

SISTEMAS AUTÓNOMOS

Las visualizaciones de la red eléctrica centradas en el usuario promueven los gemelos digitales



Antony Hilliard
ABB Automation Solutions
Vasterås, Suecia

antony.hilliard@se.abb.com



Giuseppe Martinelli
ABB Enterprise Software
Network Management
Vasterås, Suecia

giuseppe.martinelli@se.abb.com

El novedoso diseño de pantalla de visualización de ABB permitirá a los ingenieros conocer rápidamente la función del gemelo digital de estimador de estado. Los problemas de la red podrían resolverse de una forma más eficiente, creando así un sistema de red eléctrica más fiable para el futuro.

Los sistemas eléctricos de transmisión y distribución de electricidad son cada vez más inteligentes y muy complejos. Estos sistemas deben contar con capacidades de supervisión predictiva en tiempo real que ayuden a los operadores de sistemas a gestionar su red eléctrica interconectada en cumplimiento de la normativa internacional. En 2003, el enorme apagón en el este de Norteamérica y el apagón en Italia pusieron de manifiesto la existencia de vulnerabilidades. En consecuencia, las autoridades reguladoras ahora exigen a los operadores de redes de transmisión que supervisen las redes de sus vecinos, además de las suyas propias, una tarea hercúlea [1].

El gestor de redes (NM) Network Manager Ability™ de ABB ofrece un sistema combinado de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) Supervisory and Control Data Acquisition y un sistema de gestión de la energía (EMS) Energy Management System para proporcionar aplicaciones avanzadas de supervisión y apoyo al funcionamiento a sus clientes.

El estimador de estado de la red o SE está en el centro del EMS y está basado en un gemelo digital, o modelo virtual, de la red eléctrica completa del cliente: generadores, transformadores, circuitos, etc. El modelo predictivo del SE se ejecuta en tiempo real para corregir datos con ruido o datos que faltan utilizando un algoritmo de estimación de mínimos cuadrados ponderados con matrices aumentadas por bloques. Además, pueden colmarse lagunas en la visibilidad de la red eléctrica, facilitando con ello el reconocimiento y la toma de decisiones tanto para los operadores humanos como para las aplicaciones del EMS. Por lo tanto, el SE lleva a cabo funciones críticas y proporciona exactamente las prestaciones de las que dependen los clientes.

Mantenimiento del estimador de estado

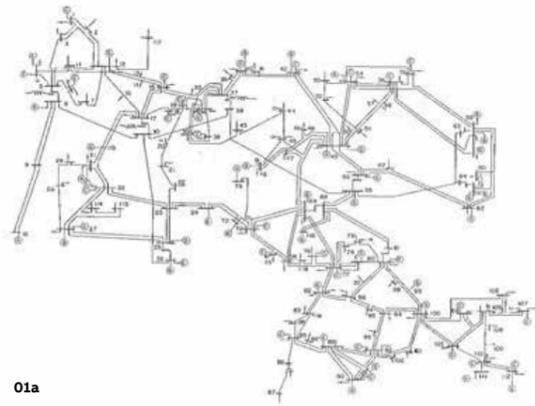
No obstante, nos enfrentamos a retos cruciales: el estimador de estado debe funcionar en entornos

variables. Con el tiempo, los equipos de red se sustituyen y las conexiones de red se modifican, pero la calidad de la solución debe mantenerse. Esto resulta especialmente problemático si combinamos suficientes desajustes de modelos con datos dañados por telemetrías fallidas o ciberataques. En estos casos, el algoritmo del estimador de estado podría no ser capaz de dar soluciones ni en una parte ni en toda la red, dando lugar a una degradación de la supervisión automática, como el análisis de contingencias y el riesgo de infringir la normativa. Este fallo del SE elimina las herramientas de las que dependen los ingenieros del EMS para mantener el conocimiento de la situación y resolver los problemas de la red.

