

EL PROYECTO GIANT: REVOLUCIONANDO LA PROTECCIÓN CATÓDICA MEDIANTE OPTIMIZACIÓN IMPULSADA POR IA

I. Magnifico, Automa Srl (Italia), ivano.magnifico@byautoma.com
T. Russo, Automa Srl (Italia), tommaso.russo@byautoma.com

Synopsis

Los desafíos asociados con la operación de redes de distribución de gas son multidimensionales debido a su complejidad: ambientales, operacionales, financieros y relacionados con la seguridad. En este contexto, la protección catódica por corriente impresa (ICCP), utilizada para prevenir la corrosión de tuberías de acero, es crucial para garantizar la seguridad e integridad de la red. A pesar del consumo energético y las emisiones equivalentes de CO₂ asociadas, los beneficios que ofrece la ICCP en términos de prevención de daños a la infraestructura y seguridad (evitando fugas de gas) justifican ampliamente los costos ambientales asociados.

El proyecto GIANT (Gas Integrated and Automated Network Technology - Tecnología de Red de Gas Integrada y Automatizada) propone soluciones innovadoras para optimizar la gestión de la protección catódica, integrando dispositivos de monitoreo remoto, software centralizado para análisis de datos y sistemas de control remoto. En particular, la aplicación de inteligencia artificial permite la regulación dinámica de la corriente de protección catódica. Esta regulación optimizada permite una reducción significativa en el consumo energético de las fuentes de alimentación de protección catódica, mejorando su eficiencia y contribuyendo a la reducción de emisiones equivalentes de CO₂.

Gracias al monitoreo continuo de las condiciones de campo y las intervenciones correctivas automáticas, el proyecto GIANT permite una gestión digital y automatizada de la protección catódica. Además, la introducción de mantenimiento predictivo potenciado por IA optimiza aún más el sistema, prediciendo fallas o ineficiencias antes de que ocurran. Este enfoque ayuda a prevenir mal funcionamientos y reducir la necesidad de intervenciones costosas en campo. La digitalización completa del proceso de gestión operacional garantiza ahorro de costos, aumento de productividad y un incremento general en la confiabilidad y seguridad de la red.

Introducción

La mejora continua de la seguridad, eficiencia y sostenibilidad ambiental en las redes de distribución de gas se ha convertido en un objetivo crítico para operadores y partes interesadas. Los recientes avances tecnológicos, en particular en los ámbitos de la automatización, el análisis de datos y la inteligencia artificial, permiten hoy un nuevo paradigma en la gestión de redes. En este contexto, el proyecto **GIANT (Gas Integrated and Automated Network Technology)** ofrece una solución integrada y orientada al futuro para abordar los desafíos más relevantes de la distribución de gas, especialmente en términos de impacto ambiental, eficiencia operativa y seguridad.

La digitalización es un proceso transformador que está redefiniendo los sistemas industriales mediante tecnologías interconectadas, automatización y adquisición de datos en tiempo real. Incluye sensores inteligentes, algoritmos de aprendizaje automático y análisis de big data, que contribuyen a crear infraestructuras inteligentes y reactivas. La convergencia de estas tecnologías permite a las utilities tomar decisiones basadas en datos, optimizar las operaciones y mejorar la fiabilidad y resiliencia de los sistemas.

La plataforma **GIANT** representa una solución integral basada en datos, que integra:

- **Dispositivos de monitoreo remoto**, distribuidos a lo largo de la red de distribución, para la adquisición continua de datos de campo (por ejemplo, presión, nivel de odorante y parámetros eléctricos).
- **Sistemas de control remoto**, capaces de ejecutar acciones correctivas en tiempo real (como el ajuste de válvulas, rectificadores o unidades de inyección de odorante).
- **Software centralizado**, diseñado para analizar y correlacionar los datos adquiridos, permitiendo una toma de decisiones inteligente y una regulación automática del sistema.

La arquitectura del sistema es intrínsecamente data-driven: los datos adquiridos en campo alimentan un núcleo inteligente de procesamiento que los analiza en tiempo real, teniendo en cuenta restricciones operativas y requisitos normativos, y genera señales de salida que se envían a los dispositivos de control. De este modo, la plataforma habilita un ciclo operativo completamente digitalizado, donde monitoreo, análisis y control se integran en una única infraestructura digital.

