



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۲۹۹۴-۱

تجدیدنظر اول

۱۳۹۵

INSO
12994-1
1st. Revision

2016

صنایع نفت، پتروشیمی و گاز طبیعی -
حفاظت کاتدی سامانه‌های خط لوله انتقال -
قسمت ۱: خطوط لوله خشکی

Petroleum, petrochemical and natural gas
industries - Cathodic protection of pipeline systems
Part 1: On-land pipelines

ICS:75.200

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹ تهران - ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.org.ir

وبگاه: <http://www.isiri.org>

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No.1294 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.org.ir

Website: <http://www.isiri.org>

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک ماده قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، تنه‌مراجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی و نهادها و سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی برای نظرخواهی از مراجع ذینفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذیصلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که مؤسسه استاندارد تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد. سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین‌المللی برق و الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون به منظور حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردها را با تصویب شورای عالی استاندارد اجباری نماید. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استانداردها کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه‌ها و واسنجهای (کالیبره‌کنندگان) وسایل سنجش، سازمان استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آنها اعطا و بر عملکرد آنها نظارت می‌کند. ترویج سیستم بین‌المللی یکاها، واسنجهی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون به منظور حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردها را با تصویب شورای عالی استاندارد اجباری نماید. مؤسسه می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استانداردها کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه‌ها و واسنجهای (کالیبره‌کنندگان) وسایل سنجش، سازمان استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آنها اعطا و بر عملکرد آنها نظارت می‌کند. ترویج سیستم بین‌المللی یکاها، واسنجهی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1-International Organization for Standardization

2-International Electro technical Commission

3-International Organization for Legal Metrology (Organization International de Metrologie Legal)

4-Contact Point

5-Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

" صنایع نفت، پتروشیمی و گاز طبیعی - حفاظت کاتدی سامانه‌های خط لوله انتقال -

قسمت ۱: خطوط لوله خشکی "

(تجدیدنظر اول)

رئیس:

حشمت دهکردی، ابراهیم
(دکتری مهندسی متالورژی)

دبیر:

حاتمی منفرد، علیرضا
(کارشناسی ارشد مهندسی خوردگی)

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

آخوند نسب، سعید
(کارشناسی ارشد مهندسی خوردگی)

احمدی، نرگس خاتون
(کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی)

ایمانیان نجف آبادی، رضا
(کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی)

تازیکه، حمید
(کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی)

احسان خردمند
(کارشناسی ارشد مهندسی خوردگی)

دانشور، عاطفه
(کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی)

سمت و/یا نمایندگی

سازمان انرژی اتمی ایران

شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران

شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران

شرکت سنجش کیفیت پارس

شرکت سنجش کیفیت پارس

شرکت فرایند کنترل

شرکت گاز استان خراسان رضوی

انجمن خوردگی ایران

شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران

زارع پور، مجید
(کارشناسی ارشد مهندسی خوردگی)

انجمن خوردگی ایران

سخنور، نجمه
(کارشناسی امور اداری)

دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان

ظهرابی، سید مهدی
(کارشناسی ارشد مهندسی خوردگی)

انجمن خوردگی ایران

عظیم زاده، نجمه
(کارشناسی ارشد مهندسی مواد)

شرکت نفت و گاز پارس

ماسوری، داریوش
(کارشناسی ارشد مهندسی خوردگی)

شرکت نفت و گاز پارس

نجمی، محمد
(کارشناسی ارشد مهندسی خوردگی)

شرکت ملی مهندسی و ساختمان نفت ایران

نوروزی، محسن
(کارشناسی ارشد مهندسی ایمنی و بازرسی فنی)

شرکت نفت و گاز پارس

نیک روز، بهاءالدین
(کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی)

ویراستار:

شرکت سنجش کیفیت پارس

ایمانیان نجف آبادی، رضا
(کارشناس ارشد مهندسی متالورژی)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ل	پیشگفتار
م	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۱۱	۴ نمادها و اختصارات
۱۱	۴-۱ نمادها
۱۳	۴-۲ اختصارات
۱۴	۵ شایستگی کارکنان حفاظت کاتدی
۱۴	۶ معیار حفاظت کاتدی
۱۴	۶-۱ کلیات
۱۵	۶-۲ پتانسیل های حفاظت
۱۷	۶-۳ روشهای جایگزین
۱۷	۶-۳-۱ تغییر پتانسیل کاتدی ۱۰۰ میلی ولت
۱۷	۶-۳-۲ سایر روشها
۱۷	۶-۴ معیار در هنگام حضور جریان متناوب
۱۸	۷ پیش نیازها برای استفاده از حفاظت کاتدی
۱۸	۷-۱ کلیات
۱۸	۷-۲ پیوستگی الکتریکی
۱۹	۷-۳ جداسازی الکتریکی
۱۹	۷-۳-۱ کلیات

۱۹	۲-۳-۷ مکان‌ها
۲۰	۳-۳-۷ اتصالات عایق
۲۲	۴-۳-۷ خطرات خوردگی داخلی در اتصالات عایق
۲۳	۵-۳-۷ اتصالات بین سازه‌های فلزی
۲۳	۶-۳-۷ سامانه اتصال الکتریکی به زمین
۲۵	۴-۷ حفاظت در برابر صاعقه و ولتاژ اضافی
۲۵	۵-۷ پوشش
۲۵	۱-۵-۷ کلیات
۲۶	۲-۵-۷ پوشش‌های اعمال شده در کارخانه
۲۶	۳-۵-۷ پوشش‌های سرجوش
۲۶	۴-۵-۷ پوشش برای خطوط لوله بدون کانال
۲۷	۵-۵-۷ فصل مشترک هوا به الکترولیت
۲۷	۶-۵-۷ سازگاری پوشش‌ها و نوارها با حفاظت کاتدی
۲۷	۷-۵-۷ عایق حرارتی
۲۸	۸-۵-۷ پوشش وزنی بتنی تقویت شده
۲۸	۶-۷ انتخاب ماده پشت بند در کانال لوله
۲۹	۷-۷ غلاف‌های مدفون برای خطوط لوله
۲۹	۱-۷-۷ کلیات
۲۹	۲-۷-۷ غلاف‌هایی که سپر الکتریکی جریان حفاظت کاتدی هستند
۳۰	۳-۷-۷ غلاف‌هایی که جریان حفاظت کاتدی را عبور می‌دهند
۳۰	۸-۷ تجهیزات برای کاهش تداخل ناشی از جریان متناوب
۳۰	۹-۷ تجهیزات برای کاهش تداخل ناشی از جریان مستقیم
۳۱	۸ الزامات پایه برای طراحی حفاظت کاتدی
۳۱	۱-۸ کلیات

۳۱	۲-۸ اطلاعات پایه برای طراحی های حفاظت کاتدی
۳۲	۳-۸ مطالب گزارش طراحی حفاظت کاتدی
۳۳	۴-۸ جریان مورد نیاز حفاظت کاتدی
۳۳	۱-۴-۸ محاسبه جریان کلی تئوری مورد نیاز
۳۳	۲-۴-۸ جریان مورد نیاز بر اساس فاکتور تخریب پوشش
۳۵	۳-۴-۸ جریان مورد نیاز بر اساس مقادیر چگالی جریان برای خطوط لوله پوشش داده شده
۳۶	۵-۸ تجهیزات حفاظت کاتدی
۳۶	۱-۵-۸ کابل های حفاظت کاتدی
۳۸	۲-۵-۸ اتصال کابل
۳۹	۳-۵-۸ احتیاط هایی در خصوص جعبه های توزیع و ایستگاه های آزمون
۴۰	۶-۸ حفاظت موقت
۴۱	۷-۸ مورد خاص خطوط لوله موجود
۴۱	۱-۷-۸ کلیات
۴۱	۲-۷-۸ خطوط لوله موازی
۴۲	۳-۷-۸ موازی بودن یا تقاطع با سامانه های منبع جریان متناوب
۴۲	۸-۸ روشهای نصب بدون کانال
۴۳	۹ ایستگاه های جریان اعمالی
۴۳	۱-۹ کلیات
۴۳	۲-۹ منبع تغذیه
۴۴	۳-۹ بسترهای آندی
۴۴	۱-۳-۹ کلیات
۴۵	۲-۳-۹ بسترهای آندی چاه عمیق
۴۶	۳-۳-۹ بسترهای آندی سطحی
۴۷	۴-۳-۹ آندهای جریان اعمالی و پشته پرکن رسانا

۴۸	۴-۹ کنترل خروجی
۴۸	۱-۴-۹ کلیات
۴۹	۲-۴-۹ توزیع جریان در چند خط لوله
۵۰	۳-۴-۹ کنترل پتانسیل
۵۰	۱۰ سامانه های آند گالوانیک
۵۰	۱-۱۰ کلیات
۵۱	۲-۱۰ الزامات طراحی
۵۱	۳-۱۰ آندهای روی
۵۲	۴-۱۰ آندهای منیزیم
۵۴	۵-۱۰ طراحی سامانه آندی
۵۶	۶-۱۰ پشته پرکن آندی
۵۶	۷-۱۰ کابل ها و اتصالات کابل
۵۶	۸-۱۰ نصب آند
۵۷	۱۱ دستگاه های پایش
۵۷	۱-۱۱ کلیات
۵۷	۲-۱۱ موقعیت ایستگاههای آزمون
۵۸	۳-۱۱ شرح ایستگاه های آزمون
۵۸	۴-۱۱ استفاده از پراب ها و نمونه شاهد
۵۹	۵-۱۱ اتصال به سایر خطوط لوله
۵۹	۶-۱۱ دستگاه های آزمون در تقاطع های جداره دار
۵۹	۷-۱۱ دستگاه های آزمون در اتصال های عایق
۵۹	۸-۱۱ ایستگاه های آزمون پایش جریان خطی
۵۹	۹-۱۱ دستگاه های آزمون نقطه تخلیه الکتریکی
۶۰	۱۰-۱۱ وسایل پایش متفرقه

۶۰	۱۲ راه اندازی
۶۰	۱-۱۲ کلیات
۶۰	۲-۱۲ آزمونهای اولیه
۶۲	۳-۱۲ شروع به کار
۶۲	۱-۳-۱۲ ایستگاه های جریان اعمالی
۶۲	۲-۳-۱۲ آندهای گالوانیک
۶۲	۳-۳-۱۲ ایستگاه های تخلیه الکتریکی
۶۳	۴-۳-۱۲ ایستگاه آزمون
۶۳	۴-۱۲ تأیید کارآیی حفاظت کاتدی
۶۳	۱-۴-۱۲ کلیات
۶۳	۲-۴-۱۲ اندازه گیری پتانسیل ناشی از جریان مستقیم و ولتاژ ناشی از جریان متناوب
۶۴	۳-۴-۱۲ اندازه گیری های جریان
۶۴	۴-۴-۱۲ اصلاحات
۶۵	۵-۱۲ گزارش راه اندازی
۶۵	۱-۵-۱۲ مستندسازی نصب
۶۵	۲-۵-۱۲ اندازه گیری های راه اندازی
۶۶	۱۳ پایش، بازرسی، و نگهداری
۶۶	۱-۱۳ کلیات
۶۷	۲-۱۳ اجرای بازرسی
۶۷	۳-۱۳ تناوب بازرسی
۷۰	۴-۱۳ پایش از راه دور
۷۰	۵-۱۳ ارزیابی های تخصصی
۷۱	۶-۱۳ طرح پایش
۷۱	۷-۱۳ تجهیزات پایش

۷۲	۸-۱۳ نگهداری و تعمیر
۷۲	۱۴ مستند سازی
۷۲	۱-۱۴ مستند سازی طراحی
۷۲	۱-۱-۱۴ کلیات
۷۳	۲-۱-۱۴ جزئیات ساخت و رویه های نصب
۷۴	۲-۱۴ مستندسازی راه اندازی
۷۴	۳-۱۴ مستندسازی عملیات و نگهداری
۷۴	۱-۳-۱۴ کلیات
۷۵	۲-۳-۱۴ داده های بازرسی و پایش
۷۵	۳-۳-۱۴ سوابق متفرقه
۷۶	پیوست الف (الزامی) اندازه گیری های حفاظت کاتدی
۸۸	پیوست ب (الزامی) تداخل الکتریکی
۹۳	پیوست پ (آگاهی دهنده) تشخیص خطای سامانه های اعمال جریان در طول بهره برداری
۹۵	پیوست ت (آگاهی دهنده) تشریح پیمایشهای تخصصی
۱۰۴	ضمیمه ث (آگاهی دهنده) میرایی حفاظت
۱۰۷	ضمیمه ج (آگاهی دهنده) تست های الکتریکی برای اتصالات عایقی قبل از نصب
۱۰۹	کتابنامه

پیش‌گفتار

استاندارد " صنایع نفت، پتروشیمی و گاز طبیعی - حفاظت کاتدی سامانه‌های خط لوله انتقال - قسمت ۱: خطوط لوله خشکی" نخستین بار در سال ۱۳۸۹ تدوین شد. این استاندارد براساس پیشنهادهای رسیده و بررسی توسط سازمان ملی استاندارد ایران و تأیید کمیسیون‌های مربوط برای اولین بار مورد تجدیدنظر قرار گرفت و در هزار و سیصد و هشتاد و نهمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مکانیک و فلزشناسی مورخ ۹۵/۱/۲۱ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد. منبع و مأخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته است:

ISO 15589-1:2015 Petroleum and natural gas industries-Cathodic protection of Pipeline transportation systems- Part 1: On-land pipelines

مقدمه

۱- ایزو (سازمان بین المللی استاندارد سازی)^۱ یک فدراسیون جهانی متشکل از سازمانهای استاندارد ملی (سازمانهای عضو ایزو) است. بطور معمول فعالیت آماده سازی استانداردهای بین المللی از طریق کمیته های فنی ایزو انجام می شود. هر سازمان عضو علاقمند به یک موضوع، که یک کمیته فنی برای آن تاسیس شده، حق داشتن نماینده در آن کمیته را دارد. سازمانهای بین المللی، دولتی و غیر دولتی، در ارتباط با ایزو، نیز در این فعالیت مشارکت می کنند. ایزو در تمام مسائل استاندارد سازی الکترو تکنیکی همکاری نزدیکی با کمیسیون بین المللی الکترو تکنیک^۲ (IEC) دارد.

پیش نویس استانداردهای بین المللی بر اساس قوانین ارائه شده در قسمت ۲ رویه های ISO/IEC، تهیه می شوند.

مهمترین وظیفه کمیته های فنی آماده سازی استاندارد های بین المللی است. پیش نویس استانداردهای بین المللی توسط کمیته های فنی جهت رای گیری به سازمانهای عضو ارائه می شود. انتشار بعنوان یک استاندارد بین المللی نیازمند تصویب دست کم ۷۵ درصد سازمانهای عضو رای دهنده است.

باید توجه داشت که برخی از اجزاء این مستند ممکن است تحت حقوق انحصاری باشد. ایزو نباید مسئول تشخیص هر یک یا تمام این قبیل حقوق انحصاری باشد.

استاندارد ISO 15589-1 توسط کمیته فنی ISO/TC 67، مواد، تجهیزات و سازه های دریایی برای صنایع نفت، پتروشیمی و گاز طبیعی، کمیته فرعی 2 SC، سیستم های خط لوله انتقال، آماده شده است. ISO 15589-1 تحت عنوان کلی صنایع نفت و گاز طبیعی- حفاظت کاتدی سیستمهای خط لوله انتقال، متشکل از قسمتهای زیر است:

- قسمت ۱: خطوط لوله خشکی

- قسمت ۲: خطوط لوله دریا

درخواست های رسمی جهت تفسیر (استعلام فنی) هر جنبه از این بخش از استاندارد ISO 15589 بایستی از طریق موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مستقیماً به دبیرخانه کمیته متناظر ISO/TC67/SC2 ارجاع داده شود.

1- The International Organization for Standardization (ISO)

2- International Electrotechnical Commission (IEC)

۲- حفاظت کاتدی خطوط لوله به وسیله اعمال جریان مستقیم کافی به سطح خارجی لوله حاصل می گردد، بطوری که پتانسیل فولاد نسبت به الکترولیت (فصل مشترک فولاد- الکترولیت) تا مقداری پایین می آید که در آن خوردگی خارجی به یک نرخ ناچیز کاهش می یابد.

حفاظت کاتدی معمولاً همراه با یک سیستم پوشش محافظ مناسب به منظور حفاظت سطح خارجی خطوط لوله فولادی در مقابل خوردگی، استفاده می شود.

کاربران این استاندارد باید آگاه باشند که، ممکن است الزامات بیشتر یا متفاوتی برای کاربردهای خاص مورد نیاز باشد. این استاندارد قصد ندارد مانع استفاده از سایر تجهیزات و راه حل های مهندسی برای کاربردهای خاص شود. این مورد بویژه جایی که نوآوری یا تکنولوژی در حال توسعه ای وجود داشته باشد، موضوعیت دارد. ضروری است هر کجا که جایگزینی پیشنهاد شد، کلیه انحرافات از این استاندارد شناسایی و مستند شود.

صنایع نفت، پتروشیمی و گاز طبیعی - حفاظت کاتدی سامانه‌های خط لوله انتقال - قسمت ۱: خطوط لوله خشکی

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین الزامات و ارائه توصیه‌هایی برای پیمایش‌های قبل از نصب، طراحی، مواد، تجهیزات، نصب، راه اندازی، بهره برداری، بازرسی و نگهداری سیستمهای حفاظت کاتدی خطوط لوله خشکی، همان‌گونه که در استانداردهای ISO 13623 یا EN 14161 برای صنایع نفت، پتروشیمی و گاز طبیعی تعریف شده و در استانداردهای EN 1594 یا EN 12007-1 و EN 12007-3 برای صنایع تامین گاز در اروپا مورد استفاده قرار گرفته، می‌باشد.

تمامی محتوای این استاندارد برای سیستم‌های لوله کشی و خط لوله که در سایر صنایع و برای انتقال سیال‌های دیگر مانند گازها، آب‌ها یا دوغاب‌های صنعتی مورد استفاده می‌گیرند، کاربرد دارد.

این استاندارد برای خطوط لوله خشکی مدفون در خاک، قسمت ورود به خشکی خطوط لوله دریایی که توسط تاسیسات حفاظت کاتدی ساحلی محافظت می‌شود و قسمت مغروق خط لوله ساحلی مانند تقاطع‌ها با رودخانه و دریاچه به کار برده شود.

این استاندارد الزامات مورد نیاز برای برای خطوط لوله از جنس فولاد کربنی، فولاد زنگ نزن، چدن، فولاد گالوانیزه یا مس را مشخص می‌کند. اگر خط لوله از جنس مواد دیگر مورد استفاده قرار گیرد، معیار برای اعمال با مسئولیت بهره بردار خط لوله مشخص می‌شود.

این استاندارد برای خطوط لوله ساخته شده با بتن تقویت شده کاربرد ندارد و برای آن می‌توان استاندارد EN 12696 را به کار برد.

این استاندارد برای به روز رسانی‌ها، اصلاحات و تعمیرات سیستمهای خط لوله اجرا شده نیز قابل اجرا می‌باشد. **یادآوری:** گاهی شرایط خاصی وجود دارد که در آن حفاظت کاتدی غیر موثر یا فقط اندکی موثر است. این شرایط می‌تواند شامل پدیده سپر الکتریکی شدن (مانند پوششهای جدا شده، پوششهای عایق حرارت، زمین سنگی، ...) و آلودگی‌های غیر معمول در الکترولیت باشد.

۲ مراجع الزامی

مدارک زیر، به طور کامل یا قسمتهایی از آن، در این استاندارد ملی به صورت الزامی موردارجاع قرار گرفته‌اند و کاربرد آنها ضروریست. در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و

تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آنها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه های بعدی آنها مورد نظر است.

ISO 8044, Corrosion of metals and alloys — Basic terms and definitions

ISO 10012, Measurement management systems — Requirements for measurement processes and measuring equipment

یادآوری: استاندارد ملی شماره ۱۰۰۱۲ سال ۱۳۸۶، سیستمهای مدیریت اندازه گیری - الزامات فرآیند های اندازه گیری و تجهیزات اندازه گیری، با استفاده از استاندارد ISO10012:2003 تدوین شده است.

ISO 13623, Petroleum and natural gas industries — Pipeline transportation systems

ISO 13847, Petroleum and natural gas industries — Pipeline transportation systems — Welding of pipelines

ISO 21809 (all parts), Petroleum and natural gas industries — External coatings for buried or submerged pipelines used in pipeline transportation systems

IEC 60079-10-1, Explosive atmospheres — Part 10-1: Classification of areas — Explosive gas atmospheres

یادآوری: استاندارد ملی شماره ۱۰-۵۵۰۵ سال ۱۳۸۱، وسایل الکتریکی برای محیط های گازی انفجار پذیر- قسمت دهم: طبقه بندی مناطق خطرناک، با استفاده از استاندارد IEC60079:1990 تدوین شده است.

IEC 60529, Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)

یادآوری: استاندارد ملی شماره ۲۸۶۸ سال ۱۳۸۶، درجات حفاظت تامین شده توسط محفظه ها، با استفاده از استاندارد IEC60529:2001 تدوین شده است.

EN 1594, Gas infrastructure — Pipelines for maximum operating pressure over 16 bar — Functional requirements

EN 12007-3, Gas supply systems — Pipelines for maximum operating pressure up to and including 16 bar — Part 3: Specific functional recommendations for steel

EN 12496, Galvanic anodes for cathodic protection in seawater and saline mud

EN 14161 Petroleum and natural gas industries — Pipeline transportation systems (ISO 13623:2009 modified)

EN 50164-3, Lightning Protection Components (LPC) — Part 3: Requirements for isolating spark gaps

۳ اصطلاحات و تعاریف

در خصوص این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استاندارد ISO8044 و موارد زیر به کار می رود:

۱-۳

پشت بند آند

anode backfill

ماده ای ترکیبی که بیواسطه اطراف آند مدفون را احاطه می کند.

۲-۳

اتصال

bond

هادی فلزی، معمولاً مس، که دو نقطه از سازه های مشابه یا متفاوت را به هم وصل می کند.

۳-۳

سامانه حفاظت کاتدی

cathodic protection system

تمام اجزای فعال و غیرفعال مربوط به انجام حفاظت از خوردگی خارجی فعال و پایش آن می باشد.

یادآوری ۱: حفاظت کاتدی با جریان اعمالی یا آندهای گالوانیک با استفاده از یک یا چند ایستگاه فراهم می شود.

یادآوری ۲: سامانه های جریان اعمالی و آند گالوانیک شامل تمام تجهیزات مورد نیاز برای استفاده از حفاظت کاتدی مانند ایستگاه های جریان اعمالی، آندهای گالوانیک، اتصالات و اتصالات عایق می باشد.

۴-۳

نمونه شاهد

coupon

نمونه فلزی شاهد با ابعاد تعریف شده که از فلزی مشابه فلز خط لوله ساخته می شود.

۵-۳

فاکتور تخریب پوشش

coating breakdown factor

نسبت چگالی جریان مورد نیاز برای پلاریزه کردن یک سطح فولادی پوشش شده در مقایسه با سطح فولادی بدون پوشش می باشد.

۶-۳

دستگاه دکوپلینگ جریان مستقیم

d.c. decoupling device

تجهیزی که یک مسیر با امپدانس پایین برای جریان متناوب و مقاومت بالا برای جریان مستقیم ایجاد می کند.

مثال: پلاریزاسیون سل، خازن ها و مجموعه های دیود.

۷-۳

نقطه تخلیه الکتریکی

drain point

محل اتصال کابل به سازه حفاظت شده که از طریق آن جریان حفاظتی به منبع خود باز می گردد.

۸-۳

تخلیه الکتریکی

drainage

انتقال جریان سرگردان بین سازه ها با استفاده از یک اتصال تعمدی می باشد.
یادآوری: استاندارد EN 50162 را برای وسایل تخلیه الکتریکی ملاحظه کنید (اتصال تخلیه مستقیم، اتصال تخلیه مقاومتی، اتصال تخلیه یک طرفه و اتصال تخلیه اجباری).

۹-۳

ایستگاه تخلیه الکتریکی

drainage station

تجهیزات و مواد مورد نیاز برای میسر ساختن تخلیه جریان سرگردان از سامانه های تحت تاثیر می باشد.

۱۰-۳

آند گالوانیک

galvanic anode

الکترودی که جریان حفاظت کاتدی را به وسیله اتصال گالوانیک تامین می کند.

۱۱-۳

ایستگاه آند گالوانیک

galvanic anode station

تجهیزات و مواد مورد نیاز که حفاظت کاتدی با استفاده از آندهای گالوانیک را میسر می سازد.

یادآوری: این مواد و تجهیزات شامل آندهای گالوانیک و کابل‌ها می‌باشد.

۱۲-۳

پیل مربوط به شرایط زمین

geological cell

پیل خوردگی که بین دو قسمت مختلف از یک خط لوله فلزی در تماس با خاک‌های متفاوت ایجاد می‌شود.

۱۳-۳

بستر آندی

groundbed

سامانه آندهای مدفون یا غوطه‌ور گالوانیک و یا جریان اعمالی است.

۱۴-۳

آند جریان اعمالی

impressed current anode

الکترودی که جریان را برای حفاظت کاتدی به وسیله جریان اعمالی تامین می‌کند.

۱۵-۳

ایستگاه جریان اعمالی

impressed current station

تجهیزات و مواد مورد نیاز که حفاظت کاتدی با استفاده از جریان اعمالی را میسر می‌سازد.
یادآوری: این مواد و تجهیزات شامل آندهای جریان اعمالی، کابل‌ها و منبع تغذیه جریان مستقیم می‌باشد.

۱۶-۳

پتانسیل لحظه‌ای خاموش

instant-OFF potential

پتانسیلی که با تاخیری کوتاه بعد از قطع جریان و به منظور نزدیک شدن، تا حد امکان به پتانسیل بدون خطای IR اندازه‌گیری می‌شود.

یادآوری: یک تاخیر مرسوم برای اندازه گیری مستقیم بر روی خط لوله برای جلوگیری از تاثیر تغییرات شدید ولتاژ ۳۰۰ میلی ثانیه است. بر روی نمونه های شاهد تاخیرهای کوتاه تری استفاده می شود.

۱۷-۳

افت IR

IR drop

ولتاژی که از گردش همه جریان ها از میان مدار حفاظت کاتدی و به دلیل مقاومت مسیر جریان (به طور عمده الکترولیت و خط لوله) حاصل می شود.
یادآوری: این پتانسیل از قانون اهم مشتق می شود ($U=I \times R$).

۱۸-۳

پتانسیل بدون IR

IR-free potential

پتانسیل پلاریزه شده

polarized potential

پتانسیل اندازه گیری شده سازه نسبت به الکترولیت بدون خطای ولتاژ ناشی از افت IR، که به دلیل جریان حفاظتی یا هر جریان دیگری بوجود می آید.

۱۹-۳

اتصال عایق

isolating joint

قطعه عایق الکتریکی که بین دو شاخه لوله قرار داده می شود تا از پیوستگی الکتریکی بین آنها جلوگیری شود.
مثال: اتصال عایق یکپارچه^۱، فلنج عایق.

۲۰-۳

اسپارک گپ جداکننده

isolating spark gap (ISG)

قطعه‌ای با یک فاصله برای تخلیه الکتریکی به منظور جداسازی قسمت‌های مختلف تاسیسات که از لحاظ الکتریکی هادی هستند.

یادآوری: در هنگام برخورد صاعقه، قسمت‌های مختلف تاسیسات در نتیجه واکنش به تخلیه جریان به طور موقت از لحاظ الکتریکی متصل می‌شوند.

۲۱-۳

اتصال به زمین موضعی

local earthing

الکتروود فلزی متصل به زمین که بدون اتصال الکتریکی مستقیم به هیچیک از سامانه‌های اصلی دیگر اتصال به زمین قرار دارد.

۲۲-۳

نقطه اندازه گیری

measuring point

محلی که در آن اندازه‌گیری پتانسیل واقعی اتفاق می‌افتد.
یادآوری ۱: در مورد اندازه گیری پتانسیل لوله نسبت به الکترولیت، این به محل الکتروود مرجع برمی‌گردد.

۲۳-۳

پتانسیل روشن

ON potential

پتانسیل اندازه گیری شده لوله نسبت به خاک، هنگامی که سیستم حفاظت کاتدی به طور پیوسته عمل می‌کند.

۲۴-۳

پتانسیل خاموش

OFF potential

پتانسیل لوله نسبت به خاک، که پس از قطع تمام منابع اعمال جریان حفاظت کاتدی به منظور نزدیک شدن به پتانسیل بدون خطای IR اندازه گیری می شود. یادآوری: میزان تاخیر قبل از اندازه گیری بر اساس شرایط متغیر است.

۲۵-۳

پتانسیل لوله نسبت به الکتروود

pipe-to-electrolyte potential

اختلاف پتانسیل بین خط لوله (یا نمونه شاهد) و یک الکتروود مرجع مشخص در تماس با الکتروولیت و در نقطه-ای به اندازه کافی نزدیک، اما بدون تماس واقعی با خط لوله اندازه گیری می شود.

۲۶-۳

عدد معادل مقاومت به حفره دار شدن

pitting resistance equivalent number (PREN)

عددی که برای نتیجه گیری و پیش بینی مقاومت به حفره دار شدن فولاد زنگ نزن، بر اساس نسبت های Cr، Mo، W و N در ترکیب شیمیایی آلیاژ در نظر گرفته شده است.

۲۷-۳

پلاریزاسیون

polarization

تغییر پتانسیل لوله نسبت به الکتروولیت به دلیل اعمال یک جریان الکتریکی خارجی ایجاد می شود.

۲۸-۳

پراب

probe

وسیله‌ای که با جادادن یک نمونه شاهد، امکان اندازه‌گیری پارامترهای مورد استفاده در ارزیابی کارایی حفاظت کاتدی و یا خطر خوردگی را فراهم می‌کند.

۲۹-۳

پتانسیل حفاظت

protection potential

پتانسیل لوله نسبت به الکترولیت که در آن نرخ خوردگی فلز برای خط لوله قابل قبول است.

۳۰-۳

الکتروود مرجع

reference electrode

الکتروودی که با داشتن پتانسیل ثابت و تکرار پذیر به عنوان یک مرجع برای اندازه‌گیری پتانسیل‌های الکتروود استفاده می‌شود.

۳۱-۳

زمین دور

remote earth

قسمتی از الکترولیت که به علت عبور جریان، ولتاژ قابل اندازه‌گیری بین هیچ دو نقطه از آن وجود ندارد.
یادآوری: عموماً این شرایط خارج از محدوده اثر یک الکتروود واقع در خاک، یک سیستم اتصال به زمین، یک بستر جریان اعمالی یا سازه حفاظت شده به وجود می‌آید.

۳-۳۲

پوشش با لایه محافظ در برابر سنگ

rock jacket coating

پوششی که برای خط لوله محافظت مکانیکی فراهم کرده و به عنوان یک پوشش انعطاف پذیر قابل خم کاری اعمال می شود.

۳-۳۳

جریان سرگردان

stray current

حرکت جریان که در مسیری به غیر از مدارهای مورد نظر بوجود آید.

۳-۳۴

وسیله حفاظت در برابر جریان هجومی

surge protective device (SPD)

وسیله ای که قصد دارد ولتاژهای اضافی گذرا و جریان های هجومی مستقیم را محدود کند.
یادآوری ۱: این وسیله حداقل شامل یک جزء غیر خطی است.

۳-۳۵

جریان زمین میدانی

telluric current

جریان در خاک که در نتیجه نوسانات مغناطیسی زمین ایجاد شود.

۳-۳۶

ایستگاه آزمون

test station

ایستگاه پایش

monitoring station

تاسیساتی که تسهیلات اندازه‌گیری و آزمون را فراهم می‌کند.
یادآوری ۱: این تاسیسات شامل کابل کشی و اتصالات به خط لوله می‌باشد.

۳-۳۷

فاکتور مصرف

utilization factor

کسری از وزن ماده مصرفی آند گالوانیک که می‌تواند قبل از توقف آند برای تامین حداقل جریان خروجی مورد نیاز، مصرف شود.

۴ نمادها و اختصارات

۴-۱ نمادها

Da	قطر آند
Db	قطر پشت بند
ε	ظرفیت الکتروشیمیایی ماده آند
E	پتانسیل اندازه‌گیری شده در فصل مشترک فلز/الکترولیت
ΔE	تغییر پتانسیل به دلیل اعمال جریان حفاظت کاتدی که نسبت به الکتروود مرجع واقع در زمین دور اندازه‌گیری شده است
E_a	پتانسیل مدار بسته طراحی برای آند گالوانیک
E_c	پتانسیل حفاظتی طراحی (حداقل پتانسیل منفی)
E_{cor}	پتانسیل خوردگی آزاد (پتانسیل طبیعی)
E_{IRfree}	پتانسیل بدون خطای IR
E_l	پتانسیل حدی بحرانی
E_{ON}	پتانسیل روشن

پتانسیل خاموش	E_{OFF}
پتانسیل حفاظت	E_p
فاکتور تخریب پوشش	f_c
فاکتور تخریب پوشش نهایی	f_f
فاکتور تخریب پوشش اولیه	f_i
میانگین افزایش سالیانه فاکتور تخریب پوشش	Δf
کل جریان مورد نیاز	I_{tot}
جریان خروجی واقعی در پایان عمر یک آند تک	I_{af}
کل جریان مورد نیاز برای حفاظت کاتدی یک قسمت مشخص از خط لوله در پایان عمر (برای فاکتور تخریب پوشش بیشینه)	I_{cf}
متوسط جریان مورد نیاز	I_{cm}
جریان خروجی مورد نیاز در پایان عمر یک آند تک	I_f
چگالی جریان برای فولاد بدون پوشش	j
چگالی جریان برای خط لوله پوشش داده شده	j_c
فاکتور احتمال	k
طول خط لوله	L
کل جرم خالص آند	m
جرم خالص آند تک	m_a
تعداد آندها	n
میانگین مقاومت پوشش	r_{co}
کل مقاومت مدار برای سامانه حفاظت کاتدی آند گالوانیک (معادل مقاومت آند فرض شده است)	R_a
مقاومت آند نسبت به پشت بند	$R_{a/b}$
مقاومت پشت بند نسبت به الکترولیت طبیعی	$R_{b/s}$
مقاومت ویژه الکترولیت	P
دما	T
عمر طراحی	t_{dl}
پتانسیل	U
فاکتور مصرف	u

۴-۲ اختصارات

جریان متناوب	a.c. ^۱
شیب پتانسیل ناشی از جریان متناوب	ACVG ^۲
اندازه گیری پتانسیل در فواصل نزدیک	CIPS ^۳
حفاظت کاتدی	CP ^۴
الکتروود مرجع مس - سولفات مس (اشباع)	CSE ^۵
جریان مستقیم	d.c. ^۶
شیب پتانسیل ناشی از جریان مستقیم	DCVG ^۷
مقاومت الکتریکی	ER ^۸
اپوکسی پیوند ذوبی	FBE ^۹
اجراء حفاظت در برابر صاعقه	LPC ^{۱۰}
مخلوط اکسید فلز	MMO ^{۱۱}
عدد معادل مقاومت به حفره دار شدن	PREN ^{۱۲}
خوردگی تنشی	SCC ^{۱۳}
الکتروود مرجع کلرور جیوه	SCE ^{۱۴}
باکتری احیا کننده سولفات	SRB ^{۱۵}
ماوراء بنفش	UV ^{۱۶}
پلی اتیلن سه لایه	3LPE ^{۱۷}
پلی پروپیلن سه لایه	3LPP ^{۱۸}

-
- 1- Alternating Current
 - 2- Alternating Current Voltage Gradient
 - 3- Close Interval Potential Survey
 - 4- Cathodic Protection
 - 5- Copper-Copper Sulphate (Saturated) Reference Electrode
 - 6- Direct Current
 - 7- Direct Current Voltage Gradient
 - 8- Electrical Resistance
 - 9- Fusion-Bonded Epoxy
 - 10- Lightning Protection Component
 - 11- Mixed Metal Oxide
 - 12- Pitting Resistance Equivalent Numbers
 - 13- Stress Corrosion Cracking
 - 14- Saturated Calomel Reference Electrode
 - 15- Sulphate Reducing Bacteria
 - 16- Ultraviolet
 - 17- Three Layer Polyethylene
 - 18- Three Layer Polypropylene

۵ شایستگی کارکنان حفاظت کاتدی

کارکنانی که مسئولیت طراحی، نظارت بر نصب، راه اندازی، نظارت بر بهره برداری، اندازه گیری ها، پایش و نظارت بر تعمیر و نگهداری سامانه های حفاظت کاتدی را بر عهده دارند، باید سطح مناسبی از شایستگی برای وظیفه ای که تقبل کرده اند را داشته باشند.

