



سیستم‌های فتوولتائیک و حفاظت کاتدی *



علی جمالی
کارشناس ارشد برق و قدرت



بهرام سلطانی
کارشناس متولوژی



معصومه رضایی
کارشناس ارشد برق و قدرت



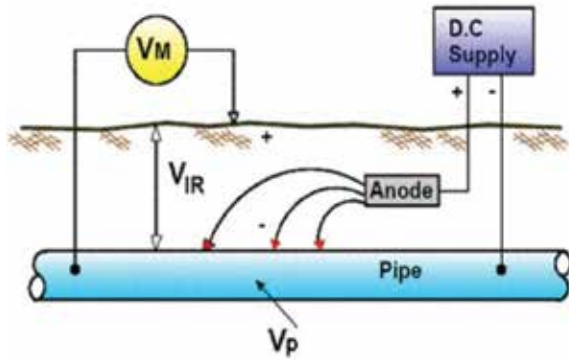
چکیده

بیش‌ترین کاربرد روش حفاظت کاتدی، جلوگیری از خوردگی لوله‌های نفت و گاز مدفون در خاک، در صنایع نفت و گاز است. حفاظت کاتدی به روش جریان اعمالی عبارتست از تشکیل یک سیستم الکترولیز که در آن آند و کاتد به‌وسیله‌ی یک مولد الکتریکی جریان مستقیم ایجاد می‌شود، به این صورت که در مجاورت یک سازه یک یا چند آند از جنس چدن نصب کرده و سازه را به قطب منفی و آند فدا شونده را به قطب مثبت مولد وصل می‌کنند. در این مقاله با بررسی مشخصات و اطلاعات خط و هم‌چنین، با استفاده از فرمول‌های محاسباتی و هندبوک‌های ارائه شده در مورد استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک برای حفاظت کاتدی بررسی‌های لازم انجام شده و به بررسی فنی و اقتصادی و مدت بازگشت سرمایه در صورت استفاده از سیستم خورشیدی پرداخته و مزایای استفاده از سیستم خورشیدی بیان شده است. **واژگان کلیدی:** خوردگی، حفاظت کاتدی، سیستم‌های فتوولتائیک

مقدمه

امروز خوردگی شیمیایی فلزات از جمله مشکلات اساسی و هزینه‌ساز صنایع بزرگ به ویژه نفت، گاز، پتروشیمی، نیروگاه‌های آب و فاضلاب و ... است. لوله‌های انتقال و توزیع سوخت و آب از اسکله‌ها، کشتی‌ها، کندانسورها، دکل‌های انتقال نیرو، مخازن ذخیره‌ی سوخت و دیگر سازه‌های مدفون در یک الکترولیت متناسب

* عنوان اصلی مقاله: مطالعه‌ی فنی و اقتصادی جایگزینی سیستم‌های فتوولتائیک جهت تغذیه‌ی سیستم‌های حفاظت کاتدی در خطوط لوله‌ی گاز و نفت



شکل ۱: شمای ساده سیستم حفاظت کاتدی

حفاظت کاتدی عبارت است از جلوگیری یا کاهش سرعت خوردگی فلزات به طوری که به وسیله‌ی اعمال یک جریان الکتریکی خارجی (یک سو) و یا تماس آن با یک آند از بین رفته، روی سطح فلز مورد نظر که دارای مناطق کاتدی و آندی است، صورت می‌پذیرد. حفاظت کاتدی از مهم‌ترین طرق کنترل خوردگی است، به طوری که با اجرای این روش می‌توان فلزات را بدون این که خورده شوند، به مدتی طولانی در محیط‌های خورنده نگه‌داری کرد.

مکانیزم حفاظت کاتدی مربوط به جریان خارجی است که در نتیجه‌ی آن، عناصر کاتدی پیل‌های موضعی با پتانسیل مدار باز آن‌ها پلاریزاسیون می‌شوند، یعنی در این حالت تمام سطح فلز هم پتانسیل گشته (پتانسیل آند و کاتد معادل هم می‌شوند) و جریان‌های خوردگی متوقف می‌شوند.

در حفاظت کاتدی جریان مستقیم، بر روی تمام سطوح لوله، اعمال نیرو می‌کند. این جریان مستقیم موجب می‌شود که پتانسیل خط لوله، به جهت منفی حرکت کند و بدین صورت موجب کاهش در نرخ خوردگی فلز می‌شود. وقتی مقدار جریان ایجاد شده به طور مناسبی تنظیم شود و یک جریان خالص مناسب در سطح لوله و در این نقاط وجود داشته باشد، نرخ خوردگی کاهش می‌یابد، کل سطح به عنوان کاتد مطرح می‌شود و نرخ خوردگی به این صورت کاهش پیدا می‌کند.

