



APLICACIÓN DE LA COMPUTACIÓN

SAND ML: Software para el diagnóstico y control de información de máquinas eléctricas rotatorias

Santiago A. Dorrbercker Drake
Jorge Mark Ley
Jeidy Choong Flores
Orlando B. Soler Acosta

Recibido: Septiembre del 2003
Aprobado: Noviembre del 2003

Resumen / Abstract

SAND ML es un software de aplicación que automatiza los procesos asociados a: inventarios y procesamiento de la información según lo establecido en las normas y procedimientos para el diagnóstico de máquinas eléctricas rotatorias, aprobadas por la Unión de la Electricidad de la República de Cuba. El mismo está concebido en una implementación cliente-servidor, lo cual posibilita, entre otros aspectos, la existencia de una base de datos a la cual fluye la información procedente de diferentes ensayos viabilizando así la emisión de diagnósticos de estado; por otra parte, SAND ML permite al usuario estimar los períodos de muestreo más aconsejables para la repetición de ensayos o ejecución de mantenimientos.

Palabras clave: Diagnóstico, máquinas eléctricas rotatorias, ensayos a MERGP, software de aplicación, procesamiento de información

SAND ML is an application software which automates the process related to: Inventories and information processing according to Cuban Standards and Procedures of Electric Rotating Machines Diagnostic. This software has been conceived in a client-server conception. This offers us an updated data base. In the other hand, SAND ML gives technical diagnostic and working service prognosis. All those allows to managers make a proper decision about maintenance.

Key words: Diagnostic, electric rotating machines, electrical test to big electric rotating machines, application software, data processing

INTRODUCCIÓN

La confiabilidad de los procesos en las centrales termoeléctricas (CTE) está vinculada, en gran medida, al estado de los motores de inducción de gran potencia (MIGP) que accionan los equipos auxiliares.

Como es sabido, para la determinación del estado de los MIGP pueden ser empleadas técnicas de diagnóstico *off-line*, *on-line* o en tiempo real; sin embargo, para el caso en estudio, cupa, el empleo de técnicas en tiempo real no son económicamente justificables.

Para la determinación del estado de los MIGP, a partir de técnicas *off-line* u *on-line*, existen, en el ámbito internacional, diferentes normas y metodologías,¹⁻¹⁵ cuyos alcance y base de conocimientos han sido reunidos en un grupo de normas y procedimientos¹⁶⁻²⁹ desarrollados en el CIPEL, para el diagnóstico de las máquinas eléctricas rotatorias de las CTE adscritas a la Unión de la Electricidad (UNE) de la República de Cuba. Sin embargo, los procesos manuales referentes al control de la información vinculada tanto a las reparaciones como a los mantenimientos y ensayos ha sido, por lo general, dispersa y de difícil acceso; a la vez que la evaluación de los ensayos ha sido

puntual, es decir, sin tener en cuenta resultados previos que posibiliten el estudio de comportamientos, tendencias y detección de anomalías de lento desarrollo.

Por otra parte, atendiendo a que los MIGP, por disímiles razones, pueden ser trasladados de una CTE a otra, frecuentemente la historia de dichos motores no viajaba junto a ellos, lo que imposibilitaba una correcta evaluación de los mismos en la CTE de destino.

De ahí que para resolver, entre otros, los aspectos planteados anteriormente, se desarrolla SAND ML, que constituye la tercera versión de una sucesión de software,^{30, 31} destinados a la evaluación de ensayos y análisis de las características técnicas de los MIGP.

ESTRUCTURA OPERATIVA DE SAND ML

Debido a que tanto la política de generación como las inversiones y mantenimientos capitales de los bloques de generación de cada CTE son conciliados centralizadamente por la UNE, es de gran utilidad para dicha organización conocer el estado de los MIGP que accionan los equipos auxiliares, para lo cual hizo falta disponer de un sistema que acopiara la información actualizada referente a:

- Disponibilidad de los MIGP.
- Afectaciones a los planes de mantenimiento.

Por otra parte, y teniendo en cuenta que en las CTE se vinculan con los MIGP tanto el Departamento Eléctrico como los departamentos de Explotación y Mantenimiento; en la concepción de SAND ML era vital que se garantizara el acceso a la información técnica de los departamentos antes referidos, así como al grupo de diagnóstico, que funge como responsable de informar a las instancias correspondientes de la CTE, sobre las anomalías detectadas por SAND ML en los MIGP referentes a cambios en los períodos de muestreo o necesidades de mantenimiento.