El estimador de estado de la red o SE está en el centro del EMS y está basado en un gemelo digital, o modelo virtual, de la red eléctrica completa del cliente.

Además, el requisito de supervisar las redes vecinas puede aumentar la exposición a modelos o datos anómalos. Por ejemplo, la mayoría de los 113 apagones del estimador de estado ocurridos en el este de Norteamérica entre 2013 y 2017 se produjeron por problemas de modelización o comunicaciones [2].

La puesta en servicio y la supervisión del SE para mantener la fiabilidad frente a estos retos resultan caras y requieren mucho tiempo y mano de obra. Para corregir esta situación, ABB investigó métodos de visualización para ayudar a los ingenieros del SE, tanto expertos como no expertos, a supervisar de forma sencilla y eficiente la salud y el diagnóstico del modelo del SE, como el residuo de la solución y las iteraciones de convergencia.



01a



01b



01c

Actualmente, las pantallas de supervisión de los SE muestran entradas de datos, resultados estimados y dependen en gran medida de cifras y tablas. Las pantallas están diseñadas para su mantenimiento por expertos avanzados en ajustes de redes, los cuales escasean y están muy demandados. Este tipo de diseño supone un reto para los no expertos; exige tiempo y mano de obra y dificulta la supervisión y el diagnóstico de la salud del modelo, algo fundamental para que las compañías eléctricas mantengan una ventaja competitiva en el mercado actual.

Inicios del proyecto y métodos

En 2018, ABB inició un proyecto de investigación para explorar formas de visualizar justo donde el

modelo del estimador de datos podría tener problemas: los desajustes entre el modelo y los datos. La creación de pantallas que ayuden de manera intuitiva a expertos y no expertos a entender los problemas, permitiría al personal reducir de forma eficiente y proactiva los riesgos de fiabilidad de la solución al:

- localizar las telemetrías o las medidas defectuosas para bloquear datos defectuosos;
- localizar los aspectos del modelo que son obsoletos;
- evaluar los ajustes del modelo y cómo mejorarlos.

ABB validó la visualización a través de talleres de diseño y entrevistas con expertos de ABB y mediante revisiones externas (cuatro clientes de su Network Manager: dos en Europa y dos en Norteamérica revisaron el concepto).

Mapeo de la conectividad eléctrica

Para crear una solución de análisis visual aceptable que fuera idónea para el diagnóstico del SE, el equipo de diseño evaluó mapas convencionales de conectividad de redes eléctricas que normalmente se utilizaban para otros fines [3]: la vista geográfica y la visión esquemática de la transmisión →1.

Las empresas de distribución de electricidad envían equipos de mantenimiento al terreno y analizan los daños físicos de los equipos. Las vistas geográficas muestran la ubicación física de los activos y son fáciles de interpretar, por lo que son idóneas para estas tareas (navegación panorámica con características de zoom) →1a. Sin embargo, la ubicación física es irrelevante para la funcionalidad del modelo del SE, lo que hace que las vistas geográficas por sí solas resulten inadecuadas.

ABB investigó métodos de visualización para ayudar a los ingenieros del SE, tanto expertos como no expertos, a supervisar de forma sencilla y eficiente la salud y el diagnóstico del modelo del SE.

Las vistas esquemáticas muestran la conectividad eléctrica lógica de redes de circuitos y estaciones y, por lo tanto, son estándar para las empresas de transmisión →1b. El estilo de la representación esquemática es más abstracto que el de la vista geográfica: muestra los buses como líneas rectas y la navegación es por pasos discretos a lo largo de líneas. La vista esquemática, esencial para la planificación, permite a los operadores de red diferenciar fácilmente todas las posibles conexiones que pueden crear los interruptores y conmutadores.

— Imagen del título: Las visualizaciones se diseñan en función del trabajo.

01a Las vistas geográficas muestran dónde se encuentran los activos físicos y se utilizan desde los años 70.

01b Los diagramas estándar de las redes de transmisión muestran la ubicación de las conexiones de una forma lógica. Aquí, la tensión nominal se representa con el espesor de la línea según [5].