استاندارد EN 15257 و برنامه آموزش و تایید صلاحیت توسط انجمن های ملی، روش مناسبی را برای ارزیابی و گواهی کردن شایستگی کارکنان تدوین کرده است.

توصیه می شود سطح مناسب شایستگی کارکنان حفاظت کاتدی برای عهده دار شدن وظایف، با گواهی کردن مطابق با یک روش تایید صلاحیت مانند استاندارد EN 15257، برنامه آموزش و تایید صلاحیت انجمن های ملی یا هر روش معادل دیگری نشان داده شود.

۶ معیار حفاظت کاتدی

۶-۱ کلیات

پتانسیل فلز نسبت به الکترولیت که در آن نرخ خوردگی کمتر از ۰/۰۱ میلی متر در سال برای فولاد کربنی و چدن است را پتانسیل حفاظت (E_p) می نامند. این نرخ خوردگی به قدر کافی کم است، به طوری که خوردگی در طول عمر طراحی در حد قابل قبول خواهد بود. بنابراین معیار برای حفاظت کاتدی به صورت مشروط در فرمول (۱) داده شده است:

$$E_{IRfree} \leq E_p \quad (1)$$

بطوریکه

E_p معیار پتانسیل حفاظت

E_{IRfree} پتانسیل در فصل مشترک فلز/الکترولیت، یعنی پتانسیل بدون افت IR در محیط خورنده (پتانسیل بدون خطای افت IR به طور مرسوم به "پتانسیل پلاریزه شده" نیز معروف است)

پتانسیل حفاظت یک فلز به محیط خورنده (الکترولیت) و نوع فلز مورد استفاده بستگی دارد. اعمال پتانسیل های خیلی منفی به دلیل حفاظت کاتدی بیش از حد می تواند منجر به جدایش و تاول زدن پوشش و تردی هیدروژنی در برخی فلزات شود.

پتانسیل بدون IR ، E_{IRfree} ، نباید از پتانسیل حدی بحرانی، E_l ، منفی تر باشد.

در موارد اینچنین، معیار برای حفاظت کاتدی به صورت مشروط در فرمول (۲) داده شده است:

$$E_l \leq E_{IRfree} \leq E_p \quad (2)$$

۶-۲ پتانسیل های حفاظت

پتانسیل بدون IR ، $E_{IR\ free}$ باید معیار داده شده در فرمول (۱) و در صورت کاربرد فرمول (۲) را برآورده سازد. جدول (۱) پتانسیل های خوردگی آزاد، E_{cor} ، پتانسیل های حفاظت، E_p ، و پتانسیل های حدی بحرانی، E_l ، را فلزات مختلف در شرایط محیطی مختلف ارائه می کند.

جدول ۱- پتانسیل های خوردگی آزاد، پتانسیل های حفاظت و پتانسیل های حدی بحرانی مواد فلزی معمول در خاک و آب (بجز آب دریا) که نسبت به الکتروود مرجع مس - سولفات مس (اشباع) اندازه گیری شده است.

فلزات یا آلیاژها	شرایط محیطی	محدوده پتانسیل خوردگی آزاد (مقادیر اخباری) E_{cor} V	پتانسیل حفاظت (بدون IR) E_p V	پتانسیل حدی بحرانی (بدون IR) E_l V
فولادهای کربنی، فولادهای کم آلیاژ و چدن	خاکها و آبها در تمام شرایط به جز آنچه در زیر شرح داده شده	۰/۴۰ (-) تا ۰/۶۵۰ (-)	۰/۸۵۰ (-)	a
	خاکها و آبها در $۴۰^{\circ}\text{C} < T < ۶۰^{\circ}\text{C}$	-	b	a
	خاکها و آبها در $T > ۶۰^{\circ}\text{C}$ ج	۰/۵۰ (-) تا ۰/۸۰ (-)	۰/۹۵۰ (-)	a
	خاکها و آبها در شرایط بی‌هوای در $T > ۴۰^{\circ}\text{C}$ با $۱۰۰ < \rho < ۱۰۰۰ \Omega \cdot \text{m}$	۰/۳۰ (-) تا ۰/۵۰ (-)	۰/۷۵۰ (-)	a
	خاکها و آبها در شرایط بی‌هوای در $T > ۴۰^{\circ}\text{C}$ با $\rho > ۱۰۰۰ \Omega \cdot \text{m}$	۰/۲۰ (-) تا ۰/۴۰ (-)	۰/۶۵۰ (-)	a
	خاکها و آبها در شرایط بی‌هوای و خطر خوردگی به دلیل فعالیت باکتری‌های احیا کننده سولفات	۰/۶۵ (-) تا ۰/۸۰ (-)	۰/۹۵۰ (-)	a
فولاد زنگ نزن آستنیتی با PREN < ۴۰	خاکها و آبهای قلیایی یا خنثی در دماهای محیط	۰/۱۰ (-) تا ۰/۲۰ (+)	۰/۵۰ (-)	d
فولاد زنگ نزن آستنیتی با PREN > ۴۰		۰/۱۰ (-) تا ۰/۲۰ (+)	۰/۳۰ (-)	-
فولاد زنگ نزن آستنیتی - فریتی (دوپلکس) یا مارتنزیتی		۰/۱۰ (-) تا ۰/۲۰ (+)	۰/۵۰ (-)	e
تمام فولادهای زنگ نزن	خاکها و آبهای اسیدی در دماهای محیط	۰/۱۰ (-) تا ۰/۲۰ (+)	e	e
مس	خاکها و آبها در دماهای محیط	۰/۲۰ (-) تا ۰/۰۰ (-)	۰/۲۰ (-)	-
فولاد گالوانیزه		۰/۹۰ (-) تا ۰/۱۰ (-)	۱/۲۰ (-)	-

جدول ۱- پتانسیل های خوردگی آزاد، پتانسیل های حفاظت و پتانسیل های حدی بحرانی مواد فلزی معمول در خاک و آب (بجز آب دریا) که نسبت به الکتروود مرجع مس - سولفات مس (اشباع) اندازه گیری شده است (ادامه).

یادآوری ۱: تمام پتانسیل ها بدون IR و نسبت به الکتروود مرجع مس - سولفات مس اشباع می باشد، $ECu = EH - 0,32 V$.
یادآوری ۲: در طول عمر کاری خط لوله، هر تغییری در محیط اطراف خط لوله باید در نظر گرفته شود.
a برای جلوگیری از تردی هیدروژنی در فولادهای غیر آلیاژی و کم آلیاژ استحکام بالا یا با استحکام تسلیم طراحی بیش از ۵۵۰ نیوتن بر میلیمتر مربع، پتانسیل حدی بحرانی باید مستند بوده و یا به وسیله آزمون مشخص شده باشد.
b برای دماهای $60^{\circ}C < T < 40^{\circ}C$ ، پتانسیل حفاظت می تواند با درون یابی خطی بین مقدار پتانسیل مشخص شده برای دمای $40^{\circ}C$ ($-0,650V$)، $-0,750V$ یا $-0,850V$ مشخص شود.
c با افزایش دما خطر خوردگی تنشی در pH بالا افزایش می یابد.
d در مواردی که فازهای فریتی یا مارتنزیتی وجود دارد (به عنوان مثال به علت سخت کاری)، توصیه می شود خطر تردی هیدروژنی با استفاده از مستندات یا به وسیله آزمون تعیین گردد.
e تعیین با استفاده از مستندات یا به وسیله آزمون.

توصیه می شود برای جلوگیری از جدایش و تاول زدن پوشش، پتانسیل حدی بحرانی، E_L ، برای پوشش های رایج مورد استفاده در خط لوله منفی تر از (CSE) $-1,20$ (-) نباشد.

۳-۶ روش های جایگزین

۳-۶-۱ تغییر پتانسیل کاتدی ۱۰۰ میلی ولت

اگر معیارهای تعریف شده در جدول (۱) قابل دستیابی نیست، تغییر پتانسیل کاتدی به میزان کمینه ۱۰۰ میلی ولت به عنوان روش جایگزین قابل قبول برای کاهش سرعت خوردگی در نظر گرفته می شود (مدرک شماره NACE 35108 را ملاحظه کنید). ممکن است سرعت خوردگی باقیمانده کمتر از ۰/۰۱ میلی متر در سال محقق نشود. ایجاد یا زوال در تغییر پتانسیل باید مطابق با روش تعریف شده در پیوست الف اندازه گیری شود. باید از به کار بردن ۱۰۰ میلی ولت تغییر پتانسیل کاتدی در دماهای بالاتر از $40^{\circ}C$ ، در خاک های حاوی SRB، هنگامی که ممکن است جریان های تداخلی، متعادل کننده یا زمین میدانی وجود داشته باشد، یا هنگامی که خطر خوردگی تنشی خارجی وجود دارد، اجتناب کرد. به علاوه، روش تغییر پتانسیل نباید در مواردی که خط لوله متصل به، یا شامل اجزای فلزی گوناگون است استفاده شود.

۳-۶-۲ سایر روش ها

روش های جایگزین در صورتی که نشان دهند کنترل خوردگی محقق شده است، می توانند استفاده شوند.

۳-۶-۴ معیار در هنگام حضور جریان متناوب

در مکان هایی که احتمال تداخل جریان متناوب وجود دارد، باید اندازه گیری ولتاژ و/یا چگالی جریان متناوب برای ارزیابی مقدار تداخل جریان متناوب انجام شود.

در هنگام وجود ولتاژ ناشی از جریان متناوب روی خط لوله، معیارهای تعریف شده در جدول (۱)، هرچند لزوماً محافظت در برابر خوردگی ناشی از جریان متناوب را فراهم نمی‌کنند، می‌بایست رعایت شوند. پتانسیل بدون $E_{IR free}$ ، IR باید معیار داده شده در فرمول (۱) را برآورده سازد. استاندارد EN 15280 راهنمایی‌هایی را برای بررسی احتمال خوردگی ناشی از جریان متناوب ارائه داده و جزییات معیارهایی را که ممکن است استفاده شود، تعریف کرده است.

۷ پیش نیازها برای استفاده از حفاظت کاتدی

۷-۱ کلیات

برای اعمال حفاظت کاتدی، باید خط لوله یا قسمتی از خط لوله که می‌خواهیم حفاظت کنیم از نظر الکتریکی پیوسته باشد. خط لوله باید پوشش شده باشد و از نظر الکتریکی از سایر سازه‌ها و سامانه‌های اتصال به زمین جدا شده باشد. اگر خط لوله از نظر الکتریکی از سایر سازه‌ها و سامانه‌های اتصال به زمین جدا نشده است، باید توجیه فنی آورده شود.

یادآوری: به طور کلی پوشش‌ها بر روی خطوط لوله مدفون اعمال می‌شوند تا حفاظت اولیه در برابر خوردگی را فراهم کند و حفاظت کاتدی محل‌های صدمه دیده پوشش را حفاظت می‌کند. پوشش‌ها جریان کل مورد نیاز برای حفاظت کاتدی و در نتیجه خطر تداخل با سازه‌های مدفون اطراف را کاهش می‌دهند.

۷-۲ پیوستگی الکتریکی

باید پیوستگی الکتریکی خط لوله یا قسمتی از خط لوله که می‌خواهیم حفاظت کنیم مقاومت طولی کمی فراهم آورد، و اجزایی که ممکن است این مقاومت طولی را در خط لوله افزایش دهند، باید با روش‌هایی مانند استفاده از کابل‌ها یا اتصالات فلزی مقاومت پایین با سطح مقطع مناسب اتصال کوتاه شوند. باید در خطوط لوله غیر جوشی، پیوستگی الکتریکی قسمتی که قرار است حفاظت شود با نصب اتصالات دائم در عرض مفصل‌های مکانیکی با مقاومت بالا و با استفاده از روش‌های اتصال قابل اعتماد فراهم شود. پیوستگی الکتریکی خطوط لوله غیر جوشی باید با انجام اندازه‌گیری‌های پتانسیل و مقاومت بررسی شود. در موارد مورد نیاز، ممکن است اتصال در عرض وسایل عایق برای اندازه‌گیری یا سایر اهداف برقرار شود. اگر نیاز است پیوستگی الکتریکی به صورت دائم برقرار باشد، توصیه می‌شود این اتصال در یک ایستگاه آزمون انجام شود.

۷-۳ جداسازی الکتریکی

۷-۳-۱ کلیات

بهتر است از تماس فلزی یا تماس از طریق مقاومت بین خط لوله و سایر سازه‌ها، یا اتصال مستقیم به سامانه‌های اتصال به زمین اجتناب شود؛ در غیر اینصورت، ممکن است خطر خوردگی افزایش یابد. برای این منظور، توصیه می‌شود خطوط لوله از لحاظ الکتریکی از سازه‌های خارجی مانند ایستگاه‌های تقویت فشار، ایستگاه‌های پمپ، تقلیل فشار، ایستگاه‌های دریافت و اندازه‌گیری، تجهیزات ذخیره‌سازی و پمپاژ آب، محل‌های چاه، سازه‌ها و خطوط لوله فرا ساحلی، تجهیزات فرآیندی و پایانه‌ها و در فصل مشترک با سایر خطوط لوله جدا باشد.

همچنین عایق‌های الکتریکی می‌تواند به عنوان مثال در نواحی دارای جریان سرگردان، برای تقسیم یک سامانه به چند بخش نصب شود.

بهتر است جداسازی با نصب اتصالات عایق (اتصالات عایق مونولیتیک یا کیت‌های فلنجی عایق) یا قسمت‌های لوله غیر رسانا فراهم شود.

اگر جداسازی الکتریکی امکان پذیر نیست، باید طراحی حفاظت کاتدی برای اطمینان از اینکه خط لوله بدون تاثیر منفی بر روی سازه‌های دیگر تحت حفاظت کاتدی قرار دارد، جریان کافی و توزیع جریان موثر را فراهم کند.

اگر بین خط لوله تحت حفاظت و هر سازه دیگر با الکترون‌گاتیویته کمتر (کمتر منفی) تماسی وجود دارد، استاندارد EN 14505 آنها را یک سازه پیچیده در نظر می‌گیرد و توصیه‌هایی ارائه می‌دهد که در این موارد می‌تواند مفید باشد.

۷-۳-۲ مکان‌ها

توصیه می‌شود مکان نقاط عایق الکتریکی، بویژه در مواردی که جریان سرگردان مستقیم وجود دارد، به دقت مورد توجه قرار گیرد. این مورد، به عنوان مثال، نیازمند اندازه‌گیری‌های تفصیلی و تحلیل شیب‌های سطحی الکترولیت می‌باشد (برای راهنمایی بیشتر استاندارد EN 50162 را ملاحظه کنید).

عایق‌های الکتریکی می‌توانند در موارد زیر مورد نیاز باشند

- بین قسمت‌های مختلف خط لوله ساخته شده از مواد فلزی متفاوت،
- در انتهای خط لوله،
- هنگام تغییرات قابل توجه در مقاومت ویژه خاک

- در خطوط لوله‌ای که سامانه‌های مختلف حفاظت کاتدی نیاز دارند،
 - در خطوط لوله با چگالی جریان مورد نیاز متفاوت،
 - در محل‌هایی که تحت تاثیر جریان‌های سرگردان متناوب یا جریان‌های زمین میدانی قرار دارند،
 - در برخی از شبکه‌های خط لوله برای تسهیل اندازه‌گیری‌ها و تعمیر و نگهداری حفاظت کاتدی و
 - در فصل مشترک با سازه‌های بدون حفاظت یا تجهیزات متصل به زمین.
- در سامانه‌های توزیع، عایق‌های الکتریکی باید در فصل مشترک با تجهیزات مشتری نصب شود.

۷-۳-۳ اتصالات عایق

طراحی مکانیکی، مواد، ابعاد و ساخت اتصالات عایق می‌بایست الزامات استانداردهای ISO 13623، EN14161، EN1594 یا EN12007-3 را در صورت امکان برآورده سازند.

هرکجا امکان دارد بهتر است از اتصالات مونوبلوک استفاده شود. آنها می‌توانند بر روی زمین، داخل حوضچه و یا به صورت مدفون نصب شوند.

توصیه می‌شود اتصالات مونوبلوک قبل از نصب از لحاظ الکتریکی آزمون شوند.

یادآوری ۱: آزمون‌های الکتریکی در پیوست "و" پیشنهاد شده است.

یادآوری ۲: نصب اتصالات عایق بر روی زمین مزایایی از قبیل بازرسی چشمی، الکتریکی و مافوق صوت آسان‌تر را فراهم می‌کند. از سوی دیگر، اتصالات عایق مدفون کمتر در معرض صدمات خواسته یا ناخواسته مکانیکی یا خطر آتش قرار دارند، و می‌توانند از یخ زدن محصولات داخل خط لوله جلوگیری کنند (برخی مواقع به عنوان "اتصالات ضد یخ زدگی" به آنها اشاره می‌شود).

یادآوری ۳: نصب اتصالات عایق در داخل حوضچه مزایای اتصالات عایق مدفون، اما با یک خطر اضافی به دلیل محبوس شدن گاز را دارد. به همین دلیل، قوانین محلی می‌توانند از نصب اتصال عایق در داخل حوضچه جلوگیری کنند.

هنگامی که خط لوله به تاسیسات روزمینی متصل شده است، یک اتصال عایق روزمینی اطمینان می‌دهد که حفاظت کاتدی به کل قسمت مدفون اعمال می‌شود. اما اگر اتصال عایق مدفون باشد، بهره‌بردار خط لوله باید اقدامات اضافی برای حفاظت از خوردگی آن قسمت از لوله که از سامانه حفاظت کاتدی اصلی جدا شده انجام دهد.

اگر سیال‌های چند فازي شامل درصد قابل توجهي از آب توسط خط لوله منتقل مي‌شود، توصيه مي‌شود نصب اتصال عايق در يك قسمت عمودي يا زاويه‌دار مد نظر قرار گيرد تا از وجود مداوم فاز آب در داخل خط لوله كه مي‌تواند به منشاء خوردگي داخلي تبديل شود، جلوگیری کند (بند ۷-۳-۴ را ملاحظه كنيد).

سطح خارجي اتصال عايق مدفون بايد با موادي كه با پوشش اعمال شده روي خط لوله سازگاري دارد، پوشش داده شود.

فلنج‌هاي عايق به وسيله هوازدگي اتمسفري، آلودگي و ورود رطوبت در معرض تخريب قرار مي‌گيرند و بايد با استفاده از محافظ‌هاي فلنج يا تركيبات ويسكوالاستيك در برابر ورود آلودگي و رطوبت محافظت شوند.

علت اصلي خرابي فلنج‌هاي عايق روش‌هاي نصب نامناسب است. براي کاهش اين خطر، بايد رويه‌هاي سازنده دنبال شده يا كيت‌هاي از پيش نصب شده در كارخانه استفاده شود.

اشتباهات اصلي در نصب عبارتند از:

- سفت كردن بيش از حد مهره‌هاي فلنج (فلنج‌هاي عايق سفت كردن كمترى نسبت به فلنج‌هاي بدون گسكت عايق نياز دارند)،

- تراز كردن اشتباه صفحات فلنج و

- آماده سازي سطحي نامناسب صفحات فلنج.

مواد عايق بايد به گونه‌اي طراحي شوند كه در برابر شرايط كاري (براي مثال سيال منتقل شده، دما، فشار، تنش مكانيكي) مقاوم باشند و مقاومت دي‌الكتريك مناسبى داشته باشند. خواص مهم ديگر كيت فلنجي عايق شامل خواص مكانيكي (مانند انعطاف پذيري، استحكام كشي و غيره)، راندمان عايقى و جذب آب مي‌باشد.

اتصالات عايق بايد به گونه‌اي نصب شوند كه خطر اتصال الكتريكى تصادفي حذف شود.

بايد براي جلوگیری از خسارت ناشي از ولتاژهاي بالا، به علت برخورد صاعقه يا جريان‌هاي متناوب ايجاد شده به وسيله خطوط برق فشار قوي، وسايل حفاظتي (به عنوان مثال اسپارك گپ مناسب، وسيله حفاظت در برابر جريان هجومی و اتصال الكتريكی مناسب به زمین) در نظر گرفته شود.

بايد اتصالات عايقی كه بر طبق استاندارد EN 60079-10-1 در مناطق دسته‌بندي شده به عنوان خطرناك نصب شده‌اند، با الزامات بهره‌برداري و گواهي كردن در مناطق خطرناك سازگار باشند.

بايد براي اتصالات عايق امكانات آزمون قابل دسترس فراهم شود.

۷-۳-۴ خطرات خوردگی داخلی در اتصالات عایق

در خطوط لوله‌ای که سیال حاوی فاز آب را حمل می‌کنند، خطر خوردگی داخلی به علت خروج جریان از سطح داخلی لوله، نزدیک به اتصال عایق و در سمت با پتانسیل منفی کمتر (سمت آندی)، وجود دارد. این اتفاق به طور عمده به هدایت سیال و اختلاف پتانسیل دو طرف اتصال عایق بستگی دارد.

برای جلوگیری و یا کاهش خطر خوردگی داخلی، توصیه می‌شود آسترکاری^۱ (پوشش داخلی با یک ماده عایق الکتریکی) بر روی سمتی از خط لوله با پتانسیل منفی بیشتر (سمت کاتدی) اعمال شود.

طولی از این بخش که باید از داخل آسترکاری شود با افزایش هدایت الکترولیت، قطر خط لوله و اختلاف پتانسیل دو طرف اتصال عایق بیشتر می‌شود. اگر دانش و تجربه قبلی وجود ندارد، بهتر است طول قسمتی از خط لوله که باید آسترکاری شود به وسیله محاسبات یا آزمون مشخص شود.

طول پوشش داخلی می‌تواند با تعریف مقاومت اهمی سیال داخلی تعیین شود. این ارزیابی می‌تواند با استفاده از نرم‌افزار شبیه ساز یا محاسبات (قانون اهم) انجام شود و باید مستند گردد. این مطالعه باید با در نظر گرفتن مقاومت سیال، افت پتانسیل بین دو طرف اتصال عایق و در غیاب عیب بر روی قسمت آندی پوشش خارجی خط لوله انجام شود.

یادآوری ۱: بر اساس بازخورد و تجربه، به طور معمول مقاومت اهمی داخلی 100Ω برای ارزیابی طول پوشش داخلی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

یادآوری ۲: به طور معمول برای آسترکاری طول‌های بلند، یک طول کامل لوله پوشش شده در کارخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در عمل، اگر هر دو سمت اتصال عایق آسترکاری می‌شود، حداقل طول آسترکاری در سمت کاتدی باید برابر طول محاسبه شده باشد.

یادآوری ۳: هنگامی که اتصالات عایق ساخته شده به صورت سفارشی با آسترکاری نامتقارن مورد استفاده قرار می‌گیرد، احتمال خطر به دلیل نصب قسمت آسترکاری شده طویل‌تر در سمت نادرست اتصالات عایق (سمت آندی)، می‌تواند چشم‌گیر باشد.

توصیه می‌شود آسترکاری از نوعی باشد که در هنگام تماس با سیال داخلی، به‌ویژه در مواردی که آستر در معرض آب نمک قرار دارد، تخریب نشود.

یک روش جایگزین برای آسترکاری داخلی قرار دادن یک تکه لوله فولادی فداشونده در کنار اتصال عایق، در سمتی که پتانسیل داخلی منفی کمتری دارد (سمت آندی خط لوله) می‌باشد. بهتر است این تکه لوله برای

1- Lining

پایش پیشرفت خوردگی داخلی به صورت دوره‌ای بازرسی شده و در زمان مناسب برای جلوگیری از نشت تعویض شود.

۷-۳-۵ اتصالات بین سازه‌های فلزی

در جایی که ورودی‌ها^۱، نگه‌دارنده‌ها^۲، تکیه‌گاه‌ها^۳ و مهارها^۴ از بتن ساخته شده‌اند، بهتر است تماسی (مستقیم یا مقاومتی) بین فولاد تقویت کننده و خط لوله تحت حفاظت وجود نداشته باشد. برای این منظور، توصیه می‌شود دیواره‌ای مناسب از جنس مواد عایق فراهم شده و همچنین یک پوشش با کیفیت بالا بر روی خط لوله تحت حفاظت اعمال شود. باید احتمال پدیده سپر الکتریکی شدن^۵ نیز در نظر گرفته شود.

در جایی که خط لوله با یک پل روزمینی تقاطع می‌کند یا وارد یک تونل می‌شود، و در دو انتهای تونل یا پل دارای اتصالات عایق است، خط لوله بین دو اتصال عایق می‌تواند به منظور حفاظت در برابر پتانسیل‌های تماسی غیر قابل قبول، به پل یا تونل متصل و هم‌پتانسیل شود. به منظور فراهم شدن حفاظت کاتدی خط لوله در دو سمت تونل یا پل با یک سامانه حفاظت کاتدی، نیاز است اتصالی هم‌پتانسیل دو طرف خط لوله در دوسوی پل یا تونل را به هم متصل کند.

اگر خط لوله با پل از طریق یک ناودان حاوی الکترولیت (مانند ماسه) تقاطع می‌کند، ممکن است لوله به‌وسیله آندهای گالوانیک (مانند نوارهای منیزیم) حفاظت کاتدی شده و به پل متصل نشود.

اگر اتصالات عایق وجود ندارد، باید خط لوله از لحاظ الکتریکی از قسمت‌های فلزی پل و تونل عایق شود. این موضوع در مواردی که پل حامل سامانه‌های انتقال جریان مستقیم است از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۷-۳-۶ سامانه اتصال الکتریکی به زمین

اتصال الکتریکی به زمین برای تجهیزات نصب شده روی خط لوله حفاظت شده ممکن است به دلایل ایمنی لازم باشد، یا اتصال به زمین خط لوله ممکن است برای کم کردن اثر ولتاژهای الکتریکی القاء شده مورد نیاز باشد.

اگر سامانه اتصال به زمین نیاز باشد، باید با سامانه حفاظت کاتدی سازگار گردد. اگر توسط قوانین مجاز باشد، این امر می‌تواند با نصب تجهیزات دکوپلینگ جریان مستقیم با درجه بندی مناسب در مدار زمین حاصل شود. برای اتصال به زمین موضعی ممکن است روی یا الکتروود گالوانیزه که به طور مستقیم به خط لوله متصل شده استفاده شود، اما هنوز می‌تواند اثرات نامطلوب آتی بر روی حفاظت کاتدی داشته باشد.

-
- 1- Entries
 - 2- Restraints
 - 3- Supports
 - 4- Anchors
 - 5- Shielding

یادآوری ۱: اثرات نامطلوب بر روی کارایی حفاظت کاتدی به علت یکی از موارد یا هر دو مورد زیر است:

- مقاومت موضعی محل اتصال به زمین در مقایسه با زمین دور، می‌تواند بسیار کمتر از مقاومت عیوب پوشش باشد که در نتیجه آن جریان حفاظت کاتدی در عیب پوشش کاهش می‌یابد.
- پتانسیل روی یا آهن گالوانیزه می‌تواند با گذشت زمان به سمت پتانسیل‌های کمتر منفی (مثبت تر) تغییر کند.

اگر اتصال به زمین برای کاهش اثر ولتاژهای ناشی از جریان متناوب در خط لوله نصب شده است، بهتر است تا محل‌های اتصال به زمین به وسیله مطالعه دقیق و طراحی تفصیلی مشخص شود.

یادآوری ۲: استانداردهای EN 15280 و EN 50443 راهنمایی‌هایی برای بررسی جنبه‌های ایمنی و خوردگی مربوط به تأثیرات جریان‌های متناوب ارائه می‌دهند.

شناسایی و کنترل تداخل الکتریکی باید منطبق با پیوست "ب" باشد.

هنگامی که اتصال به زمین (موضعی یا دور) به تجهیزاتی که به صورت الکتریکی کار می‌کنند مانند شیرها یا پمپ‌ها متصل باشد، مقاومت خط لوله نسبت به زمین در این نقاط کاهش می‌یابد، که می‌تواند موجب کاهش اثر یا جلوگیری از حفاظت کاتدی شود. برای داشتن حفاظت کاتدی موثر، یکی از روش‌های اصلاحی که در ادامه آمده می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (منوط به رعایت قوانین ایمنی ملی یا منطقه‌ای مرتبط):

- الف - عایق کردن تجهیزاتی که به صورت الکتریکی کار می‌کنند از خط لوله تحت حفاظت؛
- ب - جدا کردن قسمتی از خط لوله متصل به تجهیزاتی که به صورت الکتریکی کار می‌کنند (مانند شیر) از بقیه خط لوله با استفاده از اتصالات عایق، سپس برقراری پیوستگی الکتریکی دو طرف خط لوله و حفاظت خوردگی مجزا برای قسمت جدا شده از خط لوله؛
- پ - نصب مبدل‌های عایق^۱؛
- ت - نصب قطع کننده مدار در هنگام نقص جریان به همراه اتصال به زمین موضعی با استفاده از فولاد گالوانیزه، روی یا منیزیم؛

ث - نصب تجهیزات دکوپلینگ جریان مستقیم بین تجهیزاتی که به صورت الکتریکی کار می‌کنند و سامانه اتصال به زمین اصلی (مانند اسپارک گپ‌های جداکننده، وسیله حفاظت در برابر جریان‌های هجومی، پیل پلاریزاسیون، عایق‌های الکتریکی).

۷-۴ حفاظت در برابر صاعقه و ولتاژ اضافی

خط لوله می‌تواند به وسیله ولتاژ اضافی و برخوردهای جریان ناشی از صاعقه یا خطوط برق فشارقوی خارجی مجاور (مانند مدار اتصال کوتاه به زمین) تحت تاثیر قرار گیرد.

توصیه می‌شود برای حفاظت اتصال عایق در برابر ولتاژ اضافی، یک اسپارک گپ جداکننده در عرض اتصال عایق وصل شود.

ممکن است برای کاهش اثر انواع برخوردهای جریان یا تداخل الکتریکی، اسپارک گپ‌های جداکننده، وسایل حفاظت در برابر جریان‌های هجومی یا تجهیزات دکوپلینگ جریان مستقیم، منوط به رعایت قوانین ملی یا منطقه‌ای یا استانداردهای ایمنی بین خط لوله و سامانه اتصال به زمین نصب شود.

طول، سطح مقطع و نوع کابل تاثیر بالایی بر روی کارایی حفاظت در برابر ولتاژ اضافی دارد. آنها باید با مشخصات الکتریکی اسپارک گپ‌های جداکننده یا وسایل حفاظت در برابر جریان هجومی مطابقت داشته باشند. توصیه می‌شود برای اطمینان از اینکه احتمال گره خوردگی کابل در نصب تا حد امکان پایین است، طول کابل تا جایی که ممکن است کوتاه باشد.

۷-۵ پوشش

۷-۵-۱ کلیات

توصیه می‌شود خطوط لوله که تحت حفاظت کاتدی قرار دارد با یک پوشش خارجی نصب شود. انتخاب پوشش باید توسط بهره بردار خط لوله تایید شود.

یادآوری ۱: پوشش حفاظت اولیه در برابر خوردگی را فراهم می‌کند. پوشش جریان مورد نیاز حفاظت را کاهش، توزیع جریان را بهبود، منطقه تحت حفاظت را افزایش و تداخل با سایر سازه‌های خارجی را کاهش می‌دهد.

بهتر است پوشش خط لوله در کارخانه یا تحت شرایط کارخانه‌ای بر روی طول‌های لوله مطابق با شرایط مشخص شده برای آماده‌سازی سطح، اعمال پوشش و بازرسی اعمال شود. توصیه می‌شود پس از جوشکاری طول‌های لوله در حین احداث خط لوله، محل سرجوش محیطی با یک پوشش سازگار با پوشش اصلی لوله پوشش داده شود.

یادآوری ۲: اتصالات و سرجوش‌های پوشش شده در محل، تحت شرایط دشوارتری اعمال می‌شوند و اگر درست انتخاب و اعمال نشوند می‌توانند یک نقطه ضعف در سامانه حفاظت از خوردگی عمومی باشند.

توصیه می‌شود پس از دفن کردن خط لوله، بررسی عیوب پوشش (پیوست "د" را ملاحظه کنید) به منظور ارزیابی وضعیت پوشش انجام شود.

۷-۵-۲ پوشش‌های اعمال شده در کارخانه

پوشش‌ها باید مطابق با استانداردهای زیر اعمال شوند

- ISO 21809-1 برای پوشش‌های پلی‌الفینی (پلی اتیلن سه لایه یا پلی پروپیلن سه لایه)،
- ISO 21809-2 برای پوشش‌های اپوکسی پیوند ذوبی،
- ISO 21809-4 برای پوشش‌های پلی اتیلن (پلی اتیلن دو لایه)، یا
- سایر استانداردهای معادل

۷-۵-۳ پوشش‌های سرجوش

توصیه می‌شود استانداردهای ISO 21809-3, EN 10329 یا سایر استانداردهای معادل برای انتخاب و اعمال پوشش‌های سرجوش مورد استفاده قرار گیرند.

یادآوری: به طور معمول پوشش‌های سرجوش، مواد با شکل مشخص مانند نوارهای سرد یا غلاف‌های حرارتی- انقباضی^۱ یا مواد اعمال شده به صورت پودر یا مایع می‌باشند.

۷-۵-۴ پوشش برای خطوط لوله بدون کانال

بهتر است خطوط لوله بدون کانال (مانند حفاری افقی) به وسیله پوشش خارجی با مقاومت بیشتر نسبت به صدمه مکانیکی محافظت شود. الزامات اضافی برای این نوع پوشش‌ها می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- ضخامت بیشتر

- مقاومت مکانیکی بیشتر

توصیه می‌شود هنگام نصب در روش بدون کانال، آزمون برای ارزیابی صدمات پوشش قبل از اتصال آن به قسمت اصلی خط لوله انجام شود.

یادآوری: ممکن است در حین نصب بدون کانال، برخی از پوشش‌ها به علت سایش سطحی صدمه ببینند که می‌تواند منجر به افزایش سطح جذب رطوبت شود. این مورد مقاومت الکتریکی پوشش و در نتیجه چگالی جریان مورد نیاز را افزایش می‌دهد. بهتر است معیار پذیرش برای آزمون پوشش قبل از نصب خط لوله مشخص شود.

در غیاب هرگونه الزام خاص، شرایط پوشش می‌تواند با مقایسه چگالی جریان مورد نیاز برای حفاظت قسمت بدون کانال با مقادیر بهینه طراحی داده شده در جدول (۳) ارزیابی گردد (بند ۸-۴-۳ را ملاحظه کنید). توصیه می‌شود مقدار جریان مشخصی از بستر موقت به به لوله تزریق شود و چگالی جریان مورد نیاز برای این قسمت محاسبه شود. اگر چگالی جریان مورد نیاز برای تحقق حفاظت کاتدی از مقادیر توصیه شده در جدول (۳) بیشتر است، بهتر است پوشش لوله در قسمت بدون کانال نامطلوب در نظر گرفته شده و اصلاح شود. قسمت ۴-۳ از پیوست "د" یک روش قابل قبول برای آزمون پوشش تعریف کرده است. روش‌های دیگر نیز می‌توانند استفاده شوند.

۷-۵-۵ فصل مشترک هوا به الکترولیت

توصیه می‌شود برای فصل مشترک هوا به الکترولیت از یک پوشش با کارایی بالا استفاده شود. ویژگی‌های خاص برای انتخاب این پوشش می‌تواند شامل موارد زیر باشد

- استحکام مکانیکی
- پایداری در برابر UV
- چسبندگی

۷-۵-۶ سازگاری پوشش‌ها و نوارها با حفاظت کاتدی

جدایش پوشش می‌تواند به دلیل عدم پیوستگی و/یا مقاومت بالای الکترولیت موجود زیر پوشش جدا شده، وجود گونه‌های خورنده یا حضور SRB باعث سپر الکتریکی شدن جریان حفاظت کاتدی شده و از رسیدن جریان حفاظت کاتدی به سطح در معرض الکترولیت خورنده فولاد جلوگیری کند. پوشش انتخاب شده باید با اعمال حفاظت کاتدی سازگار باشد. توصیه می‌شود سازگاری با آزمون جدایش کاتدی مطابق با استانداردهای پوشش مورد استفاده تایید شود. توصیه می‌شود از کاربرد نوارهای پلی اتیلنی که به لوله نچسبیده اجتناب شود زیرا این پوشش‌ها باعث سپر الکتریکی شدن جریان حفاظت کاتدی شده و می‌توانند برای حفاظت زیان‌آور باشند.

