

Sensores en sistemas eléctricos de potencia y su papel en las Redes Inteligentes

José Ramírez Niño, Rito Mijarez Castro, Pablo H. Ibargüengoytia González, Gerardo Montoya Tena

Sensores y la Red Eléctrica Inteligente

Una Red Eléctrica Inteligente (REI) o Smart Grid, como se conoce en el ámbito internacional, se refiere a una visión estratégica tecnológica para la modernización de los sistemas de suministro de energía eléctrica, incluyendo el monitoreo, protección y optimización automática de la operación de los elementos interconectados. Esto implica la comunicación eficiente entre los centros de generación, generación distribuida, líneas de transmisión y sistemas de distribución, con sus contrapartes en la operación. Éstas pueden ser desde los usuarios industriales y sistemas de almacenamiento de energía, hasta los consumidores domésticos y sus sistemas de calefacción, vehículos eléctricos, electrodomésticos y otros dispositivos del hogar.

Una parte cardinal de las REI es la habilidad para comunicar, de manera remota, el estado de la red a las compañías eléctricas y a los usuarios. Lo anterior se está llevando a cabo a través de una avanzada red de comunicaciones, destacándose los sistemas RF (Radiofrecuencia) y PLC (Comunicación por Línea de Alimentación), y un sofisticado sistema de administración de datos que almacena en tiempo real, los datos históricos provenientes de medidores y sensores. Los sistemas tradicionales SCADA y los sistemas AMR (Sistema para Lectura remota de Medidores) se consideran los predecesores de las REI y juegan un papel importante en su implementación.

Para las compañías de electricidad, la REI se inicia con los medidores inteligentes, los cuales pueden efectuar lecturas remotas de electricidad, detectar cortes o robo de energía, realizar conexión y desconexión remota del servicio, establecer esquemas de prepago con los usuarios y hasta permitir la interacción con electrodomésticos. Esto posibilita realizar un análisis rápido de las anomalías en la calidad de la energía eléctrica sobre un área geográfica muy grande, lo que implica el procesamiento en tiempo-real de información y, consecuentemente, ayudar a las empresas de electricidad a operar la red eléctrica en forma más eficiente.

En este sentido, uno de los objetivos primordiales es predecir fallas antes de que ocurran, tomar las acciones correctivas que se requieran, o reconfigurar la red eléctrica en forma automática al sacar un equipo de operación, cuando la demanda es baja. Adicionalmente, las líneas de transmisión y los equipos eléctricos en subestaciones se encuentran en un proceso de envejecimiento, mientras que los requerimientos de confiabilidad se incrementan y la disponibilidad de tiempo para desempeñar labores de mantenimiento disminuye. Una solución es la inclusión de sensores de bajo costo en las REI, para realizar en tiempo real el monitoreo e inspección remota de equipo y sistemas eléctricos, a fin de optimizar el mantenimiento y prevenir fallas.

Sensores en la aplicación

Los sensores son los elementos que convierten las variables del mundo real en variables ampliamente manejadas (como voltaje y corriente) y que pueden ser medidas, graficadas o almacenadas. Dependiendo del tipo de señal al cual responden, los sensores pueden ser mecánicos (flujo, fuerza, torque, presión, velocidad, aceleración, etc.); térmicos (temperatura, calor, entropía, flujo de calor, etc.); eléctricos (voltaje, corriente, carga, resistencia, inductancia, capacitancia, etc.); magnéticos (intensidad de campo, densidad de flujo, momento magnético, permeabilidad, etc.); químicos (PH, concentración, oxidación, etc.).

A diferencia de las señales empleadas para protecciones, con las cuales hay que tomar acciones inmediatas para evitar daños en el equipo, las señales en los sistemas de monitoreo tienen la función de detectar fallas en evolución lenta. Lo anterior permite programar el mantenimiento predictivo en función de los resultados del análisis de las variables monitoreadas. A continuación se mencionan las características de los sensores en los principales equipos eléctricos.

Generadores de potencia. Se emplean muchos tipos de sensores que están dedicados principalmente a protecciones, pero la tendencia actual es supervisar con detalle las variables más importantes y aportar información de la integridad del equipo. En estas máquinas se emplean sensores de vibraciones, temperatura, flujo, presión de aceite, de agua de enfriamiento o de hidrógeno en el caso de los turbo-generadores, además de las variables eléctricas como voltajes y corrientes de línea, corriente de excitación, corriente de neutro, frecuencia, etc.