01c El balance eléctrico muestra la función de la red en base al trabajo académico de Cuffe y Keane e incluye la modificación de diseño de ABB [4].

— 02 ABB diseñó una visualización de la topología de la red para el estimador de estado de Power System Explorer. El resultado complementa la interfaz existente para el gemelo digital de la red de transmisión.

Este conocimiento es inestimable y, sin embargo, el SE solo resuelve la situación actual: una pequeña diferencia visual en un esquema podría infravalorar en gran medida el impacto de un evento en la solución modelizada del SE, como, por ejemplo, cerrar un interruptor.

Debido a que la solución de problemas del modelo del estimador de estado difiere del funcionamiento de la red de transmisión o distribución, se requiere un nuevo enfoque. Basándose en esquemas académicos anteriores [4], ABB aplicó teoría de gráficos estándar con formato visual, puntos de referencia y ayudas a la navegación para crear una visualización de red abstracta, intuitiva y que muestra la estructura subyacente del modelo de red →1c,2 [5]. En última instancia, esta visualización, de demostrarse su utilidad para el SE, también podría ser eficaz para supervisar las redes eléctricas del futuro.

Aunque actualmente los gráficos de red se utilizan con éxito para análisis en muchos campos, como ciencias sociales, logística, etc., el reto de ABB era diseñar esta exigente aplicación centrada en el usuario para aplicaciones de redes eléctricas.

Evolución del diseño

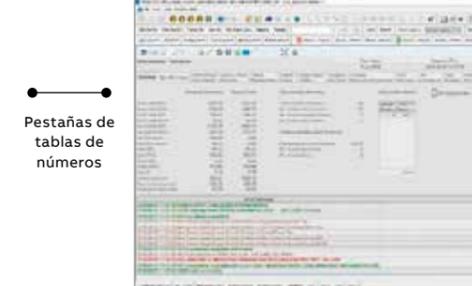
Dado que las visualizaciones de los indicadores de salud del modelo del SE deben ampliarse para ser útiles para los modelos de redes grandes, se optó por un enfoque minimalista para el diseño gráfico. Esto deja espacio para los datos y aporta un estilo de efecto visual «global» que transmite las propiedades del modelo y la red global.

En consecuencia, ABB incorporó prestaciones de diseño gráfico básico de redes: círculos de nodos como estaciones y líneas de borde para representar circuitos eléctricos. Se utilizaron tres factores visuales principales: tamaño del nodo, ancho de la línea y longitud de la línea. El tamaño de los nodos representa la diferencia entre la carga y la generación de potencia de la estación. Por lo tanto, los círculos más grandes indican estaciones importantes: bien generadores grandes o cargas grandes, como ciudades. Los círculos más pequeños representan ciudades autosuficientes, o estaciones de transmisión, y pequeñas uniones (los círculos están ocultos). El ancho de la línea se refiere a la capacidad del circuito o el nivel de tensión; una línea más gruesa denota un mayor flujo de potencia. Este estilo distingue los circuitos fuertes de los débiles y separa visualmente las redes de distintos niveles de tensión →2,3.

Hoy: ¿Dónde está el problema?

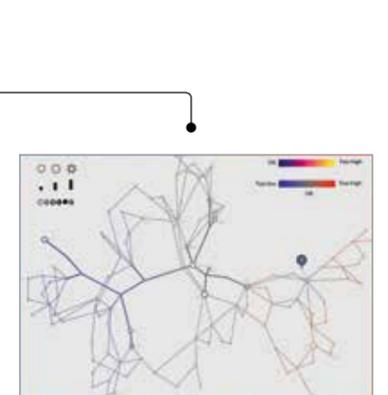
- El SE utiliza un gemelo digital de la red de transmisión para alimentar las aplicaciones.
- La puesta en servicio y el mantenimiento suponen un reto.
- La interfaz existente no muestra la red.
- Los tradicionales estilos de diagramas de red no estaban destinados al diagnóstico de modelos digitales.