۷-۵-۷ عایق حرارتی

سامانه‌های عایق حرارتی، سامانه‌های پوشش شامل یک لایه برای ایجاد عایق حرارتی می‌باشند. این سامانه می‌تواند یک لایه اختصاصی به اضافه یک لایه محافظ خوردگی بوده یا لایه‌ای مانند پلی یورتان یا لاستیک باشد که هر دو خاصیت محافظت خوردگی و عایق حرارتی را فراهم می‌کند. به دلیل ضخامت کلی پوشش و مقاومت بالای لایه‌های پوشش و عایق، احتمال موثر بودن حفاظت کاتدی بعید به نظر می‌رسد. الزامات و نوع حفاظت کاتدی برای خطوط لوله با عایق حرارتی باید با در نظر گرفتن موارد زیر ارزیابی شود:

الف - مواد عایق حرارتی مانند فوم پلی یورتان، مقاومت الکتریکی بالایی دارند. این مواد، حتی اگر آب جذب کنند، ممکن است باعث سپر الکتریکی شدن جریان حفاظت کاتدی و جلوگیری از حفاظت لوله فولادی زیر عایق شوند. توصیه می‌شود تا در این موارد روش‌های کنترل خوردگی جایگزین در نظر گرفته شود.

ب - به طور طبیعی، توجیه کردن نصب سامانه حفاظت کاتدی تنها برای حفاظت از خط لوله عایق شده مشکل است، بجز مواردی که این نگرانی وجود دارد که عایق حرارتی به دلیل فعالیت شخص ثالث صدمه مکانیکی شدیدی ببیند و لوله در معرض مستقیم الکترولیت قرار بگیرد.

پ - مقاومت ذاتی بالای لوله عایق حرارتی شده نسبت به زمین مانع تخلیه پتانسیل‌های القا شده، به عنوان مثال از خطوط برق فشار قوی مجاور، از طریق پوشش به زمین می‌شود. بجز در مواردی که خط لوله نزدیک به نقطه القای پتانسیل به طور مستقیم به زمین اتصال داشته باشد، پتانسیل خط لوله می‌تواند در یک فاصله قابل توجهی تغییر کند و موجب خوردگی و/یا خطر ایمنی برای کارکنانی که تماس مستقیم با خط لوله دارند شود. به طور معمول، پتانسیل‌های حفاظت کاتدی اندازه گیری شده بر روی خطوط لوله دارای عایق حرارتی نشان دهنده پتانسیل در فصل مشترک فلز نسبت به الکترولیت در زیر پوشش نیست. توصیه می‌شود این پتانسیل‌ها برای ارزیابی کارایی حفاظت کاتدی استفاده نشود. بهتر است روش‌های دیگری برای تصدیق یکپارچگی خط لوله در این نقاط مورد استفاده قرار گیرد.

۷-۵-۸ پوشش وزنی بتنی تقویت شده

بتن تقویت شده با فولاد ممکن است برای افزایش وزن خط لوله به ویژه در نواحی مرطوب مانند باتلاق‌ها استفاده شود. از تماس بین میلگرد پوشش وزنی و خط لوله باید اجتناب شود. باید جدا بودن میلگرد از خط لوله با اندازه گیری‌هایی، در حین اعمال پوشش وزنی (مطابق با استاندارد ISO 21809-5 یا استاندارد معادل) و در حین بهره‌برداری از خط لوله بررسی شود.

۷-۶ انتخاب ماده پشت بند در کانال لوله

ممکن است به منظور اجتناب از خطر صدمه پوشش یا سپر الکتریکی شدن و برای دستیابی به پیوستگی الکتریکی بین لوله و الکترولیت، اضافه کردن موادی به کانال مانند ماسه شسته شده یا خاک نرم ضروری باشد. اضافه کردن این مواد با عنوان بالشتک گذاری منتسب شده است. به طور معمول هنگامی که از سامانه‌های پوشش با لایه محافظ در برابر سنگ استفاده می‌شود، به پشت بند فرآوری شده برای محافظت از صدمه دیدن پوشش نیازی نیست.

۷-۷ غلاف‌های مدفون برای خطوط لوله

۷-۷-۱ کلیات

غلاف‌ها می‌توانند اثرات مخربی بر روی حفاظت کاتدی لوله‌های انتقال سیال داشته باشند. توصیه می‌شود هر کجا که امکان دارد استفاده از آنها پرهیز شود. توصیه می‌شود برای حفاظت در برابر خوردگی، لوله‌های انتقال سیال دارای غلاف پوشش با کیفیت بالا داشته باشند.

هنگامی که استفاده از غلاف اجتناب ناپذیر است موارد زیر انجام شود:

- پوشش لوله انتقال سیال ؛
 - نصب جداکننده‌های^۱ عایق در فضای حلقوی بین لوله‌های انتقال سیال و غلاف؛
 - درز بندی دو انتهای غلاف.
- در عمل دست یافتن به یک درز آب بند تقریباً غیر ممکن است و ممکن است یک ماده پرکننده مناسب در فضای حلقوی تزریق شود. توصیه می‌شود ماده پرکننده از خوردگی ممانعت کند (مانند ترکیبات ویسکوالاستیک^۲، موم ممانعت کننده) یا به گونه‌ای طراحی شود که اجازه رسیدن جریان حفاظت کاتدی به لوله انتقال سیال را بدهد (مانند بتن، دوغاب قلیایی).
- باید در هنگام ساخت غلاف لوله‌های تخلیه برای شناسایی نشتی سیال حمل شده در نظر گرفته شود. همچنین هرگاه نیاز باشد، آنها می‌توانند برای تزریق پرکننده‌ها، به منظور تعمیر و نگهداری استفاده شوند.

۷-۷-۲ غلاف‌هایی که سپر الکتریکی جریان حفاظت کاتدی هستند

توصیه می‌شود محافظت از خوردگی خارجی لوله انتقال سیال، داخل غلاف‌هایی که سپر الکتریکی جریان حفاظت کاتدی هستند بوسیله موارد زیر حاصل شود:

- اگر الکترولیت وجود دارد استفاده از آندهای گالوانیک ،
- پر کردن فضای حلقوی به وسیله مواد مناسب با خواص محافظت از خوردگی دراز مدت،
- اگر آندهای گالوانیک استفاده می‌شود: نباید هیچ تماسی بین غلاف (اگر فلزی است) و آندهای گالوانیک وجود داشته باشد، و
- ملاحظات مربوط به احتمال متصل شدن جداکننده‌ها به وسیله محصولات خوردگی آند باید در نظر گرفته شود.

یادآوری: غلاف‌هایی که سپر الکتریکی جریان حفاظت کاتدی هستند شامل پلاستیک، بتن پوشش داده شده، بتن با هدایت الکتریکی کم و غلاف‌های فولادی پوشش داده شده می‌باشند.

1- Spacers

2- Visco-Elastic Compounds

۷-۳-۷ غلاف‌هایی که جریان حفاظت کاتدی را عبور می‌دهند

برای غلاف‌هایی که جریان حفاظت کاتدی را عبور می‌دهند، حفاظت کاتدی خارجی لوله حامل می‌تواند برای حفاظت کاتدی لوله انتقال سیال داخل غلاف موثر باشد، به شرط آنکه هیچ تماسی بین لوله حامل و غلاف نبوده و الکترولیت کافی در فضای حلقوی بین آنها موجود باشد. بدون وجود الکترولیت در فضای حلقوی، خوردگی اتمسفری می‌تواند در عیوب پوشش رخ دهد.

یادآوری: غلاف‌هایی که جریان حفاظت کاتدی را عبور می‌دهند عبارتند از:

- لوله‌های بدون پوشش یا با پوشش ضعیف؛
 - بتن‌های بدون پوشش که به اندازه کافی رسانا هستند؛
 - غلاف‌های با پوشش مناسب متصل به یک اتصال به زمین موضعی که به جریان حفاظت کاتدی اجازه گردش می‌دهند.
- اگر حفاظت کاتدی غلاف مورد نیاز است (به عنوان مثال بر طبق قوانین ملی یا منطقه‌ای)، بهتر است غلاف با یک اتصال مقاومتی به لوله حامل متصل شود و مقاومت به گونه‌ای تنظیم شود که مطمئن باشیم همیشه غلاف نسبت به لوله حامل آند است.

۷-۸ تجهیزات برای کاهش تداخل ناشی از جریان متناوب

دو نوع تداخل ناشی از جریان متناوب در خطوط لوله مدفون وجود دارد:

- تداخل کوتاه مدت که به دلیل نقص در خطوط فشار قوی جریان متناوب با پتانسیل بالا و تغییرات در شرایط بهره‌برداری به وجود آمده (تأثیرات اهمی و القایی؛ استاندارد EN 50443 ملاحظه کنید)؛
- تداخل دراز مدت که به دلیل القا در حین بهره‌برداری ایجاد شده است (اثر القایی، استانداردهای EN 15280 و EN 50443 را ملاحظه کنید).

ممکن است برای کاهش این اثرات سامانه‌های اتصال به زمین اضافی نیاز باشد. این سامانه‌های اتصال به زمین می‌تواند با استفاده از یک محدوده گسترده از الکترودها ایجاد شود (مانند فولاد گالوانیزه، روی، منیزیم)، به شرط آنکه اثر مخربی بر روی عملکرد حفاظت کاتدی نداشته باشند.

توصیه می‌شود برای اجتناب از اثرات مخرب بر روی حفاظت کاتدی، سامانه‌های اتصال به زمین اضافی از طریق تجهیزات مناسب (مانند تجهیزات دکوپلینگ جریان مستقیم) به خط لوله متصل شود.

۷-۹ تجهیزات برای کاهش تداخل ناشی از جریان مستقیم

جریان‌های سرگردان مستقیم می‌توانند تأثیرات مخربی بر کارایی حفاظت کاتدی اعمال شده داشته باشند و ممکن است برای اطمینان از حفاظت خوردگی خارجی موثر، نصب تجهیزات اضافی نیاز باشد (استانداردهای EN 50162 و EN 50122-2 را ملاحظه کنید).

یادآوری: راه‌های زیر می‌توانند موجب کاهش تداخل ناشی از جریان مستقیم شوند:

- نصب ایستگاه تخلیه جریان؛ به طور معمول ایستگاه‌های تخلیه جریان بعد از راه اندازی سامانه حفاظت کاتدی وصل می‌شوند، اما نصب همه تجهیزات در حین احداث از روی احتیاط است؛

- نصب اتصال عایق؛
- بهبود سطح حفاظت کاتدی در نواحی با جریان سرگردان مستقیم آندی.

۸ الزامات پایه برای طراحی حفاظت کاتدی

۸-۱ کلیات

اندازه سامانه‌های حفاظت کاتدی را می‌توان یا با محاسبات و یا بر اساس تجربه بهره بردار خط لوله در چیدمان‌های مشابه انجام داد. این بند راهنمایی برای طراحی سامانه‌های حفاظت کاتدی ارائه می‌کند. طراح ممکن است مقادیر و فرمول‌های ارائه شده دیگر، در صورتی که دستیابی به معیارهای حفاظت توسط آن مقادیر و فرمول‌ها امکان پذیر باشد را استفاده نماید.

۸-۲ اطلاعات پایه برای طراحی حفاظت کاتدی

بهتر است مطالعات پایه طراحی حفاظت کاتدی، تمام اطلاعات لازم برای انجام طراحی تفصیلی را فراهم آورد. اطلاعات ممکن است از اسناد و یا توسط مشاهدات و اندازه گیری‌های مستقیم در سایت به دست آمده باشد. توصیه می‌شود مطالعات پایه طراحی حفاظت کاتدی شامل موارد زیر باشد:

- قطر خط لوله؛
- طول خط لوله و ضخامت دیواره؛
- عمر طراحی خط لوله؛
- نوع پوشش خط لوله؛
- جزییات پوشش سر جوش‌ها؛
- محل تاسیسات رو زمینی (به عنوان مثال ایستگاه تقلیل فشار)؛
- محل هر شیر؛
- جزییات هر اتصال به زمین موضعی (به عنوان مثال در شیرهای تقویت شده)؛
- جزییات سیال منتقل شده؛
- درجه حرارت سیال منتقل شده؛
- جزییات توپوگرافی؛
- ارتفاع‌ها؛
- شرایط الکترولیت (این شرایط ممکن است شامل مقاومت ویژه الکترولیت، pH و فعالیت باکتری‌ها باشد)؛
- نتایج پیمایش‌های جریان سرگردان در الکترولیت؛
- حضور خطوط برق هوایی ولتاژ بالا؛

- کابل ها و سازه های مدفون مشخص از جمله خطوط لوله دیگر؛
- سامانه های حفاظت کاتدی مجاور مشخص؛
- تقاطع با رودخانه؛
- تقاطع با جاده و راه آهن؛
- غلاف هایی که پس از ساخت باقی می ماند (طول، مواد، پوشش در صورت وجود).
- انواع مواد بستر خط لوله؛
- تقاطع با پل و تونل؛
- ویژگی های سامانه های حمل و نقل جریان متناوب و مستقیم (برای مثال ایستگاه های فرعی، ولتاژ عملیاتی)؛
- ویژگی های کارخانه های صنعتی که با جریان مستقیم کار می کنند؛
- هر گونه تجهیزات که به صورت الکتریکی کار می کنند (به عنوان مثال شیرهای قطع کننده اضطراری)؛

۸-۳ محتوای گزارش طراحی حفاظت کاتدی

طراحی تفصیلی باید به موارد زیر ارجاع نموده و آنها را مستند نماید:

- الف- عمر طراحی سامانه حفاظت کاتدی؛
- ب- اسناد طراحی که اندازه و جانمایی تجهیزات را توجیه نماید (به عنوان مثال آندها، مبدل-یکسوکننده ها، کابل ها)؛
- پ- محاسبات میرایی پتانسیل برای توجیه فاصله نقطه تخلیه الکتریکی در صورت وجود (پیوست ث را ملاحظه کنید)
- ت- فهرست مواد؛
- ث- مشخصات مواد؛
- ج- نقشه اجمالی خط لوله (نمودار تک خطی) همراه با ویژگی های قابل توجه؛
- چ- سامانه های حفاظت کاتدی موقت؛
- ح- رویه های نصب و جزییات اتصال برای همه عناصر کلیدی که می تواند شامل موارد زیر شود:
 - ۱- بستر آندی،
 - ۲- اتصال به آند،
 - ۳- اتصال به لوله،
 - ۴- تعمیرات پوشش،
 - ۵- عایق الکتریکی، (تک بلوک، فلنج عایق، لوله های عایق)،
 - ۶- مبدل-یکسو کننده ها،
 - ۷- ایستگاه های آزمون،
 - ۸- سامانه های کاهش اثر ناشی از جریان متناوب،

۹- تقاطع دارای غلاف،

۱۰- پراب‌های خارجی، نمونه شاهد و یا الکتروود مرجع،

۱۱- پراب‌های مقاومت الکتریکی خارجی،

۱۲- اتصال‌ها (هم پتانسیل، مقاومتی و یک سوپه)،

۱۳- سامانه‌های تخلیه الکتریکی و

۱۴- پایش یا کنترل از راه دور؛

خ- دستورالعمل‌های راه اندازی؛

د- راهنماهای بهره برداری و نگهداری.

۸-۴ جریان مورد نیاز حفاظت کاتدی

۸-۴-۱ محاسبه کل جریان مورد نیاز تئوری

ارزیابی جریان مورد نیاز لازم برای حفاظت کاتدی، باید با داده‌های ورودی طراحی توضیح داده شده در بندهای ۸-۴-۲ و ۸-۴-۳ انجام شود.

از آنجا که وضعیت پوشش در زمان طراحی شناخته شده نیست، الزامات جریان حفاظت کاتدی برای سامانه حفاظت کاتدی می‌تواند تنها یک تخمین باشد که ممکن است از روشهای زیر به دست آید:

- چگالی‌های جریان برای سطح فولاد بدون پوشش برای خطوط لوله دارای پوشش، ترکیب شده با فاکتور تخریب پوشش و

- چگالی‌های جریان برای خطوط لوله پوشش داده شده.

فاکتورهای تخریب پوشش و چگالی‌های جریان مورد استفاده برای طراحی باید توسط بهره‌بردار خط لوله تایید شده باشد.

۸-۴-۲ جریان مورد نیاز بر اساس فاکتور تخریب پوشش

برای خطوط لوله جدید، کل جریان مورد نیاز I_{tot} ، با استفاده از فرمول (۳) تعیین می‌شود:

$$I_{tot} = \pi D \times L \times k \times j \times f_f \quad (3)$$

که در آن k یک فاکتور احتمال به علت احتمال توزیع غیر یکنواخت جریان در طول خط لوله، میرایی، و سپر الکتریکی شدن است.

یادآوری: به علت پدیده میرایی، جریان مورد نیاز در طول خط لوله طویل می‌تواند بسیار بالاتر باشد. به طور معمول مقادیر k بالاتر از ۱/۲۵ استفاده می‌شود.

ممکن است محاسبه فاکتور تخریب پوشش با استفاده از مقادیر داده شده در جدول (۲) انجام شود. انتخاب فاکتور تخریب پوشش برای انواع دیگر پوشش‌های خط لوله باید توجیه شده و مستند باشد.

توصیه می‌شود چگالی جریان طراحی متداول برای خط لوله فولادی و چدنی بدون پوشش در محدوده 100 mA/m^2 تا 1 A/m^2 باشد که به طور عمده به نرخ نفوذ اکسیژن در سطح فلز و مقاومت ویژه الکترولیت برای رسیدن به معیار حفاظت کاتدی بستگی دارد.

به دلیل تخریب پوشش، جریان مورد نیاز یک خط لوله پوشش داده شده با گذشت زمان افزایش می‌یابد. توصیه می‌شود ظرفیت حفاظت کاتدی کافی برای حفظ شرایط حفاظتی همزمان با تخریب پوشش فراهم شود. فاکتور تخریب نهایی پوشش، f_f ، با استفاده از فرمول (۴) آورده شده است:

$$f_f = f_i + (\Delta f \times t_{dl}) \quad (۴)$$

که در آن:

f_i فاکتور تخریب اولیه پوشش در آغاز بهره‌برداری خط لوله است؛

Δf متوسط افزایش سالانه در فاکتور تخریب پوشش است؛

t_{dl} عمر طراحی بر حسب سال است.

بجز در مواردی که مقادیر دیگری توجیه داشته باشند، توصیه می‌شود فاکتورهای تخریب پوشش نشان داده شده در جدول (۲)، به شرطی که دمای بهره‌برداری خط لوله از حداکثر دمایی که پوشش برای آن تایید شده تجاوز نکند، استفاده شوند. بهتر است برای پذیرفتن آسیب پوشش به علت دماهای بهره‌برداری بالاتر از مقادیر طراحی پوشش، فاکتور تخریب پوشش افزایش یابد.

یادآوری: فاکتور تخریب پوشش در جدول (۲) بر اساس کیفیت پوشش مطابق با بخش‌های مختلف از مجموعه استانداردهای بین‌المللی ISO 21809 یا معادل آن است.

فاکتور تخریب پوشش شامل برخی مفروضات برای آسیب دیدگی پوشش‌های خط لوله در حین ساخت، نصب و راه‌اندازی، و بهره‌برداری از جمله آسیب‌های شخص ثالث است. با این حال، آنها شامل آسیب دیدن شدید پوشش و یا بدون پوشش قرار دادن سرجوش‌ها نمی‌باشد. اگر این شرایط پیش‌بینی می‌شود، باید مساحت سطوح متأثر تخمین زده شده و در محاسبات طراحی سطح به عنوان فلز بدون پوشش ($f_f = 1$) لحاظ شوند و یا اینکه باید فاکتور تخریب پوشش در جدول (۲) افزایش یابد.

باید فاکتورهای تخریب پوشش توصیه شده در جدول (۲) برای پوشش‌هایی در نظر گرفته شوند که به صورت کامل برای حداکثر دمای عملیاتی خط لوله تایید صلاحیت شده‌اند. اگر هر گونه شک در مورد آسیب و/یا جدایش پوشش با افزایش دما وجود دارد، باید بعد از مستندسازی از رقم‌های بالاتری استفاده شود. فاکتورهای تخریب پوشش برای انواع دیگر پوشش خط لوله باید به طور کامل مستند شود.

جدول ۲ - فاکتور تخریب متداول در طراحی پوشش

پوشش خط لوله	فاکتور تخریب اولیه پوشش (f_i)	متوسط افزایش سالانه در فاکتور تخریب پوشش (Δf)
اپوکسی پیوند ذوبی (FBE)	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳
پلی اتیلن سه لایه (3LPE)	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۳
پلی پروپیلن سه لایه (3LPP)	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۳
اپوکسی مایع	۰/۰۰۸	۰/۰۱
قیر پایه زغال سنگی	۰/۰۰۸	۰/۰۱

۸-۴-۳ جریان مورد نیاز بر اساس مقادیر چگالی جریان برای خطوط لوله پوشش داده شده

یک روش جایگزین برای محاسبه جریان مورد نیاز کل (I_{tot})، محاسبه سطح کل خط لوله و اعمال چگالی جریان برای خطوط لوله فولادی پوشش داده شده در جدول (۳) و استفاده از فرمول (۵) است.

$$I_{tot} = \pi D \times L \times k \times j_c \quad (۵)$$

برای خطوط لوله موجود بدون داشتن اطلاعات از تاریخچه آن، ممکن است جریان مورد نیاز توسط محاسبات و بر اساس شرایط پوشش مفروض برآورد شود. به طور جایگزین ممکن است آزمونی با اعمال جریان و اندازه گیری پتانسیل لوله نسبت به الکترولیت در مکان های مختلف در طول خط لوله برای مقدار مشخص جریان اعمال شده انجام شود. نتایج آزمون ممکن است برای محاسبه جریان مورد نیاز کل و فاصله بستر آندی مورد استفاده قرار گیرد.

همچنین طراحی ممکن است با استفاده از مفهوم «مقاومت متوسط پوشش» r_{co} بر حسب اهم در متر مربع انجام شود. رابطه بین چگالی جریان، j_c ، و مقاومت پوشش متوسط می تواند با استفاده قانون اهم که در فرمول (۶) داده شده، برقرار شود:

$$j_c = \Delta E / r_{co} \quad (۶)$$

که در آن ΔE تغییر پتانسیل ناشی از جریان حفاظت کاتدی است که نسبت به یک الکتروود مرجع در زمین دور اندازه گیری شده است.

چگالی های جریان طراحی در جدول (۳) ممکن است به صورت زیر مورد استفاده گیرد.

- مقادیر برای طراحی‌های بهینه مرتبط با شرایط آسیب خوشبینانه اما واقع بینانه، و باید برای طراحی‌های گالوانیک یا به منظور بررسی کیفیت پوشش پس از نصب خط لوله مورد استفاده قرار گیرد.

- مقادیر برای طراحی‌های محافظه کارانه مرتبط با شرایط آسیب بدبینانه، و توصیه می‌شود برای طراحی سامانه‌های جریان اعمالی برای بهره‌برداری طولانی مدت استفاده شود. چگالی‌های جریان برای انواع دیگر پوشش‌های خط لوله باید توجیه شده و مستند شود. **یادآوری:** این ارقام برای طراحی بهینه سازی شده، جریان مصرف شده توسط نمونه شاهد متصل به خط لوله، جریان در حال ترک در طول دستگاه دکوپلینگ جریان مستقیم، و جریان سازه‌های خارجی را در نظر نمی‌گیرند. آنها از تجربه کارکنان مختلف حاصل می‌شوند و برای کمک به طراح به منظور تعیین اندازه تجهیزات استفاده می‌شوند.

جدول ۳ - مقادیر چگالی جریان طراحی نمونه برای خط لوله پوشش داده شده

نوع پوشش	چگالی جریان برای طراحی بهینه mA/m ²	چگالی جریان برای طراحی محافظه کارانه mA/m ²
پلی اتیلن سه لایه (3LPE) یا پلی پروپیلن سه لایه (3LLP)	۰٫۰۱ تا ۰٫۰۲	۰٫۰۵ تا ۰٫۲
اپوکسی پیوند ذوبی (FBE)	۰٫۲ تا ۰٫۲	۰٫۴ تا ۰٫۷
پوشش قیر پایه زغال سنگی یا بیتومن ^۱	۰٫۲ تا ۰٫۳	۰٫۳ تا ۰٫۸
یادآوری: این مقادیر برای خطوط لوله ای که بر اساس استانداردهای مطرح شده در بندهای ۲-۵-۷ و ۳-۵-۷ ساخته شده اند ارایه شده است.		

۸-۵ تجهیزات حفاظت کاتدی

۸-۵-۱ کابل‌های حفاظت کاتدی

باید کابل‌های اتصال خطوط لوله حفاظت شده، آندهای جریان اعمالی، آندهای گالوانیک، ایستگاه‌های تخلیه الکتریکی و ایستگاه‌های آزمون برای سرویس‌های مدفون مناسب باشند. توصیه می‌شود این کابل‌ها فاقد تقویت فلزی باشند. فقط کابل‌های نصب شده برای استفاده به عنوان محافظ رساناهای زمین باید به آن منظور استفاده شود.

یادآوری: اگر تقویت کننده فلزی بیش از اندازه خم شوند، می‌تواند موجب نقص در عایق کابل شود.

عایق کابل باید برای محیط (به عنوان مثال شرایط مدفون، یا شرایط غوطه ور و مقاوم در برابر کلر) و همچنین کاربرد کابل (آندی یا کاتدی) مناسب باشد.

سطح مقطع‌های کابل باید بر اساس موارد زیر طراحی شود:

- افت ولتاژ که با توجه به طراحی از لحاظ فنی قابل قبول باشد.

- جریان حالت پایدار در سطح مقطع کابل مطابق با طراحی؛
 - خواص عایقی کابل؛
 - استحکام مکانیکی؛
 - انعطاف پذیری؛
 - شرایط دمای بهره‌برداری؛
 - اقتصادی.
- نباید عایق الکتریکی کابل‌های سامانه‌های جریان اعمالی و سامانه‌های تخلیه الکتریکی زمانی که در معرض الکترولیت قرار می‌گیرد آسیب ببینند.
- یادآوری:** اگر کابل آندی آسیب ببیند، حفاظت با جریان اعمالی می‌تواند در یک زمان بسیار کوتاه بی‌اثر شود.
- توصیه می‌شود ماده رسانا از جنس مس باشد.
- سطح مقطع کلی کابل‌ها نباید از مقادیر زیر کمتر باشد:
- الف- سامانه‌های جریان اعمالی:
- ۱- کابل به خط لوله حفاظت شده 10 mm^2 ؛
 - ۲- کابل به بستر آندی $4 \times 2,5\text{ mm}^2$ یا 10 mm^2 ؛
- ب- سامانه‌های آند گالوانیک:
- ۱- کابل به خط لوله حفاظت شده 4 mm^2 ؛
 - ۲- کابل به آند منفرد $2,5\text{ mm}^2$
- ج- سایر تاسیسات:
- ۱- کابل برای اندازه‌گیری پتانسیل $2 \times 2,5\text{ mm}^2$ یا 6 mm^2 ؛
 - ۲- کابل برای اندازه‌گیری‌های جریان در یک طول مشخص $4 \times 2,5\text{ mm}^2$ ؛
 - ۳- کابل برای اتصال پیوستگی $4 \times 2,5\text{ mm}^2$ یا 10 mm^2 ؛
- الزامات زیر باید در نصب کابل اعمال شود:
- کابل‌ها باید بدون پیچش یا تاب برداشتن قرار داده شوند؛
 - باید بین خط لوله و هر هسته و یا هر کابل با عملکرد مجزا اتصالات جداگانه ایجاد شود؛
- مثال:** برای جلوگیری از خطاهای ناشی از افت ولتاژ، کابل‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری پتانسیل از کابل‌های حامل جریان متفاوت هستند.
- توصیه می‌شود کابل‌ها در مجاورت کابل‌های برق قرار نگیرند؛
 - برای جلوگیری از آسیب به تاسیسات، کابل‌ها باید با احتیاط نصب شوند؛
- یادآوری ۱:** گاهی اوقات مطابق با مقررات الکتریکی و ایمنی محلی ترجیح داده می‌شود کابل‌ها در غلاف محافظ قرار داده شوند یا برای محافظت کابل‌ها به خوبی پوشیده شده و نوار هشدار دهنده استفاده شود. همچنین امکان دفن کابل در شن و ماسه با دانه-بندی ریز میسر است.

- توصیه می شود مسیرهای کابل در صورت وجود، با استفاده از نشانگرهای کابلی که در فواصل حدود ۱۰۰ متر و در هر تغییر جهت نصب می شوند، علامت گذاری شوند.
 - توصیه می شود تا آنجا که ممکن است از اتصال های کابل^۱ اجتناب شود. بهتر است اتصالات کابلی مدفون و غوطه ور، برای دفن و یا غوطه وری دائم مناسب باشند.
- یادآوری ۲:** یکپارچگی عایق کابل که بستر آندی (یا یک عنصر از بستر آندی) را به قطب مثبت ایستگاه جریان اعمالی متصل می کنند ضروری است. در غیر این صورت، ورود رطوبت و متعاقباً اکسیداسیون رسانا می تواند منجر به از کار افتادگی زودرس بستر آندی شود.

۸-۵-۲ اتصال کابل

اتصال کابل های حفاظت کاتدی به خط لوله فقط باید توسط افراد ماهر و بر اساس استاندارد ISO 13847 یا دستورالعمل های مستند انجام شود. دستورالعمل های مستند باید توسط بهره بردار خط لوله تایید گردد.

یادآوری: اتصال معمولاً با روش های زیر انجام می شود:

- پین بریزینگ^۲
 - لحیمکاری نرم^۳
 - اتصالات چسبی (فقط برای کابل های اندازه گیری)
 - جوشکاری ذوبی با رسوب فلز
 - جوشکاری میله ای^۴
 - جوشکاری قطعه ای فولادی (به عنوان مثال ورق تقویت کننده)، که میله ای از قبل به آن جوش داده شده است (یا روشهای معادل)، به صورت مستقیم به خط لوله، و
 - جوشکاری ترمیت^۵
- جوشکاری اتصالات کابل نباید در خم ها یا در ۲۰۰ میلیمتری سر جوش لوله ها، اتصالات و شیرها انجام پذیرد. هنگامی که از جوشکاری ترمیت استفاده شده است، روش جوشکاری باید به گونه ای باشد که هر نوع نفوذ مس به ماده خط لوله، کمتر از ۱ میلیمتر باشد و سختی موضعی خط لوله در محدوده مشخصات فنی لوله باقی بماند. انجام جوشکاری ترمیت بر روی خطوط لوله از جنس آلیاژهای مقاوم به خوردگی توصیه نمی شود.
- توصیه می شود پودر جوش^۶ ترمیت بیشتر از ۱۵ گرم نباشد.
- جوشکاری ترمیت در خطوط لوله درحین کار باید مطابق با دستورالعمل ایمنی مستند شامل موارد زیر تهیه شود:
- الزامات بازرسی و تست برای بررسی یکپارچگی دیواره لوله قبل از جوشکاری؛

1- Cable Joints
2- Pin Brazing
3- Soft Soldering
4- Stud Welding
5 - Aluminothermic Welding
6- Weld Charges

- انتقال و دفع حرارت توسط سیال درون خط لوله؛
- اثرات احتمالی که حرارت جوشکاری ممکن است بر روی سیال داشته باشد (به طور مثال برای ترکیبات شیمیایی خاص).
- توصیه می شود اتصالات با آزمون های مکانیکی و الکتریکی به منظور مشخص نمودن موارد زیر مورد بررسی قرار گیرند:
- الف) سطح خط لوله حفاظت شده به طور نامطلوب تحت تاثیر قرار نگرفته است (برای مثال ترک های سطحی قابل قبول بر روی سطح خط لوله)
- ب) خصوصیت های الکتریکی و مکانیکی اتصال برای هدف مورد نظر مناسب است.
- کارآیی مکانیکی می تواند با استفاده از چکش نوک تیز یک کیلوگرمی مورد آزمون قرار گیرد، استاندارد EN 12732 را ملاحظه کنید. کارآیی الکتریکی می تواند با اندازه گیری مقاومت الکتریکی اتصال اندازه گیری شود. توصیه می شود مقاومت اتصال بدون در نظر گرفتن مقاومت کابل، کمتر از ۰/۰۱ اهم باشد.
- توصیه می شود پس از انجام آزمون، پوشش به صورتی تعمیر شود که از نفوذ آب در آینده جلوگیری شود.

۸-۵-۳ احتیاط هایی در خصوص جعبه های توزیع و ایستگاه های آزمون

- بهتر است تمامی تجهیزات الکتریکی مرتبط با حفاظت کاتدی بر روی زمین به صورت مناسبی محصور شده باشند تا از دسترسی های غیر مجاز و محیط پیرامون محافظت شوند.
- توصیه می شود محفظه ها^۱ در مکان هایی با دسترسی ایمن قرار گیرند.
- یادآوری ۱:** بیشتر تجهیزات رو زمینی متداول می توانند در قالب فعال و غیر فعال طبقه بندی شوند. در این حالت، تجهیزات فعال شامل مواردی همچون مبدل - یک سو کننده، اتصالات تخلیه الکتریکی دیودی و پیل های پلاریزاسیون هستند. تجهیزات غیر فعال شامل مواردی همچون جعبه های توزیع، تجهیزات اندازه گیری، پایش از راه دور، و اتصالات هم پتانسیل هستند. در برخی موارد، تجهیزات اندازه گیری غیر فعال در دسته بندی تجهیزات فعال قرار می گیرند.
- تجهیزات فعال بهتر است در محفظه یا اتاقک با اندازه مناسب قرار داده شوند. توصیه می شود در رابطه با انتخاب اندازه محفظه یا اتاقک، حرارتی که ممکن است توسط تجهیزات فعال تولید گردد در نظر گرفته شود. بهتر است مواد مورد استفاده برای شرایط محیطی پیش بینی شده مثل تابش اشعه فرا بنفش مناسب باشد. ضرورت ندارد که محفظه قابل قفل شدن باشد.
- توصیه می شود اتاقک در موارد مقتضی از شرایط زیر برخوردار باشد:
- جعبه های اتصال برق اصلی؛
 - پنل توزیع الکتریکی ورودی با تجهیزات ایمن و سوکتهای کمکی^۲،

1- Enclsure
2- Auxilliary Socket

- تثبیت کننده‌های تجهیزات اصلی (برای مثال مبدل - یک سو کننده، پیل پلاریزاسیون، اتصال تخلیه الکتریکی دیودی)؛
 - پنل برای اندازه گیری‌های آزمونی؛
 - اتصال به زمین؛
- دسته بندی حفاظتی اتاقک^۱ (IP) باید برای سازگار بودن با محیط پیرامون انتخاب شده و بر اساس استاندارد IEC 60529 باشد.

در هر تاسیسات تمامی کابل‌ها باید به صورت مشخص علامت گذاری شوند یا بر اساس کدهای رنگی مشخص شوند تا شناسایی‌های آتی مبهم نباشد. اتاقک باید بر چسب شناسایی دائمی داشته باشد.

یادآوری ۲: اتاقک‌های تجهیزات غیر فعال معمولاً بسیار کوچک تر از محفظه‌هایی هستند که برای نصب تجهیزات الکتریکی استفاده می شوند.

توصیه می‌شود تجهیزات تست در ایستگاه آزمون یا محفظه مناسب، محصور شوند. بهتر است دسترسی آسان به پایانه اندازه گیری فراهم شود، و توصیه می شود تمامی کابل ها به صورت دائمی علامت گذاری شده یا بر اساس کد رنگی باشند تا هدف آنها مشخص شود. اگر هر گونه خطر ولتاژهای متناوب بر روی خط لوله وجود داشته باشد، تجهیزات اندازه گیری بهتر است غیر فلزی باشند (نمای مرده^۲) تا از خطر شوک الکتریکی به کارکنان و افراد دیگر جلوگیری شود. تجهیزات آزمون بهتر است از برچسب مشخصات دائمی برخوردار باشند.

تجهیزات نصب شده در زیر سطح یا جعبه سطحی بهتر است از استحکام مکانیکی کافی برای ترافیک پیش بینی شده برخوردار باشند (برای مثال جعبه های سطحی در بزرگراه‌ها یا داخل تاسیسات رو زمینی).

توصیه می شود جعبه های توزیع و ایستگاه‌های پایش استفاده شده برای اتصال کابل‌های حامل جریان خارج از مناطق خطرناک باشند تا از خطر ناشی از جرقه جلوگیری شود. اگر ایستگاه آزمون در منطقه خطرناک قرار داده شود باید با دسته بندی مناطق خطرناک بر اساس استاندارد IEC 60079-10-1 یا استانداردهای معادل مطابقت داشته باشد.

یادآوری: مدارک دیگر مانند استاندارد API RP 500 نیز می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۸-۶ حفاظت موقت

توصیه می شود حفاظت کاتدی موقت در بازه زمانی بین پرکردن کانال و اعمال سامانه حفاظت کاتدی داریم به منظور کاهش خطر خوردگی خارجی خط لوله استفاده شود.

1- Protection category of housing
2- Dead face

بهتر است سامانه حفاظت کاتدی موقت در دوره زمانی پیش بینی شده تا زمان دایر شدن سیستم حفاظت کاتدی دائمی فراهم شود. این سامانه برای احتیاط در یک محدوده‌ای قابل ملاحظه ایمن اعمال می‌شود تا تاخیرهای احتمالی در ساخت میسر باشد.

