



Nuevo enfoque sobre la gestión del mantenimiento en subestaciones eléctricas

Israel Gondres
Santiago Lajes
Alfredo del Castillo

Recibido: Octubre del 2007

Aprobado: Diciembre del 2007

Resumen / Abstract

En el trabajo se presenta un nuevo enfoque de la gestión del mantenimiento en las subestaciones eléctricas que interconectan al sistema electroenergético nacional con la generación distribuida, tratando de adaptar dicho mantenimiento a las necesidades cada día más crecientes del país enmarcado en la Revolución Energética. Los temas que abordan el mantenimiento son muy extensos y se necesitarían varios tratados técnicos para enfrentarlos de una manera completa, por ello solo se hace énfasis en algunos puntos de vista de dos de las tendencias actuales acordes con la experiencia y estudios del tema, citando los resultados obtenidos a partir de trabajos anteriores y otros en ejecución, lo cual corrobora la importancia que reviste actualmente la utilización eficiente de las técnicas de avanzada aparejadas a las nuevas filosofías del mantenimiento mundial.

Palabras clave: Subestaciones eléctricas, mantenimiento basado en la condición, mantenimiento centrado en la confiabilidad

In this paper a new focus is exposed about the maintenance management in the electrical substations that interconnects the system with the distributed generation, trying to adapt this maintenance to the needs of every most growing day in the country framed in the Energy Revolution. The approached topics about the maintenance are very extensive and several topics would be needed to face them in a complete way, for this alone emphasis, is made in some point of views from two of the actual tendencies according to the experience and theme studies, mentioning the results obtained starting from previous projects and others in execution, that which corroborates the importance that the efficient use of the new techniques harnessed has to the new philosophies of the world maintenance.

Key words: Substations, condition monitoring, reliability centered maintenance

INTRODUCCIÓN

Actualmente el país está inmerso en una Revolución Energética que involucra a todos los sectores y se realizan cuantiosas inversiones en varios frentes, donde desempeña un papel fundamental el reacondicionamiento de las redes eléctricas e inclusión de los grupos de generación distribuida para lograr un funcionamiento eficiente y adecuado del sistema

electroenergético nacional (SEN). Para la interconexión adecuada de estos grupos se necesita una correcta operación de las subestaciones asociadas a las mismas, las cuales tienen el objetivo de tomar potencia del lado de alta tensión del nivel de transmisión o de los grupos electrógenos directamente, reducir el voltaje y distribuir la potencia a través de un determinado número de alimentadores primarios en el área asignada,

por tanto, el correcto funcionamiento de ellas es de vital importancia y esto depende en gran medida de los elementos de interconexión (interruptores, barras, seccionadores, etc.), de las subestaciones que enlazan al SEN y así mantener la disponibilidad y confiabilidad del sistema.

Últimamente los costos de mantenimiento y operación de las empresas eléctricas (generación, distribución y transmisión) han estado subiendo de una manera rápida en los últimos años. Actualmente existen nuevas técnicas que permiten disminuir y/o mejorar la confiabilidad y el desempeño de las mismas. El mantenimiento busca a grosso modo asegurar el servicio de la empresa de una manera continua, segura y compatible con el medio ambiente.

Con la inclusión de la generación distribuida se ha mejorado la confiabilidad mediante su interconexión al sistema, ahora el papel de la subestación en el nuevo contexto es otro porque no solamente sirve para el enlace de varios consumidores sino que también a través de ella se entregara al sistema, determinada potencia para mejorar la confiabilidad, esto conduce a preguntarse, ¿que tipo de gestión de mantenimiento se propondrá a partir de los requerimientos del sistema?