El gráfico complementa la interfaz existente

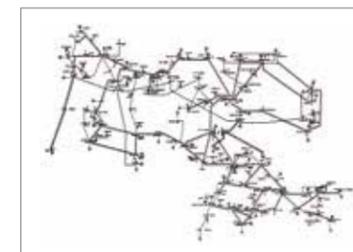


Pestañas de tablas de números

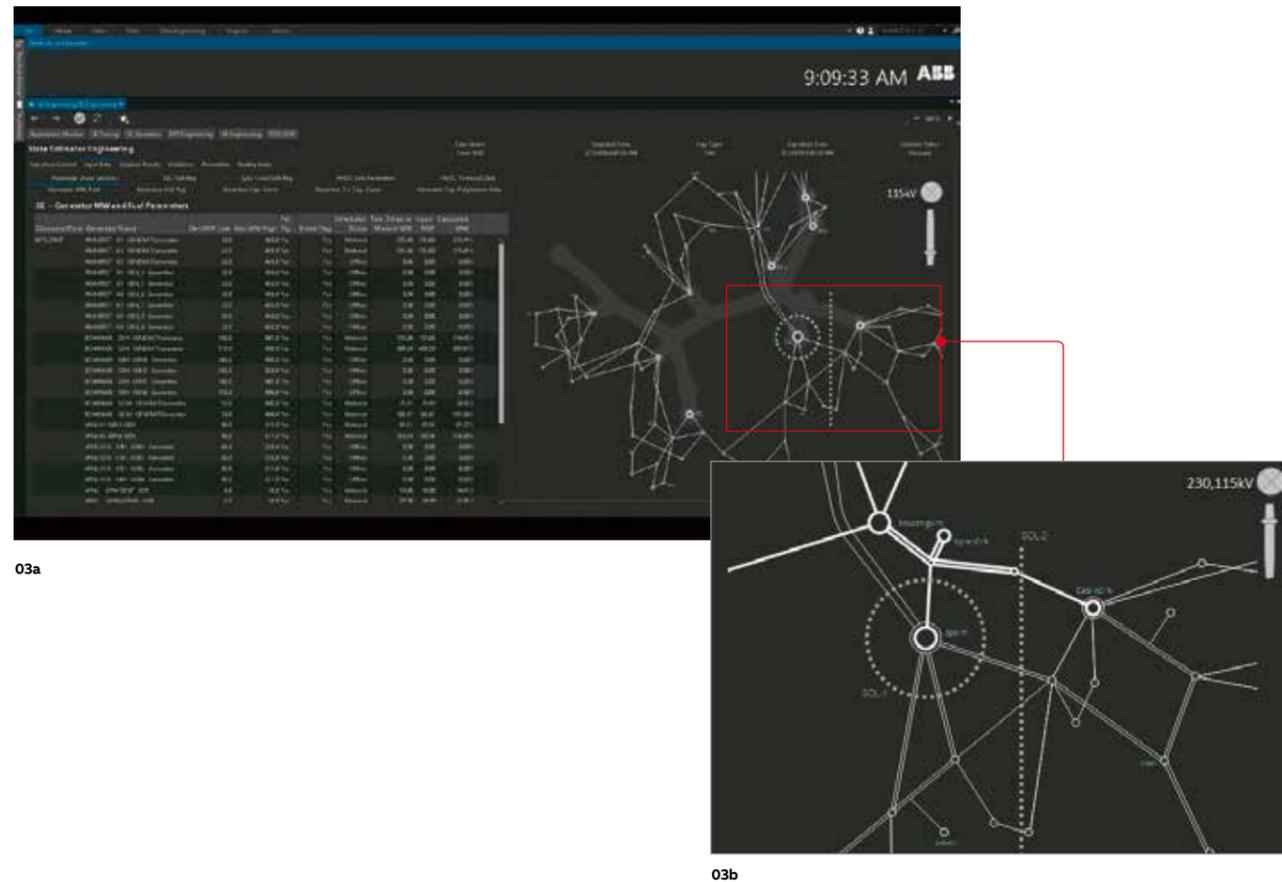
Potencial futuro de visualización de datos



Hacer visible la calidad del modelo



Mostrar la estructura



03a

03b

Tomando como base esquemas anteriores, ABB aplicó una teoría de gráficos estándar para crear una visualización de redes que fuera abstracta y de uso intuitivo.

