصصی در زمینه کنترل، پایش و بازرسی خوردگی به مشتریان ارائه می نماید. خدمات پایش خوردگی، امکان بررسی خوردگی و اندازه گیری نرخ آن را به کمک پیشرفته ترین تجهیزات موجود فراهم نموده و با بررسی اطلاعات به دست آمده، برنامه های مدیریت و کنترل خوردگی خود را به صورت مداوم بهبود می بخشد.

کوپن خوردگی

از کوپن های خوردگی به عنوان راهکاری ارزان قیمت برای پایش نرخ خوردگی بر اساس روش کاهش وزن استفاده می شود. سادگی این روش موجب شده که از آن به عنوان مبنایی در بسیاری از برنامه های پایش خوردگی استفاده گردد. در این روش پس از قرار گرفتن کوپن به مدت مشخص (برای مثال در بازه های نود روزه) در محیط مورد نظر تاثیر محیط بر کوپن بررسی می شود. به منظور تعیین نرخ خوردگی محصولات تشکیل شده بر روی کوپن را با روش های مکانیکی، شیمیایی و یا الکتروشیمیایی از سطح کوپن حذف می نمایند تا به سطح فلز زیرین برسند. از استاندارد ASTM G1 می تواند به عنوان راهنمایی مناسب برای حذف محصولات خوردگی از فلز پایه و تعیین نرخ خوردگی بهره برد. توضیح اینکه تراشیدن محصولات خوردگی از روی نمونه ها جهت بررسی ترکیب شیمیایی و وجود عناصر مخربی همچون کلراید قبل از به کارگیری روش های شیمیایی برای زدودن محصولات توصیه می شود. در ادامه کوپن با ترازوی دقیق وزن شده و کاهش وزن در اثر خوردگی محاسبه می گردد.

بدین ترتیب میتوان نرخ خوردگی را مطابق رابطه ذیل محاسبه تخمین زد:

$$\text{Corrosion Rate (CR)} = \frac{\text{Weight loss (g)} \times K}{\text{Alloy Density (g/cm}^2\text{)} \times \text{Exposed Area A} \times \text{Exposure Time (hr)}}$$

در این رابطه ثابت K و واحد سطح (A) مطابق جدول زیر می باشد:

ثابت ها در محاسبه نرخ خوردگی با استفاده از کاهش وزن

Desired Corrosion Rate Unit (CR)	Area Unit (A)	K-Factor
mils/year (mpy)	in ²	5.34×10^5
mils/year (mpy)	cm ²	3.45×10^6
millimeters/year (mmy)	cm ²	8.76×10^4

همچنین میتوان از مقادیر زیر برای تبدیل واحدهای نرخ خوردگی استفاده نمود

1mm/y = 39.4 mpy
1µm/y = 0.0394 mpy
1mpy = 0.0254 mm/y
1mpy = 0.001 in./y -inches per year

از کوپن های خوردگی به منظور بررسی خوردگی سیستم های مختلف، ارزیابی روش کنترل خوردگی به کار گرفته شده و امکان سنجی استفاده از متریال های مختلف در سیستم ها و محیط های مشخص بهره گرفته می شود. سرعت خوردگی زیاد در کوپن ها می تواند نشان دهنده نیاز سیستم به اقدام اصلاحی باشد. در صورتی که نرخ خوردگی پس از اجرای برنامه کنترل خوردگی کاهش یافت، می توان از آن به منظور تخمین تاثیر برنامه کنترل خوردگی بهره برد. کوپن های خوردگی را می توان از هر فلز تجاری در دسترسی ساخت. همچنین با طراحی هندسی مناسب می توان گونه های مختلف خوردگی را در حالت های مختلف بررسی نمود. گونه های خاصی از کوپن ها به صورت تجاری تولید شده اند که جهت بررسی خوردگی شیار و SCC استفاده می شوند. از برخی کوپن ها که زبرترند جهت بررسی خوردگی تاثیر یافته از میکروب ها استفاده می شود. برخی از انواع کوپن که سوارخ هایی با ابعاد مشخص دارند برای ارزیابی میزان رسوب دهی سیستم به صورت مقایسه ای استفاده می شود. در انتخاب کوپن ها می بایست توجه داشت که ترکیب شیمیایی کوپن ها می بایست حتی المقدور مشابه فلز لوله مورد بررسی باشد.