حفاظت موقت در هر یک از شرایط زیر باید فراهم شود:

- خط لوله نصب شده در الکترولیت با مقاومت پایین (کمتر از $100 \Omega.m$)؛
 - بازه میان نصب خط لوله و حفاظت کاتدی دائم از ۳ ماه تجاوز نماید؛
 - خط لوله نصب شده در مناطقی با خطر خوردگی بالا قرار گیرد، برای مثال در اثر پیل های ژئولوژیکی.
- توصیه می‌شود بسته به مقاومت ویژه الکترولیت و جریان مورد نیاز، آندهای روی یا منیزیم مورد استفاده قرار گیرند (بندهای ۱۰-۳ و ۱۰-۴ را ملاحظه کنید).
- آندهای گالوانیک موقت باید فقط با تجهیزات رو زمینی به لوله متصل شوند.
- یادآوری:** جابجایی و جدا کردن آندهایی که به صورت مستقیم به لوله متصل شده اند در زمانی که سامانه حفاظت کاتدی دائمی عملیاتی شود مشکل است و می تواند مانع از پیمایش‌های حفاظت کاتدی روش/خاموش دقیق در آینده گردد.
- خروجی‌های جریان آند و اثربخشی آنها در فراهم نمودن حفاظت کاتدی باید با اندازه‌گیری‌هایی مطابق با پیوست الف تایید شود.

۸-۷ موارد خاص در خطوط لوله موجود

۸-۷-۱ کلیات

برای خطوط لوله موجود، ممکن است طراحی با استفاده از اطلاعات بند ۸-۴-۳ به همراه آزمون‌های میدانی انجام گیرد. ممکن است محاسبات میرایی برای تعیین موقعیت بستر آندی در طول خط لوله انجام گیرد (پیوست ث را ملاحظه کنید).

یادآوری: در برخی مواقع، تنها داده‌های معنی داری که می توانند جمع آوری شوند محدود به مقاومت ویژه الکترولیت، تحلیل الکترولیت، اندازه گیری‌های جریان سرگردان و نتایج به دست آمده از سامانه حفاظت کاتدی جریان اعمالی موقت خواهد بود.

۸-۷-۲ خطوط لوله موازی

جایی که خطوط لوله موازی هستند، لازم است برای اطمینان از عدم ایجاد تداخل غیر قابل قبول یا عدم وجود سپر الکتریکی، احتیاط‌هایی در نظر گرفته شود. تداخل می تواند در نتیجه تاثیر حفاظت کاتدی اعمالی ایجاد شود، که در این حالت ممکن است نیاز باشد سامانه‌ها تنظیم یا خط لوله با یک سامانه حفاظت کاتدی متداول محافظت شود.

در جایی که اصلاحاتی در حفاظت کاتدی یا سامانه پوشش یک خط لوله انجام شده است، نباید تاثیر معکوس بر دیگر خطوط لوله داشته باشد.

برای کنترل جریان، ممکن است اتصالات بین دو یا چند خط لوله مستقیم باشند، یا ممکن است وجود یک دیود یا مجموعه ای از مقاومت های نصب شده در تجهیزات آزمون ضروری باشد.

توصیه می شود محل بسترهای آندی با لحاظ نمودن خطر سپر الکتریکی شدن و تداخل انتخاب شود.

بهتر است بدون موافقت بهره بردار خط لوله خارجی موازی بر روی آن هیچ کاری انجام نشود.

یادآوری ۱: احتمالاً اتصال خطوط لوله موازی با جریان مورد نیاز بسیار متفاوت برای حفاظت کاتدی، موفقیت آمیز نخواهد بود. در برخی مواقع سامانه های حفاظت کاتدی جداگانه مورد نیاز خواهد بود.

یادآوری ۲: زمانی که پتانسیل های لوله نسبت به الکترولیت بر روی خطوط لوله موازی که به یکدیگر متصل نشده اند اندازه گیری می شود، قرارگیری صحیح الکترود مرجع اهمیت از بالایی برخوردار است.

۸-۷-۳ موازی بودن یا تقاطع با سامانه های برق جریان متناوب

باید اقدامات ممکن در برابر رویداد ولتاژ متناوب بحرانی مطالعه شده، و برای کنترل خوردگی احتمالی ناشی از جریان متناوب در خط لوله (پیوست ب را ملاحظه کنید) و دیگر آسیب های خط لوله اجرا گردد.

یادآوری ۱: در موارد تاثیر طولانی مدت جریان متناوب بر خطوط لوله فلزی، امکان دارد جریان متناوب بین فلز بدون پوشش (یعنی عیوب پوشش) و الکترولیت شارش یابد. در این شرایط، خوردگی ناشی از جریان متناوب می تواند در شرایط بهره برداری عادی خطوط لوله رخ دهد.

یادآوری ۲: خوردگی ناشی از جریان متناوب برای خطوط لوله حفاظت کاتدی شده در استاندارد EN 15280 بررسی شده است. دیگر آسیب های خط لوله و ایمنی کارکنان در استاندارد EN 50443 بررسی شده است.

۸-۸ روشهای نصب بدون کانال

در خط لوله کشیده شده در تونل و یا نصب شده توسط روش های حفاری افقی (بدون کانال)، خطر آسیب پوشش خارجی در حین کشیده شدن وجود دارد. این روش های ساخت در زمانی که این بخش از خط لوله نصب شده است، مانع بازرسی دقیق پوشش و یا اندازه گیری پتانسیل در فواصل نزدیک می گردد. توصیه می شود تکنیک های ارزیابی دیگری برای تعیین اینکه آیا پوشش آسیب دیده است یا خیر استفاده شود. تکنیک های ارزیابی دیگر، به عنوان مثال بند ت. ۳-۴ را ملاحظه کنید، می تواند به تعیین اینکه آیا این بخش لوله را می توان به صورت کاتدی حفاظت نمود، کمک کند. اگر معیار پذیرش پس از ارزیابی روش های انجام شده قابل قبول نباشد، سپس در صورتی که از لحاظ فنی امکان پذیر باشد، ممکن است پیمایش عیوب پوشش انجام شود. این ارزیابی می تواند محل عیوب پوشش را مشخص کند و در تعیین هر گونه الزامات برای بازسازی کمک نماید.

توصیه می شود موارد زیر برای احداث بدون کانال فراهم شود.

- توصیه می شود تجهیزات آزمون در هر دو طرف تقاطع و تا آنجایی که امکان دارد نزدیک به هم نصب شوند تا بهترین اندازه گیری های ممکن در قسمت های غیر قابل دسترس خط لوله انجام گیرد.

- بهتر است پس از آنکه یک بخش دوغاب ریزی یا پشته ریزی گردید، اندازه گیری‌هایی به منظور تشخیص سالم بودن پوشش انجام گیرد.

- اگر بخش‌هایی از خط لوله بدون کانال نمی‌توانند توسط سامانه حفاظت کاتدی اصلی حفاظت شود، باید از نظر الکتریکی عایق شده و به طور جداگانه حفاظت کاتدی شود.

۹ ایستگاه‌های جریان اعمالی

۹-۱ کلیات

توصیه می‌شود ایستگاه‌های جریان اعمالی در جایی قرارگیرد که دسترسی آسانی داشته و در برابر آسیب‌های محیطی، آسیب‌های الکتریکی و خرابکاری حفاظت شود. نصب تجهیزات باید مطابق با مقررات ایمنی و الکتریکی ملی یا منطقه ای مرتبط انجام گیرد.

بهتر است در هنگام انتخاب مکان موارد زیر در نظر گرفته شود:

- نزدیکی به یک منبع برق جریان متناوب یا امکان استفاده از منبع تغذیه دیگر (باتری، پنل‌های خورشیدی با باتری)؛

- شرایط الکترولیت مناسب و مکان مناسب برای سامانه بستر آندی؛

- فاصله از خط لوله و از دیگر سازه‌های فلزی (سازه‌های مدفون و یا ساختمان‌های فلزی)، به طور عمده در مناطق شهری؛

- فاصله از دیگر سامانه‌های کاتدی یا منابع جریان متناوب یا مستقیم؛

- مناطق خطرناک.

معمولاً کار نصب تجهیزات پس از تکمیل خط لوله در اسرع وقت انجام می‌شود. اگر در طراحی الزام شده باشد (بند ۸-۵ را ملاحظه کنید)، سامانه‌های حفاظت کاتدی موقت باید نصب و فعال شوند.

توصیه می‌شود برچسب‌های زیر بر روی اتاقک‌ها قرار داده شوند:

- علائم ایمنی در خصوص خطرات ناشی از برق؛

- علائم شناسایی مربوط به مالک / بهره بردار و نصب.

۹-۲ منبع تغذیه

توصیه می‌شود منبع ولتاژ جریان مستقیم یک واحد مبدل - یک‌سوکننده باشد که توسط یک منبع جریان متناوب تغذیه می‌شود. اما منابع ولتاژ دیگری نیز ممکن است مد نظر قرار گیرد.

در مشخص کردن منابع ولتاژ جریان مستقیم موارد ذیل باید مورد توجه قرار گیرند:

- در دسترس بودن و نوع اتصال به منبع جریان متناوب؛

- نوع یک‌سوکننده؛

- دستگاه های اندازه گیری مانند ولت مترها، آمپر مترها؛
 - تعداد ترمینال های خروجی؛
 - نوع سرد کردن (هوا یا روغن)؛
 - نوع کنترل خروجی (ولتاژ، جریان یا پتانسیواستاتیک^۱)؛
 - اتصال قابل جدا شدن^۲ تا امکان قرار گرفتن قطع کننده جریان چرخه ای^۳ میسر شود؛
 - الزامات نصب دائمی قطع کننده جریان چرخه ای؛
 - الزامات الکتریکی و ایمنی تجهیزات؛
 - اندازه گیری های حفاظتی در برابر امکان تداخل ولتاژ بالا؛
 - الزامات حفاظت در برابر جریان هجومی متناوب یا مستقیم؛
 - الزامات حفاظت محیطی و اتاقک؛
 - مقدار جریان متناوب در جریان مستقیم خروجی (فاکتور رایپل^۴ قابل قبول)؛
 - شناسایی و رده بندی جزییات ورق^۵؛
 - حفاظت محیطی (برای مثال رده بندی IP)؛
 - تجهیزات پایش/کنترل از راه دور.
- به طور کلی، توصیه می شود از ولتاژهایی بالاتر از ۵۰ V d.c. (خروجی یک سو کننده) اجتناب شود.
- یادآوری:** شیب های ولتاژ بالا در خاک مجاور بسترهای آندی می تواند برای اشخاص و حیوانات، یا ساختمان ها با سازه های فلزی خطرناک باشد.
- مبدل / یک سو کننده ها باید مخصوص خدمات حفاظت کاتدی طراحی شده باشد و باید برای کاربرد مداوم تحت شرایط سرویس دهی متداول، مناسب باشد.

۹-۳ بسترهای آندی

۹-۳-۱ کلیات

- بسترهای آندی سیستم حفاظت کاتدی جریان اعمالی باید از نوع چاهی عمیق یا سطحی باشد. در طراحی و قرارگیری موارد زیر باید رعایت شده باشد.
- الف) مقدار مواد بستر آندی (آند و پشت بند) باید با اندازه بستر آندی و عمر طراحی سامانه حفاظت کاتدی متناسب باشد.

1- Potentiostatic
2- Removable Link
3- Cyclical Current Interrupter
4- Ripple
5- Plate

ب) مقاومت تا زمین دور در هر بستر آندی باید بیشینه جریان مورد نیاز پیش‌بینی شده در طول عمر طراحی سامانه حفاظت کاتدی، و نه بیشتر از مقدار تعریف شده در طراحی (برای مثال ۷۰ درصد ظرفیت ولتاژ منبع جریان مستقیم) را در طول تمامی فصول سال برآورده کند. این محاسبات باید بر اساس مقاومت بستر آند در پایان عمر طراحی بستر آندی انجام گیرد.

یادآوری: فرمول‌هایی برای محاسبه مقاومت در کتاب مرجع مهندسی خوردگی NACE ارائه شده است (ویرایش سوم)

ج) باید از تداخل مضر بر روی سازه‌های مدفون در خاک مجاور شامل نرده ها، خطوط لوله خارجی، تجهیزات لوله‌کشی، و سامانه‌های اتصال به زمین جلوگیری شود.

در انتخاب مکان و نوع بسترهای آندی برای نصب، شرایط محلی ذیل باید در نظر گرفته شود:

- شرایط الکترولیت و تغییرات مقاومت با عمق؛

- سطوح آب‌های زیرزمینی؛

- هر گونه نشانه‌ای از تغییرات زیاد در شرایط خاک از فصلی به فصل دیگر؛

- وضعیت عوارض زمین^۱؛

- سیر الکتریکی شدن (به خصوص برای خطوط لوله موازی)؛

- احتمال خسارت در اثر مداخله شخص ثالث.

طراحی پایه باید شامل محاسبه مقاومت بستر آندی بر اساس دقیق‌ترین اطلاعات موجود در خصوص مقاومت الکتریکی خاک باشد.

اگر چند بستر آندی برای انتقال جریان مورد نیاز لازم باشد، باید خروجی جریان از هر بستر آندی به طور مستقل قابل تنظیم باشد.

۹-۳-۲ بسترهای آندی چاه عمیق

توصیه می‌شود بسترهای آندی چاهی عمیق الزامات استاندارد NACE SP0572 را برآورده سازد.

بهتر است بسترهای آندی چاهی عمیق در مناطقی در نظر گرفته شوند که:

- شرایط هیدرولوژی^۲ و ژئو الکتریک^۳ زیرزمینی اجازه دهد؛

- شرایط الکترولیت در عمق، بسیار مناسب‌تر از سطح باشد،

- خطر سیر الکتریکی شدن توسط لوله های مجاور یا دیگر سازه‌های مدفون وجود داشته باشد،

- فضای در دسترس برای یک بستر آندی سطحی محدود باشد،

- خطر ایجاد جریان‌های تداخلی بر روی تاسیسات مجاور وجود داشته باشد.

1- Terrain

2- Hydrologic

3- Geoelectric

طراحی تفصیلی باید شامل دستورالعمل حفاری چاه عمیق، مشخص کردن مقاومت خاک در عمق های مختلف، پر کردن ناحیه حفاری شده و روش نصب آندها و پشت بند رسانا باشد.

باید طراحی و ساخت سوراخ های حفاری به گونه ای باشد که از انتقال ناخواسته آب بین نواحی مختلف ساختارهای ژئولوژیکی و آلودگی لایه های زیرزمینی^۱ اجتناب شود. در برخی کشورها ممکن است این فعالیت نیازمند آزمون های ویژه و مستندسازی باشد.

توصیه می شود در صورت لزوم در قسمت فعال بستر آندی، از جداره فلزی برای پایدار کردن ناحیه سوراخکاری شده استفاده گردد. این جداره های فلزی باید از نظر الکتریکی از تمام سازه های سطحی عایق شوند.

یادآوری: جداره های فلزی تنها پایداری موقت سوراخ های حفر شده را موجب می شوند، زیرا فلز با شارش جریان مستقیم مصرف می شود.

اگر پایداری دایمی مورد نیاز باشد توصیه می شود از جداره های مشبک^۲ غیر فلزی استفاده شود. در محاسبه مقاومت بستر آندی، اطلاعات مقاومت ویژه الکترولیت در وسط عمق طول فعال باید مورد استفاده قرار گیرد و احتمال وجود الکترولیت های چند لایه ای با مقاومت ویژه الکترولیت کاملاً متفاوت مورد توجه قرار گیرد. بسترهای آندی چاهی عمیق باید توسط لوله های تهویه مناسب تجهیز شوند تا از انسداد گاز بین آندها و پشت بند رسانا جلوگیری شود. لوله تهویه باید از مواد غیر فلزی مقاوم به کلر ساخته شود.

۳-۳-۹ بسترهای آندی سطحی

بسترهای آندی سطحی برای محل هایی در نظر گرفته می شود که:

- مقاومت ویژه الکترولیت در نزدیکی سطح بسیار مناسب تر از مقاومت الکترولیت در اعماق بستر آندی چاهی عمیق باشد؛

- خطر سپر الکتریکی شدن توسط لوله های مجاور یا دیگر سازه های مدفون وجود نداشته باشد؛

- فضا برای بستر آندی سطحی موجود باشد؛

- جریان تولید شده، خوردگی غیر قابل قبول در سازه های مدفون اطراف ایجاد نکند.

آندهای بستر آندی سطحی باید به صورت افقی یا عمودی نصب شوند. در هر حالت، بالای پشت بند رسانا باید دست کم ۰/۸ متر زیر سطح زمین یا حداقل (هنگامی که ممکن است) زیر سطح لایه منجمد دائمی^۳ باشد. در محاسبه مقاومت بستر آندی، اطلاعات مقاومت ویژه الکترولیت مربوط به محور مرکزی (بستر آندی افقی) یا نقطه میانی آندها (بستر آندی عمودی) باید مورد استفاده قرار گیرد و احتمال وجود الکترولیت های چند لایه با مقاومت های ویژه الکترولیت بسیار متفاوت، مد نظر قرار گیرد.

طراحی تفصیلی باید شامل دستورالعملی برای ساخت بستر آندی و نصب آندها و پشت بند رسانا باشد.

1- Underlying Strata
2- Perforated Casings
3- Permafrost

توصیه می شود علامت گذاری دائمی در ابتدا و انتهای هر بستر آندی مورد توجه قرار گیرد.

۹-۳-۴ آندهای جریان اعمالی و پشت بند رسانا

توصیه می شود مواد آند از فهرست زیر انتخاب شوند:

- آلیاژ آهنی پر سیلسیم، حاوی غلظت‌های مناسب کروم اگر در الکترولیت‌هایی با مقدار کلراید زیاد استفاده می‌شوند و اگر قوانین اجازه می‌دهند؛
- مگنتیت^۱؛
- گرافیت^۲؛
- تیتانیوم پوشش داده شده با مخلوط اکسید فلزی^۳؛
- پلیمرهای رسانا؛
- فولاد.

ممکن است مواد جایگزین دیگر، اگر در شرایط کاری مشخص کارایی قابل اعتمادی نشان داده‌اند و مستند گردیده است، مورد استفاده قرار گیرند.

ابعاد و جرم ماده انتخاب شده باید قادر باشد معادل ۱۲۵٪ خروجی جریان آند مورد نیاز را در طول عمر طراحی حفاظت کاتدی برآورده سازد.

ماده پشت بند باید برای کاهش مقاومت آند نسبت به الکترولیت مورد استفاده قرار گیرد، مگر آنکه شرایط الکترولیت مقاومت بستر آندی مناسبی ارایه دهد، الکترولیت همگن بوده و مصرف یکنواخت آند قابل پیش بینی باشد.

پشت بندهای رسانای الکتریکی عموماً به دلایل زیر به همراه آندهای جریان اعمالی مورد استفاده قرار می‌گیرند:

- کاهش مصرف آند؛
- بهبود نفوذ^۴ گاز.

یادآوری: ماده پشت بند می تواند یا رسانای الکتریکی باشد (برای مثال زغال^۵، گرافیت و مگنتیت) یا رسانای الکترولیتی (برای مثال بنتونایت یا گچ^۶).

توصیه میشود حین اجرای سامانه حفاظت کاتدی از خشک شدن پشت بند جلوگیری بعمل آید.

اثرات محیطی حل شدن مواد آند و شکست مواد پشته پرکن رسانا باید مورد توجه قرار گیرد.

1- Magnetite
2- Graphite
3- Mixed-Metal-Oxide-Coated Titanium
4- Percolation
5- Coke
6- Bentonite And Gypsum

توصیه می شود از مناسب بودن پشت بند و آماده سازی صحیح آن اطمینان حاصل شود. کنترل کافی بودن مقدار پشت بند و همگن بودن آن، و برآورده ساختن الزامات مشخصه های فنی پروژه از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است.

توصیه می شود استفاده از آندهای پلیمری رسانای پیوسته یا سیم های MMO با پایه تیتانیوم^۱، به ویژه برای الکترولیت هایی با مقاومت ویژه بسیار بالا در اطراف لوله، مورد توجه قرار گیرد .
توصیه می شود کارایی آند توسط سازنده بررسی شود. خصوصیات الکتروشیمیایی متداول آندهای مورد استفاده در سامانه های جریان اعمالی خطوط لوله مدفون در جدول (۴) ارایه شده است. توصیه می شود در مواردی که از پشت بند حاوی کربن^۲ استفاده می شود، مصرف کک در تعیین اندازه بستر آندی مورد توجه قرار گیرد.

جدول ۴- خواص الکتروشیمیایی رایج آندهای جریان اعمالی در خاک

ماده آند	نرخ مصرف $\text{g.A}^{-1}.\text{y}^{-1}$	محدوده متداول چگالی جریان آند A.m^{-2}
فولاد قراضه	۱۰۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰	۱ تا ۵
آلیاژ آهنی سلیکون بالا	۲۵۰ تا ۱۰۰۰	^b ۱۰ تا ۳۰
گرافیت اشباع شده ^۳	۵۰۰ تا ۱۰۰۰	^b ۲/۵ تا ۱۰
مگنتیت	۲	^b ۱۰ تا ۲۰
زیر لایه تیتانیوم پوشش داده شده با مخلوط اکسید فلزی در پشت بند حاوی کربن	^{c, a}	^b ۵۰ تا ۱۰۰
پلیمرهای رسانا در پشت بند حاوی کربن	^a	^b ۰/۴

یادآوری وقتی آندهای جریان اعمالی به همراه پشت بند حاوی کربن نصب شوند، لازم است نرخ مصرف پشت بند حاوی کربن مورد توجه قرار گیرد. عموماً مقدار آن $\text{g.A}^{-1}.\text{y}^{-1}$ ۹۰۰ تا $\text{g.A}^{-1}.\text{y}^{-1}$ ۲۰۰۰ و محدوده متداول چگالی جریان آندی A.m^{-2} ۵ است.

^a این آندها معمولاً در پشت بند حاوی کربن نصب می شوند. عمر طراحی عموماً با نرخ مصرف پشت بند حاوی کربن به دست می آید. در نتیجه نرخ مصرف آند ناچیز است.

^b توصیه می شود بیشینه چگالی جریان پیشنهادی سازنده آند مورد توجه قرار گیرد.

^c استاندارد NACE/TM 0108-2008 برای آزمون آندهای کاتالیز شده تیتانیومی در خاک پیشنهاداتی ارایه داده است.

۹-۴ کنترل خروجی

۹-۴-۱ کلیات

جریان خروجی از یک سو کننده ممکن است به صورت زیر کنترل شود:

-
- 1- Titanium MMO Wire
 - 2- Carbonaceous
 - 3- Impregnated Graphite

- ولتاژ ثابت خروجی یک‌سو کننده: جریان توسط مقاومت مدار کنترل می شود. تغییرات در مدار خروجی (برای مثال جریان‌های سرگردان، تغییرات الکترولیت) منجر به تغییراتی در مقدار جریان اعمالی به خط لوله می شود.
- کنترل پتانسیل: پتانسیل در یک موقعیت به عنوان نماینده بر روی خط لوله اندازه‌گیری شده و بازخورد آن به یک‌سو کننده برمی‌گردد؛ خروجی مبدل یک‌سو کننده تنظیم شده و پتانسیل اندازه‌گیری شده موجود در خط لوله را ثابت نگه می‌دارد. تغییرات در مدار خروجی (برای مثال جریان‌های سرگردان، تغییرات الکترولیت) منجر به تغییراتی در مقدار جریان اعمالی در خط لوله می شود.
- کنترل جریان: جریان ارسالی توسط یک‌سو کننده به صورت خودکار به وسیله مقایسه با مقدار تنظیم شده اولیه کنترل می شود.
- توصیه می شود تا زمان راه‌اندازی، مدار الکتریکی بین بستر آندی و خط لوله، از طریق مبدل یک‌سو کننده باز نگه داشته شود.

۹-۴-۲ توزیع جریان در چند خط لوله

- زمانی که بیش از یک خط لوله بصورت کاتدی حفاظت می شود، عوامل زیر باید مورد توجه قرار گیرند:
- مسیر خط لوله؛
 - مالک/ بهره بردار خط لوله؛
 - تاثیر الکتریکی؛
 - جریان مورد نیاز برای هر خط لوله؛
 - اثر سپر الکتریکی شدن در حفاظت کاتدی (موقعیت بستر آندی در برابر خطوط لوله مختلف)؛
- توصیه می‌شود مقاومت‌ها در نقاط تخلیه الکتریکی منفی نصب شوند تا جریان هر یک از خطوط لوله مجاور را بصورت منفرد تنظیم کنند. هر نقطه تخلیه الکتریکی منفی باید توسط یک شانت و یک دیود تجهیز شود تا از اثرات متقابل خطوط لوله در حین اندازه‌گیری پتانسیل روشن و پتانسیل خاموش، جلوگیری گردد (پیوست الف را ملاحظه کنید).
- توصیه می شود تمامی کابل‌ها، دیودها و تجهیزات اندازه‌گیری جریان در جعبه توزیع یا در کابینت مبدل یک-سوکننده نصب شوند.
- در صورت حصول کارآیی حفاظت کاتدی، ممکن است حفاظت کاتدی چندین خط لوله فقط با یک مبدل یک-سو کننده با استفاده از اتصال هم‌پتانسیل قابل دستیابی باشد. هرچند این کار امکان اندازه‌گیری پتانسیل هر لوله به صورت تکی را محدود می‌کند.

۹-۴-۳ کنترل پتانسیل

منبع ولتاژ جریان مستقیم می‌تواند برای ثابت نگه داشتن پتانسیل خط لوله به منظور جبران تغییرات شرایط مدار خارجی مورد نیاز باشد. تغییرات می‌توانند ناشی از تداخل جریان‌های سرگردان یا زمین میدانی باشند. در چنین مواردی، ولتاژ اندازه‌گیری شده توسط یک الکتروود مرجع دایمی ممکن است به عنوان یک پتانسیل کنترل کننده برای تغییر در خروجی مبدل یکسو کننده به منظور ثابت نگه داشتن پتانسیل لوله نسبت به الکترولیت استفاده شود. الکتروود مرجع باید طوری قراردادده شود که پتانسیل لازم برای کنترل را بادقت نشان دهد (برای مثال نزدیک به خط لوله).

یادآوری: به طور معمول کنترل مشخصه‌های خروجی به صورت الکترونیکی انجام می‌شود که مزیت آن امکان محدود شدن جریان خروجی و جلوگیری از حفاظت بیش از حد در صورت از کار افتادگی الکتروود مرجع می‌باشد.

الکتروودهای مرجع دایمی باید به طور منظم پایش شوند.

مدار اندازه‌گیری پتانسیل مورد استفاده برای فراهم نمودن کنترل باید دست کم از مقاومت ورودی $10\text{ M}\Omega$ برخوردار باشد. سامانه کنترل الکترونیک باید دقتی معادل 10 mV داشته و به کنترل‌هایی برای تنظیم پتانسیل حفاظت مورد نیاز و محدوده جریان و/یا اعلان خطر به صورت دیداری برای شرایط ولتاژ و جریان بیش از حد، تجهیز شده باشد.

باید پنل اندازه‌گیر برای نشان دادن ولتاژ خروجی، جریان خروجی، و پتانسیل حفاظتی فراهم شود.

۱۰ سامانه‌های آند گالوانیک

۱۰-۱ کلیات

زمانی که جریان مورد نیاز کم باشد استفاده از سیستم‌های آند گالوانیک توصیه می‌شود. آنها بیشتر برای خطوط لوله با قطر کوچک، خطوط لوله پوشش داده شده با قطر بیشتر و طول کم (چند کیلومتر)، و در الکترولیت‌هایی با مقاومت پایین (جایی که آند نصب شده)، آب، باتلاق‌ها و مرداب‌ها مناسب هستند.

استفاده از آندهای گالوانیک در موارد زیر نیز امکان پذیر است:

- اگر هیچ منبعی برای اعمال جریان در دسترس نباشد؛
- برای حفاظت موقت خطوط لوله‌ای که به تازگی نصب شده؛
- برای حفاظت موقت خطوط لوله موجود؛
- اگر تعمیرات تجهیزات الکتریکی مربوط به جریان اعمالی غیر عملی باشد؛
- برای حفاظت موضعی (نواحی بحرانی) یا مکمل سامانه‌های جریان اعمالی (برای مثال در سازه های پیچیده یا مناطق آندی مثل مجاورت اتصال عایقی)،

- در جایی که نتوان بسترهای آندی در زمین دور برای سامانه‌های جریان اعمالی فراهم کرد؛
- در گودال‌های آب، مناطقی که خاک اطراف خط لوله می‌تواند یخ بزند (زمین های یخ زده)؛

- در زیر پوشش های عایق حرارتی که سامانه جریان اعمالی خارجی نمی تواند به دلیل عایق بودن الکتریکی ناشی از پوشش حرارتی تاثیر گذار باشد، و
- زمانی که اثر سپر الکتریکی شدن می تواند از رسیدن جریان حفاظت کاتدی به خط لوله جلوگیری نماید.

۱۰-۲ الزامات طراحی

- برای طراحی حفاظت کاتدی موفقیت آمیز خط لوله با سامانه های آند گالوانیک، الزامات زیر باید لحاظ شود:
- ماده آند انتخاب شده باید جریان حفاظتی مورد نیاز را (با در نظر گرفتن مقاومت ویژه الکترولیت و پتانسیل محرک آند) در امتداد خط لوله فراهم آورد ؛
 - نوع آند انتخاب شده باید توانایی فراهم آوردن پیوسته بیشینه جریان مورد نیاز را داشته باشد؛
 - جرم کل ماده آند باید برای فراهم کردن جریان مورد نیاز برای عمر طراحی شده سامانه، کافی باشد.
- توصیه می شود آندهای گالوانیک بر حسب نوع ماده (به عنوان مثال نام تجاری، جرم ماده بدون پشت بند آند و شماره ذوب) علامت گذاری شوند. مستند سازی کامل تعداد، انواع، جرم، ابعاد، آنالیز شیمیایی و اطلاعات عملکردی آندها باید فراهم شود.
- اثرات محیطی آندهای گالوانیک و پشت بند آنها باید مورد بررسی قرار گیرد.
- یادآوری:** دو ماده اصلی آند مورد استفاده برای کاربردهای خط لوله، آلیاژهای روی و منیزیم هستند (استانداردهای EN 12496 را ملاحظه کنید). داده های تجربی خاص مربوط به خواص این مواد در بندهای ۱۰-۳ و ۱۰-۴ ارائه شده است.
- آندهای آلومینیوم نباید در شرایط مدفون در الکترولیت استفاده شوند مگر مناطقی که میزان کلراید الکترولیت به اندازه کافی بالا باشد.
- ممکن است سایر آلیاژها در صورتی که قابلیت اطمینان از عملکرد آنها در الکترولیت نشان داده شود، مورد استفاده قرار گیرند.
- باید در محاسبه تعیین جرم آند، فاکتور مصرف α ، متناظر با تخریب شکل آند نسبت به زمان در نظر گرفته شود. این عامل به جز زمانی که مشخص شده باشد باید معادل $0/8$ در نظر گرفته شود.

۱۰-۳ آندهای روی

- ترکیب شیمیایی متداول آندهای روی در جدول (۵) ارائه شده است (استاندارد EN 12496 را ملاحظه کنید).
- در جدول (۶) خصوصیات رایج الکتروشیمیایی سه نوع آلیاژ نشان داده شده در جدول (۵) ارائه شده است. باید آندهای روی در زمان نصب در خاک برای کاربرد در خطوط لوله، به جز زمانی که خاک دارای کلراید یا سولفات است، با پشت بند آندی مورد استفاده قرار گیرند.
- یادآوری:** در محیط هایی که کربنات، بی کربنات یا نیترات غلبه دارند، به دلیل وجود لایه سطحی رویین، پتانسیل روی بسیار نجیب می شود. این تاثیر می تواند بازدهی آند روی را کاهش دهد. اگر الکترولیت حاوی سولفات یا کلراید باشد این پدیده اتفاق نمی افتد.

جدول ۵- ترکیب شیمیایی متداول آلیاژ استفاده شده برای آندهای روی

عنصر	Alloy Z 1 ^a درصد وزنی %	Alloy Z 2 ^b درصد وزنی %	Alloy Z 3 درصد وزنی %
آلومینیوم	۰/۱ تا ۰/۵	حداکثر ۰/۰۰۵	۰/۱۰ تا ۰/۲۰
کادمیم	۰/۰۲۵ تا ۰/۰۷	حداکثر ۰/۰۰۳	۰/۰۴ تا ۰/۰۶
آهن	حداکثر ۰/۰۰۵	حداکثر ۰/۰۰۱۴	حداکثر ۰/۰۰۱۴
مس	حداکثر ۰/۰۰۵	حداکثر ۰/۰۰۲	حداکثر ۰/۰۰۵
سرب	حداکثر ۰/۰۰۶	حداکثر ۰/۰۰۳	حداکثر ۰/۰۰۶
قلع	-	-	حداکثر ۰/۰۱
منیزیم	-	-	حداکثر ۰/۵
دیگر	حداکثر ۰/۱	حداکثر ۰/۰۰۵	حداکثر ۰/۱
روی	۹۹/۳۱۴	۹۹/۹۹	بقیه

a Alloy Z 1 معمولاً مطابق با استاندارد US.MIL-A-18001-K-93 یا ASTM B418-12 نوع I تامین می گردد.

b Alloy Z 2 اغلب با عنوان روی خلوص بالا شناخته شده و به طور معمول مطابق استاندارد ASTM B418 نوع II تامین می گردد.

جدول ۶- ویژگی های الکتروشیمیایی رایج آندهای روی مورد استفاده در خاک

ویژگی	آند روی
پتانسیل مدار باز (V برحسب Cu/CuSO ₄ اشباع)	۱/۱۰- تا ۱/۰۵-
پتانسیل مدار بسته (V برحسب Cu/CuSO ₄ اشباع)	۱/۰۰- تا ۱/۰۵-
ظرفیت الکتروشیمیایی تجربی (A.hr/kg)	۷۸۰
نرخ مصرف تجربی (kg/A.yr)	۱۱/۲

اگر مقاومت الکترولیت بیش تر از ۵۰ اهم متر باشد، استفاده از آندهای روی حتی با پشت بند توصیه نمی شوند مگر اینکه ارزیابی مهندسی یا آزمون های میدانی اثبات کنند که الزامات طراحی هنوز می توانند برآورده شوند.

۱۰-۴ آندهای منیزیم

ترکیب متداول آندهای منیزیم مطابق با استاندارد EN 12496 در جدول (۷) ارایه شده است. در جدول (۸) خصوصیت های رایج الکتروشیمیایی ارایه شده است. آندهای منیزیمی وقتی برای کاربردهای خطوط لوله در خاک نصب می شوند، بهتر است با پشت بند آنند مورد استفاده قرار گیرند.

جدول ۷- ترکیب شیمیایی متداول آلیاژهای منیزیم

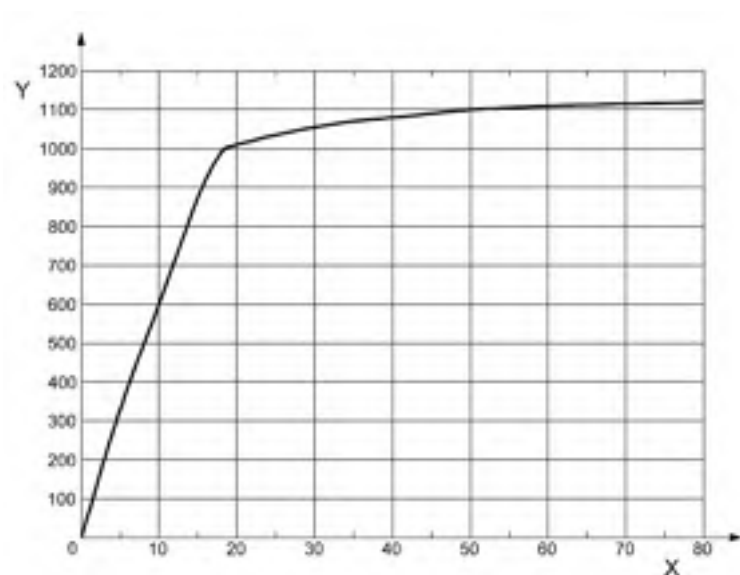
عنصر	Alloy M1 ^a درصد وزنی %	Alloy M2 درصد وزنی %
منگنز	حداقل ۰٫۲۵	۰٫۵ تا ۱٫۵
آلومینیوم	۵ تا ۷	حداکثر ۰٫۰۵
روی	۲ تا ۴	حداکثر ۰٫۰۳
آهن	حداکثر ۰٫۰۰۵	حداکثر ۰٫۰۳
مس	حداکثر ۰٫۰۸	حداکثر ۰٫۰۲
سیلیسیم	حداکثر ۰٫۳	حداکثر ۰٫۰۵
سرب	حداکثر ۰٫۰۳	حداکثر ۰٫۰۱
نیکل	حداکثر ۰٫۰۰۳	حداکثر ۰٫۰۰۲
دیگر عناصر	حداکثر ۰٫۳۰	حداکثر ۰٫۳
منیزیم	باقیمانده	باقیمانده
^a Alloy M1 معمولاً مطابق با استاندارد ASTM B483-09 تامین می شود.		