En particular, el proyecto GIANT permite la regulación dinámica y remota de parámetros clave de la red: presión, concentración de odorante y corriente de protección catódica suministrada por los rectificadores. Manteniendo estos parámetros en valores óptimos, el sistema evita situaciones de sobrepresión, reduce el consumo energético innecesario de los rectificadores (sin comprometer la eficacia de la protección) y garantiza una dosificación óptima del odorante, asegurando la seguridad sin excesos.

Además, la plataforma permite un monitoreo continuo y la detección de anomalías en tiempo real, posibilitando intervenciones correctivas inmediatas y acciones de mantenimiento predictivo. Esta capacidad mejora la continuidad operativa, reduce costes y contribuye significativamente a la seguridad de la red y al desempeño ambiental.

Gestión de la protección catódica dentro de la plataforma GIANT

El objetivo principal de un sistema de protección catódica (PC) es mantener el potencial electroquímico de las estructuras metálicas enterradas (en particular, tuberías de acero en redes de distribución de gas) dentro de los valores umbral definidos por normas nacionales e internacionales. Estos valores de referencia se expresan como potenciales IR-free, es decir, medidos sin la influencia de las caídas óhmicas en el suelo.

En la práctica, sin embargo, las mediciones suelen verse distorsionadas por **corrientes parásitas** procedentes de fuentes externas como otros sistemas de PC, tracción ferroviaria DC o AC y líneas de alta tensión (HVAC). Estas interferencias pueden inducir a los sistemas de control de los rectificadores a interpretar erróneamente valores de potencial elevados, provocando la inyección de corrientes excesivas.

Esto conlleva diversos efectos negativos:

- Riesgo de sobreprotección en tuberías con recubrimientos de alto rendimiento (por ejemplo, polietileno tricapa), con posibles consecuencias como:
 - degradación del recubrimiento por densidades de corriente elevadas
 - aceleración de la corrosión AC en zonas expuestas a interferencias
- Interferencias mutuas entre sistemas de PC cercanos
- Aumento de emisiones de CO₂, debido a un consumo energético innecesario
- Incremento de los costes operativos, asociados al uso excesivo de energía

Para mitigar estos problemas, es fundamental disponer de **mediciones IR-free precisas**, obtenidas mediante sistemas de monitoreo con electrodos de referencia y cupones capaces de realizar mediciones instant-off continuas, típicamente a intervalos de un segundo. Estas mediciones de alta frecuencia

permiten evaluar con precisión la polarización real de la tubería y regular la salida de los rectificadores según condiciones reales de protección, minimizando el desperdicio energético.

La plataforma GIANT aborda estos desafíos integrando la gestión de la PC en un sistema centralizado e inteligente, que combina:

- una capa física, formada por dataloggers, electrodos con cupones y rectificadores controlables remotamente
- una capa digital, con software centralizado que aplica algoritmos basados en datos para analizar la información de campo y ejecutar acciones correctivas en tiempo real

Mediante la adquisición remota de potenciales instant-off y la integración directa con las unidades de control de los rectificadores, el sistema permite configurar estrategias y setpoints de forma remota. Una vez programados, los rectificadores pueden operar de manera autónoma, manteniendo la lógica de control incluso en ausencia de comunicación activa.

La plataforma admite múltiples modos de operación configurables:

- Modo de corriente constante: Proporciona una corriente de salida fija
- Modo de corriente variable: Mantiene un potencial On objetivo, con restricciones opcionales en la corriente mínima
- Modo de potencial IR-free local constante: Mantiene un valor Eoff especificado, medido mediante cupón, con límites de corriente opcionales para mejorar la estabilidad de control en sistemas con múltiples rectificadores

Además de estos modos, la plataforma GIANT ofrece capacidades avanzadas de regulación remota. Los rectificadores pueden ajustar la salida en función de un *objetivo Eoff* medido en un punto crítico remoto, típicamente la ubicación menos electronegativa de la red. Esto requiere un dispositivo de monitorización alcanzable en cualquier momento, capaz de realizar lecturas instantáneas en tiempo real.