هم‌چنین، به دلیل ایجاد یک شدت جریان خارجی شبکه‌ای از جریان مثبت در همه‌ی مناطق سطح فلز وارد شده و به این ترتیب از ورود یون‌های فلز به محلول یا محیط اطراف جلوگیری می‌شود. عملیات حفاظت کاتدی را می‌توان در مورد خوردگی فلزاتی از قبیل فولاد، مس، سرب و برنج در زمین و محلول‌های مختلف آبی به کار برد.

۳- پدیده‌ی فتولتائیک

امروز با توجه به پیشرفت‌های صنعتی و تکنولوژی، تأمین انرژی مسأله‌ی بسیار مهمی شده است. منابع فسیلی رایج تولید انرژی، که اکثراً تجدیدناپذیر هستند، به دلیل نشر آلاینده‌های مخرب بر محیط زیست، آینده‌ی جوامع را تهدید می‌کند. یکی از راه‌های مناسب برای استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی، سیستم فتولتائیک است. این سیستم مبتنی بر تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به انرژی

با شرایط موجود و با توجه به ساختار متالوژیکی خود، خورده شده و بعد از مدتی کار یک سیستم و پروسه‌ی فعال را دچار اشکال کرده و منجر به ضرر و زیان‌های غیرقابل پیش‌بینی می‌شوند. حفاظت کاتدی اولین بار توسط همفردی دیوی در سال ۱۸۲۴، در شهر لندن مطرح شد. (javadi, 2014)

با توجه به این که سالانه در اثر زنگ زدگی و خوردگی تأسیسات و خطوط لوله‌ی فلزی که وظیفه‌ی انتقال مواد سوختی همانند نفت و گاز را در سراسر کشور بر عهده دارند، هزینه‌ی زیادی به دولت و صنایع مربوط به ویژه شرکت‌های نفت و گاز تحمیل می‌شود و در بعضی مواقع، توقف تولید در زمان تعمیرات و مسایل ایمنی نیز خسارات هنگفتی به وجود می‌آورد و هم‌چنین، با در نظر گرفتن این که حدود ۳۹ هزار کیلومتر خطوط لوله‌ی نفت و گاز در کشور وجود دارد، خسارت ناشی از خوردگی برای هر کیلومتر ۱۰۲۰۰ دلار است. (rudresh, 1987)

به دلیل رو به اتمام بودن منابع انرژی فسیلی، نیاز به منابع انرژی که دارای عمر و توان زیادی هستند، بیش از پیش آشکارتر می‌شود. داشتن فن‌آوری ساده، آلوده نشدن هوا و محیط زیست و از همه مهم‌تر، ذخیره شدن سوخت‌های فسیلی و یا تبدیل آن‌ها به مواد پر ارزش با استفاده از تکنیک پتروشیمی، از عمده دلایلی هستند که لزوم استفاده از انرژی خورشیدی را آشکار می‌کند.

بنابراین، استفاده از حفاظت کاتدی امری ضروری به نظر می‌رسد. در این مورد با توجه به توان مصرفی سیستم‌های حفاظت کاتدی و موارد ذکر شده در مورد سیستم‌های خورشیدی، در این مقاله تغذیه‌ی حفاظت کاتدی به وسیله‌ی سیستم‌های فتولتائیک بررسی شده و مزایای استفاده از این سیستم شرح داده شده است.

در بخش دوم این مقاله سیستم حفاظت کاتدی و روش کار آن توضیح داده شده است. بخش سوم به تشریح پدیده‌ی فتولتائیک پرداخته است. در بخش ۴ مزایا و معایب و هزینه‌ی تحمیلی به سیستم بعد از استفاده از سیستم فتولتائیک بیان شده و هزینه‌ی استفاده از سیستم گفته شده و مدت زمان بازگشت سرمایه‌ی ناشی از جایگزینی سیستم فتولتائیک بیان شده است و در بخش ۵، نتایج تشریح شده است.