MATERIALES Y MÉTODOS

Actualmente el mantenimiento está caracterizado por la búsqueda continua de tareas que permitan eliminar o minimizar la ocurrencia de fallas y/o disminuir las consecuencias de las mismas. Las empresas eléctricas no están ajenas a ello, por lo que se hace necesario enfocar los esfuerzos a disminuir las fallas y averías que muchas veces se pueden evitar. Para lograr esto las corrientes filosóficas,¹⁻³ de los nuevos conceptos del mantenimiento han demostrado un gran poder en identificar tareas potenciales a ejecutar.

Elementos de las subestaciones eléctricas proclives a fallas

Se sabe que las fallas en las subestaciones no son muy frecuentes, Esta frecuencia varía en menor grado en los transformadores hasta otros elementos, siendo así en los de interconexión (interruptores, barras, seccionadores, etc.), en las barras por ejemplo, se maneja la magnitud de corriente más alta y las de mayor esfuerzo para el equipo eléctrico primario; y se considera que su incidencia es la más baja de los diferentes equipos que componen el sistema eléctrico, aunque también es preocupante que los interruptores sean los de más incidencia.^{4,5}

Muchas de las actividades de rutina que se ejecutan en el mantenimiento de dichos elementos inciden en su buen funcionamiento. Las más significativas están

dadas por pruebas de aislamiento, pruebas de apertura y cierre eléctrico y manual, inspección minuciosa y detallada de conexiones, vástagos, barras, porcelana, etc., así como otras que llevan implícita distintas tareas de acuerdo con el elemento en cuestión.

Estudio de las corrientes actuales del mantenimiento

Las operaciones de mantenimiento tienen lugar frente a la constante amenaza que implica la ocurrencia de una falla o error en un sistema, maquinaria o equipo. Las corrientes actuales están basadas principalmente en dos estilos, de forma proactiva y reactiva,⁶ el primero será objeto de un pequeño análisis mediante dos de sus formas principales que se detallan a continuación.

Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

El RCM es uno de los procesos desarrollados durante 1960 y 1970 con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas.⁷ Este tuvo su origen en la Industria Aeronáutica.

El RCM pone tanto énfasis en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas, mediante:

- Integración de una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspectos de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.

- Dedicar mucha atención a las tareas del mantenimiento que más incidencia tengan en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones y, garantizar que la inversión en mantenimiento sea utilizada donde más beneficio reporte.

En la empresa eléctrica cubana sería interesante disminuir los costos y actividades de mantenimiento, lo que conllevaría además una mejora en los niveles de confiabilidad, disponibilidad y seguridad; un ejemplo interesante se presenta en la referencia 8. Esta técnica se basa en seleccionar el mantenimiento solo donde las consecuencias de las fallas así lo requieran, para esto se necesita realizar un estudio exhaustivo de todas las funciones, fallas, modos y consecuencias de estas, para luego decidir dónde y qué tipo de mantenimiento ejecutar.

Mantenimiento basado en la condición

El mantenimiento predictivo o basado en la condición (BC), consiste en inspeccionar los equipos a intervalos regulares y tomar acción para prevenir las fallas o evitar

las consecuencias de las mismas según condición. Incluye tanto las inspecciones objetivas (con instrumentos) y subjetivas (con los sentidos), como la reparación del defecto (falla potencial).⁹

El mantenimiento predictivo depende de una serie técnicas (herramientas, equipos, conocimientos, métodos, procedimientos y filosofías) que aplicados en armonía logran con efectividad su objetivo. Predecir eventos en maquinarias y sistemas que puedan interferir con el proceso productivo y tomar acciones para evitarlos.

Las técnicas de las cuales depende el mantenimiento predictivo son bastante costosas debido a que la mayoría emplean tecnología de punta y no son destructivas aplicándose on-line de acuerdo con el campo de utilización; por ejemplo, el monitoreo de la condición consiste en monitorear los movimientos de las maquinarias rotativas y recíprocas para estudiar su comportamiento; la tribología analiza los fenómenos relacionados con la fricción y el desgaste obteniendo resultados del análisis físico-químico de los aceites lubricantes de las maquinarias; la termografía: Consiste en el monitoreo de las temperaturas de operación de los sistemas (mecánicos y eléctricos) a través de rayos infrarrojos; y así sucesivamente se podrían mencionar otros que tienen funciones parecidas y siguen la misma premisa de su alto costo, aunque no por ello dejan de ser casi los ideales para la gestión del mantenimiento.