به طور کلی بیشترین تشابه سرعت خوردگی کوپن ها با نرخ خوردگی خط لوله در مواردی اتفاق می افتد که سیستم مورد بررسی به شکل تک فازی (مانند یک سیستم آبی) باشد. در سیستم های چند فازی اختلاف بین نرخ خوردگی کوپن ها و لوله مورد بررسی افزایش خواهد یافت.

برای درک بیشتر و تفسیر میزان نرخ خوردگی کوپنها، در ادامه جدول برگرفته از استاندارد (NACE-SP0775) ارائه شده است.

نرخ خوردگی مقایسه ای فولاد کربنی در صنعت نفت

	Average corrosion rate		Maximum pitting rate	
	mm/y *	mpy **	mm/y	Mpy
Low	< 0.025	< 1.0	< 0.13	< 5.0
Moderate	0.025 – 0.12	1.0 – 4.9	0.13 – 0.20	5.0 – 7.9
High	0.13 – 0.25	5.0 – 10	0.21 – 0.38	8.0 – 15
Severe	> 0.25	> 10	> 0.38	> 15

* mm/y: millimeters per year

** mpy: mils per year

نگهدارنده کوپن

با توجه به فشار سیستم مورد بررسی و امکان ایزوله نمودن آن از قسمت های دیگر گونه های متفاوتی از نگهدارنده های کوپن توسعه یافته اند. نوع اول که به صورت پلاگ در سیستم نصب می شود اغلب در مواردی استفاده می گردد که امکان ایزوله نمودن سیستم به وسیله یک بای پس وجود داشته باشد.

نگهدارنده های فشار پایین تحت عنوان Retractable شناخته می شوند و می توانند به صورت بر خط و بدون نیاز به خاموشی، نصب و یا بیرون آوردن کوپن را انجام دهند. این نگهدارنده ها برای فشارهای 150-1500 psi مناسب هستند و نسبت به سیستم های پر فشار ارزان قیمت ترند.

برای نصب نگهدارنده های فشار بالا نیاز به سیستم های دسترسی فشار بالا (HP) است. این نگهدارنده ها به طور معمول می توانند تا فشار 3600 psi به کار گرفته شوند و در انواع ساده و نردبانی مورد استفاده قرار می گیرند.



برخی از تجهیزات پایش خوردگی



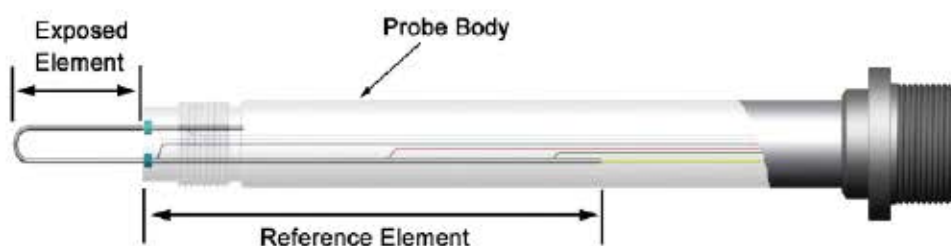
پروب‌های مقاومت الکتریکی (ER)

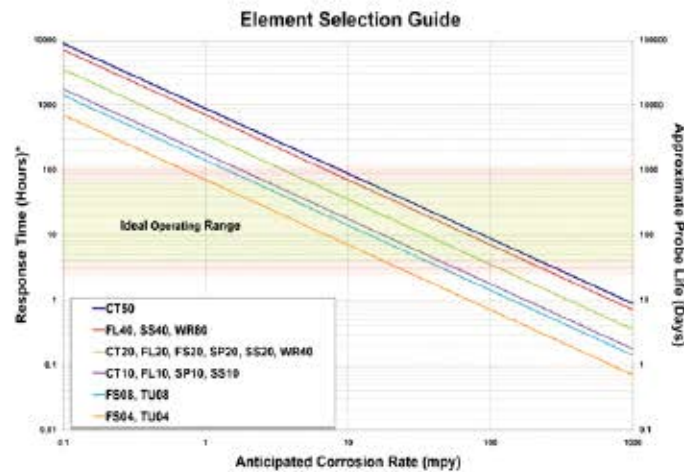
پروب‌های مقاومت الکتریکی (ER Probes) از جمله تجهیزات پایش خوردگی می‌باشند که به طور گسترده در صنایع نفت، گاز و صنایع شیمیایی به کار می‌رود و کارایی خود را در محیط‌های هادی و غیرهادی حفظ می‌کنند. بررسی نرخ خوردگی در پروب‌های مقاومت الکتریکی به صورت برخط (Online) امکان پذیر است. همچنین برخلاف کوپن‌ها که جهت بررسی خوردگی نیاز به خارج شدن از سیال مورد بررسی دارند، این پروب‌ها در حین سرویس دهی نیز امکان بررسی خوردگی را فراهم می‌کنند. اصول کلی این پروب‌ها براساس تغییر مقاومت المنت‌های پروب در محیط خورنده است. با خوردگی و تغییر سطح مقطع رسانای المنت، مقاومت مدار پروب نیز تغییر می‌کند و به وسیله دستگاه‌های ثبت داده این تغییرات قرائت می‌گردد. تاثیر دما بر حسگر عمدتاً توسط یک حسگر کمکی در محاسبات نرخ خوردگی اعمال می‌گردد. این پروب‌ها در انواع مختلف با شکل هندسی خاص، ضخامت‌های متفاوت و در ترکیب‌های آلیاژی مختلف وجود دارند.