El proceso de regulación consta de los siguientes pasos:

1. Activación y ajuste: la plataforma supervisora asigna un punto de monitorización remoto a un rectificador e inicia la regulación actual para alcanzar el *objetivo especificado de Eoff*.
 - Si el objetivo se alcanza dentro del tiempo de actuación y la tolerancia definidos (banda muerta), el rectificador reporta éxito.
 - Si no, vuelve al estado anterior, registra el intento fallido y vuelve a intentarlo tras un retraso configurable.
 - Todos los eventos se registran y comunican para garantizar la trazabilidad completa.
2. Verificación periódica: A intervalos programados (por ejemplo, cada pocos minutos u horas), el sistema revalida el *valor de Eoff* en el punto remoto. Si se encuentran desviaciones, el ciclo de regulación se repite.
3. Estrategia de control entre ciclos: entre verificaciones, el rectificador cambia a un modo de funcionamiento local basado en la disponibilidad de una sonda local:
 - Con cupón local: entra en el Modo de potencial IR-free local constante, usando el último valor exitoso *de Eoff*
 - Sin cupón local: Cambia a modo de corriente variable, usando el último valor de Eón correspondiente, o modo de corriente constante, usando el último valor I correspondiente.

Este enfoque garantiza una optimización dinámica y precisa de la protección catódica, mejorando la eficiencia energética, reduciendo interferencias y prolongando la vida útil de los activos, todo ello manteniendo el cumplimiento normativo..

Panel Solar

Para permitir una regulación remota eficaz y continua de los sistemas de protección catódica, como se describe en la sección anterior, una mejora crítica consiste en actualizar la fuente de alimentación en los puntos de monitorización remota, especialmente en aquellos que actualmente funcionan con baterías independientes. Estas ubicaciones, a menudo situadas en las secciones más desfavorecidas eléctricamente o propensas a interferencias de la red, requieren adquisición y transmisión frecuente de datos potenciales IR-free para apoyar la regulación dinámica.

Cuando es compatible con las restricciones del paisaje y normativas, la introducción de sistemas energéticos solares representa un avance tecnológico significativo. La integración de un panel fotovoltaico con una batería recargable integrada permite un suministro continuo de energía al dispositivo de monitorización, asegurando el funcionamiento ininterrumpido del módem embebido. Esta configuración permite que el sistema mantenga una conectividad persistente con la plataforma supervisora, aumentando la frecuencia y fiabilidad de las actualizaciones de datos desde el campo.

El uso de energía solar, junto con una única batería recargable de alta capacidad, extiende la vida útil operativa sin mantenimiento de la unidad de monitorización a más de diez años. Esta mejora se traduce en una reducción drástica en los requisitos de mantenimiento, bajando el número medio de reemplazos de baterías de aproximadamente tres por década (con paquetes tradicionales) a cero en el mismo periodo.

Paralelamente, esto también supone una reducción sustancial en las actividades de manipulación y eliminación de baterías, con beneficios ambientales y logísticos asociados. La disminución estimada en la rotación de paquetes de baterías corresponde a una reducción de más de 18 veces en las intervenciones operativas asociadas y en la generación de residuos.

Desde una perspectiva medioambiental, el impacto en las emisiones de carbono es especialmente notable. La siguiente tabla compara las emisiones equivalentes de CO₂ asociadas a diferentes configuraciones de energía a lo largo de una flota representativa de 300 dispositivos de monitorización:

Configuration	Equivalent CO ₂ [kg/year]
Disposable Battery Packs (BP)	6307
Rechargeable Battery Only (BR)	87
Solar Panel Only (SP)	2,29
Combined Rechargeable Battery + Solar (BR+SP)	89,29
CO₂ Reduction Factor (BP / BR+SP)	70×

Estos datos destacan una reducción de más de 70 veces en las emisiones de CO₂ al pasar de paquetes de baterías convencionales a sistemas recargables alimentados por energía solar.

Además, cuando se integran con la arquitectura de control remoto de la plataforma GIANT, los puntos de monitorización alimentados por energía solar facilitan una verdadera regulación dinámica de corriente de los rectificadores de protección catódica. La verificación continua y en tiempo real de potenciales IR-free en nodos críticos permite a los rectificadores ajustar la corriente de salida en respuesta a los niveles reales de protección, suministrando solo la corriente mínima necesaria para mantener el cumplimiento de los criterios de protección en toda la red.

El resultado es una optimización tangible del uso energético en los sistemas de protección catódica: reduciendo el consumo total de electricidad, minimizando el impacto ambiental y extendiendo la vida útil tanto de la infraestructura física como de los componentes eléctricos.