جدول ۸- ویژگی های الکتروشیمیایی متداول آندهای منیزیم مورد استفاده در خاک

ویژگی	Alloy M1	Alloy M2
پتانسیل مدار باز (V برحسب Cu/CuSO ₄ اشباع)	۱٫۵۷ (-) تا ۱٫۶۰ (-)	۱٫۷۷ (-) تا ۱٫۸۲ (-)
پتانسیل مدار بسته (V برحسب Cu/CuSO ₄ اشباع)	۱٫۵۲ (-) تا ۱٫۵۷ (-)	۱٫۶۴ (-) تا ۱٫۶۹ (-)
ظرفیت الکتروشیمیایی تجربی (A.hr/kg)	۱۱۰۰	۱۱۰۰
نرخ مصرف تجربی (kg/A.yr)	۷٫۵	۷٫۵

اگر مقاومت الکترولیت بیش تر از ۱۰۰ اهم متر باشد، استفاده از آندهای منیزیم حتی همراه با پشت بند نیز توصیه نمی شود مگر اینکه ارزیابی مهندسی یا آزمون های میدانی اثبات کنند که الزامات طراحی هنوز می توانند برآورده شوند.

یادآوری: اگر چگالی جریان آند کمتر از 200 mA/m^2 شود، کارایی جریان کاهش می یابد (برای آلیاژ منیزیمی Alloy M1، شکل ۱ را ملاحظه کنید)



راهنما

X چگالی جریان

Y ظرفیت جریان

شکل ۱ از R.A Gummov ، اثربخشی عملکرد آندهای منیزیم پتانسیل بالا برای حفاظت کاتدی خطوط اصلی آب، کنفرانس شرقی مناطق شمالی بر گرفته شده است.

یادآوری

شکل ۱- ظرفیت جریان آلیاژ منیزیمی Alloy M1 بر حسب چگالی جریان

۱۰-۵ طراحی سامانه آندی

برای کاربردهای خط لوله، آندها عموماً به صورت میله ای با سطح مقطع دایره ای یا مستطیلی ساخته می‌شوند. چندین آند را می‌توان به صورت الکتریکی به یک لوله در موقعیت یکسان متصل نمود تا کل جریان را منتقل نمایند. باینحال، به منظور توزیع بهتر جریان حفاظتی به ویژه برای طول بیشتری از خطوط لوله یا در الکترولیت های غیرهمگن، آندهاممکن است در طول خط لوله توزیع شوند.

مجموع جرم خالص آند، m ، که برای نگهداری حفاظت در طول عمر طراحی مورد نیاز است، باید با توجه به فرمول (۷) برای هر بخش از خط لوله محاسبه شود:

$$m = I_{cm} \times t_{dl} \times \frac{8760}{u \times \varepsilon} \quad (7)$$

که در آن

I_{cm} میانگین جریان مورد نیاز بر حسب آمپر است؛

t_{dl} عمر طراحی، بر حسب سال است؛

ε ظرفیت الکتروشیمیایی ماده آند، بر حسب آمپر ساعت در هر کیلوگرم است.

تعداد، ابعاد، و جرم خالص آندها باید به منظور برآورده کردن جریان مورد نیاز نهایی تخمین زده شده برای حفاظت از هر بخش خط لوله با استفاده از فرمول های (۸) تا (۱۲) که در زیر آورده شده تعیین شود. تعداد آندها، n ، توسط فرمول (۸) داده شده است:

$$m = n \times m_a \quad (8)$$

که در آن:

m کل جرم آند خالص، بر حسب کیلوگرم است؛

m_a جرم خالص هر آند بر حسب کیلوگرم است.

جریان خروجی مورد نیاز هر آند در پایان عمر آن، I_f ، باید از فرمول (۹) محاسبه شود:

$$I_f = \frac{I_{cf}}{n} \quad (9)$$

که در آن:

I_{cf} کل جریان مورد نیاز برای حفاظت کاتدی یک بخش خاص از خط لوله در پایان عمر آن (برای

بیشینه فاکتور تخریب پوشش)، بر حسب آمپر است.

برای ابعاد آند داده شده، جریان خروجی تکی واقعی در پایان عمر آند، I_{af} ، باید از فرمول (۱۰) محاسبه شود:

$$I_{af} = \frac{E_c - E_a}{R_a} \quad (10)$$

که در آن:

E_a پتانسیل طراحی مدار بسته یک آند گالوانیک بر حسب ولت است؛

E_c پتانسیل حفاظت طراحی (حداقل پتانسیل منفی) بر حسب ولت است؛

R_a مقاومت کلی مدار برای یک سامانه حفاظت کاتدی آند گالوانیک (که فرض می شود معادل

مقاومت آند باشد) بر حسب اهم است؛

یادآوری: $E_c - E_a$ به طور کلی به عنوان ولتاژ محرک طراحی می باشد.

به منظور ارائه حفاظت تا پایان عمر، جریان خروجی واقعی آند در پایان عمر باید بزرگتر یا مساوی با جریان

خروجی مورد نیاز در پایان عمر باشد، همانطور که در فرمول (۱۱) ارایه شده است:

$$I_{af} \leq I_f \quad (11)$$

مقاومت کلی آند R_a باید محاسبه شود. در این راستا، مقاومت آند نسبت به پشت بند، $R_{a/b}$ ، و مقاومت بستر

آندی پشت بند نسبت به الکترولیت طبیعی $R_{b/s}$ ، را می توان با استفاده از فرمول *Dwight* محاسبه نمود (مرجع

[۴] را ملاحظه کنید).

برای مقاومت در پایان عمر طراحی آند، باید فرض شود آندها به میزان نشان داده شده توسط فاکتور مصرف

خود، استفاده می شوند. توصیه می شود ابعاد تقریبی آند در پایان عمر طراحی در معادله مقاومت آند R_a استفاده

شود.

مقاومت کلی آند R_a توسط فرمول (۱۲) ارایه شده است:

$$R_a = R_{a/b} + R_{b/s} \quad (12)$$

۱۰-۶ پشت بند آندی

برای آندهای گالوانیک، فقط باید پشت بندهای رسانای الکترولیتی مورد استفاده قرار گیرد. توصیه می‌شود آنها شامل مخلوطی از گچ^۱، خاک رس بنتونیتی^۲ و سولفات سدیم باشند. ترکیب شیمیایی ماده پشت بند آند باید در مشخصات فنی آند آورده شده باشد. ترکیب شیمیایی مورد استفاده در ماده پشت بند باید به گونه‌ای انتخاب شود که علاوه بر کاهش مقاومت ویژه موضعی به کمترین مقدار، از تولید محصولات خوردگی عایق کننده در اطراف سطح آند جلوگیری نماید. پشته پر کن آندهای روی و منیزیم ممکن است شامل ۲۰٪ خاک رس بنتونیتی برای محبوس کردن آب، ۷۵٪ گچ و ۵٪ سولفات سدیم برای بهبود هدایت موضعی در پیرامون آند باشد. یادآوری: گچ به کمینه نمودن پلاریزاسیون آندی آند، به خصوص آندهای روی کمک می‌کند.

۱۰-۷ کابل ها و اتصالات کابل

اتصال بین کابل‌های آندهای گالوانیک و خط لوله باید در یک تجهیز قابل دسترسی قرار گیرد. این کار به اندازه‌گیری پتانسیل و جریان کمک می‌کند. توصیه می‌شود از شنت‌های اندازه‌گیری دائمی با مقاومت بالا در مدار آند، برای جلوگیری از کاهش جریان، استفاده نگردد.

۱۰-۸ نصب آند

توصیه می‌شود آندها در ۳ تا ۵ متری خط لوله در همان عمق خط لوله یا عمق کمتر مدفون شوند تا به یک الکترولیت "تر" با مقاومت ویژه بهتر برسند. توصیه می‌شود آندهای گالوانیک به طور مستقیم در الکترولیت مدفون نشوند و در پشته پر کن قرار گیرند. باید آندهایی که به طور مستقیم در یک کیسه متخلخل همراه با پشت بند خشک بسته بندی شده‌اند، در یک مخلوط گل مانند، تشکیل شده از خاک و آب، غوطه ور شوند تا پشت بند را قبل از دفن مرطوب نگه دارد.

1- Gypsum
2- Bentonite Clay

۱۱ دستگاه های پایش

۱۱-۱ کلیات

دستگاه های پایش باید در امتداد مسیر خط لوله نصب شده باشد تا اطمینان حاصل شود که حفاظت کاتدی در تمام نواحی اعمال شده است.

۱۱-۲ موقعیت ایستگاه های آزمون

برای پایش پتانسیل های لوله نسبت به الکترولیت، جریان و تداخل احتمالی، بهتر است ایستگاه های پایش در طول خط لوله و در حداکثر فواصل زیر نصب شوند:

- سه کیلومتر در مناطق روستایی و
 - یک کیلومتر در مناطق شهری یا صنعتی
 - ایستگاه های پایش همچنین باید در موارد خاص نصب شوند مانند:
 - اتصال های عایقی؛
 - اتصال به سامانه های اتصال به زمین؛
 - غلاف های فلزی؛
 - اتصال به دیگر خطوط لوله یا تجهیزات؛
 - اتصال به نمونه های شاهد و زمین.
 - ایستگاه های جریان اعمالی
 - ایستگاه های تخلیه.
- همچنین توصیه می شود ایستگاه های آزمون در جایی نصب شود که خط لوله:
- سامانه های حمل و نقل جریان متناوب یا مستقیم را قطع می کند یا به موازات آن قرار می گیرد؛
 - خطوط انتقال برق جریان متناوب را قطع می کند یا به موازات آن قرار می گیرد؛
 - دیگر خطوط لوله را قطع می کند یا به موازات آن ها قرار می گیرد؛
 - جاده های بزرگ و خاکریزها (سد) را قطع می کند؛
 - خط آهن ها و رودها را قطع می کند؛
 - عبور از خاک هایی با خورندگی بالا (برای مثال مناطق آلوده، مقاومت ویژه اندک خاک، ...)
 - بتواند از اثرات سپر الکتریکی شدن تاثیر بپذیرد؛
 - عبور از نزدیک سازه های دیگر دارای سامانه حفاظت کاتدی؛
 - عبور از میان غلاف های غیر فلزی؛
 - استفاده به عنوان شانت برای اندازه گیری های جریان خط.

به طور کلی توصیه می‌شود ایستگاه‌های پایش در بالای خط لوله نصب شود. بهتر است ایستگاه‌های آزمون مشخص شوند.

یادآوری: ممکن است در مناطق صنعتی و شهری، نصب تسهیلات بیشتری برای ایجاد تماس بین خاک و الکتروود مرجع در نقطه اندازه گیری ضروری باشد.

برای تصدیق یکپارچگی اتصالات، دست کم دو رسانای مجزا با دو اتصال متفاوت می‌تواند به خط لوله وصل شده باشد. باید تمامی سیم‌ها در ایستگاه آزمون یکسان توسط کد رنگی یا بر چسب، علامت‌گذاری شوند.

۱۱-۳ شرح ایستگاه‌های آزمون

ایستگاه‌های آزمون ممکن است شامل موارد زیر باشد:

- یک یا چند کابل متصل به خط لوله؛
- یک یا چند کابل متصل به دستگاه‌های خاص مانند الکتروودهای مرجع دایمی، نمونه شاهد، پراب‌ها، پراب‌های ER، دستگاه‌های دکوپلینگ جریان مستقیم؛
- یک یا چند کابل متصل به سازه‌های مجاور؛
- یک یا چند کابل متصل به غلاف‌ها؛
- دو یا چند کابل متصل به خط لوله برای اندازه گیری‌های جریان خط.

۱۱-۴ استفاده از پراب‌ها و نمونه شاهد

توصیه می‌شود نمونه‌های شاهد یا پراب‌ها زمانی استفاده شوند (پیوست الف را ملاحظه کنید) که - حذف افت IR در زمانی که اندازه‌گیری پتانسیل‌های متداول روشن - خاموش نمی‌تواند انجام شود، به عنوان مثال در حضور جریان‌های سرگردان مستقیم، جریان‌ها متعادل کننده و تداخل‌های الکتریکی از سامانه‌های حفاظت کاتدی سازه‌های مجاور؛

- ارزیابی ریسک خوردگی ناشی از جریان متناوب (استاندارد EN 15280 را ملاحظه کنید)؛
 - ارزیابی چگالی جریان مستقیم و/یا متناوب؛ و
 - ارزیابی نرخ‌های خوردگی فولاد در الکترولیت (پراب ER).
- توصیه می‌شود نمونه‌های شاهد و یا پراب‌ها تا آنجا که ممکن است نزدیک به خط لوله نصب شوند تا نماینده شرایط بهره‌برداری خط لوله باشند. این کار ممکن است به دلیل دمای بالا (به عنوان مثال برای پراب‌های ER) و یا در مناطق شهری، همیشه در نزدیکی خطوط لوله امکان پذیر نباشد.

یادآوری: در زمان ارزیابی کارایی حفاظت کاتدی پراب‌ها در مقایسه با نمونه‌های شاهد اندازه‌گیری دقیق‌تری فراهم می‌کنند. در این مورد، الکتروود مرجع دایمی به منظور به حداقل رساندن افت‌های IR به طور معمول نزدیک به نمونه شاهد نصب می‌شود. اگر الکتروود مرجع به طور منظم کالیبره شود، دقت اندازه گیری بهبود خواهد یافت.

۱۱-۵ اتصال به سایر خطوط لوله

جایی که یک تجهیز اتصال در تقاطع با دیگر خطوط لوله مورد نیاز است، آن تجهیز باید شامل دو کابل مجزا با اندازه‌ای مناسب باشد که کابل‌ها علاوه بر اتصال به هر یک از خطوط لوله، به یک ایستگاه پایش با تجهیزاتی که بتواند در صورت نیاز اتصالات مستقیم، غیر مستقیم یا مقاومتی برقرار نماید، نیز متصل گردند.

۱۱-۶ دستگاه‌های آزمون در تقاطع‌های دراری غلاف

برای تشخیص تماس‌های بین غلاف فلزی فاقد پوشش و خط انتقال، و برای ارزیابی کارایی حفاظت کاتدی، یک سیم باید بر روی خط لوله و دیگری بر روی غلاف نصب شود. توصیه می‌شود برای تعیین موقعیت تماس میان غلاف بدون پوشش فلزی و لوله انتقال دهنده سیال، دو سیم آزمون در هر دو طرف غلاف و دو سیم آزمون بر روی خط لوله در هر دو انتهای غلاف نصب شود. تمام کابل‌ها باید به ایستگاه‌های پایش منتهی شوند.

۱۱-۷ دستگاه‌های آزمون در اتصال‌های عایق

اتصال به خط لوله باید در هر دو طرف تمامی اتصالات عایقی نصب شود تا عملکرد آنها را کنترل نماید. توصیه می‌شود اگر کابل‌ها نصب شده‌اند، به یک ایستگاه آزمون مشابه آورده شده و به منظور نصب اتصالات مستقیم، یک‌سو یا مقاومتی، و تجهیزات حفاظت در برابر جریان هجومی به صورت صحیح برآورد شوند.

۱۱-۸ ایستگاه‌های پایش جریان خط

برای اندازه‌گیری جریان خط، باید اتصال هر کابل به خط لوله مشخص باشد تا از جهت جریان برقرار شده اطمینان حاصل شود. چیدمان کابل، نصب و کالیبراسیون باید مطابق با پیوست الف انجام شود.

۱۱-۹ دستگاه‌های آزمون نقطه تخلیه الکتریکی

توصیه می‌شود در نقاط تخلیه الکتریکی، هر اتصال منفی به خط لوله با یک تجهیز اندازه‌گیری جریان که به طور معمول در منبع تغذیه جریان مستقیم نصب می‌شود، مجهز شود. بهتر است در جایی که چندین اتصال منفی نصب شده، شانت‌های مجزا و در مواقع لزوم دیودهای مسدود کننده^۱ تهیه شده باشد. بهتر است در نقطه تخلیه الکتریکی، ایستگاه آزمون با استفاده یک سیم مجزا از سیم تخلیه جریان نصب شود. این رسانا که به خط لوله متصل شده، باید به اندازه‌گیری پتانسیل نقطه تخلیه اختصاص یابد. اگر نقطه تخلیه الکتریکی بر روی قسمت رو زمینی خط لوله نصب شده باشد، ایستگاه آزمون مورد نیاز نیست.

۱۱-۱۰ وسایل پایش متفرقه

بهتر است در جایی که خطوط لوله از میان نواحی دوردست گذر می‌کند، یا دست یافتن به آن ا براساس اصول قانونی مشکل است، روش‌های پایش از راه دور توسط کابل‌های طویل، دورسنجی^۱ یا دیگر سامانه‌های انتقال اطلاعات، همراه با الکترودهای مرجع دائمی و نمونه‌های شاهد استفاده می‌شود.

۱۲ راه اندازی

۱-۱۲ کلیات

راه اندازی سامانه‌های حفاظت کاتدی باید شامل سه مرحله به شرح زیر باشد:

- آزمون مقدماتی به منظور بررسی اینکه سامانه حفاظت کاتدی مطابق با الزامات طراحی نصب شده است؛
- شروع به کار^۲ سامانه‌های حفاظت کاتدی؛
- تایید کارآیی حفاظت کاتدی مطابق با معیارهای تعریف شده در بند ۶ و برای تنظیم در صورت لزوم.

برای تایید عملکرد کامل سامانه حفاظت کاتدی و برای فراهم نمودن اطلاعات مرجع برای کنترل‌های آتی، انجام این سه مرحله ضرورت دارد.

کار راه اندازی باید با گزارش نهایی حاوی نتایج اندازه‌گیری‌ها، تغییرات ایجاد شده در طراحی و تمام اطلاعاتی که می‌تواند برای نظارت‌های بعدی مفید باشد مستند گردد.

توصیه می‌شود اندازه‌گیری در حالی انجام شود که منبع تداخل در شرایط کار عادی بوده و نماینده‌ای از شرایط بهره‌برداری باشد.

۱۲-۲ آزمون‌های اولیه

توصیه می‌شود همه تاسیسات الکتریکی توسط کارکنان واحد برق تایید شده و مطابق با مقررات محلی ساخته و تصدیق شوند. همه اسناد ایمنی لازم باید قبل از شروع آزمون‌های اولیه در دسترس باشد.

انطباق سامانه‌های حفاظت کاتدی با طراحی باید قبل از فعال سازی تایید گردد. قبل از شروع به کار بهتر است انحرافات اصلاح شوند یا برای پذیرش مورد بازبینی قرار گیرند.

تمام سامانه‌های حفاظت کاتدی موقت باید غیرفعال شده و خط لوله قبل از شروع تست‌های اولیه دپلاریزه^۳ شود. توصیه می‌شود قبل از انرژی دهی به سامانه حفاظت کاتدی، کنترل‌هایی صورت گیرد تا موارد زیر تایید شوند:

1- Telemetry
2- Start up
3- Depolarize

- الف- سالم بودن الکتریکی مدار حفاظت کاتدی (به عنوان مثال جعبه‌های تقسیم آند و کاتد، سازه‌های خارجی)؛
- ب- ایستگاه‌های مبدل - یک‌سوکننده‌ها؛
- محکم بودن پیچ‌ها و مهره‌ها؛
 - بررسی اینکه تجهیزات جانبی بصورت ایمن سوار شده باشد؛
 - نامگذاری صحیح خط لوله و کابل‌های بستر آندی؛
 - قطبیت‌های صحیح مبدل - یک‌سو کننده؛
- پ- مبدل - یک‌سو کننده ها سرد شونده توسط روغن
- سطح روغن مورد نیاز
- ت- ایستگاه‌های تخلیه الکتریکی:
- محکمی پیچ‌ها و مهره‌ها؛
 - بررسی اینکه تجهیزات جانبی بصورت ایمن سوار شده‌اند؛
 - قطبیت صحیح خط لوله و کابل ریل؛
 - پتانسیل روشن خط لوله به مدت حداقل ۲۴ ساعت برای مقایسه های بعدی؛
- ث- عملکرد اتصالات عایقی، که روش‌های آن در پیوست الف و یا منابع دیگر که در صورت توجیه ممکن است استفاده شود، توضیح داده شده است،
- ج- عایق بودن الکتریکی دستگاه‌های اتصال به زمین و غلاف‌های فلزی؛
- چ- اندازه گیری مقاومت:
- مقاومت در برابر زمین دور بستر آندی یا آند گالوانیک؛
 - مقاومت بین خط لوله ای که باید محافظت شود و بستر آندی؛
- ح- ایستگاه‌های آزمون:
- علامت گذاری صحیح کابل‌ها و پایانه‌ها؛
 - محکم بودن دو انتهای کابل؛
- خ- نصب صحیح نمونه‌های شاهد و الکترودهای کاری؛
- د- اندازه‌گیری پتانسیل در نقاط اندازه‌گیری:
- پتانسیل خوردگی، E_{cor} ، خط لوله در تمام ایستگاه‌های آزمون؛
 - تاثیر منابع جریان مستقیم یا متناوب بر خط لوله ؛
 - پتانسیل آند نسبت به الکترولیت در آندهای گالوانیک؛
 - پتانسیل سازه نسبت به الکترولیت سازه‌های خارجی مجاور.
- اطلاعات به دست آمده از این بررسی ها باید به کارکنان مسئول برای شروع به کار، تصدیق کارایی و تهیه پیش‌نویس گزارش راه اندازی ارائه گردد.

۱۲-۳ شروع به کار

۱۲-۳-۱ ایستگاه های جریان اعمالی

مرحله شروع به کار باید شامل بخش های زیر باشد:

- روشن کردن ایستگاه های جریان اعمالی و تایید عملکرد صحیح آنها؛
 - تنظیم کردن تنظیمات ایستگاه به منظور انطباق با الزامات پتانسیل طراحی. توصیه می شود عوامل انحرافات عمده به وسیله اندازه گیری مشخص شود.
 - اگر پتانسیل خط لوله پس از انرژی دهی توسط منابع جریان مستقیم به طرف مقادیر مثبت حرکت می کند، باید اقدام فوری انجام شود.
 - اندازه گیری های زیر باید در تمام ایستگاه های جریان اعمالی انجام شود:
 - ولتاژ خروجی یکسوکننده در ایستگاه های جریان اعمالی؛
 - خروجی های جریان حفاظتی؛
 - پتانسیل روشن در نقاط تخلیه الکتریکی.
 - توصیه می شود بسته به ارزیابی نتایج حاصل از این اندازه گیری ها، تنظیمات پارامترها تغییر کرده و اندازه گیری مجدد انجام شود.
- یادآوری: برخی از اطلاعات عیب یابی متداول در پیوست پ توضیح داده شده است.

۱۲-۳-۲ آندهای گالوانیک

مرحله شروع به کار باید شامل بخش های زیر باشد:

- پس از اتصال تمام آندهای گالوانیک طبق طراحی های حفاظت کاتدی تعریف شده، باید عملکرد صحیح آنها تأیید شود. اگر انحرافات عمده ای رخ دهد، توصیه می شود دلایل با اندازه گیری ها مشخص شده و اصلاح گردد؛
- ممکن است در صورت لزوم، اتصال آندهای گالوانیک از طریق مقاومت های متغیر برای محدود کردن جریان انجام شود.
- اندازه گیری های زیر باید بر روی تمام آندهای گالوانیک انجام شود:
- خروجی جریان حفاظتی از هر آند گالوانیک؛
- پتانسیل روشن خط لوله در موقعیت آند گالوانیک.
- اگر ارزیابی نتایج این اندازه گیری ها هر گونه تردیدی در کارایی حفاظت کاتدی را نشان دهد، بهتر است تنظیمات پارامترهای مقاومت ها، در صورت وجود، تغییر کرده و اندازه گیری ها دوباره انجام گردد.

۱۲-۳-۳ ایستگاه های تخلیه الکتریکی

پس از تایید صحت عملکرد نقطه تخلیه الکتریکی، اندازه گیری های زیر باید انجام شده و ثبت گردد:

- جریان تخلیه الکتریکی به مدت حداقل ۲۴ ساعت؛
- عملکرد صحیح دستگاه دیود.
- پتانسیل روشن خط لوله و پتانسیل دیگر سازه‌های خارجی، مانند راه آهن، در محل‌های ایستگاه تخلیه الکتریکی، به مدت حداقل ۲۴ ساعت با اتصال نقطه تخلیه الکتریکی و به مدت حداقل ۲۴ ساعت بدون اتصال؛
- جهت و بزرگی جریان‌ها در نمونه شاهد در صورت وجود به مدت حداقل ۲۴ ساعت.

۱۲-۳-۴ ایستگاه آزمون

- اندازه گیری‌های زیر باید در ایستگاه‌های آزمون انجام شود:
- پتانسیل روشن در دو انتهای خط لوله ای که محافظت می شود؛
- پتانسیل روشن در مکان‌های مهم؛
- پتانسیل روشن و جریان در نمونه شاهد در صورت وجود؛
- پتانسیل سازه نسبت به الکترولیت در سازه‌های خارجی مجاور به منظور بررسی هرگونه تاثیر احتمالی بر روی آنها.
- پتانسیل و جریان روشن از طریق اتصال در سازه‌های متصل.
- پتانسیل روشن به منظور بررسی جدایش الکتریکی خط لوله در اتصالات عایقی، غلاف‌های فلزی، بتن مسلح، و سامانه‌های اتصال به زمین.

۱۲-۴ تأیید کارآیی حفاظت کاتدی

۱۲-۴-۱ کلیات

باید پتانسیل‌های خط لوله نسبت به الکترولیت وقتی خط لوله در حال حفاظت با محیط اطراف و پشت بند موجود در کانال تماس کافی دارد، در شرایط طراحی‌اش (دما، فشار) در حال بهره‌برداری است و پس از یک دوره پلاریزاسیون مناسب (به طور عمده به ماهیت الکترولیت و چگالی جریان حفاظتی از طریق عیوب پوشش وابسته است)، اندازه‌گیری شود.

پتانسیل‌های خط لوله نسبت به الکترولیت باید معیارهای بند ۶ را برآورده نمایند.

۱۲-۴-۲ اندازه‌گیری پتانسیل ناشی از جریان مستقیم و ولتاژ ناشی از جریان متناوب

- اندازه گیری‌های زیر باید انجام شود:
- پتانسیل روشن ناشی از جریان مستقیم و ولتاژ متناوب در هر ایستگاه آزمون: توصیه می‌شود در مناطقی که پتانسیل‌های اندازه‌گیری شده یا افت ولتاژ نوسان می کنند (به عنوان مثال در نتیجه تداخل یک سامانه حمل و نقل جریان مستقیم)، با استفاده از یک دیتا لاگر، ترجیحاً در طول ۲۴ ساعت و به طور همزمان با ایستگاه‌های آزمون مجاور؛ اندازه‌گیری‌هایی انجام شود.

- پتانسیل خاموش بدون جریان‌های سرگردان مستقیم در تمام ایستگاه‌های آزمون انتخاب شده، آنگونه که در بند ۱۳-۳ تعریف شده است؛

یادآوری: انجام این اندازه‌گیری‌ها در تمام ایستگاه‌های آزمون ترجیح داده می‌شود.

- با جریان‌های سرگردان مستقیم، اندازه‌گیری‌های پتانسیل خاموش بر روی پراب‌ها آزمون پتانسیل خارجی و یا نمونه‌های شاهد آزمون در تمام ایستگاه‌های آزمون مجهز و ترجیحاً ثبت شده در طول ۲۴ ساعت.

۱۲-۴-۳ اندازه‌گیری‌های جریان

اندازه‌گیری‌های زیر باید انجام شود:

- جریان حفاظتی مستقیم در هر ایستگاه جریان اعمالی، از جمله اندازه‌گیری جریان در هر کابل منفی؛
- جریان حفاظتی مستقیم در هر آند گالوانیک؛
- جریان مستقیم و متناوب که در اتصال‌ها با جهت جریان مستقیم در حال شارش است، به خصوص در حضور جریان‌های سرگردان مستقیم راه آهن؛
- جریان مستقیم در ایستگاه تخلیه الکتریکی جریان مستقیم، که ترجیحاً در طول ۲۴ ساعت ثبت شده؛
- جریان‌های مستقیم و متناوب در دستگاه‌های دکوپلینگ جریان مستقیم؛
- جریان‌های مستقیم و یا متناوب در پراب و یا نمونه شاهد خارجی، در حالت جریان‌های سرگردان مستقیم و یا تداخل‌های جریان متناوب ترجیحاً بیش از ۲۴ ساعت ثبت شده.

۱۲-۴-۴ تنظیمات

اگر کارآیی سامانه حفاظت کاتدی حاصل نشود، اصلاحات سامانه حفاظت کاتدی باید انجام شده و اندازه‌گیری‌ها تکرار شود تا زمانی که حفاظت کاتدی کل خط لوله مطابق با طراحی به دست آید.

یادآوری: اصلاحات محتمل به شرح زیر است:

- اصلاح جریان حفاظتی (افزایش یا کاهش).
- نصب ایستگاه‌های تخلیه الکتریکی جدید در صورت لزوم؛
- اصلاح مقاومت مدار دستگاه تخلیه الکتریکی (افزایش یا کاهش)، در صورت وجود؛
- نصب دستگاه‌های دکوپلینگ جریان مستقیم؛
- نصب و یا قطع اتصالات.

۱۲-۵ گزارش راه اندازی

۱۲-۵-۱ مستندسازی نصب

- مستندات طبق ساخت^۱ باید به صورتی تهیه گردند که حداقل شامل موارد زیر باشند:
- مستندسازی طراحی (بند ۱۴-۱ را ملاحظه کنید)؛
- معیارهای حفاظتی اعمال شده مطابق با جدول (۱)؛
- توضیحات و مشخصات تمامی تجهیزات حفاظت کاتدی استفاده شده (مانند منبع جریان اعمالی، آند گالوانیک، تخلیه الکتریکی، سامانه کنترل از راه دور، و بستر آندی)؛
- نقشه های نصب طبق ساخت خط لوله، سامانه حفاظت کاتدی و سازه های مجاور.
- نمودار الگو که تمام اتصالات جریان متناوب و مستقیم را نشان می دهد؛
- برنامه های نظارت و تعمیر و نگهداری توصیه شده از جمله تناوب ها.

۱۲-۵-۲ اندازه گیری ها برای راه اندازی

- تمام اطلاعات جمع آوری شده در طول راه اندازی باید در گزارش راه اندازی جمع آوری می شود، که توصیه می شود شامل موارد زیر باشد:
- تنظیمات منبع جریان اعمالی (ولتاژ خروجی، جریان تحویل داده شده، نوع تنظیم، و غیره)؛
- اندازه گیری های آند گالوانیک (پتانسیل و جریان)؛
- مقادیر مقاومت بستر آندی یا آند گالوانیک؛
- پتانسیل خط لوله به خاک (روشن و خاموش).
- ولتاژ ناشی از جریان متناوب در خط لوله.
- پتانسیل نمونه های شاهد (روشن و خاموش).
- جریان اندازه گیری شده در نمونه شاهد؛
- جریان ناشی از اتصالات؛
- جریان ناشی از اتصالات تخلیه الکتریکی؛
- مقادیر مقاومت های مورد استفاده در سامانه حفاظت کاتدی؛
- اندازه گیری هایی جهت بررسی دستگاه عایقی (به عنوان مثال پتانسیل ها، مقاومت)؛
- نتایج آزمون تداخل انجام شده قبل و پس از راه اندازی.
- ارزیابی کارایی حفاظت کاتدی در زمان اتمام راه اندازی.
- توضیحات و نتایج حاصل از هر اقدامات اصلاحی اجرا شده در طول راه اندازی.
- شرح هر اقدام اصلاحی پیش بینی شده که هیچ تاثیری بر کارایی حفاظت کاتدی ندارد.

یادآوری ۱: این گزارش راه اندازی تصدیق می کند که مقادیر اندازه گیری شده مطابق با معیارهای حفاظتی بوده و اینکه حفاظت کاتدی خط لوله در این زمان کارآیی خواهد داشت.

یادآوری ۲: گزارش راه اندازی مقادیر مرجع برای مقایسه با اندازه گیری های آتی در طول پایش و بازرسی عملیات های حفاظت کاتدی خط لوله را ثبت می کند.

۱۳ پایش، بازرسی، و نگهداری

۱-۱۳ کلیات

بازرسی و پایش سامانه حفاظت کاتدی باید در فواصل منظم (بند ۱۳-۳ را ببینید) انجام شود تا تایید کند که معیارهای حفاظت برآورده شده و هر گونه کمبودی شناسایی شود. معیارها ممکن است در مکان هایی که حفاظت به دلیل ایجاد سیر الکتریکی یا آلاینده های غیرمعمول درالکترولیت ناقص باشد، حاصل نگردد. بازرسی و پایش باید طبق دستورالعمل مناسب انجام شده باشد.

اندازه گیری و یافتن فعالیت های پایش و بازرسی باید برای موارد زیر تحلیل گردد:

- بازبینی مناسب بودن مدیریت خوردگی؛
 - شناسایی کمبودهای احتمالی و انجام اقدامات بهبود بخش؛
 - نشان دادن لزوم ارزیابی دقیق تر از وضعیت خط لوله، و
 - تعیین الزامات اندازه گیری تداخل ناشی از جریان متناوب.
- در تعیین تناوب بازرسی و الزامات تحقیقات ویژه، عوامل زیر باید در نظر گرفته شود:
- طبیعت خورنده الکترولیت خارجی (خاک یا آب)؛
 - حساسیت خط لوله به آسیب های مکانیکی؛
 - تداخل ناشی از جریان متناوب یا مستقیم؛
 - حساسیت تاسیسات حفاظت کاتدی به آسیب ناشی از رعد و برق، ولتاژ بیش از حد، یا ابزارهای مکانیکی؛
 - خطر ناشی از پیامدهای از کار افتادگی خط لوله؛
 - مواد، میزان و پیچیدگی خط لوله؛
 - ویژگی های ساخت که در حفظ حفاظت کاتدی موثر (به عنوان مثال در غلاف های خط لوله) بسیار اهمیت دارند؛
 - کیفیت پوشش های حفاظتی اعمال شده؛
 - استفاده از پایش از راه دور؛
 - استفاده از آندهای گالوانیک و یا ایستگاه های جریان اعمالی.
 - نوع منبع تغذیه (مانند پنل های خورشیدی یا مولد الکتریکی حرارتی)؛

- استفاده از تخلیه الکتریکی تک سوپره^۱؛

- ایمنی و نگرانی های زیست محیطی؛

- سن و سابقه خط لوله؛

- تنظیمات مورد نیاز.

۱۳-۲ اجرای بازرسی

به طور کلی، کارآیی حفاظت کاتدی با مقایسه مقادیر اندازه گیری شده واقعی با مقادیر مرجع و یا معیارهای حفاظت ارزیابی می شود. مقادیر اندازه گیری شده در ایستگاه های حفاظت کاتدی و نقاط آزمون در زمان راه-اندازی و همچنین در سال های پس از آن باید به عنوان مقادیر مرجع استفاده شود. اگر نشانه هایی وجود دارد که حفاظت کاتدی به طور کامل در سراسر خط لوله موثر نیست، تحقیقاتی باید انجام شده و اقدام اصلاحی مناسب برای بازگرداندن تاثیر حفاظت کاتدی انجام گردد. مقادیر اندازه گیری شده پایه گذاری شده از این تحقیق پس از آن باید به عنوان مقادیر مرجع جدید استفاده شوند.

۱۳-۳ تناوب بازرسی

حداقل الزامات مورد نیاز برای اندازه گیری های معمول و کنترل تجهیزات باید مطابق با جدول (۹) باشد. تمام اندازه گیری ها و کنترل ها باید ثبت شود.

کارآیی حفاظت کاتدی باید در دو مرحله نشان داده شود:

الف- برای ارزیابی کلی کارآیی های حفاظت کاتدی، توصیه می شود پتانسیل اندازه گیری روشن استفاده شده، و مطابق با جدول (۹) انجام شود. این اندازه گیری ها باید در تمام ایستگاه های آزمون و یا در ایستگاه های آزمون انتخاب شده انجام شود. ایستگاه های آزمون انتخاب شده ممکن است در کران های خط لوله قرار داشته باشند، به عنوان مثال در اتصالات عایقی، ایستگاه های آزمونی که در آن ها کمترین پتانسیل منفی در طول راه اندازی اندازه گیری شده است، در نقاط بحرانی یا نقاطی که نشان داده شده می توانند به عنوان نماینده سامانه حفاظت کاتدی قلمداد شوند. توصیه می شود ایستگاه های تست مرتبط با سازه های خارجی گنجانده شوند، به طوری که هر گونه تغییر را بتوان شناسایی نمود.