Aunque los operadores a menudo utilizan colores para representar la tensión de la red, la codificación de colores es más adecuada para representar datos: la clave para comprender la calidad de la solución del modelo del SE.

Normalmente, la longitud de la línea representa la distancia o los km, pero, dado que la distancia no es directamente relevante para el SE, la longitud de la línea se dibujó utilizando la escala de transferencia de potencia neta derivada de la impedancia [4]. Por lo tanto, la longitud de la línea constituye una metáfora visual de que «la energía viaja en línea recta» y se traduce en la mínima distorsión de la estructura de la red [4]. Además, este dispositivo ayuda a los ingenieros del SE a visualizar el «recorrido de menos resistencia» y el modelo eléctrico subyacente. Las líneas más largas representan recorridos de flujo eléctrico menos directos →3,4.

Los contornos vitales más importantes de la solución del modelo del SE (por ejemplo, entre la

red del cliente y las redes vecinas, o entre lo que es «observable» y lo que es «no observable») se visualizan ampliando ligeramente la longitud de las líneas para crear un espacio en blanco, creando así zonas separadas.

La visualización resultante es una esclarecedora vista de cómo el SE ve la configuración actual de la red: cómo fluye la potencia desde grandes generadores hasta grandes cargas, y qué aspectos de este flujo resuelve correctamente el SE →3,4.

Promover la visualización

Sin embargo, una vez finalizado el concepto de diseño, quedaron cuestiones importantes: ¿Cómo pueden los ingenieros del EMS identificarse con este diseño de visualización en términos de lo que saben sobre su red y su región? ¿Qué prestaciones promueve la utilidad de la visualización centrada en la red?

Hay muchos problemas que pueden afectar a la aceptación de la visualización. El uso de coherencia y convenciones contribuye a evitar malentendidos que pueden traducirse en riesgos. En consecuencia, ABB está desarrollando el diseño centrado en la red para el personal de mantenimiento del modelo del SE del EMS (tanto ingenieros eléctricos como de TI) para complementar las representaciones tradicionales →2.

— 03 El concepto de visualización de la red del SE complementa las estructuras de datos tabulares existentes y puede permitir la navegación intuitiva del usuario mediante panorámicas, zoom, capas de tensión, selección en tablas o búsqueda por planta/punto de referencia.

03a La visualización de la red muestra una estructura tabular.

03b El concepto de visualización permite a los usuarios hacer zoom en las estructuras de interés.

— 04 Al utilizar el diseño visual monocromo para mostrar la estructura de la red, el color visualiza los indicadores de salud del SE, como el residuo de la solución y las iteraciones de convergencia. Al diseñar escalas de color de forma que las desviaciones significativas se muestren con un mayor contraste, se dirige la atención al origen del problema.

Otra barrera a la aceptación es el riesgo de desorientación del usuario. Para evitar este extremo, se incluyen características de diseño convencionales, tales como norte-arriba, oeste-izquierda. El gráfico se simplificó combinando uniones menores y segmentos de línea dentro de las líneas del circuito y mostrando etiquetas de texto progresivamente →3. Para plantas más pequeñas, esto se logra con una función de zoom. Los puntos de referencia de la red, como los grupos de líneas en un límite operativo del sistema (SOL), están representados mediante grandes características visuales de fondo; por ejemplo, un load pocket o centro de demanda en una ciudad

Las prestaciones visuales reconocibles permiten a los usuarios aplicar sus conocimientos y experiencia para guiar y buscar a través de las representaciones de la red.

se indica mediante un círculo de contorno (el SOL describe un límite para el flujo de potencia total en los circuitos eléctricos que cruzan el círculo de contorno). Los SOL para transmisiones regionales, como un flujo este-oeste, se muestran como líneas de contorno. Aquí las líneas de contorno se dibujan en vertical. →3b.