IA para la gestión inteligente de la protección catódica

A medida que las redes de distribución de gas crecen en complejidad y los requisitos regulatorios se vuelven más estrictos, la integración de la Inteligencia Artificial (IA) está emergiendo como un factor clave en los sistemas de protección catódica (PC) de próxima generación. La plataforma GIANT incorpora lógica de control impulsada por IA para soportar una regulación predictiva, adaptativa y coordinada en toda la infraestructura de PC. Este enfoque supera los métodos de control tradicionales al aprovechar análisis en tiempo real, algoritmos neuronales y modelado predictivo.

El uso de IA en la gestión de la protección catódica permite al sistema:

- Realizar análisis en tiempo real de mediciones de campo de alta frecuencia
- Aplicar modelos predictivos tanto para tareas de regulación como de mantenimiento
- Estimar continuamente el estado óptimo de funcionamiento de la red, teniendo en cuenta diversas variables y restricciones de entrada (por ejemplo, topología del sistema, umbrales regulatorios, condiciones ambientales)
- Implementar dinámicamente acciones correctivas ajustando los parámetros operativos o puntos de ajuste de los rectificadores

Para pasar de una estrategia de control estática y centrada en puntos a un modelo de regulación optimizado globalmente, el motor de IA procesa un conjunto de datos completo, que incluye:

- Potenciales E_{off} IR-free muestreados en tiempo real (normalmente a 1 Hz) desde ubicaciones estratégicas como tomas de potenciales, cruces con ferrocarriles, unidades transformador-rectificador (T/R) y puntos de drenaje
- Densidades de corriente de polarización de cupones, tanto de DC como de AC, también muestreadas a altas frecuencias
- Parámetros de salida de rectificadores (tensión y corriente DC/AC), utilizados para evaluar el rendimiento de los lechos anódicos y las unidades de rectificación
- Medidas suplementarias de potencial E_{on} a partir de estudios de campo o puntos monitorizados permanentemente para mejorar la precisión del modelo
- Diagnósticos de fallos de componentes de PC (por ejemplo, fallos en rectificadores, problemas de drenaje, interferencias de terceros)
- Topología del sistema y metadatos de activos, incluyendo área superficial de la tubería, configuración de zonas de PC, distribución T/R y condición del recubrimiento
- Contexto temporal como la estacionalidad, la clasificación entre semana/festivo y el comportamiento histórico
- Datos meteorológicos y ambientales (temperatura, humedad, precipitaciones)

El módulo de IA sintetiza esta información para regular la salida actual en todos los rectificadores de PC con los siguientes objetivos:

- Garantizar el cumplimiento de las normas y normativas aplicables
- Mantener la corriente mínima efectiva necesaria para la protección contra la corrosión mientras se reduce el consumo de energía
- Anticipa desviaciones de rendimiento debidas a efectos recurrentes o estacionales, permitiendo ajustes proactivos
- Responder a condiciones ambientales transitorias (por ejemplo, precipitaciones, cambios de temperatura) que afectan a la polarización del sistema
- Balancear las salidas de corriente entre rectificadores en redes malladas, minimizando el desgaste de unidades individuales y optimizando el uso del lecho anódico

Los puntos de ajuste óptimos y las estrategias de regulación se calculan en tiempo real y se aplican a través de dos modos operativos:

- Modo semiautomático: Las acciones generadas por IA son revisadas por técnicos de PC antes de la ejecución. Este modo es ideal durante la fase inicial de despliegue o cuando se prefiere la supervisión manual.
- Modo totalmente automático: La IA ajusta de forma autónoma los parámetros del rectificador sin intervención humana, registrando todas las acciones para rastreabilidad y diagnóstico.

Este enfoque regulatorio adaptativo e inteligente permite mejoras significativas en la eficiencia del sistema, diagnóstico y programación de mantenimiento, manteniendo al mismo tiempo el pleno cumplimiento de las normas de protección contra la corrosión. Representa un cambio de una gestión de sistemas de PC reactiva a una predictiva basada en datos.

Modelos de IA para Análisis Predictivo en Sistemas de PC

Un estudio reciente (1) realizado en colaboración con la "Università Politecnica delle Marche" (Ancona) evaluó el rendimiento de diferentes modelos de IA para la predicción de valores de voltaje de protección catódica.