سازندگان مطرح در دنیا، برای حسگرهای مختلف تولیدی خود جداولی را منتشر می‌کنند که توجه به موارد ثبت شده در آن می‌تواند به عنوان یک راهنمای مناسب در انتخاب حسگرها مورد استفاده قرار گیرد. برای مثال راهنمای شرکت Metal Samples در تصویر زیر مشاهده می‌شود. با توجه به تولید حسگرها در اشکال هندسی با ضخامت متفاوت، حساسیت و سرعت پاسخگویی هر حسگر و در نتیجه طول عمر آن در سیستم‌های مختلف تفاوت دارد. بین حساسیت و عمر پروب می‌بایست یک توازن برقرار نمود. یک پروب می‌بایست به اندازه کافی حساس باشد تا بتواند تغییرات نرخ خوردگی را در هنگام تغییرات ناگهانی فرآیند تشخیص دهد. سیستم‌ها عمدتاً دقتی در حدود ۰/۱ درصد نسبت به عمر پروب دارند ولیکن طبق توصیه استاندارد ASTM G96 به دلیل مواردی نظیر نویز، تنها تغییرات بیش از یک درصد عمر پروب برای محاسبه نرخ خوردگی و یا تشخیص یک تغییر ناگهانی به کار گرفته شود. زمانی که نیاز به ثبت نرخ خوردگی یک سیستم پایدار وجود دارد می‌بایست توجه بیشتری به طول عمر یک پروب نمود. برای مثال سپری شدن تقریباً ۰/۱٪ از عمر یک پروب در هر دو روز برای یک کاربرد شش ماهه مناسب خواهد بود.

زمانی که هدف، تعیین نرخ خوردگی در تغییرات ناگهانی باشد، توجه به حساسیت اهمیت بیشتری نسبت به عمر پروب دارد. حساسیت در این شرایط می‌بایست به گونه‌ای انتخاب شود که یک درصد از عمر پروب در هنگام تغییرات ناگهانی قبل از سپری شدن زمان مجاز تشخیص داده شود.

المانی که جهت جبران تاثیر دما به کار گرفته می‌شود





* Response Time is the minimum time required for a 0.4% (4 probe division) change

دیاگرام راهنمای انتخاب حسگرها

به طور کلی زمان مورد نیاز جهت تعویض پروب از فرمول زیر پیروی می کند:

$$T = L \cdot 365 / (R)$$

که:

- L عمر موثر به صورت هزارم اینچ
- R نرخ خوردگی مورد انتظار به صورت هزارم اینچ در سال
- T دوره تعویض پروب به صورت روز

ثبت و انتقال داده می تواند توسط تجهیزات قابل حمل و یا دائمی انجام پذیرد. دقت اندازه گیری در این تجهیزات متفاوت بوده و لذا در مدل های مختلفی عرضه می شوند.

یکی از کاربردهای متداول پروب های ER پایش خوردگی نرخ خوردگی کف مخازن ذخیره و ارزیابی تاثیر ممانعت کننده های فاز بخار (VCI) در کنترل خوردگی این مخازن است. استفاده از این ممانعت کننده ها در کنار یک سیستم آب بندی مانند پوشش های ویسکوالاستیک و یک سیستم پایش خوردگی بسیار متداول است. بخار شدن ممانعت کننده به تدریج رخ داده و پس از واکنش با کف مخزن نرخ خوردگی را کاهش می دهد.