Para concentrarse en los problemas de modelización, se puede navegar por los distintos niveles de tensión de la red en forma de «capas» que pueden llevarse a un primer plano, mientras que el usuario puede ver el resto de la red como fondo. En lugar de tratar de incluir todos los detalles dentro de las estaciones, el diseño ayuda a los usuarios a navegar hasta la pantalla de diagrama existente una vez que han localizado la perturbación de la modelización →3.

ABB diseñó un atractivo esquema de visualización centrado en el usuario: el color puede utilizarse para representar datos como los indicadores de salud del modelo del SE.

Las funciones visuales reconocibles permiten a los usuarios aplicar sus conocimientos y experiencia para dirigir y buscar a través de las representaciones de la red; este diseño centrado en el usuario ayuda a los ingenieros del SE a diagnosticar los factores de estrés en la salud del modelo del SE.

Interpretación de las ayudas cromáticas

ABB diseñó un atractivo esquema de visualización centrado en el usuario que utiliza estilos escalables para mostrar la estructura del modelo de la red. Puesto que la pantalla funciona correctamente en blanco y negro, puede utilizarse el color para representar datos como los indicadores de salud del modelo del SE →4.



04

Visualización del estimador de estado

Los datos clave pueden superponerse utilizando un estilo visual o iconos

Trabajar en escala de grises ahorra color para mostrar los patrones de datos:

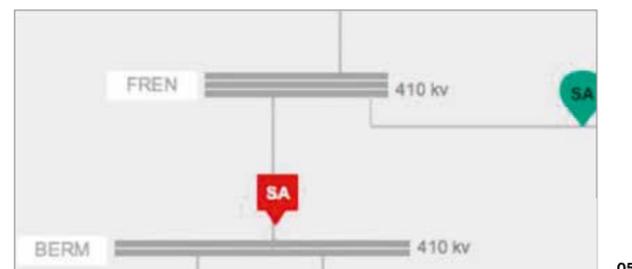
- Residuo de la solución
- Iteraciones de convergencia
- Estimado vs asumido

Pueden desarrollarse aplicaciones para adaptarse a las necesidades del usuario.

Usar mensajes emergentes con moderación

- Última planta convergida
- ¿Topología defectuosa?

05 La visualización de superposiciones de datos en la red principal puede utilizarse en el futuro para comparar diferentes estados de la red según las necesidades del cliente, por ejemplo, historial de tiempos, estudios del flujo de potencia y simulaciones. En esta captura de pantalla se muestran los puntos fijados.



05

Las escalas de color continuas pueden mostrar datos analógicos ubicuos, como el residuo del modelo y los tiempos de convergencia del modelo. Al aumentar la luminosidad para atraer la atención hacia el área del modelo donde se muestran los indicios de estrés, el usuario puede captar de inmediato los patrones de los problemas de salud del SE. Simultáneamente, pueden mostrarse indicadores discretos, como el último bus convergido o topología defectuosa detectada, mediante mensajes emergentes →4,5.

Para hacer que el sistema esté aún más centrado en el usuario, ABB utilizó el feedback de los clientes para ampliar funcionalidades; por ejemplo, los recorridos animados de flujos de partículas podrían mostrar patrones de potencia real o reactiva →5.

El futuro de la red eléctrica es visual

Una vez aprobado el esquema de visualización para la supervisión y el diagnóstico del SE, este podría volver a utilizarse para otras aplicaciones críticas en el futuro. Por ejemplo, podrían visualizarse las consecuencias de las mayores contingencias de riesgo o mostrarse la representación visual de una red tras un apagón junto con la consiguiente distribución de sobrecargas. Se podrían resumir los cambios en la situación de una red vecina durante un día ajetreado o grandes cambios en flujos o redundancias.