Dos modelos mostraron resultados prometedores:

- Método de Ventana Móvil: Un enfoque local de previsión en tiempo de ejecución que aplica regresión a una ventana temporal móvil de longitud fija sobre datos históricos de potenciales de tubería. En cada iteración, el modelo predice valores futuros extendiendo la curva ajustada.
- LSTM Neural Networks: Una técnica de modelado generalizada que utiliza redes “Long Short-Term Memory” entrenadas con datos históricos de potenciales de tuberías. Se evaluaron tanto configuraciones univariantes (solo potencial) como multivariantes (potencial y corriente de PC). Los modelos se adaptaban individualmente para cada punto de medición, requiriendo arquitectura personalizada, hiperparámetros y épocas de entrenamiento.

Al comparar métricas de rendimiento entre varios puntos de medición, se descubrió que el modelo LSTM multivariante con una ventana móvil de 45 muestras producía las previsiones más precisas. Sin embargo, el modelo de ventana enrollable es más sencillo y más adecuado en escenarios con datos históricos limitados. Su principal limitación es el aumento del error de predicción durante cambios de tensión bruscos o grandes a lo largo del tiempo.

En contraste, el modelo LSTM ofrece mayor precisión pero exige datos históricos y personalización por punto, incluyendo el ajuste fino de capas, tasas de aprendizaje y épocas. Una mayor granularidad, un muestreo más denso y la inclusión de datos contextuales (por ejemplo, clima, resistividad del suelo) podrían mejorar el rendimiento de ambos modelos. Estas entradas también podrían permitir la generalización, permitiendo potencialmente que una red neuronal compartida prediga valores a través de múltiples puntos de medición.

Si existen datos más ricos e indicadores relacionados con la corrosión, estos modelos podrían ampliarse para predecir comportamientos en sistemas más complejos (por ejemplo, aquellos con múltiples T/R) que también requerirían datos topológicos detallados para captar la dirección del flujo de corriente.

A continuación se muestra un ejemplo de valores de previsión frente a valores reales de potencial de tubería utilizando el modelo multivariante.

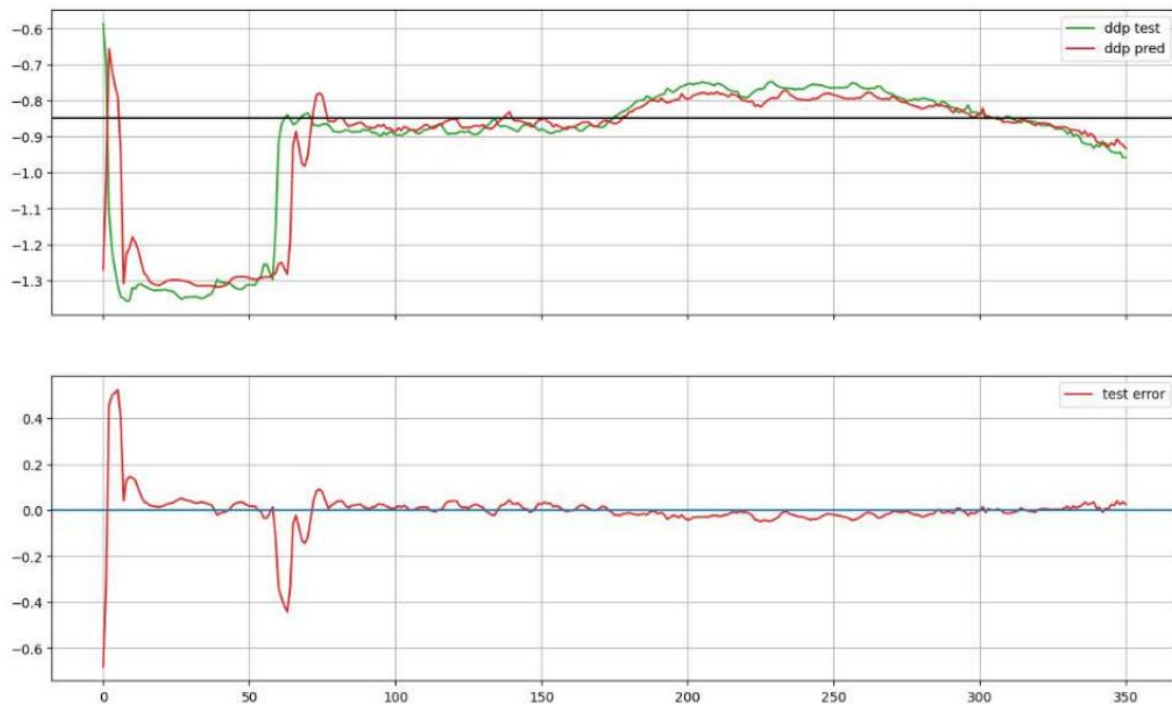


Figura 1: Tendencia del quinto día de pronóstico - modelo multivariable y ventana 45 días

Ia para el mantenimiento predictivo

Aprovechando tanto datos en tiempo real como históricos, correlacionados con condiciones ambientales y patrones de calendario, los algoritmos de IA pueden generar modelos predictivos del comportamiento de los sistemas de PC. Estos modelos detectan desviaciones respecto al rendimiento esperado, permitiendo la identificación temprana de anomalías antes de que se conviertan en condiciones de alarma.