ب- برای ارزیابی دقیق و جامع تاثیرات حفاظت کاتدی، روش های اندازه گیری باید برای خط لوله مناسب باشد که موارد زیر به آنها اشاره دارد:

- روش های اندازه گیری ممکن است روش پتانسیل خاموش بوده و مطابق با جدول (۹) و ترجیحاً در تمام ایستگاه های آزمون انجام گردد.

- زمانی که اندازه گیری پتانسیل خاموش لوله نسبت به خاک غیر ممکن است، اندازه گیری پتانسیل خاموش در طی یک دوره زمانی کافی بر روی پراب های خارجی یا نمونه های شاهد، مطابق با جدول (۹) مورد نیاز است؛

- همچنین توصیه می شود جزییات تحقیقات برای اثبات کارآیی حفاظت کاتدی با شرایط زیر انجام شود:
 - مشکوک بودن به هرگونه صدمه به پوشش محافظ یا فلز در تماس پس از کار ساخت در یک منطقه از خط لوله پوشش داده شده؛
 - در صورت وجود هرگونه نشانه‌ای از حرکت‌های خط لوله (به عنوان مثال در مناطق فرونشست یا تغییر در شرایط بهره‌برداری)؛
 - هر گونه تغییر دیگر در محیط پیرامون خط لوله؛
 - هر گونه تغییر مرتبط در محدوده پتانسیل؛
 - در موارد تداخل ناشی از جریان متناوب؛
 - زمانی که تغییرات بلند مدت در تداخل الکتریکی وجود دارد.
- اندازه گیری‌های دیگر، مانند اندازه‌گیری جریان خط که در پیوست الف توضیح داده شده‌است، می‌تواند برای درک بهتر از شرایط بهره‌برداری سامانه حفاظت کاتدی لازم باشد.

جدول ۹ - حداقل اندازه گیری های رایج و بررسی های دوره تناوب

مورد	عملکرد	تناوب
ایستگاه جریان اعمالی	کنترل چشمی واحد مبدل-یک سو کننده و خواندن خروجی ولتاژ و جریان	یک تا سه ماه
ایستگاه جریان اعمالی	تست های عملکردی جامع ایستگاه های جریان اعمالی (برای مثال بررسی واحد مبدل - یک سو کننده، کنترل الکتروود دایمی، تعیین مقاومت بستر آندی، اندازه گیری سامانه اتصال به زمین، کنترل ابزار دقیق) و اندازه گیری ولتاژ خروجی و جریان	یک تا سه سال
ایستگاه تخلیه الکتریکی یک سوپه	کنترل چشمی واحد تخلیه الکتریکی تک سوپه و خواندن ابزار دقیق حفاظت کاتدی کامل	یک ماه
ایستگاه تخلیه الکتریکی یک سوپه	تست های عملکردی جامع در خصوص ایستگاه تخلیه الکتریکی تک سوپه (برای مثال کنترل الکتروود دایمی، عملکرد دیودها و دستگاه های حفاظتی آنها، قرار دادن مقاومت ها، کنترل ابزار دقیق) و اندازه گیری پتانسیل و جریان نقطه تخلیه الکتریکی	یک تا سه سال
اتصال به سازه های خارجی (مقاومتی یا اتصال مستقیم)	اندازه گیری شارش جریان	یک سال
اتصال به سازه های خارجی (مقاومتی یا اتصال مستقیم)	آزمون های عملکردی جامع دستگاه ها و تعیین مقاومت شارش جریان (مقدار و جهت) و پتانسیل	یک تا سه سال
سامانه اتصال به زمین متصل شده به سامانه حفاظت کاتدی یا سامانه کاهش خوردگی	تست های عملکردی جامع دستگاه ها و تعیین مقاومت بستر آندی و شارش جریان در سامانه کاهشی ^۱ (در صورت وجود)	یک تا سه سال
الکتروودهای مرجع دایمی	مقایسه با الکتروود مرجعی که دقت آن می تواند تا یک الکتروود اصلی ردیابی شود	یک تا شش سال
ایستگاه های آزمون انتخاب شده	اندازه گیری پتانسیل E_{on}	یک سال
تمامی ایستگاه های آزمون	اندازه گیری پتانسیل E_{off}	سه سال
آیستگاه آند گالوانیک	کنترل چشمی ایستگاه ها و اندازه گیری پتانسیل لوله به الکتروولیت	یک سال
آیستگاه آند گالوانیک	آزمون های عملکردی جامع ایستگاه آندی (برای مثال تنظیمات مقاومت، کارآیی اتصالات و اندازه گیری پتانسیل لوله به الکتروولیت).	سه سال
الف جایی که جریان های سرگردان می توانند بر اندازه گیری پتانسیل E_{off} تاثیر بگذارند، ممکن است روش های اندازه گیری جایگزین در صورتی که دقت و کارآیی آنها اثبات شده باشد، استفاده شوند. ب کارآیی و قابلیت اعتماد الکتروود مرجع دایمی به نوع الکتروود مرجع و تناوب اندازه گیری بستگی دارد. در نتیجه تناوب آن می تواند بین یک تا شش سال متغیر باشد.		

اندازه گیری هایی با تناوب بیشتر می توانند به عنوان مثال در مناطق تداخل جریان سرگردان، تاسیسات بحرانی و اتصالات خارجی مورد نیاز باشند.

اندازه‌گیری‌هایی با تناوب کمتر و / یا محدودیت اندازه‌گیری در ایستگاه‌های آزمون انتخاب شده ممکن است بر اساس نتایج ارزیابی‌های تخصصی، به عنوان مثال، نشان دادن پایداری سامانه با توجه به تداخل جریان‌های سرگردان، رعد و برق، نوسان شرایط الکترولیت، تخریب پوشش، و غیره مورد ملاحظه قرار گیرد. ممکن است خطرهای ناشی از سطح غیر قابل قبول تداخل ناشی از جریان متناوب آنگونه که در بند ۴-۶ تعریف شده، با مطالعات یا با اندازه‌گیری مستقیم تعیین شود. (استاندارد EN 15280 را جهت اطلاع ملاحظه کنید). پس از این مطالعات و یا انجام اندازه‌گیری‌ها، برخی از ایستگاه‌های آزمون ممکن است تحت پایش قرار گیرند تا ولتاژهای متناوب نیز اندازه‌گیری شود. این اندازه‌گیری‌ها ممکن است با موارد جدول (۹) ترکیب گردند.

۱۳-۴ پایش از راه دور

یادآوری: پایش از راه دور می‌تواند امکاناتی مانند پاسخ سریع به خرابی تجهیزات و افزایش اطلاع رسانی خودکار هشدار آستانه فراهم نماید.

اگر سامانه حفاظت کاتدی با پایش از راه دور تحت نظارت قرار گیرد، و خواندن متناوب برای تشخیص بدتر شدن کارایی حفاظت و یا شناسایی اختلال در عملکرد تجهیزات کاتدی کافی باشد، در نتیجه دوره تناوب‌های جدول (۹) برای اندازه‌گیری‌های میدانی اعمال نمی‌شوند. دوره تناوب می‌تواند بسته به کیفیت کلی پوشش خط لوله، محیط خارجی خط لوله (به عنوان مثال تداخل با منابع جریان متناوب یا مستقیم) و تعداد و توزیع تاسیسات پایش از راه دور افزایش یابد.

پایش از راه دور باید حداقل همان میزان اطلاعاتی که از اپراتور حفاظت کاتدی در میدان به دست می‌آید را ارایه نماید.

توصیه می‌شود نتایج ارائه شده توسط سامانه نظارت از راه دور به صورت دوره‌ای بررسی شوند تا تایید گردد که سامانه نظارت از راه دور به درستی کار می‌کند.

طراحی و پیاده سازی نظارت از راه دور باید مطابق با مقررات ملی و یا منطقه‌ای باشد.

۱۳-۵ ارزیابی‌های تخصصی

الزامات ارزیابی‌های متناوب تخصصی باید بر اساس نتایج بازرسی و سوابق خط لوله انجام شود. این بررسی‌ها بهتر است توسط کارکنان با استفاده از تجهیزات ساخته شده هدفمند^۱ و ابزار دقیق، تحت نظارت کارکنان آموزش دیده انجام شود.

توصیه می‌شود این بررسی‌ها در مراحل اولیه خطوط لوله جدید انجام گردد. برای خطوط لوله موجود، بهتر است تناوب اطلاعات برآمده از دیگر روشهای بازرسی را نیز لحاظ نماید.

پیوست ت اطلاعات مربوط به بررسی‌های تخصصی احتمالی را فراهم می‌کند.

۱۳-۶ طرح پایش

یک طرح پایش برای سامانه حفاظت کاتدی باید اجرا و نگهداری گردد.

طرح پایش باید دست کم شامل موارد زیر باشد:

- توضیحات اندازه گیری‌هایی که باید انجام شود؛
- مکان‌هایی که این اندازه‌گیری‌ها باید انجام شود؛
- تجهیزات پایشی که برای چنین مراقبت‌هایی لازم است؛
- فنون اندازه‌گیری که باید به کار روند؛
- تناوبی که هر نوع اندازه‌گیری باید انجام گیرد.

همچنین این طرح پایش می‌تواند شامل سامانه پایش از راه دور نصب شده در خطوط لوله باشد.

یادآوری: شرایط آب و هوایی یا فصلی می‌تواند بر نتیجه اندازه‌گیری‌ها تاثیر گذار باشد.

۱۳-۷ تجهیزات پایش

اندازه‌گیری‌های پتانسیل باید با الکتروود مرجع و ولت‌متر انجام گیرد. توصیه می‌شود امپدانس ورودی ولت‌متر به اندازه کافی بالا باشد تا از تاثیر بر مقدار اندازه‌گیری دستگاه جلوگیری نماید. بهتر است امپدانس ورودی حداقل $1\text{ M}\Omega$ بوده و به صورت عادی از $10\text{ M}\Omega$ تجاوز ننماید.

یادآوری ۱: امپدانس ورودی به پارامترهای مختلفی مانند مساحت تبادل الکتروود مرجع مورد استفاده، کیفیت تماس بین الکتروود مرجع و خاک، و مقاومت ویژه خاک بستگی دارد.

یادآوری ۲: هر چه امپدانس بالاتر باشد، دقت اندازه‌گیری بیشتر است.

الکتروودهای مرجع باید به نحوی ساخته شوند که پتانسیل آنها در حین اندازه‌گیری ولتاژ تحت تاثیر قرار نگیرد. ولت‌مترهای مورد استفاده در اندازه‌گیری بهتر است از دقت کافی برای اندازه‌گیری پتانسیل برخوردار باشند. دقت‌های متداول برای دستگاه‌های دیجیتالی $\pm 1\%$ و برای دستگاه‌های آنالوگ با انحراف مقیاس کامل $\pm 2\%$ است.

توصیه می‌شود دقت‌های اندازه‌گیری‌های جریان که با استفاده از شانت و یک ولت‌متر یا آمپر متر (به جز کلمپ‌ها) انجام شده، اگر شدت جریان کمتر از ۱۰ آمپر است بهتر از $\pm 2/5\%$ ، و در جریان‌های بالاتر از ۱۰ آمپر از $\pm 5\%$ بهتر باشد. بهتر است مقادیر شانت چه داخلی و چه خارجی در دستگاه اندازه‌گیری، تاثیر احتمالی شمول مقاومت شانت در مدار اندازه‌گیری شده را لحاظ نماید.

الزامات اندازه‌گیری و دقت‌ها باید برای پایش از راه دور، دیتالاگرها، ولت‌مترها، یا آمپر مترها اعمال شوند. در مواردی که تداخل ناشی از جریان متناوب وجود دارد، ابزار دقیق بهتر است با یک فیلتر جریان متناوب مناسب به منظور اندازه‌گیری مولفه مستقیم به تنهایی و لحاظ نمودن تاخیر ناشی از فیلتر تلفیق شوند.

توصیه می‌شود زمان نمونه برداری ابزار مورد استفاده مرتبط با نوع اندازه‌گیری به عمل آمده و نوع تاثیر الکترونیکی بر خط لوله باشند.

مولتی‌مترها و الکترودهای مرجع مورد استفاده برای اندازه‌گیری‌های حفاظت کاتدی در میدان باید به صورت دوره‌ای بر اساس استاندارد ISO 10012 کنترل شوند.

۱۳-۸ نگهداری و تعمیر

کارآیی سامانه حفاظت کاتدی باید در طول عمر یک خط لوله حفظ گردد. در صورتی که آزمون‌ها و بازرسی‌های دوره‌ای نشان دهد که سامانه حفاظت کاتدی کافی نیست، اقدامات اصلاحی باید صورت گیرد.

پتانسیل‌هایی که معیارهای موجود در بند ۶ را برآورده نمی‌کنند باید رسیدگی شده و همه نواقص در سریع‌ترین زمانی که عملی باشد تصحیح گردند. منابع افزایش پتانسیل خط لوله مانند تداخل با جریان‌های سرگردان، باید مورد بررسی قرار گیرند و در سریع‌ترین زمان ممکن راه حلی برای آنها در نظر گرفت.

بهتر است وسایل عایق‌کننده که در بالای زمین و در معرض هوای آزاد (برای مثال فلنج‌های عایق شده و پیل‌های پلاریزاسیون) قرار گرفته‌اند به صورت دوره‌ای بازرسی گردند و هر گونه گرد و غباری که روی آنها جمع شده (که بعنوان عایق عمل میکند) تمیز شود. هر گونه مانع حفاظتی پوشیده شده به کار رفته برای جلوگیری از ورود گرد و غبار و یا جذب آب بوسیله مواد عایق کاری باید در شرایط خوب نگهداری گردد. این مراقبت باید به گونه‌ای باشد که از عدم ایجاد اتصال کوتاه الکتریکی غیر عمدی در وسایل عایق کاری بعد از نصب، اطمینان حاصل کند.

هنگامی که کارآیی یک وسیله عایق کاری در سایت بررسی می‌شود، صحت هر گونه دستگاه حفاظتی ولتاژ بالای همراه آن نیز باید مطابق با دستورالعمل اجرایی سازنده بررسی گردد. (برای مثال ابزار حفاظتی موجی به موازات اتصال عایقی)

۱۴ مستند سازی

۱۴-۱ مستند سازی طراحی

۱۴-۱-۱ کلیات

هدف از مستند سازی، نگهداری از پرونده کامل فرآیند طراحی است. این کار شامل جزییات هر فرضیه طراحی یا مقادیر مورد استفاده در طراحی است. در این حالت مستند سازی می‌تواند در قالب الکترونیکی باشد.

در موارد مرتبط، توصیه می‌شود مستندسازی طراحی شامل موارد زیر باشد:

- طولی از خط لوله که به صورت کاتدی محافظت شده است؛
- فرضیات مربوط به تماس‌های خارجی (به عنوان مثال سامانه‌های اتصال به زمین)؛
- جزییات مربوط به سامانه پوشش مورد استفاده؛

- مقدار تخریب پوشش پیش بینی شده در طول عمر طراحی؛
- چگالی جریان مورد نیاز برای رسیدن به حفاظت کاتدی؛
- نتایج تحقیقات الکترولیت (مقاومت ویژه، فعالیت باکتری و pH)؛
- جدول تقاطع های خارجی؛
- در دسترس بودن منبع تغذیه برای سامانه های جریان اعمالی.
- فرضیاتی از خطر تداخل های ناشی از جریان متناوب و مستقیم؛
- جدول سامانه های حفاظت کاتدی مجاور و ارزیابی احتمال بروز تداخل؛
- نتایج آزمون تخلیه الکتریکی جریان (تزریق)؛
- شرح سامانه حفاظت کاتدی، شامل یک نمودار الگو؛
- بیان معیارهای حفاظت؛
- دستگاه های آزمون، اندازه گیری و پایش مشمول؛
- جزئیات هر اتصال؛
- مشخصات مواد پیشنهاد شده است؛
- محاسباتی که نشان دهد چگونه الزامات جریان به دست آمده است؛
- محاسباتی برای نشان دادن مقاومت بستر آندی و طول عمر احتمالی؛
- محاسبات میرایی خط لوله؛
- برنامه مواد؛
- نقشه های طراحی؛
- رویه های نصب؛
- رویه های راه اندازی.

۱۴-۱-۲ جزئیات ساخت و دستورالعمل های نصب

تمام جزئیات ساخت و دستورالعمل های نصب سامانه حفاظت کاتدی جهت حصول اطمینان از اینکه الزامات، کارایی طراحی و مقررات ایمنی الکتریکی منطقه ای را برآورده می کند مطابق با این استاندارد باید مستندسازی شود.

توصیه می شود این موارد شامل:

- رویه نصب منابع ولتاژ مستقیم، بسترهای آندی، کابل ها، دستگاه های آزمون، اتصالات کابل به خط لوله؛
- دستورالعمل همه آزمون هایی که برای نشان دادن کیفیت نصب جهت انطباق با الزامات مورد نیاز هستند؛
- دستورالعمل ها و معیارهایی که برای نشان دادن اینکه اثرات تداخل های مضر به خط لوله یا از خط لوله وجود ندارد؛

- دستورالعمل‌های برای نشان دادن اینکه هیچ اثر مضر از تداخل‌های ناشی از جریان متناوب وجود ندارد؛
- نقشه‌های ساخت شامل، پلات پلان^۱، موقعیت سامانه‌های حفاظت کاتدی و دستگاه‌های آزمون، مسیر کابل، الگوهای تک خطی^۲، دیاگرام سیم کشی و ساخت بستر آندی، و کارهای عمرانی؛
- دستورالعمل‌هایی برای اطمینان از سامانه‌های ایمنی کار در طول نصب و بهره‌برداری سامانه حفاظت کاتدی.

۱۴-۲ مستندسازی راه اندازی

- بعد از راه اندازی موفقیت آمیز سامانه حفاظت کاتدی، موارد زیر باید در گزارش راه اندازی قید گردند:
- نقشه‌های طبق ساخت خط لوله شامل سازه‌ها یا سامانه‌های مجاور که بر روی حفاظت کاتدی خط لوله تاثیر گذار هستند؛
 - نقشه‌های طبق ساخت، گزارش‌ها و دیگر جزئیات مربوط به حفاظت کاتدی خط لوله؛
 - گزارش‌های آزمون‌های تداخلی (در صورت وجود) که روی سازه‌های مجاور انجام گردیده است؛
 - ولتاژ و جریانی که هر سامانه حفاظت کاتدی به صورت اولیه بر روی آن تنظیم شده و سطوح ولتاژ و جریانی که باید در آزمون‌های تداخلی آینده مورد استفاده قرار گیرند. موقعیت و نوع منابع جریان‌های تداخلی (در صورت وجود)؛
 - سوابق پتانسیل‌های لوله به الکترولیت در همه ایستگاه‌های آزمون انتخاب شده قبل و بعد از بکارگیری حفاظت کاتدی؛
 - سوابق هر نمونه شاهد و یا پراب که نصب شده اند؛
 - سوابق هر اتصال جریان؛
 - سوابق کارآیی عملکردی هر ایستگاه تخلیه الکتریکی که نصب شده؛
 - نتایج آزمون برای هر اتصال عایقی مونوبلوک و یا کیت‌های فلنج عایقی؛
 - نتایج آزمون برای هر تقاطع جداری؛
 - سوابقی از هر تست دیگری که انجام شده است.

۱۴-۳ مستندسازی عملیات و نگهداری

۱۴-۳-۱ کلیات

کتابچه عملیات و نگهداری باید تهیه شود تا اطمینان حاصل شود که دستورالعمل‌های عملیات و نگهداری مناسبی برای اپراتورها فراهم شده است. این مستندات باید شامل موارد زیر باشند:

1- Plot Plan
2- Single-Line Schematics

- توضیحی از سامانه و اجزای سامانه؛
- گزارش راه اندازی؛
- نقشه های طبق ساخت؛
- مستندات سازنده؛
- فهرستی از همه دستگاه‌های پایش؛
- معیار پتانسیل برای سامانه؛
- طرح پایش؛
- برنامه های پایش و الزامات تجهیزات پایش؛
- رویه های پایش و بازرسی برای هر کدام از انواع وسایل پایش نصب شده بر روی خط لوله؛
- راهنماهایی برای عملکرد ایمن سامانه حفاظت کاتدی.

۱۴-۳-۲ داده های بازرسی و پایش

نتایج همه بازرسی ها و کنترل های پایشی باید ثبت، بایگانی، و توسط متخصصان واجد صلاحیت ارزیابی شوند. بازرسی و کنترل های پایشی باید شامل حداقل شامل تمامی نتایج اندازه‌گیری‌های بند ۱۳-۲ و هر اندازه‌گیری دیگری که در طول بررسی های تخصصی شده و پایش انجام شده است، گردد. **یادآوری:** نتایج برای پایه گذاری مبنایی برای بازبینی های آینده کارآیی حفاظت کاتدی و تداخل استفاده می شود.

۱۴-۳-۳ سوابق نگهداری

برای نگهداری سامانه حفاظت کاتدی خارجی (حفاظت کاتدی، پوشش‌ها، دستگاه های کمکی)، اطلاعات زیر باید ثبت گردد:

- تعمیر یک‌سو کننده ها و دیگر منابع تغذیه جریان مستقیم؛
- تعمیر یا جایگزینی آندها، اتصالات و کابل ها؛
- نگهداری، تعمیر و جایگزینی پوشش، دستگاه های عایقی، کابل های آزمون^۱ و دیگر وسایل آزمون،
- بهبود سامانه حفاظت کاتدی
- تعمیر یا جایگزینی ایستگاه‌های تخلیه الکتریکی، جداره، دستگاه‌های کاهش جریان متناوب، و تجهیزات پایش از راه دور.

پیوست الف

(الزامی)

اندازه گیری های حفاظت کاتدی

الف-۱ کلیات

- اندازه گیری های خواص الکتریکی زیر باید در حین راه اندازی و بهره برداری انجام پذیرد:
- ولتاژ و جریان خروجی یک سو کننده؛
 - پتانسیل های روشن، و در صورت عملی بودن خاموش، لوله نسبت به الکترولیت (برای مثال خاک)؛
 - پتانسیل های روشن و خاموش و شارش جریان در نمونه های شاهد، در صورت وجود؛
 - کارآیی هر گونه عایق الکتریکی (برای مثال اتصال های عایقی، غلاف ها، اسپارک گپ ها و غیره)؛
 - پتانسیل های روشن بر روی خطوط لوله خارجی متصل شده و مقدار شارش جریان به یا از آن ها؛
 - تاثیر هر نوع تداخل جریان مستقیم با خط لوله خارجی؛
 - تاثیر هر نوع تداخل جریان مستقیم یا متناوب از یک منبع خارجی؛
 - آهنگ خوردگی بر روی پراب های مقاومتی، در صورت وجود
- یادآوری:** یک طرح متداول برای شناسایی خطاهای یک سامانه حفاظت کاتدی جریان اعمالی در پیوست پ ارایه شده است.

الف-۲ اندازه گیری های پتانسیل

الف-۲-۱ کلیات

ممکن است اثربخشی حفاظت کاتدی به وسیله اندازه گیری پتانسیل ارزیابی گردد، یعنی اندازه گیری های پتانسیل خاموش نزدیک به فصل مشترک لوله به خاک و نسبت به یک الکتروود مرجع. توصیه می شود روش انتخابی بر اساس شرایط موضعی در سایت، برای مثال نوع و کیفیت پوشش، مقاومت ویژه الکترولیت و حضور جریان های تداخلی، جریان های متعادل کننده، جریان های زمین میدانی و غیره، انتخاب گردد.

یادآوری ۱: در جایی که جریان از طریق خاک و به سوی خط لوله شارش می یابد، یک افت اهمی یا IR در درون پوشش وجود خواهد داشت. بنابراین اندازه گیری پتانسیل به وسیله الکتروود مرجع از روی سطح زمین شامل افت IR خواهد بود. روشهای مکملی وجود دارند که می توانند برای ارائه ارزیابی دقیق تر از تاثیر حفاظت کاتدی مورد استفاده قرار گیرند.

یادآوری ۲: جایی که جریان های شارش یافته در خاک فقط از خود سامانه حفاظت کاتدی خط لوله هستند، پتانسیل های اندازه گیری شده در سطح زمین عموماً منفی تر از پتانسیل در فصل مشترک لوله و خاک می باشد.

الف-۲-۲ اندازه گیری پتانسیل روشن

اندازه گیری های پتانسیل روشن باید وقتی که سامانه حفاظت کاتدی به صورت پیوسته در حال بهره برداری است انجام شود.

در حالتی که جریان های حفاظت کاتدی از سامانه های حفاظت کاتدی خود خط لوله هستند، پتانسیل های اندازه گیری شده در سطح زمین منفی تر از پتانسیل اندازه گیری شده با الکتروود مرجع دقیقاً در نزدیکی فلز بدون پوشش خط لوله است (برای مثال در عیوب پوشش مربوط به خطوط لوله پوشش داده شده).

در الکتروولیت هایی با مقاومت ویژه پایین، افت IR ناشی از این جریان ها می تواند ده ها میلی ولت باشد، در حالی که در الکتروولیت هایی با مقاومت ویژه بالا، می تواند به چند ولت برسد. توصیه می شود برای کمتر کردن افت پتانسیل، الکتروود مرجع تا حد امکان در جایی نزدیک به لوله قرار گیرد.

یادآوری: مقادیر به دست آمده حاوی افت پتانسیل های ناشناخته گوناگون هستند که با تغییر زمان و محل اندازه گیری تغییر می کنند. این مقادیر ممکن است پتانسیل در فصل مشترک لوله نسبت به الکتروولیت را مشخص نکند.

الف-۲-۳ اندازه گیری پتانسیل خاموش

با استفاده صحیح از روش پتانسیل خاموش، خطاهای اندازه گیری شده ناشی از افت IR در مدار اندازه گیری به صورت چشمگیری کاهش می یابد.

برای خطوط لوله مدفون، پتانسیل اندازه گیری شده نسبت به الکتروود مرجع باید بعد از توقف همه جریان ها در مدار حفاظت کاتدی، اما قبل از دیپلاریزه شدن خط لوله اندازه گیری شود (بند الف-۲-۵ را در مورد استفاده از نمونه شاهد یا پراب ملاحظه کنید).

برای اندازه گیری موثر پتانسیل خاموش، همه منابع جریان حفاظت کاتدی که بر مناطق تحت آزمون تاثیر گذارند باید به صورت همزمان خاموش شوند.

اگر دیپلاریزاسیون سریع اتفاق افتاد، یا اگر ریسک حفاظت بیش از حد کاتدی وجود داشته باشد، پتانسیل لحظه ای خاموش باید با بکارگیری یک سامانه پردازنده اطلاعات با سرعت بالا مانند دیتالاگر^۱ یا اسیلوسکوپ^۲ تعیین گردد. توصیه می شود نرخ نمونه برداری با در نظر گرفتن احتمال اسپایک^۳ پتانسیل در خط لوله (که توسط انرژی ذخیره شده/ جریان های متعادل کننده ایجاد شده)، که هنگامی که این اندازه گیری ها روی نمونه های شاهد انجام شود به اندازه مشابه وجود ندارد، تعیین شوند.

1- Data Logger
2- Oscilloscope
3- Spike

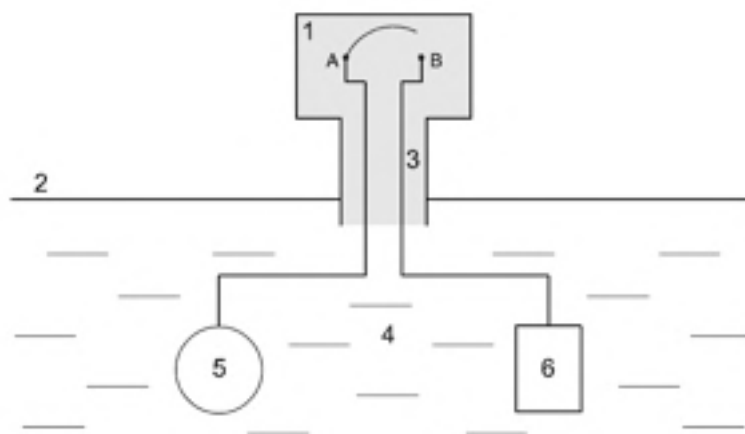
پتانسیل خاموش باید توسط یک ابزار با امپدانس بالا (به طور متداول ۱۰ مگا اهم)، با یک دوره نمونه برداری و فیلترینگ که با نسبت سوییچ کردن روشن/خاموش سازگار است، اندازه گیری گردد. توصیه می شود سامانه اندازه گیری با یک سامانه سوییچ کننده همزمان^۱ شود، بنابراین عمل سوییچ کردن می تواند تعریف شده و با پتانسیل تطبیق داده شود. همچنین ممکن است یک اسیلوسکوپ مورد استفاده قرار گیرد.

الف-۲-۴ اندازه گیری جریان مستقیم واقعی در مدارهای ولتاژ پایین

اندازه گیری های جریان ممکن است از طریق اندازه گیری مستقیم پتانسیل شانت^۲، به وسیله یک آمپر متر یا با استفاده از آمپر متر گیره ای^۳، برای تعیین شار جریان انجام شود. توصیه می شود در انتخاب مقدار شانت، چه داخل و چه خارج از ابزار اندازه گیری، احتمال تاثیر ظرفیت مقاومت شانت در مدار مورد اندازه گیری لحاظ شود. توصیه می شود دقت اندازه گیری بهتر از ۰.۲٪ باشد. بهتر است آمپر متر گیره ای به منظور فراهم نمودن سطوح دقت قابل قبول، با دقت انتخاب و به کار گرفته شود.

هنگامی که در مدارهای ولتاژ پایین اندازه گیری جریان های اندک مورد نیاز است، اگر جریان های سرگردان وجود نداشته باشد، ممکن است اصول و مدارهای نشان داده شده در شکل (الف-۱) استفاده شود. در روشی دیگر، ممکن است یک آمپر متر با مقاومت صفر استفاده شود.

1- Synchronized
2- Shunt
3- Clamp/Clip



راهنما	
B و A	پایانه ها
1	اتصال
2	سطح زمین
3	ایستگاه آزمون
4	الکترولیت (خاک، و غیره)
5	خط لوله
6	سازه دوم (آند گالوانیک)

شکل الف-۱ روش تعیین شارش جریان واقعی در مدارهای با ولتاژ بسیار پایین

رویه تعیین اندازه گیری های جریان واقعی در مدار ولتاژ پایین به شرح زیر است.

الف- جدا کردن پیوند بین پایانه های A و B؛

ب- اندازه گیری ولتاژ، U_1 ، بین AB با میلی ولت متر امپدانس بالا؛

پ- متصل کردن آمپر متر بین AB و اندازه گیری جریان I؛

ت- اندازه گیری ولتاژ، U_2 ، بین AB با آمپر متری که هنوز متصل است.

ث- محاسبه جریان صحیح I_{true} ، با استفاده از فرمول (الف-۱):

$$I_{true} = I \times \frac{U_1}{U_2 - U_1} \quad (\text{الف-۱})$$

الف-۲-۵ اندازه گیری نمونه شاهد یا پراب آزمون

توصیه می شود پراب یا نمونه شاهد از یک ماده مشابه با خط لوله تحت آزمون تولید شده و به جز برای مناطقی که بدون پوشش تعریف شده اند، از پوشش مشابه برخوردار باشد. باید پرابها یا نمونه های شاهد متصل شده به خط لوله دارای یک اتصال آزمون در دسترس باشند تا بتوان آنها را به طور موقت قطع کرد.

برای بررسی مشکلات جریان مستقیم، مساحت نمونه شاهد و یا پراب باید نماینده متوسط اندازه عیب پوشش مورد انتظار در خط لوله باشد. برای بررسی مشکلات جریان متناوب مساحت نمونه شاهد و یا پراب باید cm^2 ۱ باشد.

بهتر است اندازه گیری های پتانسیل خاموش بلافاصله بعد از جدا شدن نمونه از لوله و بدون خاموش کردن منابع جریان حفاظتی انجام گیرد.

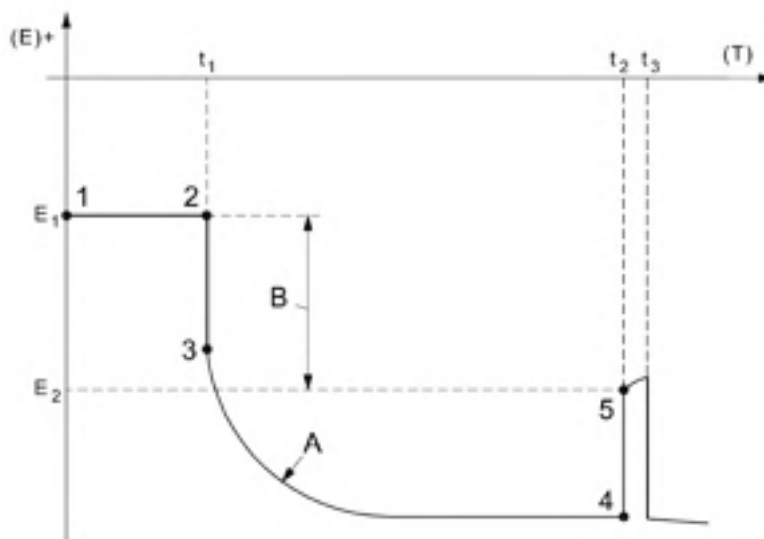
یادآوری ۱: می توان فرض نمود که فلز نمونه شاهد یا پراب با توجه به الکترولیت مجاور پتانسیلی را نشان می دهد که مشابه با پتانسیل لوله نسبت به الکترولیت در محل عیب پوشش با همان اندازه بر روی لوله و در نزدیکی نمونه شاهد است.

یادآوری ۲: زمانی که از نمونه شاهد استفاده می شود، علی رغم اینکه وقتی که از لوله جدا شده است شدت جریانی به صورت مستقیم به آن شارش ندارد، اما هنوز جریانی در الکترولیت پیرامون در حال شارش است. در نتیجه، پتانسیل نمونه شاهد اندازه گیری شده هنوز می تواند به مقدار قابل توجهی از افت ولتاژ در خاک تاثیر بپذیرد. پتانسیل های خاموش نمونه شاهد اگر در مقابل یک الکتروود مرجع دائم مدفون در نزدیکی نمونه شاهد، یا یک وسیله ساخته شده دائمی اندازه گیری شود، دقت بیشتری دارد. همچنین افت پتانسیل باقیمانده می تواند با قراردادن الکتروود مرجع قابل حمل در بالای یک لوله حاوی الکترولیت، که یک انتهای آن نزدیک نمونه شاهد قرار گرفته و تا سطح ادامه دارد، کمینه گردد.

الف-۳ تغییر ۱۰۰ mv پتانسیل در جهت کاتدی

الف-۳-۱ روش اندازه گیری هنگام پلاریزاسیون

با استفاده از روش اندازه گیری پلاریزاسیون، تغییر ۱۰۰ میلی ولت پتانسیل در جهت کاتدی باید با توجه به پتانسیل خوردگی آزاد (E_{COR}) و مطابق با شکل (الف-۲) اندازه گیری شود. این روش به یک خط لوله و یا یک نمونه شاهد که از قبل پلاریزه نشده، اعمال می شود.