۲- سیستم حفاظت کاتدی خطوط لوله

حفاظت کاتدی (Cathodic Protection) یکی از روش‌های محافظت از خوردگی فلزات به وسیله‌ی کاتد قرار دادن سطح فلز در یک سلول شیمیایی است. فولاد گالوانیزه یک نمونه‌ی حفاظت کاتدی فولاد به وسیله‌ی اتصال روی به فولاد گالوانیزاسیون است. حفاظت کاتدی به عنوان مؤثرترین روش حفاظتی به منظور جلوگیری از خوردگی سازه‌های مدفون در خاک شناخته شده است که به طور گسترده در حفاظت از خوردگی لوله‌های توزیع و انتقال گاز، مواد نفتی و آب مورد استفاده قرار می‌گیرد.



الکتريکي است.

پديده‌ي فتوولتائیک يکي از انواع روش‌هاي توليد برق از انرژي خورشيدى است. اين اثر را اولين بار آلبرت انيشتين شرح داد. در اين روش به کارگيري سلول‌هاي خورشيدى، توليد سيستم الکتريسته از تابش خورشيد امکان پذير مى‌شود.

وقتي نور خورشيد به يک سلول فتوولتائیک مى‌تابد، بين دو الکتروود منفي و مثبت اختلاف پتانسيل بروز کرده و اين امر موجب جاري شدن جريان بين آنها مى‌شود. وقتي که يک کوانتوم انرژي نوري

يعنى يک فوتون در يک ماده نفوذ مى‌کند، اين احتمال وجود دارد که به وسيله الکترون جذب شود و الکترون انتقال پيدا مى‌کند. وقتي که امواج الکترومغناطيسي خورشيد بر روي سلول‌هاي خورشيدى مى‌تابد، جفت ماده‌ها (الکترون و پوزيترون) در نوار گاف نيم رسانا به تعداد زياد توليد مى‌شود (توليد زوج)؛ در نتيجه کنش‌هاي فيزيکي بين ذرات صورت مى‌گيرد که در نهايت منجر به يک پيل خورشيدى مى‌شود. به طور کلي، زماني که نور به سلول برخورد مى‌کند، يک بخش مشخصي از آن جذب ماده‌ي نيمه هادي شده که انرژي حاصل از الکترون‌هاي آزاد را به حرکت درآورده و سبب شارش جريان الکتريکي مى‌شوند. (طالب زادگان، ۱۳۹۱)

۴- فرمول‌بندي رياضي حفاظت کاتدي

اساس سيستم حفاظت کاتدي محاسبه‌ي جريان مورد نياز براي حفاظت است. در زير روش محاسبه جريان حفاظت کاتدي بيان شده است.

الف- محاسبه‌ي جريان مورد نياز سيستم حفاظت کاتدي

با توجه به مقاومت ويژه‌ي خاک منطقه و با در نظر گرفتن نوع الکترووليت، دانسيته‌ي جريان مورد نياز واحد سطح لوله‌ي بدون پوشش و با پوشش به دست آمده و با توجه به ميزان آسيب‌ديدي پوشش خط لوله، نوع پوشش و ضريب توسعه‌ي شبکه، ميزان حداکثر جريان مورد نياز حفاظت کاتدي از فرمول (۱) به دست مى‌آيد.

$A =$ سطح کل خطوط لوله (فوت مربع)؛

$I =$ دانسيته‌ي جريان لازم براي حفاظت يک فوت مربع خطوط لوله‌ي لخت (ميلي‌آمپر بر متر مربع)؛

$I' =$ دانسيته‌ي جريان لازم براي حفاظت يک فوت مربع خطوط لوله‌ي پوشش دار (ميلي‌آمپر بر فوت مربع)؛

$CE =$ راندمان پوشش در پايان عمر طراحي شده (به صورت اعشاري بيان مى‌شود)؛

$I =$ جريان مورد نياز حفاظتي بر حسب آمپر.

(۱)

$$I = A \times I' \times (1 - CE) + A \times I'' \times CE$$

۵- مطالعه‌ي موردی

يک خط انتقال گاز ۱۰ اينچ به طول ۹۰ كيلومتر با پوشش پلي اتيلين در نظر گرفته شده است. در اين خط حفاظت کاتدي در فاصله‌هاي صفر كيلومتر، ۴۰ كيلومتر و ۸۰ كيلومتري خط نصب شده که ظرفيت خروجي DC ترانس‌هاي نصب شده پس از اتصال به رکتيفاير در جدول زير نشان داده شده است.