Transformadores de potencia, interruptores, transformadores de instrumento, líneas de transmisión y cables de alta tensión. Son equipos eléctricos que están sometidos a alto voltaje y cada uno tiene características particulares, sujetas de ser monitoreadas para asegurar su integridad, así como la continuidad del servicio eléctrico. Actualmente, por ejemplo, se trabaja en modelos matemáticos que por medio del análisis espectral de vibraciones, y su relación con las variables eléctricas en transformadores o interruptores, se determina el estado de deterioro de los equipos y su vida remanente.

La siguiente tabla muestra un universo de sensores, actualmente en demostración y en investigación y desarrollo (I&D), realizado por el EPRI para subestaciones eléctricas y líneas de transmisión.

Tabla 1. Proyectos de desarrollo de sensores para transmisión y subestaciones realizados por EPRI.

Área	Componente	Sensores	Aplicaciones	I&D	Prue
Subestaciones	Árbitros de control subestación	Amplificadores de potencia	Medición de la perturbación de los equipos por ataques de hackers	X	X
		Sensores de línea	Procesamiento digital de datos por imágenes, termografía por imágenes	X	X
	Transformadores	Sensores de flujo de SF6	Sensores de flujo controlados por microprocesador y de flujo de SF6 en subestaciones y cables de transmisión	X	X
		Admisión en SF6	Medición y análisis de actividad de escape de SF6 en transformadores	X	X
		Acústica con fibra óptica	Identificación de descargas internas de SF6 nivel en regiones de alta tensión	X	X
		Sensores de SF6	Identificación de gases en regiones de alto riesgo	X	X
	Condiciones de deficiencias	IED en línea	Múltiples centros de respuesta en frecuencia cuando se requiere información	X	X
		IED en línea	Identificación de sobrecalentamiento en contactos	X	X
		Sensores de flujo de SF6	Identificación de fallas de SF6 en interruptores	X	X
		Sensores de flujo de SF6	Identificación de fallas de SF6 en interruptores	X	X
Líneas de transmisión	Líneas de transmisión	Sensores de flujo de SF6	Identificación de fallas de SF6 en interruptores	X	X
		Sensores de SF6	Identificación de fallas de SF6 en interruptores	X	X
		Sensores de SF6	Identificación de fallas de SF6 en interruptores	X	X
Líneas de transmisión	Líneas de transmisión	Sensores de SF6	Identificación de fallas de SF6 en interruptores	X	X
		Sensores de SF6	Identificación de fallas de SF6 en interruptores	X	X
Líneas de transmisión	Conductores	Temperatura y corriente de SF6	Medición de temperatura y corriente del conductor para determinar riesgo e identificación de componentes dañados	X	X
		Temperatura y corriente de SF6	Medición de temperatura y corriente del conductor para determinar riesgo e identificación de componentes dañados	X	X
	Torres	Corriente de fuga de SF6	Identificación de actividades de alto riesgo con sensores de SF6	X	X
		Corriente de fuga de SF6	Identificación de actividades de alto riesgo con sensores de SF6	X	X
	Cables de alta tensión	Magnético	Determinación de la ubicación y magnitud de la corriente de falla	X	X
		Sensores de SF6	Determinación de la ubicación y magnitud de la corriente de falla	X	X
Estructuras	Estructuras	Sensores de SF6	Determinación de la ubicación y magnitud de la corriente de falla	X	X
		Sensores de SF6	Determinación de la ubicación y magnitud de la corriente de falla	X	X

Sensores en IIE

En materia de sensores, el IIE ha desarrollado proyectos en varias gerencias que pueden integrarse dentro del concepto de la REI.

La Gerencia de Equipos Eléctricos cuenta con un Sistema de Monitoreo de Generadores en Línea denominado "AnGeL". Se encuentran instalados 36 sistemas tanto en turbogeneradores como en plantas hidroeléctricas de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Este sistema emplea sensores para medir variables como voltajes y corrientes de operación, corriente de neutro, corriente de flecha, flujo magnético en el entrehierro y descargas parciales. El sistema está conformado por sensores comerciales y sensores desarrollados por el Instituto. Sensores, acondicionadores de señales, tarjetas de adquisición de datos y computadoras industriales se encargan de almacenar la información de cada generador, formando una red local que se interconecta a la Intranet de la CFE.