Relación entre el RCM y el basado en la condición
Con la aplicación del RCM se pueden responder las preguntas que plantea este método pero esto solo no bastaría para una correcta aplicación sino que se pueden implementar las técnicas del mantenimiento basado en la condición para adelantarse a la posible falla de una forma más acertada, o sea, no es más que su uso en el momento correcto de acuerdo con las especificidades del proceso de RCM.

Los intervalos de inspección pueden ser acortados o determinados por las características de los elementos en cuestión una vez que estos sean sometidos a un proceso de estudio de acuerdo con su confiabilidad operacional, por lo que una opción factible es instalar un sistema de monitoreo o chequear continuamente el estado del elemento mediante técnicas de avanzada que permitan identificar la falla potencial lo más pronto posible.

Mucho se ha trabajado para desarrollar las tecnologías; sin embargo, se necesita trabajar más para hacerlo más efectivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Antes de realizar cualquier análisis para llegar a la utilización de inteligencia artificial debe consultarse

la referencia¹⁰, donde se explican las primeras aproximaciones mediante el uso de métodos multicriteriales para tomar una decisión partiendo de las especificaciones del fabricante y otros según los expertos, y a partir de ahí establecer lo que en el ámbito mundial ha sido abordado principalmente usando propuestas metodológicas que utilizan técnicas tales como: Sistemas expertos, modelos de redes Petri, redes neuronales y lógica difusa, etcétera.

Redes Petri

Mediante la utilización de redes Petri, se plantea una metodología para restaurar los subsistemas de una subestación con mayor rapidez y efectividad. La metodología permite analizar gran cantidad de reglas empíricas que se utilizan para la restauración de cada sistema en particular, combinando la experiencia en el manejo de subestaciones con métodos computacionales de programación.¹¹

Utilización de redes neuronales

Teniendo en cuenta todo lo anteriormente expuesto es posible decir que las RNA han sido aplicadas prácticamente en casi la totalidad de las áreas ha donde ha llegado la computación.¹² A pesar de esto no se puede plantear que se han convertido en el paradigma ideal para resolver toda clase de problemas, pero sí han tenido mucho éxito en un gran número de ellos.

Así mismo, las redes neuronales artificiales han tenido una gran utilización en sistemas de potencia. En la referencia 13 se describen algunas aplicaciones de las redes neuronales a problemas reales, ilustrando además algunos aspectos prácticos del diseño de redes, requerimientos de los datos de entrenamiento, características de la entrada y los algoritmos de aprendizaje.

Se consideraba también que las RNA no eran adecuadas para la solución de tareas que requieran de gran precisión, pero esto ha cambiado y en la actualidad se utilizan con muy buenos resultados en aplicaciones científicas e ingenieriles, entre las que se pudieran mencionar las siguientes:

- Solución de ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales.
- Identificación de sistemas dinámicos.
- Modelación y control de procesos.
- Detección de fallas en sistemas dinámicos.

Como se puede apreciar las RNA tienen un amplio campo de aplicación y su uso está determinado prácticamente por el ingenio de los que quieran utilizarla.