ردیف	کيلومتر منصوبه	خروجي ولتاژ ترانس (ولت)	خروجي جريان ترانس (آمپر)
۱	۰	۷۰ DC	۴۰
۲	۴۰	۴۵ DC	۲۵
۳	۸۰	۷۵ DC	۳۰

در اين حفاظت‌هاي کاتدي نصب شده، طراحي و انتخاب ظرفيت براي ۳۰ سال آينده انجام شده است و با فرض اين که ۳۰ سال از بهره‌برداري سيستم گذشته، توان به صورت زير بدست مى‌آيد.

$$W = 70 \times 40 + 45 \times 25 + 75 \times 30 = 6175$$

ميزان انرژي لازم براي اجرائ حفاظت کاتدي در يک سال:

$$kwh = 6,175 \times 365 \times 24 = 54,093$$

با توجه به شرايط اقليمي و زاويه‌ي تابش در استان فارس، به طور کلي به ازاي نصب هر ۱۰۰۰ وات پنل خورشيدى ميزان ۱۵۰۰ كيلووات ساعت انرژي در سال توليد مى‌شود.

بنابراين ميزان پنل خورشيدى مورد نياز براي توليد برق لازم براي تأمين برق سيستم حفاظت کاتدي عبارت است از:

$$36 = 54,093 \div 1500$$

با توجه به اين که هزينه‌ي هر كيلووات پانل خورشيدى ۱۲۰۰ دلار است، هزينه‌ي کل پنل خورشيدى عبارت است از:

$$\text{دلار } 43200 = 36 \times 1200$$

از آن جايي که در استان فارس به طور متوسط روزانه ۸ ساعت آفتاب در دسترس است؛ لذا ظرفيت ذخيره ساز مورد نياز براي تأمين برق مستمر سيستم حفاظت کاتدي در همه‌ي ساعات شبانه روز با فرض اين که دو روز متوالي هوا آفتابي نباشد، عبارت است از:

$$kwh = 16 \times 2 \times 6,175 = 197,4$$

با توجه به اين که هزينه‌ي هر كيلووات ساعت ذخيره ساز لیتیوم آهن ۴۰۰ دلار است، بنابراين هزينه‌ي کل ذخيره ساز مورد نياز عبارت است از:

$$\text{دلار } 79040 = 400 \times 197,4$$

و با توجه به طول عمر ۳۰ ساله‌ي پنل‌هاي خورشيدى و ۱۵ سال باتري‌هاي لیتیوم آهنی با قابليت ۵۰۰۰ بار شارژ و دشارژ، بنابراين هزينه‌ي کل برق رسانی به سامانه‌ي حفاظت کاتدي از طريق سيستم خورشيدى:

$$\text{دلار } 201280 = 43200 + 2 \times 79040$$

با توجه به این که در این حفاظت کاتدی مبدل AC به DC یکسوساز ۶ پالسه‌ی تریستوری استفاده شده است، بنابراین هزینه‌ی اجرای حفاظت کاتدی به طور متوسط حدود ۲۰۰ هزار دلار است.

با توجه به این که ما سه حفاظت کاتدی در این خط احداث کرده‌ایم، هزینه‌ی اجرای این سه حفاظت گفته شده حدود ۶۰ هزار دلار محاسبه می‌شود.

با توجه به این که طول عمر سیستم حفاظت کاتدی ۳۰ سال در نظر گرفته شده است، اگر بخواهیم سیستم فتوولتائیک برای تغذیه‌ی آن در نظر گرفته شود، هزینه‌ی آن به صورت زیر محاسبه می‌شود: اگر سیستم خورشیدی نباشد و بخواهیم میزان هزینه‌ی برق مصرفی سیستم حفاظت کاتدی را محاسبه کنیم، این هزینه به صورت است:

هزینه‌ی برق مصرفی = میزان انرژی مصرفی در ۳۰ سال * هزینه‌ی انرژی یک کیلووات ساعت =

$$\text{دلار } 31536 = 24 \times 265 \times 30 \times (2/12)$$

هزینه‌ی کل سیستم حفاظت کاتدی مرسوم و سنتی = هزینه‌ی رکتیفار + هزینه‌ی احداث خط و ترانس + هزینه‌ی برق مصرفی =

$$\text{دلار } 484735 = 3 \times 10000 + 194735 + 20 \times 10000 + 3 \times 20000$$

مدت زمان بازگشت سرمایه به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$0/41 = \frac{201280}{484735} = \text{مدت زمان بازگشت سرمایه}$$