La adquisición continua de datos combinada con aprendizaje automático permite un refinamiento constante de estos modelos, facilitando diagnósticos y programación de mantenimiento con visión de futuro.

Predicción de la vida útil de los lechos anódicos

En las redes de distribución de gas urbanas, reemplazar los lechos anódicos agotados conlleva retrasos significativos debido a la obtención de permisos. Predecir el final de la vida útil con antelación previene intervenciones de emergencia que comprometan la entrega actual de la PC.

A medida que los lechos anódicos se degradan, la resistencia del circuito aumenta, obligando al rectificador a elevar la tensión de salida para mantener los niveles de corriente. Cuando los rectificadores alcanzan el límite de 50V DC, ya no pueden suministrar la corriente requerida. Utilizando tendencias históricas de corriente y voltaje, y aplicando la Ley de Ohm, el sistema estima la impedancia del circuito y predice la vida útil restante del lecho anódico.

Como se ilustra, las variaciones estacionales se superponen a una tendencia de degradación causada por el desgaste del lecho anódico. En el caso mostrado, el modelo de IA podía predecir el punto de fallo hasta 18 meses antes, permitiendo un reemplazo proactivo.

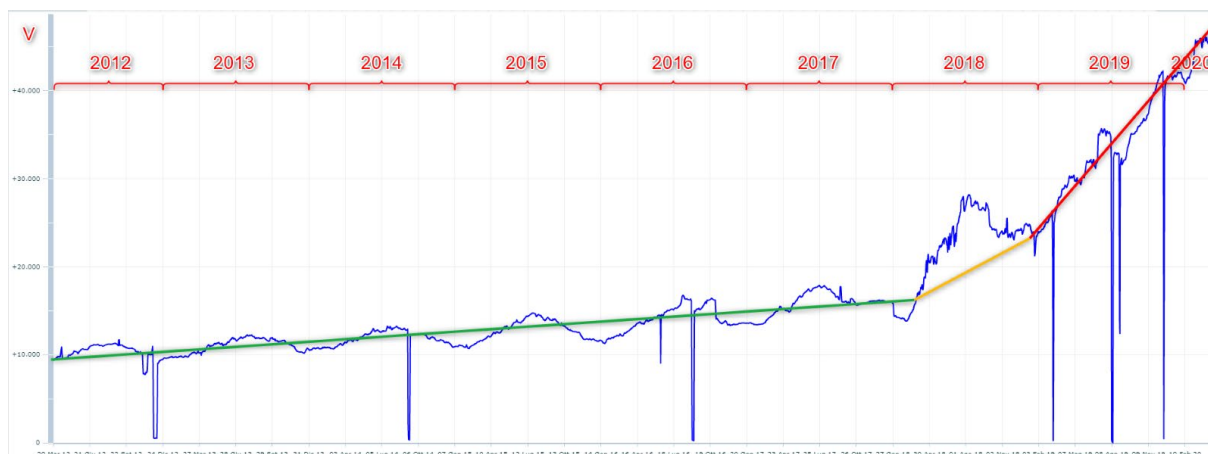


Figura 2: Tendencia del comportamiento del lecho anódico durante 8 años

Eficiencia de electrodos de referencia

Un problema crítico en la efectividad de la PC es la posible deriva de los electrodos de referencia en los puntos de medición. Estas desviaciones pueden producir lecturas aparentemente válidas, lo que lleva a una regulación incorrecta o, en casos graves, a distorsionar significativamente la lógica de control de los rectificadores cercanos.

Analizando tendencias de voltaje, datos históricos y condiciones ambientales, el sistema genera modelos predictivos que asocian los potenciales esperados con corrientes específicas de rectificadores. Las desviaciones respecto a este modelo, en ausencia de condiciones reales de fallo, pueden activar alertas que indican degradación de electrodos de referencia.