La capacidad de evaluar visualmente las consultas de una forma rápida y sencilla ayudará a los operadores de redes eléctricas a mantener la fiabilidad y la seguridad de una forma eficiente. Además, las mismas características necesarias para supervisar el SE ayudarán a los expertos de puesta en servicio de ABB a configurar el modelo, hacer una demostración de las pruebas de aceptación y formar al personal del cliente.

Utilizados con asiduidad, pero que rara vez sujetos a un alto nivel de mantenimiento, los SE requieren un ajuste continuo por parte de expertos para su plena funcionalidad. Y sin embargo, la actual revolución energética sin duda continuará aumentando la demanda de un mayor conocimiento de la situación de los sistemas de redes eléctricas. En consecuencia, se dedicará más esfuerzo al desarrollo y la expansión de los SE. El actual crecimiento de las renovables y la necesidad de mantener la capacidad constituyen posibles impulsores. La tecnología de los SE todavía no ha penetrado el mercado de pequeños distribuidores y este sector del mercado se está expandiendo [6].

Las mejoras en infraestructuras y sistemas de control permiten la expansión de los SE en el mercado de redes en balance, es decir, en el mercado de alta y media tensión, y permiten la entrada en el mercado de baja tensión.

Al mejorar las capacidades y la usabilidad de la solución del modelo del SE, ABB pretende mejorar la rentabilidad: el diseño de visualización del SE de ABB es un primer paso.

Se espera que los mercados de transmisión y distribución de electricidad de Estados Unidos crezcan significativamente para 2023 [6]. Al mejorar las capacidades y la usabilidad de la solución del modelo del estimador de estado, ABB pretende mejorar la rentabilidad: El diseño de visualización del SE de ABB es un primer paso. •

Referencias

[1] NERC. (2018, June 5). Lessons Learned: External Model Data Causing State Estimator to not Converge. [Online] Available under: www.nerc.com/pa/rrm/ea/Lessons%20Learned%20Document%20Library/LL20180602_External_Model_Data_Causing_State_Estimator_to_Not_Converge.pdf

[2] NERC. (2017, December 12). Reference Document: Risks and Mitigations for Losing EMS Function. [Online] Available under: www.nerc.com/comm/OC/ReferenceDocumentsDL/Risks_and_Mitigations_for_Losing_EMS_Functions_Reference_Document_20171212.pdf

[3] A. Hilliard, F. Tran, G.A. Jamieson and A. Greg, "Work Domain Analysis of Power Grid Operations". In Cognitive Work Analysis: Applications, Extensions and Future Directions. 2017, pp. 149-170.

[4] P. Cuffe and A. Keane, "Visualizing the Electrical Structure of Power Systems". IEEE Systems Journal, 11(3), 2017, pp. 1810-1821. Available under: doi.org/10.1109/JSYST.2015.2427994

[5] C. Mikkelsen, J. Johansson and M. Cooper. "Visualization of Power System Data on Situation Overview Displays". 2012, pp. 119-126 Available under: doi.org/10.1109/IV.2012.41