Algoritmos genéticos

Los algoritmos genéticos (AG) es una técnica de búsqueda basada en la teoría de la evolución de Dar-

win y ha cobrado popularidad en el del mundo durante los últimos años. Esta técnica se basa en los mecanismos de elección que utiliza la naturaleza según los cuales los individuos más aptos de una población son los que sobreviven, al adaptarse más fácilmente a los cambios que se producen en su entorno. La aplicación más común de los algoritmos genéticos ha sido la solución de problemas de optimización, en donde han mostrado ser muy eficientes y confiables.¹⁴ No todos los problemas pudieran ser apropiados para la técnica, y se recomienda, en general, tomar en cuenta las siguientes características antes de intentar usarla:

- Su espacio de búsqueda (sus posibles soluciones) debe estar delimitado dentro de un cierto rango.
- Debe poderse definir una función de aptitud que indique qué tan buena o mala es una cierta respuesta.
- Las soluciones deben codificarse de una forma que resulte relativamente fácil de implementar en la computadora.
- Lo más recomendable es intentar resolver problemas que tengan espacios de búsqueda discretos aunque estos sean muy grandes.

Una característica que debe tener esta función es ser capaz de "castigar" a las malas soluciones, y de "premiar" a las buenas, de forma que sean estas últimas las que se propaguen con mayor rapidez; y ello es lo que pudiera usarse para lograr una gestión eficiente del sistema de mantenimiento a utilizar en los elementos de interconexión del SEN.¹⁵

Uso de la lógica difusa

En la actualidad, la lógica difusa se ha convertido en una de las áreas más activas y fructíferas dentro de las investigaciones en teoría de conjuntos difusos, existiendo un gran número de aplicaciones que han puesto de manifiesto la utilización efectiva de un sistema difuso en el contexto de procesos complejos mal modelados, donde tradicionalmente se obtienen buenos resultados con un operador humano experimentado, sin el conocimiento de la dinámica subyacente. Básicamente, la lógica difusa proporciona un medio efectivo de concebir la naturaleza aproximada e imprecisa del mundo real. Actualmente, las empresas cubanas tratan de implementar el sistema de mantenimiento por diagnóstico, haciendo que en ocasiones se presenten problemas sobre todo a la hora de decidir un mantenimiento o el tiempo probable de ejecutarlo, a partir de las pruebas diagnósticas. Sin dudas la introducción de la lógica difusa puede ayudar en esas decisiones.¹⁶ Para el cálculo de los índices de deterioro y el momento

apropiado para dar mantenimiento a los elementos de interconexión del SEN, considerando la misma como un sistema compuesto por estos dispositivos se necesita determinar los coeficientes de importancia del deterioro de cada tipo y del elemento en cuestión, obtenidos con la ayuda de los expertos seleccionados, según el método de expertos y de las informaciones de las inspecciones a la subestación, así como del análisis cuantitativo y cualitativo de las operaciones de los mismos. También se puede usar las relaciones de preferencia para su optimización adecuada.¹⁷

Como se ha visto hasta ahora siempre que se usen correctamente las técnicas de IA con las corrientes filosóficas del mantenimiento se obtendrán buenos resultados que redundarán en el funcionamiento óptimo del sistema a analizar, por lo que las técnicas mencionadas constituyen una herramienta fundamental para la implementación de las estrategias de restablecimiento en un sistema de soporte a la decisión.

CONCLUSIONES

Se demuestra que hay muchas oportunidades de mejora en el mantenimiento en la Empresa Eléctrica, a pesar de existir viejas concepciones que deben ser cambiadas cuanto antes en el marco de la Revolución Energética.

Es posible vincular el RCM y el mantenimiento basado en la condición con el objetivo de lograr una interacción donde se puede plantear qué medios usar, cuándo y cómo si se quiere lograr una gestión eficiente del mantenimiento.

Optimizando el ciclo de mantenimiento del equipo se logra aumentar su vida útil, su disponibilidad y confiabilidad, y se mejora la productividad de la empresa.

Los estudios acertados de criticidad proporcionan una poderosa herramienta a la hora de tomar decisiones importantes, así como el uso de las nuevas técnicas de avanzada en la concreción de cualquier tarea a ejecutar en el área del mantenimiento.

REFERENCIAS

1. **Billinton, R. and R. N. Allan:** "Reliability Evaluation of Power Systems", Plenum Press, 1983.
2. **J. Durán, B.:** El rol del facilitador en confiabilidad operacional, Énfasis Management, Argentina, Año 4, julio, 1998.
Disponible en www.plant-maintenance.com.