En la figura 1 se muestra la estructura operativa del SAND ML.

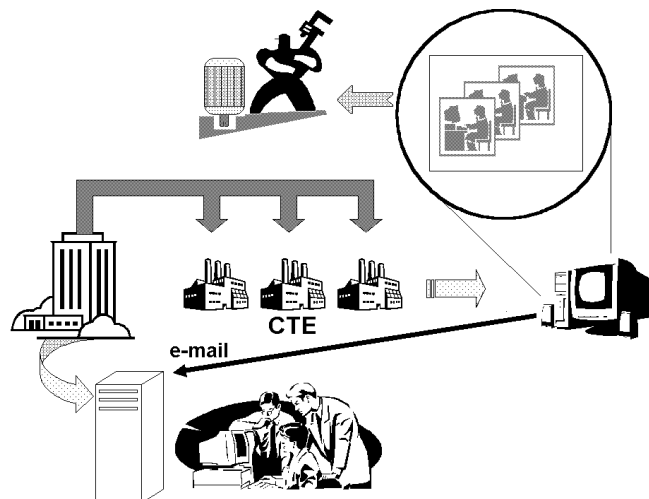
ESTRUCTURA FUNCIONAL DE SAND ML

SAND ML ha sido concebido para automatizar un grupo de actividades relacionadas con el diagnóstico de estado y el pronóstico de funcionamiento de los MIGP, para lo cual es importante conocer los datos técnicos de los motores, los resultados de los ensayos y las características de la instrumentación empleada en estos. Con dicha información es posible generar reportes referentes a:

- Características técnicas de los MIGP.

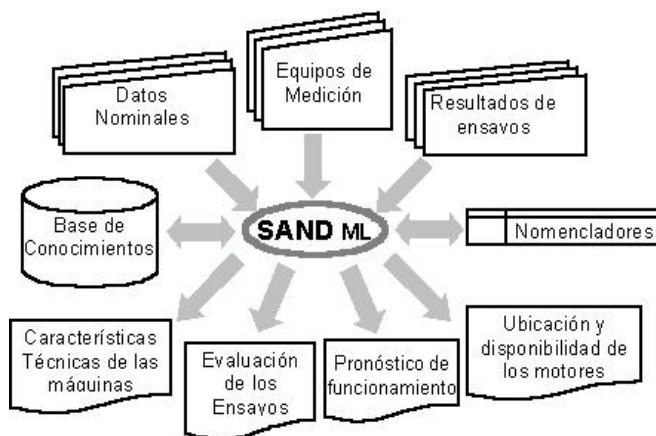
- Ubicación y disponibilidad de los MIGP.
- Diagnóstico de estado, a partir de la evaluación de los ensayos.
- Pronóstico de funcionamiento, según el comportamiento histórico del MIGP.

En la figura 2 se muestra el diagrama funcional de SAND ML.



Estructura operativa de SAND ML.

1



Estructura funcional de SAND ML.

2

Módulo datos nominales

Este es un módulo de entrada de 127 datos, los cuales permiten caracterizar técnicamente al motor, ver Módulo características técnicas de los MIGP.

Equipos de medición

Este módulo está destinado a la creación de una base de datos de la instrumentación existente en cada CTE y que es utilizable en los ensayos establecidos en las referencias.¹⁶⁻²⁹ Entre los datos almacenados se encuentran:

- Clase o error

- Fecha de verificación
- Escala

Módulo Resultados de ensayos

Este módulo está destinado a la entrada de los resultados de los ensayos establecidos en las referencias,¹⁶⁻²⁹ los cuales en el momento de su captura se vinculan a un MIGP en específico y a la instrumentación empleada. Los ensayos capturados por SAND ML son:

- Resistencia del devanado del estator.^{16,23}
- Resistencia de aislamiento.^{17,24}
- Coeficiente térmico de la resistividad (α).^{17,24}
- Pérdidas dieléctricas.¹⁸⁻²⁵
- Rigidez dieléctrica con CA.¹⁹⁻²⁶
- Rigidez dieléctrica con CD.^{20,27}
- Estado del núcleo.^{21,28}
- Ensayo de vacío.^{22,29}

Módulo Base de conocimientos

Consiste en una base de datos (BD) en la cual se encuentran los criterios de estado asociados a cada uno de los ensayos procesados por SAND ML 1. Esta BD, sustentada en los criterios establecidos en las referencias,¹⁶⁻²⁹ es el fundamento del software para la emisión de diagnósticos de estado y modificación de los períodos de muestreo adoptados inicialmente.³²

Módulo Nomencladores

Cumple la función típica para lo cual han sido concebidos en las BD. Los nomencladores de SAND ML, están constituidos por 46 tablas y más de 2 500 artículos.