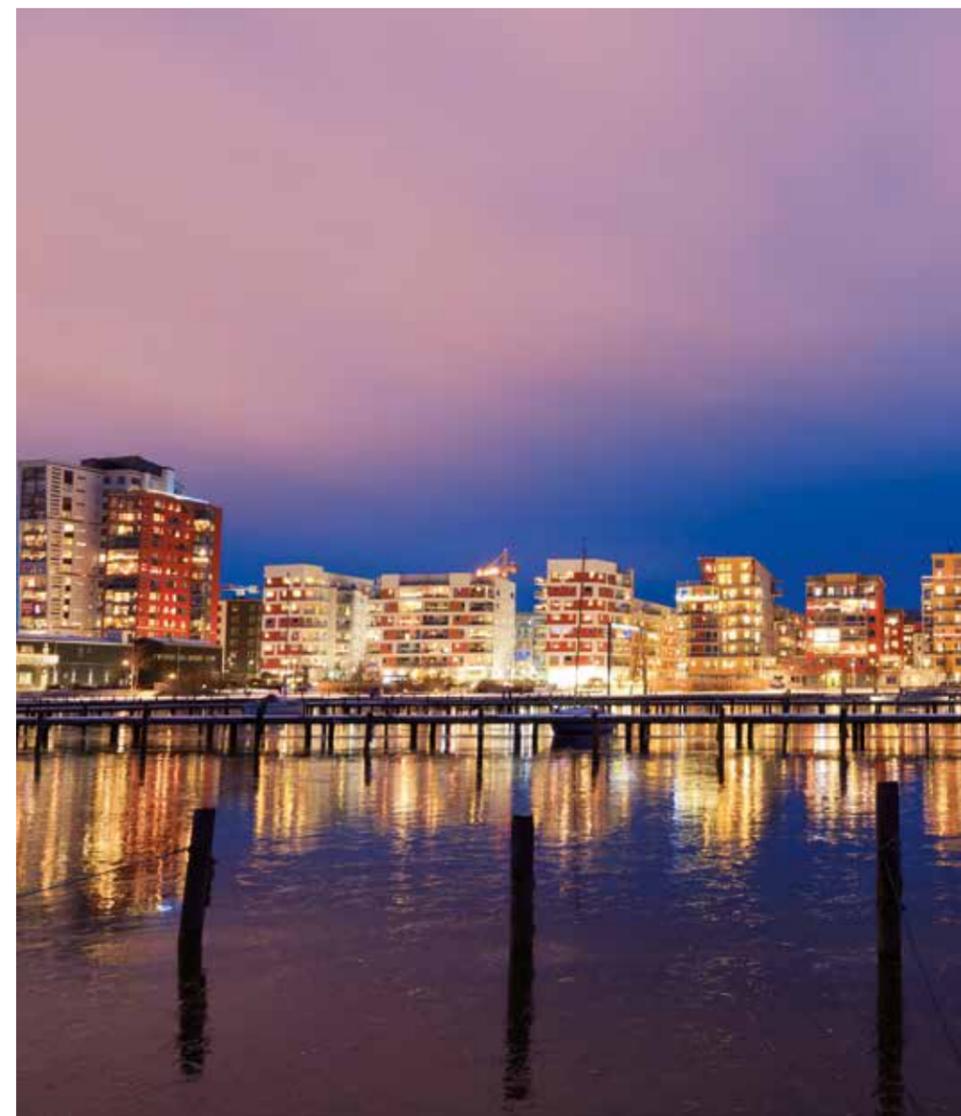
[6] Market Watch. (2019, Feb. 20). Distribution Transformer Global Market Projected to Grow Radiantly by 2023. [Online] Available under: www.marketresearchfuture.com/reports/distribution-transformer-market-2581

SISTEMAS AUTÓNOMOS

Visualizaciones para una comunidad municipal más inteligente

Tomando como base un diseño centrado en el usuario, ABB ha creado visualizaciones de datos intuitivas para dos sistemas comunitarios esenciales: la calefacción urbana y la asistencia sanitaria. Los prometedores resultados sientan las bases para seguir investigando sobre la visualización inteligente y la inteligencia artificial.

01



01 ABB colabora estrechamente con partes interesadas públicas y privadas para explorar soluciones de visualización digital que podrían ayudar a ciudades como Västerås, Suecia, a aumentar su eficiencia y sostenibilidad.



Veronika Domova
ABB Corporate Research
Västerås, Suecia

veronika.domova@se.abb.com



Shiva Sander Tavallaey
ABB Corporate Research
Västerås, Suecia

shiva.sander-tavallaey@se.abb.com