La Gerencia de Control en Instrumentación desarrolló un Sistema de Adquisición y Monitoreo (SAM), que permite dar el servicio de monitoreo de los sistemas de control en máquinas eléctricas rotatorias, midiendo formas de onda de señales eléctricas propias de los sistemas de control.

El Sistema Computarizado para el Análisis Dinámico (SICAD) desarrollado en la Gerencia de Turbo-Maquinaria, considera sensores de aceleración y velocidad, supervisando el comportamiento mecánico de turbinas y generadores eléctricos. Se tienen 20 sistemas operando en centrales de generación y se proporciona el servicio de medición con equipo de monitoreo móvil.

Tanto para líneas de transmisión como para subestaciones, la Gerencia de Transmisión y Distribución cuenta con el Sistema de Monitoreo de Contaminación (SMC), el cual, a través de sensores diseñados por el IIE, mide los niveles de corriente de fuga en aisladores conectados a alta tensión. Con los valores de corriente medidos, el SMC determina el nivel de riesgo de flameo por contaminación en función del tipo y perfil de los aisladores, y ofrece una serie de recomendaciones de mantenimiento al personal de operación de la red eléctrica.

El Sistema de Supervisión del Sistema de Enfriamiento en Centrales de Generación (SISDTE-SE), se desarrolló en la Gerencia de Procesos Térmicos. Por medio de sensores de temperatura, flujo, potencia, humedad y presión de vacío, el sistema de monitoreo es capaz de diagnosticar el estado operativo de la torre de enfriamiento, bombas y condensador del sistema de enfriamiento en turbogeneradores. Dicho sistema propone alternativas de solución a problemas detectados.

La Gerencia de Materiales y Procesos Químicos ha desarrollado la capacidad para el monitoreo de la corrosión externa de ductos metálicos, a través de la medición de potenciales electroquímicos entre los ductos metálicos y electrodos de referencia. Otro desarrollo realizado por esta Gerencia es el Sistema de Monitoreo de la Velocidad de Corrosión Interna de Ductos, a través de la medición de la actividad química del agua en suspensión en ductos de petróleo. Este sistema supervisa variables como temperatura, presión y cuatro variables particulares de corrosión. En este ámbito, la Gerencia de Control e Instrumentación ha desarrollado proyectos de I&D, relacionados con el diseño de sensores inteligentes, basados en cristales piezoeléctricos para la detección de agua en tubos de refuerzo en plataformas petroleras costa fuera. Aunque estos últimos sistemas de monitoreo no supervisan directamente equipos eléctricos, presentan capacidades que pueden equipararse a las REI, dado que están orientadas a la optimización de los recursos energéticos.

Retos futuros

El desarrollo de estas "Redes Inteligentes" creará un mercado muy importante de sensores en la próxima década. Los sensores requeridos no sólo serán los orientados a monitorear flujos de energía y sensores para el balance de cargas, sino que también el monitoreo del estado de los equipos eléctricos será parte importante del desarrollo.

Los proyectos I&D, enfocados a sensores y su infraestructura asociada se dividen principalmente en: aplicación de sensores existentes, desarrollo de nuevos sensores, sistemas de comunicación y recolección de datos, seguridad y fuentes de alimentación por medio de energías renovables. Sin embargo, el incorporar estos sensores dentro del concepto de la REI también incluye nuevos retos, uno de los cuales es la inclusión de protocolos y estándares para el manejo eficiente de la información, a fin de alcanzar la interoperabilidad. De acuerdo al *National Institute of Standards and Tech-*

nology (NIST) del Departamento de Comercio de los Estados Unidos, existe una urgencia para establecer estos estándares; sin ellos, los desarrollos tecnológicos o implementaciones realizadas con inversiones públicas o privadas, corren el riesgo de alcanzar una obsolescencia prematura o de ser implementados sin las medidas de seguridad requeridas para estos propósitos.

La red eléctrica inteligente requiere cientos de estándares, especificaciones y requerimientos, sin embargo, unos son más urgentes que otros. De acuerdo al reporte especial 1108, el NIST ha definido un plan de acción para revisar y liberar los estándares más importantes para el año 2010, entre los que destacan el IEC 61850, relacionado con el protocolo DNP3, el de líneas directivas para el empleo de protocolos IP, adecuados para la REI, y el de líneas directivas para el uso de comunicaciones inalámbricas, entre otros.