Módulo Características técnicas de los MIGP

A partir de los datos nominales introducidos, y haciendo ingeniería inversa, SAND ML determina entre otros los siguientes parámetros:

- Coeficiente económico de masa.
- Coeficiente de carter ($k\delta$).
- Constante de Arnold.
- Campo eléctrico medio (E_{MED}).
- Campo eléctrico producido por las aristas de los conductores elementales (E_{MAX}).
- Índice de aprovechamiento de la máquina (kJ/m^3).
- Esfuerzo electrodinámico, entre los lados de bobina en las ranuras, en régimen nominal.
- Inducción magnética y la densidad de flujo en el entrehierro.
- Entrehierro equivalente.

Módulo Ubicación y disponibilidad de los motores

Este módulo, es el que administra los traslados de los MIGP a la vez que controla el estado actual de

cada uno de ellos, es decir, si se encuentran en explotación, reserva, mantenimiento, etcétera.

Módulo Evaluación de los ensayos

Partiendo de los resultados de los ensayos, y teniendo en cuenta las características de los MIGP, así como lo establecido en la Base de Conocimientos y la historia del motor, en este módulo se evalúan los resultados de ensayos individuales emitiéndose los diagnósticos de estado y las recomendaciones correspondientes.

Módulo Pronóstico de funcionamiento

La edición de los datos procesados por este módulo es básicamente gráfica, donde aparecen trazados: los límites admisibles, los resultados de las mediciones así como los límites de confianza de las mediciones realizadas para el 95 %.

Adicionalmente, se emiten mensajes referentes al comportamiento del MIGP, recomendando cuándo deberán repetirse los ensayos de diagnóstico o si debe efectuarse un mantenimiento por condición.

ELABORACIÓN DEL PRONÓSTICO DE FUNCIONAMIENTO

Los pronósticos de funcionamiento son estimados por SAND ML, para cada tipo de ensayo,¹⁵⁻²⁹ a partir del comportamiento y el análisis estadístico de al menos tres mediciones en sendos períodos de tiempo; los resultados obtenidos son comparados con los límites admisibles y, mediante el empleo de la estimación por intervalos se determina el tiempo esperado hasta la condición de fallo, y si este es inferior al período de muestreo establecido para el ensayo en cuestión, entonces SAND ML sugiere la adopción de alguna de las siguientes recomendaciones:

- El intervalo máximo de horas de operación confiables en el cual deben repetirse los ensayos correspondientes.
- El intervalo máximo de horas de operación confiable antes de cual debe efectuarse un mantenimiento.
- No poner la máquina en servicio hasta tanto no hayan sido resueltos los problemas causantes del defecto correspondiente.

En caso contrario SAND ML sugiere la repetición del ensayo en cuestión de acuerdo con lo establecido en la referencia 32.

Estimación por intervalos

SAND ML efectúa la estimación por intervalos de confianza³³ a partir del ajuste a una recta de todos los resultados obtenidos de un ensayo específico.

Adicionalmente, esta se realiza de dos formas:

- a) Teniendo en cuenta todas las mediciones realizadas.
- b) Teniendo en cuenta solo los tres últimos ensayos realizados.

a) Estimación por intervalos a toda la muestra.

Esta variante es la empleada para obtener el entorno del comportamiento de los ensayos realizados, lo cual permite atenuar los efectos de mediciones atípicas. Dicha variante es la empleada para la estimación por de intervalos de operación confiables.

- b) Estimación por intervalos a los últimos ensayos. Esta evaluación se efectúa a los tres últimos resultados obtenidos para calcular una pendiente (m_0) que caracteriza una velocidad de envejecimiento asociada a los puntos analizados. Ello permite que al ser realizado un próximo ensayo y sea determinada una nueva pendiente (m_1) puede compararse con la anterior y determinar si ha variado la velocidad de deterioro del MIGP evaluado.

CONCLUSIONES

SAND ML ha pasado satisfactoriamente las pruebas realizadas a pequeña escala. En estos momentos se espera por el desarrollo de las pruebas de campo.