راهنما

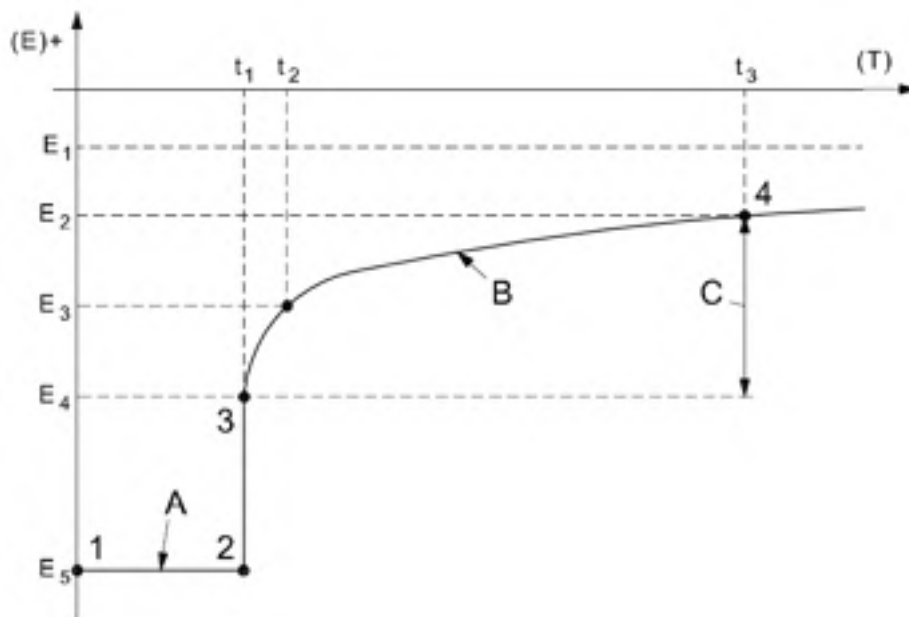
منحنی شکل گیری پلاریزاسیون	A
مقدار شکل گیری پلاریزاسیون	B
پتانسیل خوردگی آزاد، E_{COR} (به صورت 1 بر روی منحنی مشخص شده)	E_1
E_{OFF} پس از t_2 (به صورت ۵ بر روی منحنی مشخص شده)	E_2
زمانی که در آن حفاظت کاتدی به خط لوله و یا اتصال نمونه شاهد اعمال شده	t_1
زمانی که در آن حفاظت کاتدی خاموش شده و یا نمونه شاهد قطع شده است	t_2
زمانی که در آن حفاظت کاتدی روشن است و یا نمونه شاهد وصل است	t_3
زمان، t	X
پتانسیل، E	Y
افت IR در زمانی که حفاظت کاتدی به خط لوله اعمال و یا اتصال نمونه شاهد وصل می شود	2 - 3
افت IR در زمانی که حفاظت کاتدی خاموش شده و یا نمونه شاهد قطع شده است	4 - 5
E_{ON} در لحظه t_2	4

شکل الف-۲ روش شکل گیری پلاریزاسیون

میزان شکل گیری پلاریزاسیون برابر با اختلاف بین پتانسیل E_{COR} و پتانسیل E_{OFF} اندازه گیری شده است.

الف-۳ روش اندازه گیری در طول دپلاریزاسیون

با استفاده از روش اندازه گیری دپلاریزاسیون، انتقال پتانسیل کاتدی ۱۰۰ میلی ولت باید با توجه به پتانسیل خاموش، E_{OFF} و با توجه به شکل (الف-۳) اندازه گیری شود. این روش بر روی خط لوله و یا یک نمونه شاهد که در حال حاضر تحت حفاظت قرار دارد انجام می شود.



راهنما

A	حفاظت کاتدی اعمال می شود
B	منحنی دپلاریزاسیون B (و یا زوال پلاریزاسیون)
C	مقدار دپلاریزاسیون (مقدار زوال پلاریزاسیون)
E ₁	پتانسیل خوردگی آزاد، E _{COR}
E ₂	پتانسیل لوله به الکترولیت در t ₃ (به صورت 4 بر روی منحنی مشخص شده)
E ₃	E _{OFF}
E ₄	E _{OFF} لحظه ای
E ₅	E _{ON} (به صورت 1 بر روی منحنی مشخص شده)
t ₁	زمانی که در آن حفاظت کاتدی خاموش است و یا نمونه قطع شده است
t ₂	زمانی که در آن اندازه گیری E _{OFF} انجام شده است
t ₃	زمانی که در آن پتانسیل اندازه گیری شده و برای محاسبه مقدار دپلاریزاسیون استفاده خواهد شد
X	زمان، t
Y	پتانسیل، E
2-3	افت IR در زمانی که حفاظت کاتدی خاموش است و یا نمونه شاهد قطع شده است

شکل الف-۳ روش زوال پلاریزاسیون

مقدار دپلاریزاسیون برابر با اختلاف بین پتانسیل E_{OFF} و E(t₂) است.

الف-۴ اندازه گیری نرخ خوردگی

اثربخشی حفاظت کاتدی ممکن است با اندازه گیری نرخ خوردگی در پراب‌ها (برای مثال پراب ER) ارزیابی شود.

الف-۵ کنترل عایق های الکتریکی

الف-۵-۱ کلیات

- خرابی های اتصالات عایقی برای عملکرد رضایتبخش می تواند ناشی از یکی از موارد زیر باشد :
- خرابی خود اتصال عایقی یا خرابی اجزاء کیت فلنج عایقی،
 - اتصال رسانای خارجی بین دو طرف اتصال عایقی، برای مثال توسط تکیه گاه های لوله، سایر لوله کشی ها یا اتصال به زمین موضعی،
 - تخریب یا فقدان پوشش داخلی در جایی که خط لوله حاوی سیال هادی الکتریکی است.
- روشهای اندازه گیری مختلفی که برای تعیین کارایی یک اتصال عایق نصب شده یا کیت فلنج عایق ممکن است مورد استفاده قرار گیرد، در بندهای الف.۵-۲ تا الف.۵-۶ آورده شده است. ترکیبی از دو یا چند روش شرح داده شده می تواند اطمینان بیشتری حاصل نماید.

الف-۵-۲ اندازه گیری های پتانسیل لوله نسبت به الکترولیت

پتانسیل های خط لوله نسبت به الکترولیت باید در هر دو طرف یک اتصال عایقی اندازه گیری گردد. اگر اختلاف قابل ملاحظه ای در پتانسیل وجود داشته باشد، اتصال عایق / فلنج عایق مؤثر است. اگر احتمال دارد پتانسیل در دو طرف اتصال متفاوت باشد، یک اتصال عایقی دارای عیب موضعی نمی تواند به آسانی معیوب نامیده شود. به عنوان یک راهنمای عمومی، اختلاف پتانسیل کمتر از 100 mV ممکن است بی نتیجه در نظر گرفته شود.

الف-۵-۳ اندازه گیری های مقاومت الکتریکی

اندازه گیری های مستقیم مقاومت الکتریکی باید با یک مقاومت سنج جریان متناوب انجام گردد.

یادآوری ۱: مقاومت سنج های جریان مستقیم به علت تاثیرات پلاریزاسیون بین خط لوله و خاک به موازات اتصال عایقی، نتایج اشتباه ارائه می دهند.

یادآوری ۲: ممکن است تفسیر نتایج اندازه گیری های مقاومت مستقیم در اتصالات عایقی نصب شده مشکل باشد. این مسئله به علت مقاومت لوله (یا سازه) به زمین و، اگر محتوای خط لوله محلولی رسانا باشد، مقاومت داخلی سیال رسانا (الکترولیت) است که هر دو با مقاومت اتصال عایقی موازی هستند. مقاومت حقیقی اندازه گیری شده می تواند به دلیل ترکیب این سه مقاومت بوده و اندازه گیری مقدار اندک مقاومت همواره نمی تواند نشانه ای قابل اطمینان از معیوب بودن اتصال عایقی باشد.

جایی که یک کیت فلنج عایقی نصب شده است، توصیه می شود عایق بندی رضایت بخش هر پیچ با بکارگیری یک اهم سنج یا سایر دستگاه های مشابه کنترل گردد، زیرا عایق بندی الکتریکی یک پیچ می تواند در یک فلنج کارآمد و در دیگری ناکارآمد باشد.

الف-۵-۴ آزمون‌های جریان اعمالی

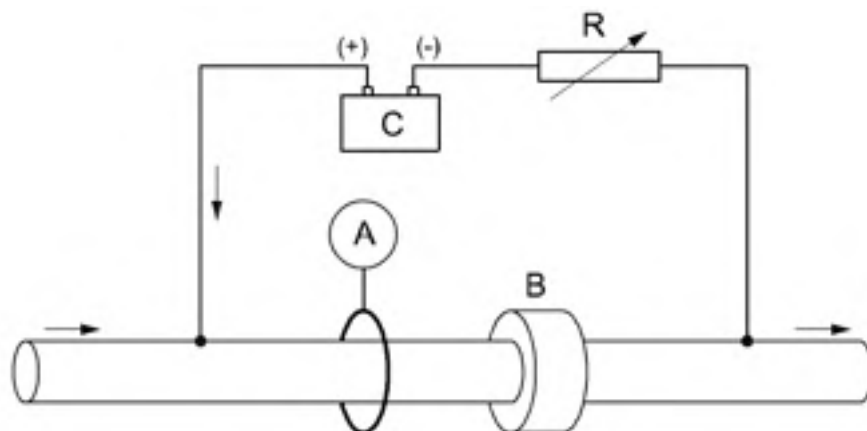
در هنگام استفاده از آزمون‌های جریان اعمالی برای بررسی صحت یک وسیله عایق، یکی از روش‌های زیر باید مورد استفاده قرار گیرد:

- روش ۱، که در آن جریان به خط لوله در یک طرف وسیله عایق اعمال می‌گردد. ممکن است در صورتی که پتانسیل در طرف دیگر وسیله عایق تغییر نکند یا تغییرات در مقادیر معکوس باشد (به علت یک اثر تداخلی)، کارآیی وسیله عایق مناسب تشخیص داده شود. ممکن است اندازه گیری‌های پتانسیل با افزودن قطع‌کننده^۱ خودکار بر روی جریان اعمالی، در تایید آن کمک نماید؛
- روش ۲، که در آن جریان از یک اتصال موقت در امتداد وسیله عایق، در حالی که حفاظت کاتدی تنها در یک طرف اعمال شده است، اندازه گیری می‌شود. اگر هیچ جریانی در اتصال شارش نیابد، آنگاه ممکن است وسیله عایق معیوب بوده یا دارای نشتی تشخیص داده شود. یک وسیله عایق با عیب جزئی ممکن است با این روش به آسانی قابل شناسایی نباشد، زیرا اگر مقاومت نشت و مقاومت اتصال مقادیر مشابهی داشته باشند، ممکن است جریان درون اتصال صفر نباشد.

الف-۵-۵ اندازه گیری‌های مولد فرکانس صوتی

اندازه گیری‌های مولد فرکانس صوتی باید با بکارگیری یک فرکانس صوتی مناسب از یک مولد فرکانس در یک طرف اتصال عایق (برای مثال بوسیله یک لوله یاب متداول) انجام گردد، و در طرف دیگر وسیله عایق مبادرت به ردیابی سیگنال نماید.

الف-۵-۶ آزمون اتصال عایقی با استفاده از باتری و آمپر متر گیره‌ای



راهنما	
A	گیره
B	اتصال عایقی
C	باتری
R	مقاومت قابل تنظیم کم

شکل الف-۴ تست اتصال عایقی با باتری و گیره

ابتدا باید جریان مرجع ایجاد شده توسط باتری به عنوان مرجع برای آزمون در حال انجام اندازه گیری شود (شکل الف-۴ را ملاحظه کنید). این اندازه گیری ممکن است با یک مقاومت کوچک قابل تنظیم (به عنوان مثال $12\ \Omega$ برای یک باتری $12\ V$) و با کاهش مقاومت برای دریافت جریان اتصال کوتاه با باتری که جریان مرجع است انجام گردد. ولتاژ جریان مستقیم باید با باتری بین دو طرف اتصال عایقی اعمال شود. جریان ایجاد شده توسط باتری باید اندازه گیری شود.

آمپر متر گیره‌ای جریان مستقیم باید روی لوله و در یک طرف اتصال عایقی به منظور اندازه گیری جریان در حال شارش در لوله بین اتصال عایقی و اتصال باتری نصب شود.

اگر جریان اندازه گیری شده توسط گیره، معادل یا نزدیک به جریان اعمال شده باشد، اتصال عایقی بی اثر است. اگر جریان اندازه گیری شده توسط گیره، صفر بوده یا در ارتباط با جریان مرجع باتری بسیار کوچک باشد، عایق بودن الکتریکی اتصال عایقی موثر است.

الف-۶ تعیین جریان خط

اندازه گیری های انجام شده در ایستگاه‌های پایش جریان در خط، راهی موثر برای نظارت و ارزیابی حفاظت کاتدی خط لوله، به عنوان مثال برای مشخص کردن محل خطاها در سامانه‌های حفاظت کاتدی و برای ارزیابی کیفیت پوشش، است.

توصیه می شود ایستگاه‌های پایش جریان خط در فواصل منظم (تقریباً در هر ۱۰ کیلومتر) در خط لوله نصب شوند و همچنین بهتر است در مکان‌های انتخاب شده از جمله موارد زیر نصب شوند:

- ایستگاه‌های حفاظت کاتدی برای ارزیابی توزیع جریان؛

- گذر از رودخانه‌های بزرگ؛

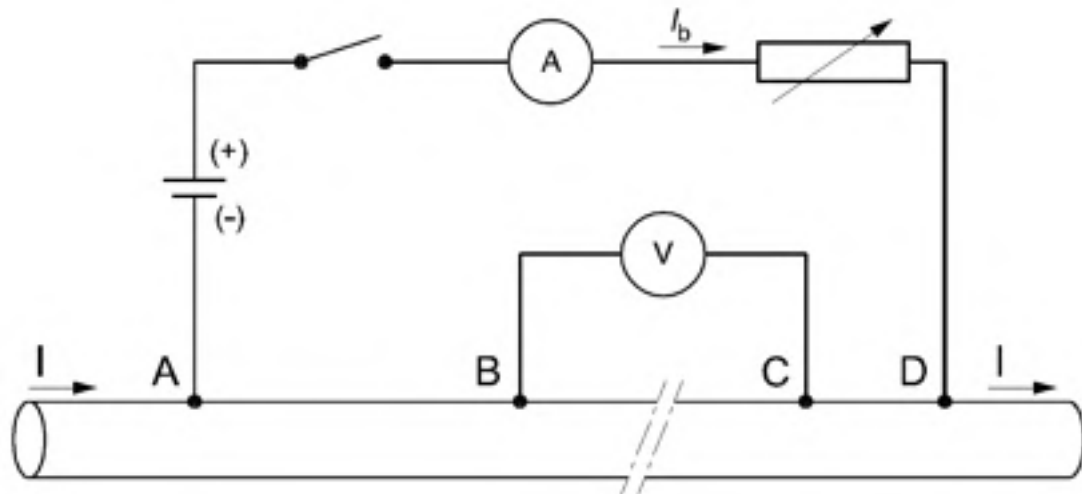
- خطوط انشعاب.

روش باید همانطور که در شکل (الف-۵) توضیح داده شده است باشد.

اگر جریان I_b طوری تنظیم شده است که هیچ انحرافی در میکرو ولت متر ندهد، در نتیجه $I_b = I$ کابل‌های A و D حمل کننده جریان هستند و برای اهداف کالیبراسیون مورد استفاده قرار می‌گیرند. کابل‌های B و C برای اندازه‌گیری پتانسیل هستند. باید فاصله بین B و C به گونه‌ای انتخاب شود تا اطلاعاتی معنی دار از جریان شارش یافته در بخش انتخاب شده فراهم آورد. فاصله باید کافی باشد، به طوری که مقدار افت ولتاژ در محدوده اندازه‌گیری ابزار مورد استفاده باشد. فاصله‌های متداول بین ۳۰ متر و ۱۰۰ متر است. توصیه می شود اتصالات کابل B و C به لوله حداقل در ۱۰ سانتی متری نقاط تزریق جریان A و D متصل شوند.

جریان (I_B) باید به بخشی از خط لوله بین نقاط A و D با استفاده از یک منبع قدرت (باتری) اعمال شود، و ولتاژ (U) باید بین نقاط B و C اندازه گیری گردد. به منظور اجتناب از تداخل ناشی از سایر جریان‌های شارش یافته از طریق خط لوله و همچنین ولتاژهای تماسی، منبع قدرت باید روشن و خاموش شده و ولتاژ (ΔU) و جریان (ΔI_b) برای محاسبات استفاده شوند. پس از آن مقاومت طولی بین B و C باید با استفاده از فرمول (الف-۲) تعیین شوند:

$$R_{BC} = \frac{\Delta U}{\Delta I_b} \quad (\text{الف-۲})$$



راهنما

A	کابل حامل جریان
B	کابل اندازه گیری پتانسیل
C	کابل اندازه گیری پتانسیل
D	کابل حامل جریان
I	جریان خط لوله
I_b	جریان اعمال شده به بخشی از خط لوله بین نقاط A و D

شکل الف-۵ مدار اندازه گیری کننده برای تعیین جریان خط و مقاومت طولی خط لوله

پیوست ب

(الزامی)

تداخل الکتریکی

ب-۱ کلیات

تداخل الکتریکی می تواند از جریان های مستقیم یا از جریان های متناوب ناشی شود.

منابع تداخل های جریان های مستقیم عبارتند از:

- جریان ثابت (به عنوان مثال سامانه های حفاظت کاتدی مجاور)؛
 - جریان نوسان کننده (به عنوان مثال سامانه های حمل و نقل جریان مستقیم، سامانه های حمل و نقل و پمپ های معادن ذغال سنگ، ماشین های جوشکاری و سامانه های برق جریان مستقیم)؛
 - جریان های زمین میدانی مستقیم (جریان های ژئومغناطیسی که به صورت طبیعی رخ می دهند).
- انواع تداخل های جریان متناوب عبارتند از:

- تداخل های کوتاه مدت، ناشی از خطاهای سامانه های برق جریان متناوب و راه آهن های برقی؛
- تداخل های طولانی مدت، ناشی از القا یا هدایت الکتریکی بین خط لوله و خطوط ولتاژ بالا یا راه آهن های برقی.

مثال هایی از جریان های سرگردان شامل جریان های مستقیم یا متناوب ناشی از سامانه های حمل و نقل و یا جریان مستقیم ناشی از سامانه های حفاظت کاتدی دیگر می باشد. جریان های القایی به عنوان جریان های سرگردان در نظر گرفته نمی شوند. مکانیسم های خوردگی برای جریان مستقیم و جریان متناوب متفاوت هستند و در استانداردهای EN 50122-1، EN 50122-2، EN 50122-3، EN 50162 و EN 15280 به تفصیل به آنها پرداخته شده است.

یادآوری ۱: تداخل ناشی از جریان متناوب در خط لوله خود را با حضور ولتاژهای a.c، معمولاً توسط القاء، آشکار می نماید.

یادآوری ۲: تداخل ناشی از جریان مستقیم خود را با تغییرات در پتانسیل های لوله نسبت به الکترولیت نشان می دهد.

ب-۲ تداخل ناشی از جریان مستقیم

ب-۲-۱ اندازه گیری ها

در نواحی مشکوک به تداخل ناشی از جریان های مستقیم، یک یا چند مورد از کارهای زیر را باید انجام داد:

- اندازه‌گیری پتانسیل‌های لوله نسبت به الکترولیت در بازه زمانی طولانی برای دستیابی به الگو، مقدار و ماهیت تداخل؛
 - اندازه‌گیری مقدار و جهت جریان بر روی نمونه‌های شاهد متصل به خط لوله؛
 - اندازه‌گیری مقدار و جهت جریان در حال شارش در خط لوله با استفاده از ابزارهای نمایش دهنده یا ثبت کننده (پیوست الف را ملاحظه کنید)؛
 - اندازه‌گیری دامنه تغییرات جریان خروجی منبع مشکوک به جریان تداخلی، یا اندازه‌گیری پتانسیل سازه‌های ایجاد کننده تداخل (به عنوان مثال راه آهن)، و ارتباط دادن آنها به نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری‌های فوق؛
 - محاسبه نرخ خوردگی واقعی با استفاده از پراب ER.
- توصیه می‌شود به منظور ارزیابی وابستگی سطح تداخل به زمان، اندازه‌گیری‌ها برای بررسی پدیده تداخل در طول یک دوره زمانی مناسب انجام گیرد. دوره متداول ۲۴ ساعت است.
- در مورد تداخل ناشی از سامانه‌های حفاظت کاتدی در یک سازه حفاظت نشده، باید اندازه‌گیری‌های مربوط به تداخل به شرح زیر انجام شود.
- اندازه‌گیری پتانسیل لوله نسبت به الکترولیت بر روی خط لوله بیگانه و خط لوله ایجاد کننده تداخل، در حالی که منابع جریان حفاظت کاتدی که می‌توانند موجب تداخل باشند، ترجیحاً به صورت همزمان روشن و سپس خاموش شوند. بهتر است اندازه‌گیری شامل خطاهای ناشی از جریان‌های متعادل کننده یا زوج‌های گالوانیک خارجی نباشد.

یادآوری استاندارد EN 13509 جزییات خطاهای اندازه‌گیری را ارایه نموده است.

- اندازه‌گیری تغییرات آندی شامل افت‌های IR (ناشی از جریانهای سرگردان d.c.) مطابق با مقاومت ویژه الکترولیت، برای خطوط لوله‌ای که حفاظت کاتدی نشده‌اند. بیشینه تغییرات آندی قابل قبول برابر است با:

- برای فولاد و چدن:

- 300 mV برای الکترولیت با مقاومت ویژه بزرگ‌تر یا برابر با $200 \Omega \cdot \text{m}$ ؛
 - $1/5$ برابر مقدار مقاومت ویژه برای الکترولیت با مقاومت ویژه بین $15 \Omega \cdot \text{m}$ و $200 \Omega \cdot \text{m}$ ؛
 - 20 mV برای الکترولیت با مقاومت ویژه کمتر از $15 \Omega \cdot \text{m}$.
- 200 mV برای فولادهای مدفون در بتن.
- برای خط لوله‌هایی که حفاظت کاتدی می‌شوند، تغییرات آندی به شرطی که معیارهای حفاظت کاتدی حفظ شوند، قابل قبول هستند.
- اگر یک اتصال عایقی در منطقه‌ای دارای تداخل الکتریکی نصب شده باشد، می‌تواند خطرات خوردگی اضافی وجود داشته باشد (بند ۷-۳ را ملاحظه کنید).

ب-۲-۲ کاهش مشکلات خوردگی ناشی از تداخل جریان مستقیم

در خصوص تداخل ناشی از سامانه‌های حفاظت کاتدی، برخی روش‌های معمول که ممکن است در رفع مشکلات تداخل روی خطوط لوله یا دیگر سازه‌های مدفون در نظر گرفته شود شامل موارد زیر می‌باشند:

- جلوگیری از ورود یا محدود کردن شارش جریان تداخلی از طریق خط لوله مدفون با بهبود عایق کاری یا ایجاد سپر الکتریکی؛
 - افزایش یا تغییر چیدمان منابع جریان حفاظت کاتدی؛
 - نصب اتصالات فلزی (به همراه یک مقاومت در اتصال فلزی مدار یا بدون آن) بین خطوط لوله تحت تاثیر و یا سازه‌های دیگر؛ اتصال فلزی به صورت الکتریکی جریان تداخلی را از خط لوله تحت تاثیر به سمت خط لوله ایجاد کننده تداخل و/یا منبع جریان هدایت می‌کند؛
 - استفاده از تجهیزات کنترلی یک طرفه، مانند دیودها و یا سوئیچ‌های جریان معکوس؛
 - تنظیم جریان خروجی در یک سو کننده‌های حفاظت کاتدی که به طور متقابل موجب تداخل می‌شوند؛
 - نصب اتصالات عایقی در محل مناسب بر روی خط لوله تحت تاثیر؛ توصیه می‌شود در جایی که خطر افزایش شدت خوردگی در اتصال وجود دارد (به عنوان مثال در مناطقی که شیب‌های پتانسیل در الکترولیت بالا است) اتصالات عایقی نصب نگردند؛
 - استفاده از آند گالوانیک در بخش آندی.
- توصیه می‌شود در مورد تداخل ناشی از سامانه‌های حمل و نقل با جریان مستقیم (به عنوان مثال خطوط راه آهن یا تراموا)، تا آنجا که ممکن است جریان‌های سرگردان در منبع کاهش یابد. به عنوان مثال، تداخل جریان مستقیم می‌تواند با موارد زیر کاهش یابد:
- به حداقل رساندن فاصله بین ایستگاه‌های فرعی؛
 - حصول اطمینان از مقاومت پایین مدارهای بازگشت (معمولاً کمتر از $0.3 \Omega/\text{km}$)؛
 - حصول اطمینان از مقاومت بالا بین ریل بازگشت و زمین با استفاده از سامانه‌های زمین شناور^۱؛
 - با استفاده از فرش‌های^۲ جمع کننده جریان سرگردان؛
 - با استفاده از شن و ماسه^۳ تمیز با قابلیت تخلیه آب؛
 - ایجاد نقاط تخلیه جریان برای خنثی کردن تأثیرات در ریل راه آهن هنگامی که مقادیر پتانسیل منفی در ریل راه آهن وجود دارد؛
 - نصب ایستگاه جریان اعمالی خودکار برای خنثی کردن تأثیرات الکتریکی در مناطق آندی؛
 - نصب یک سوکننده‌ها بر روی ریل راه آهن به منظور خنثی کردن تأثیراتی که نمی‌توان آنها را توسط تخلیه جریان به صورت موضعی کاهش داد (جنبه اقتصادی).

1- Floating Earth Systems

2- Mat

3- Ballast

یادآوری: راهنمایی های بیشتر در خصوص روش هایی برای کم کردن خوردگی ناشی از تداخل جریان مستقیم در استانداردهای EN 50162 و EN 50122 (تمام بخش ها) ارایه شده است.

ب-۳ تداخل ناشی از جریان متناوب

ب-۳-۱ کلیات

مقادیر تداخل دایمی یا تداخل کوتاه مدت روی یک خط لوله در اثر منابع جریان متناوب با ولتاژ بالا مانند خطوط انتقال برق و راه آهن های برقی بیشتر به موارد زیر بستگی دارد:

- طول مسیر موازی یا تقریباً موازی؛
- فاصله بین خط لوله و منبع ایجاد کننده تداخل؛
- مقاومت ویژه الکترولیت در طول مسیر خط لوله؛
- سطح ولتاژ خط حامل جریان متناوب؛
- سطح جریان خط حامل جریان متناوب؛
- کیفیت پوشش خط لوله.

یادآوری ۱: اثرات تداخل های ناشی از جریان متناوب بر روی خطوط لوله مدفون می تواند باعث مشکلات ایمنی گردد.

یادآوری ۲: استاندارد EN50443 در خصوص اثرات احتمالی وابسته به تداخل ناشی از جریان متناوب بر روی خطوط لوله شامل شوک های الکتریکی، خسارت به پوشش و خسارت به عایق ها را ملاحظه کنید.

یادآوری ۳: استاندارد EN15280 راهنمایی های تفصیلی درباره خوردگی ناشی از جریان متناوب در شرایط بهره برداری عادی را ارایه می دهد.

ب-۳-۲ محاسبه تاثیر القا و/یا هدایت ناشی از جریان متناوب

ممکن است تداخل های ناشی از جریان متناوب ناشی از سامانه های حمل و نقل یا انتقال برق با در نظر گرفتن داده های منبع تداخل و خط لوله تحت تاثیر مانند مقاومت پوشش، قطر، مسیر و محل اتصالات عایقی یا فلنچ های عایقی، بر روی یک کامپیوتر شبیه سازی گردند. اطلاعات مورد بررسی شامل وجود تداخل های ولتاژ بالا، جریان بهره برداری، مکان و طرز قرارگیری دکل ولتاژ بالا و موقعیت سیم ها، مسیر (شامل موقعیت مبدل ها)، فرکانس و خصوصیات الکتریکی می باشد.

ب-۳-۳ اندازه گیری ها

توصیه می شود برای تعیین خطر خوردگی ناشی از جریان متناوب، نمونه های شاهد در جایی که چگالی جریان متناوب می تواند چشمگیر باشد نصب گردد. این مکان ها می توانند با مدل سازی، اندازه گیری های

میدانی، یا آزمون‌های تجربی استخراج شوند. بهتر است نمونه‌های شاهد در عمق خط لوله دفن شده و برای اندازه گیری های جریان پیکربندی شوند. بهتر است نصب پراب‌های خوردگی نیز در نظر گرفته شود. **یادآوری ۱:** چگالی جریان متناوب از طریق عیب پوشش، عامل تعیین کننده‌ای در ارزیابی خطر خوردگی ناشی از جریان متناوب است.

یادآوری ۲: اگر چگالی جریان متناوب در 1 cm^2 سطح بدون پوشش (به عنوان مثال یک پراب آزمون خارجی) بالاتر از 30 A/m^2 باشد، خطر زیادی برای خوردگی ناشی از جریان متناوب وجود دارد.

بهتر است اندازه گیری‌ها شامل موارد زیر باشد:

- پتانسیل لوله یا نمونه شاهد نسبت به الکترولیت (جریان مستقیم یا متناوب)، و
 - جریان نمونه شاهد (جریان مستقیم یا متناوب).
- با این اندازه گیری‌ها، محاسبه چگالی جریان مستقیم یا متناوب و نسبت چگالی جریان (چگالی جریان متناوب تقسیم بر چگالی جریان مستقیم) میسر خواهد بود. توصیه می شود از این پارامترها برای ارزیابی خطر خوردگی ناشی از جریان متناوب استفاده شود.

ب-۳-۴ محدود کردن تداخل های ناشی از جریان متناوب

باید مقدار حداکثر ولتاژ تماسی ^۱ و ولتاژ قدم ^۲ مطابق با الزامات ملی یا منطقه‌ای محدود شده و در همه مکان هایی که یک شخص می تواند خط لوله یا تجهیزاتی در خط لوله را لمس کند رعایت گردد. این اندازه گیری‌ها خارج از هدف این بخش از استاندارد ISO15589 است، اما هنگامی که کاهش کلی اثرات مخرب ناشی از جریان متناوب مد نظر است، باید مورد توجه قرار گیرد. توصیه می شود اقدامات حفاظتی در برابر خوردگی ناشی از جریان متناوب، با کاهش ولتاژ متناوب القا شده حاصل شود.

توصیه می‌شود برای کاهش ولتاژ متناوب (در شرایط بهره‌برداری و هنگام نقص سامانه)، خط لوله به یک سامانه اتصال به زمین متصل شود. اگر هیچ‌گونه تاثیر مخربی بر سامانه حفاظت کاتدی نداشته باشد، دستگاه های دکوپلینگ جریان مستقیم استفاده می‌شود.

پیوست پ

(آگاهی دهنده)

تشخیص خطای سامانه های اعمال جریان در طول بهره برداری

اگر در سامانه های جریان اعمالی مقادیر غیر عادی پتانسیل و جریان مشاهده گردید یک مقایسه با مقادیر اولیه، همانطور که در جدول (پ-۱) ارایه شده است، می تواند منشا خطا را نشان دهد.

جدول پ-۱ دلایل احتمالی مشاهدات غیر عادی

پتانسیل لوله به خاک وقتی که کلید سیستم حفاظتی روشن می-شود مثبت تر می شود	(۱) اتصال اشتباه مبدل یک سو کننده به خط لوله، که این اشتباه خیلی خطرناک بوده و می تواند در یک مدت زمانی کوتاه خسارات شدیدی در خط لوله بوجود آورد.
ولتاژ اعمالی صفر یا خیلی پایین، جریان صفر	(۱) عیب از فیوز جریان متناوب یا خاموشی سایر وسایل حفاظتی دیگر (۲) خطا در تامین جریان متناوب (۳) عیب در مبدل یک سو کننده
ولتاژ اعمالی معمولی، جریان کم اما غیر صفر	(۱) از بین رفتن آندها یا بستر (۲) خشک شدن خاک اطراف بستر (۳) تجمع گاز تولید شده توسط الکترولیت به اطراف آندها (انسداد گاز) (۴) جدا شدن آندهای تک در یک بستر یا سیستم آندی (۵) جدا شدن قسمتی از خط لوله حفاظت شده از سمت منفی مبدل یک سو کننده
ولتاژ اعمالی معمولی، اما جریان صفر	(۱) جدا شدن کابل های آند یا کاتد، (۲) نقص در فیوز جریان مستقیم یا آمپر متر مبدل یک سو کننده (۳) نقص کابل در بستر یا سیستم آند
ولتاژ و جریان اعمالی صفر	(۱) کنترل روی مبدل یک سو کننده، خیلی پایین تنظیم شده (۲) مبدل یا یک سو کننده معیوب (۳) خطا در تامین الکتریسته
ولتاژ و جریان اعمالی هر دو بالا	(۱) کنترل روی مبدل یک سو کننده، خیلی بالا تنظیم شده (۲) انحراف (پتانسیل) الکترود مرجع دایمی در جهت مثبت (۳) قطع شدن الکترود مرجع دایمی

جدول پ-۱ دلایل احتمالی مشاهدات غیر عادی (ادامه)

(۱) قطع شدن یک پیوستگی اتصال، یا افزایش مقاومت بین نقطه اتصال و نقطه آزمایش به علت اتصال ضعیف کابل (۲) افزایش زیاد هوادهی الکترولیت در نزدیکی نقطه اندازه گیری ناشی از خشکی یا افزایش موضعی زهکشی زمین (۳) تجهیزات عایقی معیوب، برای مثال اتصال کوتاه یک اتصال عایق در پایان خط لوله تحت حفاظت (۴) خط لوله حفاظت شده سپر الکتریکی شده و یا به وسیله لوله های جدید تحت تاثیر قرار گرفته (۵) خرابی سیستم حفاظت کاتدی بر روی خط لوله قسمت مجاور یا بر روی خط لوله دومی که به آن اتصال داده شده است (۶) از بین رفتن یا خسارت به پوشش حفاظتی خط لوله (۷) توسعه یا اضافه شدن به خط لوله مدفون، که می تواند شامل تماس با دیگر سازه های فلزی نیز باشد، (۸) اثر متقابل با سیستم حفاظت کاتدی خط لوله مجاور یا نزدیک به آن (۹) تاثیر جریان تداخلی بر روی خط لوله	ولتاژ و جریان اعمالی عادی اما پتانسیل لوله نسبت به الکترولیت به اندازه کافی منفی نیست، یعنی بیش از حد مثبت است
(۱) قطع پیوستگی اتصال در موقعیتی دورتر از نقطه اعمال نسبت به نقطه آزمون (۲) خطوط لوله ثانویه قطع شده یا از خطوط لوله حفاظت شده جدا گردیده یا حفاظت کاتدی اضافی بوسیله سیستم حفاظت کاتدی جدیدی دریافت می کند (۳) تاثیر جریان تداخلی بر روی خط لوله	خ) ولتاژ و جریان اعمالی معمولی اما پتانسیل لوله نسبت به الکترولیت به صورت غیر عادی منفی
(۱) حضور جریان های تداخلی زمینی، برای مثال تداخل ناشی از سیستم های حمل و نقل جریان یا اثرات جریان های زمین میدانی/ ژئو مغناطیسی	د) ولتاژ و جریان اعمالی معمولی اما وجود نوسان پتانسیل لوله نسبت به الکترولیت

پیوست ت

(آگاهی دهنده)

تشریح پیمایش‌های تخصصی

ت-۱ کلیات

- این پیوست، اطلاعات سه نوع از پیمایش‌های تخصصی را فراهم می‌کند:
- ارزیابی‌های از روی سطح زمین که برای بررسی وضعیت پوشش و برای تعیین موقعیت عیوب پوشش مورد استفاده قرار می‌گیرند؛
 - ارزیابی‌های از روی سطح زمین که برای اندازه‌گیری پتانسیل لوله نسبت به الکترولیت در امتداد خط لوله مدفون مورد استفاده قرار می‌گیرند؛
 - تست‌های جریان مورد نیاز.

ت-۲ استفاده از پیمایش‌های از روی سطح زمین برای ارزیابی وضعیت پوشش و تعیین موقعیت عیوب پوشش

ت-۲-۱ کلیات

- موقعیت عیوب پوشش می‌توانند با اندازه‌گیری سیگنال جریان متناوب و یا جریان مستقیم تعیین شوند. شناخته شده‌ترین روش‌ها، پیرسون^۱ و بررسی میرایی جریان متناوب و جریان مستقیم DCVG هستند. یادآوری: اگر تماس خط لوله با زمین کافی نباشد، نتایج ضعیفی می‌تواند بدست آید.

ت-۲-۲ ارزیابی پیرسون (یا ACVG)

- ارزیابی پیرسون (با عنوان پیمایش‌های شیب ولتاژ جریان متناوب نیز شناخته می‌شود) محل عیوب در پوشش محافظ یک خط لوله مدفون را پیدا می‌کند. ولتاژ متناوب بین خط لوله و زمین دور اعمال می‌گردد و اختلاف پتانسیل حاصل بین دو الکترود در تماس با الکترولیت در بالای خط لوله اندازه‌گیری می‌شود. در روش ارزیابی سنتی پیرسون، الکترودها حدوداً در فاصله ۶ تا ۱۲ متری از یکدیگر قرار دارند. در سامانه‌های پیمایش جدید، الکترودها در یک چهارچوب^۲ A

1- Pearson

2- "A" Frame

شکل و با فاصله حدود یک متر از یکدیگر قرار می‌گیرند. روش پیرسون به دو اپراتور نیاز دارد، در حالی که در ارزیابی با چهارچوب A شکل، به یک اپراتور نیاز است. انتخاب فرکانس سیگنال متناوب اعمالی به نوع و شرایط پوشش خط لوله بستگی است. به طور کلی برای پوشش‌های با کیفیت پایین، فرکانس‌های پایین‌تر استفاده می‌شود. سامانه پیمایش پیرسون، سیگنال‌های انعکاس یافته از خط لوله مدفون را شناسایی می‌کند. برای پیمایش پیرسون در روش سنتی، اپراتورها بالای خط لوله حرکت می‌کنند و تماس با زمین به وسیله از چکمه‌های میخ دار^۱ ایجاد می‌شود. زمانی که اپراتور جلویی به پوشش دارای عیب نزدیک می‌شود، سیگنال به تدریج افزایش می‌یابد و وقتی اپراتور از عیب عبور می‌کند به نقطه اوج می‌رسد. وقتی عیب در نیمه راه دو اپراتور قرار می‌گیرد، سیگنال به تدریج به سمت صفر کاهش می‌یابد. اگر از چهارچوب A شکل استفاده شود، تماس با زمین از طریق تماس مستقیم در بالای خط لوله انجام می‌شود. تفسیر نتایج سیگنال مانند پیمایش پیرسون با دو اپراتور است.