Detección de otras anomalías

Utilizando modelos predictivos derivados de parámetros medidos, el sistema puede identificar anomalías adicionales más allá de las descritas anteriormente, incluyendo:

- **Contacto no intencional con estructuras de terceros:** Cuando los potenciales medidos divergen del modelo pero las corrientes de polarización de cupón permanecen consistentes con el nuevo estado, el sistema puede detectar contacto metálico no intencionado, incluso si no hay síntomas evidentes.
- **Pérdida de eficiencia de cupones:** Lecturas inconsistentes del potencial Eoff, divergentes de patrones históricos, combinadas con un comportamiento anormal de las corrientes de polarización pueden sugerir problemas como contaminación por sulfato de cobre o desplazamiento del suelo, lo que puede llevar a la pérdida de contacto electrolítico.

Conclusiones

El proyecto GIANT representa un avance significativo en la evolución de los sistemas de protección catódica (PC), abordando desafíos de larga duración relacionados con la eficiencia, la seguridad, el coste y la sostenibilidad. Al integrar inteligencia artificial con infraestructura controlable remotamente, la plataforma permite un cambio del mantenimiento reactivo tradicional a un enfoque de gestión totalmente proactivo y basado en datos. Esta transformación no se limita únicamente a la mejora tecnológica, sino que también se extiende a la filosofía operativa y a los procesos organizativos.

Uno de los beneficios más inmediatos e impactantes del sistema GIANT radica en su contribución a la seguridad. La capacidad de regular e intervenir remotamente, ya sea en modo semiautomático o totalmente autónomo, elimina la necesidad de operaciones rutinarias in situ y permite respuestas oportunas en escenarios potencialmente peligrosos. Esto, de forma inherente, reduce la exposición del personal de campo al riesgo, reduce los desplazamientos innecesarios y previene accidentes relacionados

con intervenciones de emergencia. La mejora en el tiempo de respuesta, junto con la monitorización continua y capacidades predictivas, contribuye a un entorno operativo global más seguro.

La eficiencia económica es otro resultado crítico. Aprovechando la analítica en tiempo real y la modelización predictiva, el sistema puede reducir tanto los costes operativos directos como los indirectos. El consumo energético optimizado mediante un control inteligente del rectificador, la reducción de pérdidas de gas gracias a la detección temprana de anomalías y la minimización de intervenciones de campo se traducen en ahorros sustanciales. Estos beneficios no solo son medibles en términos financieros, sino que también reflejan un uso más sostenible de los recursos.

Igualmente importante es el nivel de control mejorado que ofrece la plataforma GIANT. Con la capacidad de realizar ajustes en tiempo real o programados basados en perfiles detallados de consumo y rendimiento, los operadores ganan una visibilidad y autoridad sin precedentes sobre la red de PC. Este nivel de control favorece una operación más equilibrada en toda la infraestructura, asegurando que se satisfagan las demandas de rendimiento sin sobrecargar componentes específicos. También mejora el cumplimiento de los estándares del sector y facilita una mejor coordinación entre activos distribuidos.

Desde una perspectiva medioambiental, el sistema se alinea con las crecientes presiones regulatorias y sociales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. El control inteligente del rectificador garantiza que solo se suministre la corriente mínima necesaria, suficiente para mantener una protección efectiva sin una sobrecompensación innecesaria. Este enfoque cumple con los estándares establecidos, contribuyendo así a una infraestructura más verde y sostenible.

En última instancia, el proyecto GIANT ejemplifica cómo las tecnologías digitales avanzadas (especialmente la IA) pueden aprovecharse para modernizar sistemas de infraestructuras críticas. Demuestra que la innovación en la protección catódica no solo es posible, sino necesaria, para satisfacer las demandas cambiantes de seguridad, eficiencia y responsabilidad medioambiental. Al transformar la PC en una función inteligente, predictiva y gestionada remotamente, GIANT allana el camino para un nuevo estándar en la gestión de la integridad de infraestructuras.

Lo que surge de este trabajo no es solo un conjunto de avances tecnológicos, sino una visión coherente del futuro de los sistemas de PC: una en la que la inteligencia, la automatización y la sostenibilidad estén profundamente entrelazadas. La plataforma GIANT no solo mejora lo que ya existe, sino que redefine lo que es posible.

Bibliografía:

1. Beatrice Moliterno (2023). Development of a data-driven supervision module for cathodic protection systems in gas distribution networks.