بهره گیری از پروب های ER در پایش نرخ خوردگی کف مخازن

دانسیتة جریان خوردگی برای پلاریزیشن اندک الکترودها (عمدتا تا ۲۰ میلی ولت) از رابطه ذیل محاسبه می گردد:

$$i_{corr} = \frac{B}{R_p}$$

$$R = \frac{b_a \times b_c}{2.303 \times (b_a + b_c)}$$

که در این روابط:

B ترکیبی از شیب های تافل کاتدیک (b_c) و آندیک (b_a)
 R_p مقاومت پلاریزاسیون بر حسب ohm.cm^2

دانسیتة جریان خوردگی را در صورت دانستن وزن معادل (EW) و دانسیتة فلزی که خورده می شود می توان به کمک قانون فارادی به سرعت خوردگی تبدیل نمود:

$$\text{Corrosion Rate} = K \times \frac{i_{corr}}{\rho} \times EW$$

که در این رابطه K یک ثابت است. وزن معادل یک عنصر عبارتست از وزن مولکولی آن تقسیم بر ظرفیت واکنش (که همان تعداد الکترونی است که در واکنش الکتروشیمیایی شرکت می کند). برای به دست آوردن ظرفیت معادل آلیاژها که متناسب با عناصر موجود در آلیاژ و ظرفیت آنهاست می بایست فرض نمود که فرآیند اکسیداسیون، فرآیندی یکنواخت است و به صورت انتخابی انجام نمی شود، به عبارت دیگر رفتار خوردگی هر عنصر در آلیاژ مانند رفتار عنصر خالص است. می بایست در نظر داشت که گاهی این فرضیات صحیح نیست. وزن معادل یک آلیاژ از رابطه ذیل محاسبه می گردد:

$$\frac{1}{\sum_i \frac{m_i n_i \times f_i}{W_i}}$$

که در این رابطه:

Fi درصد وزنی عنصر ام در آلیاژ

Wi وزن اتمی عنصر ام در آلیاژ

ni ظرفیت عنصر ام در آلیاژ در شرایطی که خورده می شود.

m تعداد عناصر موجود در آلیاژ (به صورت معمول عناصری با درصد بیش از یک درصد وزنی در نظر گرفته می شوند).

در جدول ذیل مقادیر متفاوت K ملاحظه می شود.

مقادیر متفاوت K که در رابطه فارادی مورد استفاده قرار می گیرد

A				
Penetration Rate Unit (CR)	i_{corr} Unit	ρ Unit	K_1	Units of K_1 ^A
mpy	$\mu\text{A/cm}^2$	g/cm^3	0.1288	mpy g/ $\mu\text{A cm}$
mm/yr ^B	A/m^2 ^B	kg/m^3 ^B	327.2	mm kg/A m y
mm/yr ^B	$\mu\text{A/cm}^2$	g/cm^3	3.27×10^{-3}	mm g/ $\mu\text{A cm y}$

B			
Mass Loss Rate Unit	i_{corr} Unit	K_2	Units of K_2 ^A
$\text{g/m}^2\text{d}$ ^B	A/m^2 ^B	0.8953	g/Ad
$\text{mg/dm}^2\text{d}$ (mdd)	$\mu\text{A/cm}^2$	0.0895	$\text{mg cm}^2/\mu\text{A dm}^2\text{d}$
$\text{mg/dm}^2\text{d}$ (mdd)	A/m^2 ^B	8.953×10^{-3}	$\text{mg m}^2/\text{A dm}^2\text{d}$
^A EW is assumed to be dimensionless			
^B SI unit			

برای مثال ظرفیت معادل برای فولاد ضد زنگ AISI 316 در اسید سولفوریک در پتانسیل خوردگی $+300 \text{ mV}$ با فرض ترکیب ذیل محاسبه می گردد.

Cr=16-18% $\Rightarrow$ 17% (مقدار میانی)

Ni=10-14% $\Rightarrow$ 12% (مقدار میانی)

Mo=2-3% $\Rightarrow$ 2.5% (مقدار میانی)

Iron=balanced=68.5% (از باقی عناصر آلیاژی صرف نظر می شود)

ظرفیت فلزات در واکنش مطابق ذیل در نظر گرفته می شود:

Cr= +3

Ni= +2

Mo= +3

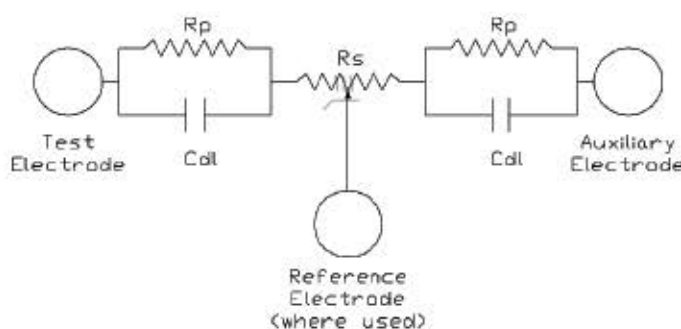
Fe=+2

لذا ظرفیت معادل طبق رابطه ذیل محاسبه می گردد. برای ساده سازی فرض می شود که ۱۰۰ گرم از آلیاژ حل می شود:

$$Q = \frac{17}{51.996} \times 3 + \frac{12}{58.71} \times 2 + \frac{2.5}{95.94} \times 3 + \frac{68.5}{55.847} \times 2 = 3.921 \text{ g}$$

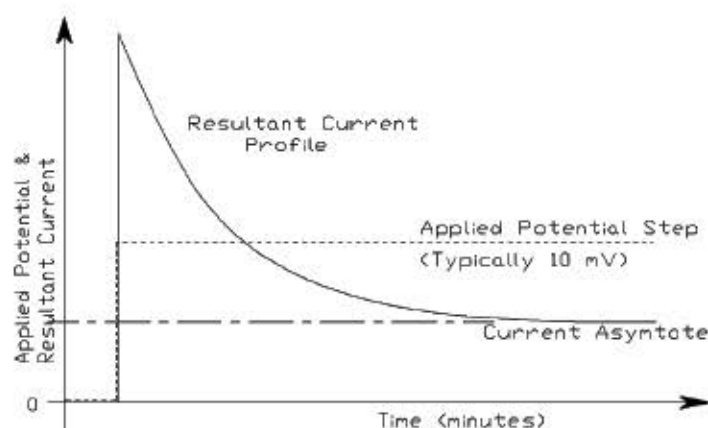
$$EW = \frac{100}{3.921} = 25.5$$

برای تفسیر بهتر نتایج حاصل از اندازه گیری های پروب های، LPR توجه به مدار معادل می تواند بسیار مفید باشد. این مدار در شکل ذیل ملاحظه می شود. پروب های LPR در دو نوع دو الکتروود و سه الکتروود ارائه می شوند و الکتروود سوم که همان الکتروود مرجع است در برخی از پروب ها مورد استفاده قرار می گیرد.



مدار معادل یک پروب LPR

در عمل وجود اثر خازنی لایه دوگانه اندازه گیری مقاومت پلاریزاسیون را مشکل می نماید. وجود لایه دوگانه موجب می شود که جریان بعد از اعمال اختلاف پتانسیل جهت پلاریزاسیون با روندی مشابه با شکل ذیل کاهش یابد. هر فلزی در تماس با الکترولیت اطراف خود ظرفیت خازنی مشخصه ای دارد که نشان دهنده مدت زمان لازم جهت اندازه گیری صحیح i_{corr} و نرخ خوردگی است. زمانی که برای اندازه گیری لازم است بسته به فلز و الکترولیت اطراف آن می تواند از چند ثانیه تا چندین دقیقه به طول بیانجامد. انتخاب زمان اندازه گیری کم می تواند منجر به قرائت جریان بسیار بیشتر از جریان خوردگی حقیقی گردد.



منحنی افت جریان LPR با گذشت زمان

سیستم‌های دسترسی (Access Fitting)

برای نصب سیستم‌های پایش خوردگی نیاز است تا دسترسی لازم به سیال مورد بررسی امکان پذیر گردد. از این رو تجهیزات خاصی برای گستره‌های مختلف دما و فشاری گسترش یافته‌اند. متداول‌ترین سیستم‌های مورد استفاده در صنعت نفت و گاز در ادامه توضیح داده شده‌اند.

سیستم‌های دسترسی فشار بالا

این تجهیزات امکان دسترسی به داخل خط لوله را بدون نیاز به قطع جریان سیال تا فشار کاری ۳۶۰۰ psi فراهم می‌نمایند. این سیستم‌ها از پنج قسمت اصلی تشکیل شده‌اند:

- بدنه فیتینگ دسترسی
- مجموعه پلاگ
- درپوش
- دریچه
- ابزار نصب (Retrieval tool)

بدنه فیتینگ دسترسی در دو صورت T و غیر T تولید می‌شوند. نوع غیر T در کاربردهایی مانند نگهدارنده‌های کوپن و پروب استفاده می‌شود. بدنه فیتینگ‌های از نوع T، زمانی به کار می‌روند که دسترسی به سیال مورد نیاز است. برای مثال در سیستم‌های تزریق مواد شیمیایی، نمونه برداری و پایش ماسه (ذرات) از بدنه‌های نوع T استفاده می‌شود. در صورت نیاز پورت جانبی را می‌توان به کمک یک پلاگ بست تا برای نصب سایر تجهیزات پایش خوردگی مانند پراب‌های ER قابل استفاده باشد.