ت-۲-۳ ارزیابی میرایی جریان

ارزیابی‌های میرایی جریان می‌تواند برای تعیین مناطق دارای عیوب در پوشش‌های محافظ خطوط لوله مدفون به کار رود. این روش شبیه روش ارزیابی پیرسون است که در آن ولتاژ متناوب به لوله اعمال می‌شود، اما از یک سیم پیچ برای اندازه‌گیری قدرت میدان مغناطیسی اطراف لوله که ناشی از سیگنال‌های جریان متناوب است، استفاده می‌شود.

بررسی میرایی جریان بر اساس این فرض بنا نهاده شده که وقتی یک سیگنال جریان متناوب در امتداد یک رسانای مستقیم (در این جا خط لوله) جریان می‌یابد، یک میدان مغناطیسی متقارن اطراف لوله ایجاد خواهد کرد. اپراتور از القای الکترومغناطیسی استفاده کرده و به وسیله آرایه‌ای از سیم پیچ‌های حسگر که برای محاسبه جریان لوله در میدان مغناطیسی حرکت می‌کنند، شدت سیگنال را شناسایی و اندازه‌گیری می‌کند. هر کجا پوشش حفاظتی در وضعیت مناسبی باشد، جریان با نرخی ثابت که به خواص پوشش وابسته است، میرا می‌شود. هر تغییر قابل توجهی در نرخ میرایی جریان می‌تواند نشانه عیب پوشش یا تماس با سازه‌های دیگر فلزی باشد.

ت-۲-۴ پیمایش شیب ولتاژ جریان مستقیم

پیمایش شیب پتانسیل ناشی از جریان مستقیم برای تعیین موقعیت و شدت نسبی عیوب در پوشش‌های محافظ خطوط لوله مدفون به انجام می‌شود.

این سامانه مانند حفاظت کاتدی با اعمال یک جریان مستقیم که به صورت دوره‌ای خاموش/روشن می‌شود به خط لوله، و ایجاد شیب ولتاژ در الکترولیت به دلیل عبور جریان از طریق فولاد لخت در عیوب پوشش، و

اندازه‌گیری مقدار و جهت شیب های ولتاژ در الکترولیت بین دو الکتروود (معمولاً الکترودهای مس/سولفات مس) کار می‌کند.

معمولاً هر چه عیب بزرگتر باشد، جریان شارش یافته و شیب ولتاژ بیشتر خواهد بود. از هر دو سامانه جریان اعمالی موجود یا موقت به عنوان منبع جریان مستقیم به خط لوله استفاده می‌شود. منبع جریان مستقیم به صورت دوره‌ای قطع می‌شود، معمولاً زمان خاموشی سیگنال از زمان روشن بودن سیگنال طولانی‌تر است. این فرایند یک منبع جریان مستقیم پالسی سریع را برای دستیابی به یک تغییر پتانسیل قابل توجه در خط لوله فراهم می‌کند که می‌تواند با یک میلی ولت متر به راحتی مشخص شود. با بکارگیری یک میلی ولت متر حساس، اختلاف پتانسیل بین دو الکتروود مرجع در سطح الکترولیت دارای شیب ولتاژ اندازه‌گیری می‌شود. موقعیت عیوب می‌تواند بوسیله خواندن صفر برای الکترودهایی که به صورت متقارن در دو طرف عیب قرار دارد تعیین گردد. برای انجام این پیمایش اپراتور در مسیر خط لوله حرکت می‌کند و در فواصل عموماً یک تا دو متری، با الکترودهایی که یکی در جلوی دیگری با فاصله یک تا دو متری قرار گرفته، اندازه‌گیری را انجام می‌دهد. الکترودها معمولاً به صورت موازی و مستقیماً بالای خط لوله نگه داشته می‌شوند تا تشخیص جهت شارش جریان به سمت عیوب را میسر سازند. برای اندازه‌گیری صحیح لازم است هر دو الکتروود در تماس با الکترولیت باشند.

هنگامی که جریان مستقیم در عیب پوشش شارش می‌یابد، شیب پتانسیل در الکترولیت تغییر می‌کند، و با نزدیک شدن به عیب بزرگتر می‌شود و زمانی که مرکز عیب پوشش در وسط دو الکتروود قرار دارد به صفر کاهش می‌یابد.

ممکن است استفاده از این روش در هنگام حضور جریان های سرگردان شدید مشکل باشد.

ت-۳ استفاده از پیمایش‌های از روی زمین برای اندازه گیری پتانسیل لوله نسبت به الکترولیت در امتداد خط لوله مدفون

ت-۳-۱ پیمایش پتانسیل در فواصل نزدیک

اگرچه ایستگاه های آزمون در امتداد طول خط لوله توزیع شده اند، همواره احتمال غیر موثر بودن حفاظت کاتدی در برخی نقاط بین ایستگاه های آزمون وجود دارد.

ارزیابی پتانسیل در فواصل نزدیک می‌تواند برای تعیین سطح حفاظت کاتدی در امتداد خط لوله استفاده شود. این روش همچنین می‌تواند نواحی تحت تأثیر تداخل و عیوب پوشش ها را نشان دهد. پتانسیل لوله به الکترولیت در فواصل نزدیک (عموماً یک متر) با بکارگیری ولت متر / میکروکمپیوتر مقاومت بالا، یک الکتروود مرجع و یک کابل عقبی متصل شده به خط لوله در نزدیک ترین ایستگاه آزمون اندازه‌گیری می‌شود. اندازه-گیری های پتانسیل بر حسب فاصله رسم می‌شوند و ویژگی های ناشی از تغییرات در پتانسیل به علت تغییرات موضعی در چگالی جریان حفاظت کاتدی می‌تواند تعیین شود.

این روش را معمولاً نمی‌توان در حضور جریان‌های سرگردان برای اندازه‌گیری پتانسیل بدون افت IR استفاده نمود، مگر آنکه روش‌های ارزیابی خاصی برای تخمین پتانسیل بدون افت IR مورد استفاده قرار گیرد.

این ارزیابی می‌تواند با سامانه‌های حفاظت کاتدی به طور مداوم انرژی دهی شده (ارزیابی پتانسیل-روشن)^۱ و یا با تمام مبدل-یکسوکننده‌های سوئیچ کننده به طور همزمان روشن و خاموش با کمک خاموش‌کننده‌های هم‌گام^۲ (ارزیابی پتانسیل روشن و خاموش^۳) انجام گردد.

به منظور دستیابی به یک پتانسیل لوله به الکترولیت خاموش واقع بینانه، لازم است که افت‌های IR به سطح ناچیزی کاهش یابد. برای این کار، لازم است به صورت همزمان تمام منابع جریان d.c. اعمال شده که می‌تواند در اندازه‌گیری‌های پتانسیل خاموش (به عنوان مثال مبدل یکسو کننده‌های مجاور، اتصالات هم پتانسیل^۴) تاثیر گذارد را خاموش نمود. وقفه همزمان^۵ می‌تواند با استفاده از سوئیچ کننده‌های چرخه‌ای هم‌گام^۶ به دست آید.

طیف گسترده‌ای از دستگاه‌های اختصاصی برای اندازه‌گیری پتانسیل لوله به الکترولیت در فاصله نزدیک با درجات مختلفی از دقت در دسترس قرار دارد. هر کدام از سامانه‌های اندازه‌گیری که انتخاب شود، لازم است دارای توانایی هماهنگ شدن با سوئیچ کننده‌ها یا انتخاب دقیق زمانی که در آن خواندن انجام شده است، باشد.

از آنجا که مقدار زیادی از اطلاعات تولید می‌شوند، یک کامپیوتر یا data logger به طور معمول استفاده می‌شود و اطلاعات برای تولید نمودارهای پتانسیل خط لوله بر حسب فاصله از نقطه مرجع ثابت شده بعداً دانلود می‌شود.

ت. ۳-۲ تکنیک اندازه‌گیری متمرکز^۷

روش اندازه‌گیری متمرکز شامل اندازه‌گیری همزمان با ولت متر متصل به خط لوله از طریق یک ایستگاه تست و همچنین به دو یا سه الکترود، یکی روی خط لوله، و یک یا دو الکترود از راه دور می‌باشد. این روش می‌تواند محل عیب پوشش و اندازه‌گیری پتانسیل بدون IR را ارایه نماید. اپراتور در امتداد خط لوله حرکت می‌کند و اندازه‌گیری‌ها را انجام می‌دهد.

این روش می‌تواند تنها در صورتی استفاده شود که خط لوله در بخش خطی شیب پتانسیل ناشی از منبع (از راه دور) خارجی جریان قرار داشته باشد، به عنوان مثال جایی که در آن شیب‌های پتانسیل نسبت با فاصله ثابت هستند.

-
- 1- ON-Potential Survey
 - 2- Synchronized Interrupters
 - 3- ON- And Off- Potential Survey
 - 4- Equipotential Bonds
 - 5- Synchronous Interruption
 - 6- Synchronized Cyclical Switchers
 - 7- Intensive Measurement Technique

ترکیبی از CIPS و شیب هایی ولتاژ اندازه گیری شده به صورت عمودی به عنوان روش اندازه گیری متمرکز معروف است. این روش می تواند اثربخشی حفاظت کاتدی را با محاسبه پتانسیل بدون IR ($E_{IR-free}$) در فصل مشترک لوله به خاک را ارزیابی نماید. مثالی متداول از نحوه قرارگیری الکترودها در شکل ۱-ت نشان داده شده است.

پتانسیل بدون IR, $E_{IR-free}$, با به کارگیری فرمول ۱-ت به صورت زیر محاسبه می شود:

$$E_{IRfree} = E_{off} - \frac{\Delta E_{off}}{\Delta E_{ON} - \Delta E_{off}} \times (E_{ON} - E_{OFF}) \quad (۱.ت)$$

که در آن:

E_{IRfree}	پتانسیل محاسبه شده بدون IR (موقعیت ۱ در شکل ۱-ت را ملاحظه کنید)؛
E_{on}	پتانسیل اندازه گیری شده در حالت روشن در موقعیت ۲ در شکل ۱-ت؛
E_{off}	پتانسیل اندازه گیری شده در لحظه خاموشی در موقعیت ۲ در شکل ۱-ت؛
ΔE_{on}	شیب ولتاژ بین دو موقعیت با یکسو کننده های روشن، برای مثال:
$\Delta E_{3/2,ON}$	شیب ولتاژ بین موقعیت ۲ و ۳ با یکسو کننده های روشن؛
$\Delta E_{4/2,ON}$	شیب ولتاژ بین موقعیت ۲ و ۴ با یکسو کننده روشن؛
ΔE_{off}	شیب ولتاژ بین دو موقعیت با یکسو کننده های خاموش، برای مثال:
$\Delta E_{3/2,off}$	شیب ولتاژ بین موقعیت ۲ و ۳ با یکسو کننده های خاموش؛
$\Delta E_{4/2,off}$	شیب ولتاژ بین موقعیت ۲ و ۴ با یکسو کننده های خاموش.

با به کارگیری این روش، عیوب پوشش جایی که قله های ($\Delta E_{on} - \Delta E_{off}$) در امتداد مسیر خط لوله اندازه گیری می شوند، نمایان می گردند. مقدار مطلق ($\Delta E_{on} - \Delta E_{off}$) به عوامل زیادی بستگی دارد و با اندازه عیوب پوشش متناسب است. اگر اندازه گیری در فواصل ۵ متر در امتداد خط لوله انجام شود معمولاً همه عیوب بزرگ پوشش قابل تشخیص هستند.

برای $\Delta E_{on} - \Delta E_{off} > 100\text{mv}$ ، مقادیر اندازه گیری شده معمولاً برای محاسبه افت IR در خاک و در نتیجه E_{IRfree} بین نقاط ۱ و ۲ در شکل ۱-ت از دقت کافی برخوردار است.

در حضور جریان های متعادل کننده^۱، شیب های پتانسیل تقریباً با خط لوله متقارن خواهد بود. بنابراین برای تعیین اختلاف پتانسیل بین الکترودهای مرجع در نقاط ۲ و ۳ یا نقاط ۲ و ۴ در شکل ۱-ت جهت مشخص نمودن مقادیر ΔE کافی خواهد بود.

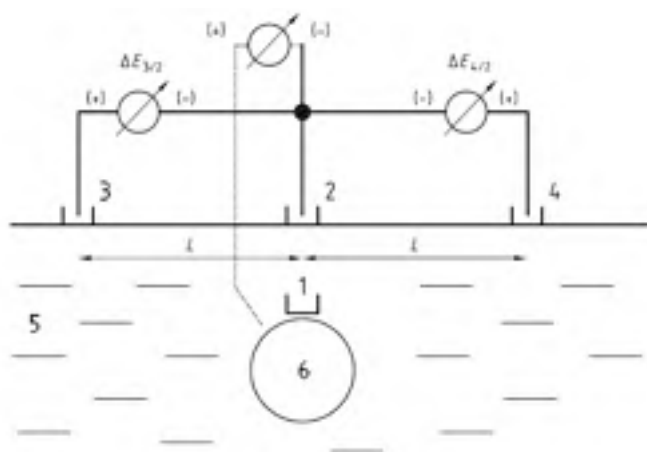
در حضور جریان های ناشی از منابع خارجی دور دست (برای مثال جریان های سرگردان)، شیب های پتانسیل متقارن نخواهند بود. شیب های پتانسیل ناشی از عیوب پوشش در نتیجه مقادیر متوسط شیب های پتانسیل بین الکترودهای مرجع در نقاط ۲ و ۳ و در نقاط ۲ و ۴ در شکل ۱-ت جهت مشخص یافتن، به صورت مساوی در هر دو طرف در شکل ۱-ت، خواهند بود. در این حالت از معادلات ۲-ت و ۳-ت

می‌توان برای تعیین شیب های میدان جهت جایگذاری در معادله ت-۱ برای محاسبه پتانسیل بدون IR استفاده شود.

$$\Delta E_{on} = \frac{1}{2} \times (\Delta E_{3/2, on} + \Delta E_{4/2, on}) \quad (\text{ت-۲})$$

$$\Delta E_{off} = \frac{1}{2} \times (\Delta E_{3/2, off} + \Delta E_{4/2, off}) \quad (\text{ت-۳})$$

برای جریان های نوسان کننده با زمان، E و ΔE برای دوره های روشن و هم برای دوره های خاموش باید به صورت همزمان خوانده شوند.



راهنما:

الکتروود در موقعیت 1	1
الکتروود در موقعیت 2	2
الکتروود در موقعیت 3	3
الکتروود در موقعیت 4	4
الکتروولیت	5
لوله	6
کابل های متصل به خط لوله	7

شکل ت-۱ موقعیت های الکتروود مرجع برای روش اندازه گیری متمرکز

فاصله L بین الکتروودها در نقاط ۲ و ۳ باید برای پوشش دست کم یک بخش از شیب پتانسیل انتخاب گردد. معمولاً فاصله ۵ متر تا ۲۰ متر برای تایید اثربخشی حفاظت کاتدی عیوب پوشش بزرگ کافی است. الکتروودها در نقاط ۱ و ۲ و ۳ و ۴ برای اندازه گیری پتانسیل های خط لوله به الکتروولیت و شیب های پتانسیل با استفاده از روش اندازه گیری متمرکز بکار می روند.

ت-۴ آزمون تزریق جریان

ت-۴-۱ کلیات

آزمون تزریق جریان را می توان انجام داد برای:

- بررسی قابلیت سامانه حفاظت کاتدی برای حفاظت یک بخش از خط لوله در برابر خوردگی (بند ت-۲-۴ را ملاحظه کنید)، و
 - ارزیابی کیفیت پوشش پس از ساخت، به ویژه برای بخش خط لوله بدون کانال (بند ت-۳-۴ را ملاحظه کنید).
- در بند ت-۴، راهنمایی داده می شود که می تواند به اپراتور خط لوله کمک کند. همچنین روش های دیگر در نظر گرفته شده توسط اپراتور خط لوله می تواند استفاده شود.

ت-۴-۲ جریان خط لوله و الزامات مقاومت گسترده

هدف این روش بررسی امکان انجام حفاظت کاتدی بخش محدودی از خط لوله تحت شرایط عملیاتی آینده است.

برای خطوط لوله موجود، بهترین روش تعیین اطلاعات برای دقت بهتر، اندازه گیری های میدانی است. برای خطوط لوله جدید، مقادیر را می توان از تجربه و یا از میدان در صورت در دسترس بودن برآورد نمود. جمع آوری داده ها را می توان به مقاومت های ویژه الکترولیت، آنالیز الکترولیت، اندازه گیری جریان های سرگردان و نتایج حاصل از یک سامانه حفاظت کاتدی جریان اعمالی موقت محدود نمود. با توجه به روند ساخت مختلف در طول لوله گذاری های جدید، انجام آزمون بر روی بخش های خاصی از خط لوله به منظور بررسی موثر بودن حفاظت کاتدی می تواند ضروری باشد. بخش متداولی که می تواند نیازمند چنین آزمونهایی باشد شامل نصب های بدون کانال (به عنوان مثال حفاری افقی، خطوط لوله غلاف شده) و بخش های جدا شده برای تست هیدرواستاتیک می باشند. این تست ها به طور معمول قبل از مهار شدن^۱ بخش های لوله انجام می شود. اثربخشی حفاظت کاتدی برای آن بخش خط لوله را می توان با اندازه گیری جریان، I ، و مقاومت گسترش عیب پوشش، R ، بر اساس پتانسیل های حفاظت، E_p تأیید گردد. برای تایید این رویه در خصوص بخش خط لوله مربوطه، شرایط عملیاتی آینده (با توجه به E_{ON}) و همچنین سناریوی بدترین حالت را باید فرض نمود:

- مقدار چگالی جریان، i ، که به عنوان بیشینه ای برای دستیابی به پتانسیل حفاظت E_p در نظر گرفته می شود؛
 - بیشینه مقدار مقاومت ویژه الکترولیت، ρ ، که در مسیر خط لوله مربوطه اندازه گیری و یا تعیین شده است.
- با این فرضیات، مقادیر آستانه را می توان برای جریان مورد نیاز، I^* ، با استفاده از فرمول (ت-۴) و برای مقاومت خط لوله به الکترولیتی، R^* ، با استفاده از فرمول (ت-۵) به دست آورد:

1- Tie in

$$I^* = \frac{16 \times (|E_{on}| - |E_p|)^2}{j \times \pi \times \rho^2} \quad (\text{ت-۴})$$

$$R^* = \frac{j \times \pi \times \rho^2}{16 \times (|E_{on}| - |E_p|)} \quad (\text{ت-۵})$$

که در آن

E_{on}	پتانسیل اندازه گیری شده تحت شرایط عملیاتی حفاظت کاتدی از راه دور بر حسب ولت؛
E_p	پتانسیل حفاظتی مورد انتظار بر حسب ولت؛
j	چگالی جریان سطح فولاد بدون پوشش برای دستیابی به E_p بر حسب آمپر بر متر مربع؛
ρ	مقاومت ویژه الکترولیت بر حسب اهم متر؛
I^*	بیشینه جریان مورد نیاز مجاز برای بخش بر حسب آمپر؛
R^*	مقاومت گسترش محاسبه شده عیب پوشش در بخش ارزیابی شده بر حسب اهم است.

یادآوری: این فرمول ها بر اساس فرض عیب پوشش تک دایره ای شکل بنا نهاده شده اند. این فرض در مقایسه با دیگر ترکیبات عیوب پوشش تئوری، سخت ترین شرایط حفاظت کاتدی را نمایش می دهند (در نبود جریان های سرگردان متناوب و/یا مستقیم). ضخامت پوشش در مقایسه با قطر عیب پوشش ناچیز فرض می شود.

برای تایید اثربخشی سامانه حفاظت کاتدی لازم است یکی از شرایط فرمول های ت.۶ یا ت.۷ برآورده شود:

$$I < I^* \quad (\text{ت-۶})$$

$$R > R^* \quad (\text{ت-۷})$$

یادآوری: این تاییدها را می توان برای ارزیابی حفاظت کاتدی بخش های خوابانده شده بدون کانال خط لوله و یا بخش خط لوله در غلاف ها استفاده نمود.

مثالی از محاسبه با این روش با استفاده از داده های ورودی زیر، به دست آمده از اندازه گیری های میدانی:

- $E_{ON} = -1.5 \text{ V}$
- $E_p = -0.95 \text{ V}$
- $j = 0.1 \text{ A / m}^2$
- $\rho = 50 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$
- $I^* = 0.0056 \text{ A}$
- $R^* = 89.2 \text{ } \Omega$
- $R = 90 \text{ } \Omega$

استفاده از فرمول های (ت-۴) تا (ت-۷) منجر به محاسبات زیر می گردد:

$$I^* = 0.006 = \frac{16 \times (1.5 - 0.95)^2}{0.1 \times \pi \times 50^2} \quad (\text{ت-۸})$$

$$R^* = 89.2 = \frac{0.1 \times \pi \times 50^2}{16 \times (1.5 - 0.95)} \quad (\text{ت-۹})$$

$$0.0056 < 0.006 \quad (\text{ت-۱۰})$$

$$90 > 89.2 \quad (\text{ت-۱۰})$$

از فرمول بالا می توان نتیجه گرفت که فرمول (ت-۶) و (ت-۷) برآورده شده اند، و اینکه حفاظت کاتدی موثر است.

ت-۴-۳ الزامات جریان در نصب بدون کانال

این روش آزمون اطلاعات مربوط به کیفیت پوشش خط لوله در نصب بدون کانال را فراهم می کند. این آزمون قبل از مهار کردن به باقی مانده سامانه انجام می شود. رویه آزمون تزریق جریان به شرح زیر است (همه پتانسیل ها در مقابل الکتروود مرجع مس/سولفات مس اندازه گیری شده اند).

- الف- نصب بستر موقت برای ارایه جریان حفاظت کاتدی به بخش خط لوله.
- ب- حصول اطمینان از این که هیچ بخش رو-باز دو سر بخش خط لوله در تماس با خاک قرار ندارد.
- پ- اندازه گیری پتانسیل خوردگی آزاد لوله در هر انتهای بخش بدون کانال.
- ت- اعمال جریان حفاظت کاتدی در بازه های کوچک تا زمان حصول پتانسیل ۱/۵(-) ولت در نقطه تخلیه.
- ج- اندازه گیری ولتاژ و جریان اعمالی.
- چ- اندازه گیری پتانسیل در انتهای دور دست بخش خط لوله.
- ح- محاسبه مساحت لوله.
- خ- اعمال حفاظت کاتدی به مدت حداقل ۱۰ دقیقه و بررسی اینکه پتانسیل نقاط تخلیه هنوز هم حدود ۱/۵(-) ولت است.
- د- استفاده از یک خاموش کننده چرخه ای (به عنوان مثال تنظیم شده به مدت ۸ ثانیه روشن و ۲ ثانیه خاموش)، پتانسیل های روشن و خاموش در هر دو انتهای بخش های تحت تست اندازه گیری شود. تجهیزات اندازه گیری با سوییچ کردن تنظیم می شوند، به طوری که پتانسیل خاموش واقعی اندازه گیری شود.
- ذ- اعمال معیار توافق شده (معمولاً پتانسیل پلاریزه شده یا چگالی جریان) و اگر آن را برآورده نمی کند سپس اعمال حفاظت کاتدی به طور مداوم به مدت ۱ ساعت بدون وقفه و تکرار مراحل "د" و "ذ".
- ر- اگر معیار بعد از یک ساعت حاصل نشد، مشخص می شود پوشش الزامات مورد نیاز را برآورده نمی کند.

ضمیمه ث

(آگاهی دهنده)

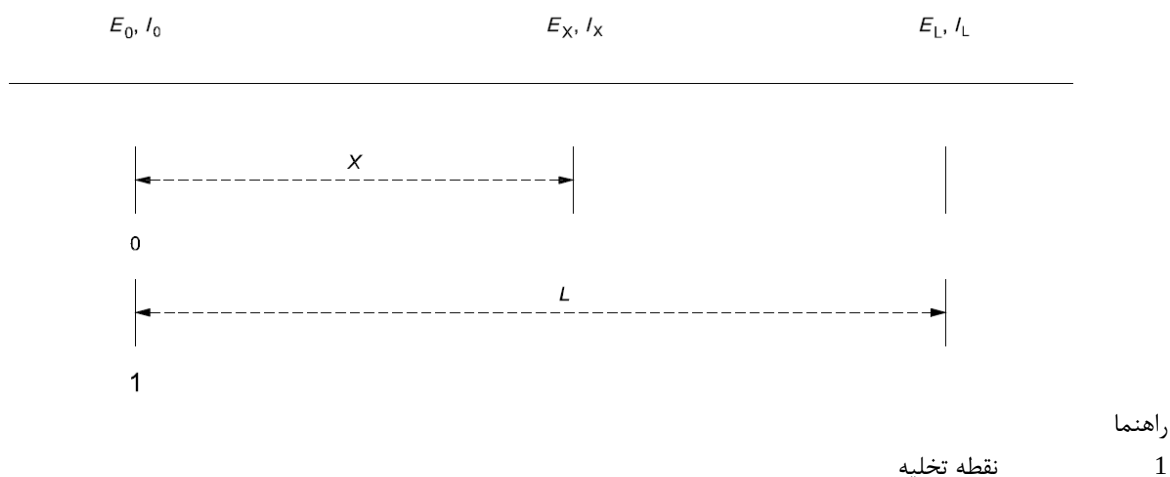
میرایی حفاظت

ث-۱ کلیات

ممکن است از توزیع پتانسیل لوله به الکترولیت و جریان در حال شارش در خط لوله با فاصله از نقطه تخلیه (آنها یا ایستگاه های جریان اعمالی حفاظت کاتدی) با استفاده از طرح نشان داده شده در شکل (ث-۱) و با استفاده از فرمول (ث-۱) تا (ث-۷) نشانه ای به دست آورد.

این روش ریاضی ساده شده بر فرضیات زیر استوار است:

- منحنی پلاریزاسون خطی در مقابل چگالی جریان خط لوله فولاد در الکترولیت؛
- مقاومت ویژه ثابت الکترولیت در طول خط لوله؛
- یکنواخت بودن آسیب پوشش در طول خط لوله.



شکل ث-۱ تعریف نقطه تخلیه

در هر نقطه از خط لوله، آگاهی از تغییر پتانسیل منفی، E_X ، با توجه به اعمال حفاظت کاتدی امکان محاسبه پتانسیل خط لوله، U_X ، از U_{corr} ، پتانسیل خوردگی آزاد را از معادله: $U_X = U_{corr} - E_X$ میسر می سازد. **یادآوری:** U_X و U_{corr} اعداد منفی یا مثبت هستند. E_X لزوماً یک عدد مثبت است.

فرمول میرایی (ث-۱) و (ث-۲) عبارتند از:

$$E_X = E_0 \cosh \alpha x - R_K I_0 \sinh \alpha x$$

(ث-۱)

$$I_x = I_0 \cosh \alpha x - E_0 / R_k \sinh \alpha x \quad (\text{ث-۲})$$

برای احداث خط لوله متداول با نقاط تخلیه متعدد (آندها) با فاصله یکنواخت $2L$ ، پتانسیل، E_x ، و جریان، I_x ، در هر فاصله x که با فرمول (ث-۳) و (ث-۴) ارایه شده، به ترتیب:

$$E_x = E_0 \times \frac{\cosh \alpha(L-x)}{\cosh \alpha L} \quad (\text{ث-۳})$$

$$I_x = I_0 \times \frac{\sinh \alpha(L-x)}{\sinh \alpha L} \quad (\text{ث-۴})$$

که در آن:

E_0 انتقال پتانسیل لوله به الکترولیت (با توجه به زمین اطراف) در نقطه تخلیه (آند)، بر حسب ولت؛

E_x انتقال پتانسیل لوله به الکترولیت (با توجه به زمین اطراف) در فاصله x از نقطه تخلیه، بر حسب ولت؛

E_L انتقال پتانسیل لوله به الکترولیت (با توجه به زمین اطراف) در نقطه میانی L بین آندهای مجاور، بر حسب ولت؛

I_0 جریان شارش یافته در لوله در نقطه تخلیه (آند)، بر حسب آمپر؛

I_x جریان شارش یافته در لوله در فاصله x از نقطه تخلیه، بر حسب آمپر؛

I_L جریان شارش یافته در نقطه میانی L بین آندهای مجاور، بر حسب آمپر؛

L نصف فاصله بین نقاط تخلیه، بر حسب متر؛

R_K مقاومت مشخصه بخش خط لوله، بر حسب اهم و برابر با $\sqrt{R_L \cdot R_t}$ ؛

R_L مقاومت الکتریکی خطی بخش خط لوله، بر حسب اهم بر متر و برابر با $R_L = \frac{\rho}{A_w}$ ؛

R_t نشت یا مقاومت عرضی، بر حسب اهم بر متر است، و معادل با $R_0 / \pi D_0$ ؛

R_0 مقاومت عایقی لوله به الکترولیت، بر حسب اهم در متر مربع؛

ρ مقاومت های ویژه ماده خط لوله، بر حسب اهم متر؛

D_0 قطر خارجی خط لوله بر حسب متر؛

A_w محیط سطح مخاموش دیواره لوله بر حسب متر مربع؛

α ثابت میرایی برای بخش خط لوله، بر حسب متر و برابر با $\sqrt{\frac{R_L}{R_t}}$

توصیه می شود مقدار مقاومت عایق ها، R_0 ، بر اساس تجربه عملی انتخاب شود و بهتر است عوامل زیر نیز در نظر گرفته شود:

- نوع پوشش؛

- شرایط در معرض قرار گیری مانند آب دریا و یا رسوبات بستر دریا؛

- عمر طراحی خط لوله، و کاهش تدریجی پیش بینی شده مقاومت پوشش در طول عمر طراحی؛

- روش نصب خط لوله و میزان پیش بینی شده آسیب پوشش.

R_L ، مقاومت الکتریکی خطی بخش خط لوله می تواند از فرمول (ث-۵) محاسبه شود:

$$R = 4 \frac{\rho}{\pi(D_o^2 - D_i^2)} \quad (\text{ث-۵})$$

که در آن

D_o قطر بیرونی خط لوله؛

D_i قطر داخلی خط لوله؛

L نیمی از فاصله بین نقاط تخلیه، بر حسب متر است.

در روش دیگر، مقادیر مقاومت الکتریکی برای اندازه لوله های استاندارد ممکن است از جداول موجود در کتاب

مرجع مهندسی خوردگی NACE به دست آید [ردیف ۴ از کتابنامه را ملاحظه کنید]

ضمیمه ج

(آگاهی دهنده)

تست های الکتریکی برای اتصالات عایقی قبل از نصب

عملکرد الکتریکی از یک اتصال عایقی باید پس از تولید در آزمایشگاه و در میدان دقیقاً قبل از اتصال به خط لوله تست شود.

توصیه می شود آزمون های الکتریکی پس از آزمون های مکانیکی انجام شود.

V d.c. (آزمایشگاه) آزمون مقاومت الکتریکی	V a.c. (آزمایشگاه) آزمون قدرت دی الکتریک	V a.c. (درست قبل از نصب در میدان) آزمون مقاومت الکتریکی
آزمون الکتریکی: 1000V d.c. برای کلاس ۱ اتصال عایقی و 500 V d.c. برای کلاس ۲ اتصال عایقی آزمون مقاومت: ≤ 20 مگا اهم	آزمون الکتریکی: برای کلاس ۱ اتصال عایقی: 2500 V a.c. r.m.s per 60 s بدون اتصال کوتاه داخلی یا خارجی برای کلاس ۲ اتصال عایقی: 1500 V a.c. r.m.s per 60 s بدون اتصال کوتاه داخلی یا خارجی	آزمون الکتریکی: 1000 V a.c. برای کلاس ۱ و 5000 V a.c. برای کلاس ۲ اتصالات عایقی آزمون مقاومت: ≥ 5 مگا اهم

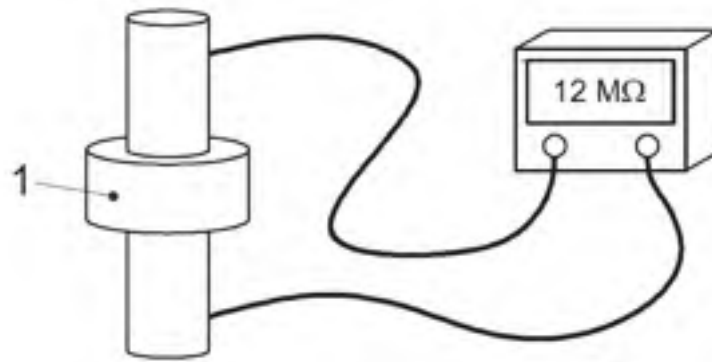
اتصال عایقی با توجه به آزمون با ولتاژ ۵۰ a.c. هرتز به مدت ۱۰ ثانیه در دو دسته به شرح زیر طبقه بندی می شوند:

- کلاس ۱: بین ۲/۵ kV کیلو ولت و ۵ kV r.m.s

- کلاس ۲: زیر ۲/۵ kV r.m.s.

توصیه می شود آزمون میدانی با توجه به نمودار نشان داده شده در شکل (ج-۱) انجام شود.

در بررسی مقاومت عایق، توصیه می شود اتصال عایقی برای جلوگیری از اتصال کوتاه در الکترولیت حین اندازه گیری در موقعیت عمودی قرار داده شود و بهتر است سطح داخلی و خارجی اتصال خشک باشد. اندازه گیری با یک megohmmeter انجام می شود.



راهنما

اتصالات عایقی یکپارچه

1

شکل ج-۱ نمایی از نحوه اندازه گیری megohmmeter

برای اطلاعات بیشتر پیشنهادات Ceocor را با عنوان "اتصالات عایقی برای خطوط لوله گاز" را ملاحظه نمایید.

کتابنامه

- [1] NACE Publication n° 35108, Report on the 100 mV Cathodic Polarization Criterion
- [2] NACE Standard n° TM0108-2008, Testing of catalyzed titanium anodes for use in soils or natural waters
- [3] Ceocor recommendation (no refrence), Isolating Joints for gas pipelines
- [4] NACE CoRRSION ENGINEERINGS REFERENCE BOOK. (3rd Edition), 2002 R.S. Treseder (Author), Robert Baboian (Author, Editor). National Association of Corrosion Engineers (Corporate Author)
- [5] ASTM B418-12, Standard Specification for cast and Wrought Galvanic Zinc Anodes
- [6] ASTM B483-09, Standard Specification for Magnesium Alloy Anodes for cathodic protection
- [7] U.S.MIL-A-18001-K (1993), Anodes, Sacrificial zinc alloy
- [8] GUMMOW R.A. Performance efficiency of high potential magnesium anodes for cathodically protection iron watermain, Proceedings of North Area Eastern Conference (Houston, TX/NACE, Sept.15-17, 2003)
- [9] EN 13509, Cathodic protection measurement techniques
- [10] ISO 15589-2, Petroleum, petrochemical and natural gas industries- cathodic protection of pipeline transportation systems- Part 2: Offshore pipelines
- [11] IEC 62305-4, Protection against lightning- Part 4: Electrical and Electronic systems within structures
- [12] EN 10329, Steel tubes and fitting for onshore and offshore pipelines- External field joint coating
- [13] EN 12007-1, Gas supply systems-pipelines for maximum operating pressure up to and including 16 bar – part 1: General functional requirements
- [14] EN 12732, Gas infrastructure-Welding steel pipework- functional requirements
- [15] EN 15257, Cathodic protection- Competence levels and certification of cathodic protection personnel
- [16] Evaluation of a.c. corrosion likelihood of buried pipelines –Application to cathodically protected pipelines
- [17] EN 50122 (all parts), Railway applications- Fixed installations- Electrical safety, earthing and the return circuit
- [18] En 50162, Protection against corrosion by stray current from direct current systems
- [19] EN 50443, Effect of electromagnetic interference on pipelines caused by high voltage a.c. electric traction systems and/or high voltage a.c. power supply systems
- [20] NACE SP0572¹, Standad Recommended Practice – Design, Installation, Operation, and Maintenane of Impressed Current Deep Anode Beds
- [21] EN 12696, Cathodic protection of steel in concrete
- [22] EN 14505, Cathodic protection of complex structures

1- NACE, 1440 South Creek Drive, Houston, Texas 77084-4906 USA