که معادل با حدود ۱۲ سال است. بنابراین، پس از ۱۲ سال تمام سرمایه‌ی ناشی از نصب سیستم فتوولتائیک بازگشت داده خواهد شد. گفتنی است این مطالعه در صورتی انجام شده است که تلفات ناشی از تغذیه از سیستم برق شهری در نظر گرفته نشده است و اگر این تلفات محاسبه شود، این مدت زمان بازگشت سرمایه کمتر خواهد بود و بنابراین، استفاده از این سیستم از نظر اقتصادی به نفع ما خواهد بود. علاوه بر آن؛ نیاز به برق تولیدی از نیروگاه‌ها را نیز از بین می‌برد و هزینه‌ی سوخت ناشی از تولید انرژی مورد نیاز کم خواهد شد. در واقع، اگر هزینه‌ی تلفات شبکه از نیروگاه تا پست توزیع و هزینه‌ی سوخت لازم برای تولید انرژی مورد نیاز را در نظر بگیریم، مسلماً مدت زمان بازگشت سرمایه خیلی کمتر خواهد شد. در این شرایط استفاده از سیستم فتوولتائیک مزایای زیر را در برخواهد داشت:

* حذف هزینه‌های جاری انرژی الکتریکی و صرفه‌جویی در مصرف برق؛

* قابلیت تولید در محل مصرف و کاهش هزینه‌های تولید، انتقال و

توزیع انرژی الکتریکی مورد نیاز به شبکه‌ی سراسری؛

* کاهش تلفات شبکه‌ی برق سراسری ناشی از کاهش تولید؛

* امکان نصب و راه‌اندازی سیستم‌های فتوولتائیک در توان‌های مختلف متناسب با نیاز مصرف‌کننده؛

* طول عمر مناسب و سهولت بهره‌برداری؛

* توانایی ذخیره‌سازی انرژی در باتری و تأمین انرژی مورد نیاز در زمان عدم حضور نور خورشید؛

* عدم نیاز به احداث شبکه‌ی برق برای حفاظت کاتدی.

گفتنی است برای بالا بردن قابلیت اطمینان، می‌توان از یک دیزل ژنراتور یا توان تولیدی مورد نیاز در هر نقطه استفاده کرد. در این شرایط قابلیت اطمینان سیستم نیز بسیار بالا می‌رود و با توجه به این که هزینه‌ی اولیه‌ی آن بسیار پایین است، تأثیری در مدت زمان بازگشت سرمایه نخواهد داشت.

۶- نتیجه گیری

با توجه به نتایج استخراج شده از محاسبات فنی و اقتصادی جایگزینی سیستم فتوولتائیک برای تغذیه‌ی سیستم حفاظت کاتدی در یک خط لوله‌ی نمونه، مشخص شد که در این شرایط مدت زمان بازگشت سرمایه حدود ۱۲ سال خواهد بود. استفاده از سیستم فتوولتائیک مزایای زیادی دارد که می‌توان به کاهش تلفات شبکه‌ی برق، حذف هزینه‌های انرژی مصرفی، عمر مناسب و سهولت بهره‌برداری، توانایی ذخیره‌سازی انرژی در باتری در زمان عدم حضور نور خورشید و عدم نیاز به احداث شبکه‌ی برق تا محل حفاظت کاتدی اشاره کرد.

منابع

[1] M. Javadi, J. Javidan, M. Salimi, "DESIGN AN INTELLIGENT SOLAR PHOTOVOLTAIC POWER FOR CATHODIC PROTECTION SYSTEM TO PROTECT UNDER GROUND GAS PIPELINE," *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering*, pp. 27-33, March 2014.

[2] Rudresh B. Magadum, D. B. Kulkarni, "Cost Optimisation — Solar Systems and Cathodic Protection Put in Perspective," *Seventh E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference*, pp 236-239, 1987.

[3] <http://igs.nigc.ir/STANDS/ARTIC/SL-09.PDF>.

[4] [http://www.accuratecorrosion.com/product-specs/SolAnode.pdf\(ICACCCT\)](http://www.accuratecorrosion.com/product-specs/SolAnode.pdf(ICACCCT)), pp. 1-6, 2016.

[۵] طالب زادگان، محسن - عبودی اصل، علی - ریاضی، ایمان «امکان سنجی بهره‌گیری از انرژی خورشیدی جهت تأمین انرژی سیستم‌های حفاظت کاتدی لوله‌های نفت و گاز مدفون در خاک به روش جریان‌های عملی» تیر ماه سال ۱۳۹۱.