- 3. Gondres, I. y S. Lajes:** "Considerations about the Maintenance in Electrical Networks" in IEEE PowerTech' 2005, Paper #283, St. Petersburg, Russia, June, 27-30, 2005.
- 4. Pottonen, L.:** "A Method for Analysing the Effect of Substation Failures on Power System Reliability", 15th PSCC, Liege, 22-26 August, 2005.
- 5. Duron, J. de J. y B. Hernández:** "Análisis de disturbios en barras de subestaciones del área de transmisión oriente y la operación de la 87b", Segundo Congreso Bienal, CIGRÉ-México, del 13 al 15 de junio del 2001.
- 6. Durán, J.:** "Nuevas tendencias del mantenimiento en la industria eléctrica", SIMCE6, CIER, Cartagena, 2003.
- 7. Latino, Mark:** RCFA + RCM Formula for Successful Maintenance, disponible en: <http://www.reliability.com/articles/article31.htm>.
- 8. Castillo, A. y L. F. Sexto.** "Elementos de la aplicación piloto de los principios del RCM en la Empresa Transportadora de Electricidad de Bolivia", presentada en el IV Congreso Cubano de Ingeniería de Mantenimiento, Ciudad de La Habana, Nov., 30, Cuba, 2006.
- 9. Overman, R. y R. Collard,** "The Complimentary Roles of Reliability-Centered Maintenance and Condition Monitoring", Presented at IMC-2003 the 18th International Maintenance Conference, Disponible en www.maintenanceconference.com
- 10. Hidalgo, H. y P. Sanfiel:** "Optimización multicriterial de la gestión de mantenimiento en interruptores de 33kV", Trabajo de Diploma, Universidad de Camagüey, Cuba, 2006.
- 11. Huang, C. M.; H. L. Jiang; W. Y. Chang and C. L. Huang:** "A Petri Nets Model for Fast Substation Service Restoration", IEEE Catalogue N° 98EX137, pp. 473-478, 1998.
- 12. Aggarwal, R. and S. Yonghua:** "Artificial Neural Networks in Power Systems, III Examples of Applications in Power Systems", Power Engineering Journal, Vol. 12, No. 6, pp. 279-287, Dec., 1998.
- 13. Isaza, H. y A. Ricardo:** "Aplicación de redes neuronales artificiales en la protección de distancia en líneas de transmisión", Scientia et Technica, Año X, No. 24, mayo, 2004.
- 14. Malachi, Y. and A. Sigmond:** "Genetic Algorithm for the Corrective Control of Voltage and Reactive Power", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 21, No. 1, February, 2006.
- 15. Barreras, J.:** "Utilización de algoritmos genéticos para la gestión del sistema de mantenimiento en elementos de interconexión", Trabajo de Diploma, Universidad de Camagüey, Cuba, 2007.

16. Gondres, I.; S. Lajes; N. Rodríguez y A. Castillo: "Utilización de la lógica difusa en la gestión del mantenimiento de interruptores de potencia", presentada en el IV Congreso Cubano de Ingeniería de Mantenimiento, Ciudad de La Habana, Cuba, noviembre 30, 2006.

17. Ramos, G.: "Determinación del sistema de mantenimiento a utilizar en interruptores de potencia usando relaciones de preferencia en la lógica difusa", Trabajo de Diploma, Universidad de Camagüey, Cuba, 2007.

AUTORES

Israel Gondres Torné

Ingeniero Electricista, Máster en Ingeniería Eléctrica, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba
e-mail:israelgondrescu@yahoo.es

Santiago Lajes Choy

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba
e-mail:slajes@yahoo.es

Alfredo del Castillo Serpa

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Centro de Estudio de Innovación y Mantenimiento (CEIM), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba
e-mail:acastillo@mecanica.cujae.edu.cu