پلاگ ها در دو نوع توپر (Solid) و توخالی (Hollow) تولید می شوند. از نوع توپر برای نصب هولدرهای کوپن، سیستم های تزریق و نمونه برداری، پروب های پایش ماسه (ذرات) و بایوپراب ها استفاده می شود.



اقلام سیستم های دسترسی فشار بالا



از Retrieval tool و Service valve برای نصب و جداسازی پروب ها تا فشار ۳۶۰۰ psi استفاده می شود. این وسیله با انواع سیستم های دسترسی فشار بالا از جمله سیستم های MH و HP سازگار است.

از نوع توخالی به همراه پروب های ER، LPR و هیدروژن استفاده می شود. این پلاگ ها امکان اتصال الکتریکی به پروب را فراهم می کند.



پلاگ توخالی

سیستم های دسترسی هیدرولیک

سیستم های دسترسی هیدرولیک امکان نصب و جداسازی تجهیزات پایش خوردگی را بدون نیاز به قطع جریان سیال تا فشار ۶۰۰۰psi فراهم می کنند.



سیستم دسترسی فشار بالا



سیستم دسترسی هیدرولیک

برخی از مزایای این سیستم ها نسبت به سیستم های معمولی عبارت اند از :

- عدم وجود رزوه های داخلی و در نتیجه عدم ساییدگی قطعات و حذف مشکلات ناشی از براده های فلزی
- سیستم سبک تر و کوتاه تر (با احتساب retriever tool)
- افزایش ایمنی به دلیل وجود نداشتن قطعه متحرک خارجی و نبود حرکات تلسکوپی
- سادگی نصب تجهیزات
- سیستم های هیدرولیک
- افزایش ایمنی به دلیل وجود نداشتن قطعه متحرک خارجی و نبود حرکات تلسکوپی
- سادگی نصب تجهیزات
- سیستم های هیدرولیک

سیستم های دسترسی نوع MH™

در سیستم دسترسی نوع MH در مقایسه با نوع معمولی HP بهینه سازی هایی از جمله موارد زیر صورت گرفته است:

- با تعبیه شیارهای مناسب ریسک ساییدگی قطعات کاهش یافته است.
- نوع خاص رزوه ها اجازه تنظیم جهت کوپن های کاهش وزن را فراهم نموده است.
- به دلیل اتصال مناسب فلز با فلز از نشت مواد به شکل مناسبی جلوگیری می شود.



Left: MH Solid Plug
Right: MH Hollow Plug



Alignment groove
Alignment key



Alignment key in groove

سیستم های دسترسی نوع MHTM

سیستم های تزریقی و نمونه برداری

سیستم های تزریق و نمونه برداری از اجزای حیاتی یک برنامه کنترل خوردگی هستند و به شکل وسیعی در صنایع مختلف نفت و گاز، صنایع شیمیایی و صنایع مرتبط با آب استفاده می شوند. از این سیستم ها برای تزریق گستره وسیعی از مواد شیمیایی همچون ممانعت کننده ها، مواد کشنده باکتری، گلیکول، منواتیلن و سایر افزودنی ها استفاده می شود.

سیستم های ثبت و انتقال داده

برای ثبت و انتقال داده به دست آمده از پروب های پایش خوردگی از تجهیزات متنوعی به صورت پرتابل و یا نصب شده در محل استفاده می شود.

این تجهیزات در سه کلاس متفاوت دسته بندی می شوند:

- دیتالاگرهای قابل حمل
- دیتالاگرهای نصب شده در محل
- ترنسмитرهای نصب شده در محل



سیستم های ثبت و انتقال داده (Data logger).



تهران، خیابان خالد اسلامبولی، خیابان چهاردهم، پلاک سه، طبقه چهار
کد پستی ۱۵۱۱۷۶۸۱۱۵ |
۸۸۷۱۵۸۵۶ ☎ ۸۸۷۰۵۵۵۶-۵۸ 📞
info@payeshco.com ✉ www.payeshco.com 🌐