REFERENCIAS

1. Kelen, A.: "Critical Examination of the Dissipation Factor Tip-Up as a Measure of Partial Discharge Intensity", *IEEE Transaction on Electrical Insulation*, Vol. EI-13, No. 1, pp.14-24, Feb.,1978.
2. "Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery", ANSI/IEEE Std. 43-1974.
3. Balcombe and Statt (CEGB), 1973.
4. BEAMA REM 500, 1969.
5. CENELEC 1974.
6. ESI Standard 44-5, 1987.
7. ESI Standard 44-7, 1978.
8. "Method for Determining Losses and Efficiency of Rotating Electric Machinery from Tests (Excluding Machines for Traction Vehicles)", IEC Publication 34-2.
9. "Máquinas eléctricas rotativas. Parte II: Definiciones y prescripciones generales relativas a los ensayos", IEC 60-1: 1989.
10. "IEEE Guide for Insulation Maintenance of Large Alternating-current Machinery" (10 000 kVA and Larger), Appendix: Test of Laminar Insulation In Stator Cores, IEEE Std. 56-1977.

11. "Recommended Practice for Insulation Testing of Large AC Rotating Machinery with Direct Voltage", IEEE Std, 95-1976.
12. "Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip - Up of Rotating Machinery Stator Coil Insulation", IEEE Std, 286-1975.
14. "Guía para el procedimiento de ensayo para la medición de la tangente del ángulo de pérdidas de las bobinas y barras para devanados de máquinas", UNE 20894:96 IN.
15. "Niveles de tensión soportada con impulso de las máquinas rotativas de corriente alterna con bobinas de estator preformadas", UNE-EN 60034-15.
16. "Ensayo de resistencia del devanado del estator de las máquinas eléctricas rotatorias de gran potencia" (procedimiento), GMPR 6101 UNE, 2002.
17. "Evaluación del estado del aislamiento de gran potencia con el empleo del megóhmetro" (procedimiento), GMPR 6102, UNE; 2002.
18. "Pérdidas dieléctricas del aislamiento principal de las máquinas eléctricas rotatorias de gran potencia" (procedimiento), GMPR 6103 UNE, 2002.
19. "Ensayo de rigidez dieléctrica con corriente alterna al devanado del estator de las MERGP" (procedimiento), GMPR 6104 UNE, 2002.
20. "Ensayo de rigidez dieléctrica con corriente directa al devanado del estator de las máquinas eléctricas rotatorias de gran potencia" (procedimiento), GMPR 6105 UNE, 2002.
21. "Evaluación del estado técnico del núcleo del estator de las máquinas eléctricas rotatorias de gran potencia" (procedimiento), GMPR 6106 UNE, 2002.
22. "Ensayo de vacío de los motores de inducción trifásicos de gran potencia" (procedimiento), GMPR 6109 UNE, 2002.
23. "Ensayo de resistencia del devanado del estator de las máquinas eléctricas rotatorias de gran potencia" (norma), INA 1.03,12 UNE 2002.
24. "Evaluación del estado del aislamiento de las máquinas eléctricas rotatorias de gran potencia con el empleo del megóhmetro" (norma), INA 1.03.13, UNE 2002.
25. "Ensayo de pérdidas dieléctricas al devanado del estator de las máquinas eléctricas rotatorias de gran potencia" (norma), INA 1.03, 14 UNE 2002.
26. "Ensayo de rigidez dieléctrica con CA al devanado del estator de las máquinas eléctricas rotatorias de gran potencia" (norma), INA 1.03,15 UNE 2002.
27. "Ensayo de rigidez dieléctrica con CD al devanado del estator de las máquinas eléctricas rotatorias de gran potencia" (norma), INA 1.03.16 UNE 2002.

28. "Ensayo del núcleo del estator de las máquinas eléctricas rotatorias de gran potencia" (norma), INA 1.03,17 UNE, 2002.
29. "Ensayo de vacío de los motores de inducción trifásicos de gran potencia" (norma), INA 1.03,20 UNE, 2002.
30. **Dorrbercker Drake, S.A. y N. Daniel Urquiaga:** "Sistema analítico para el control de alternadores DIALT", Informe de Resultado Científico - Técnico, CIPEL, Ciudad de La Habana, Octubre, 1991.
31. ———.: "SAND Versión 2.0"; Informe de Resultado Científico-Técnico, CIPEL, Ciudad de La Habana, Noviembre, 1997.
32. **Schuller, R.H.:** "Report on Diagnosis and Monitoring for Evaluating the Condition of Windings of Rotating Electrical Machines" *ELECTRA*, No.112, pp. 9-16, May, 1987.
33. **Dixon, W.J. and F. J. Massey:** "Introducción al análisis estadístico", 2da ed., Edición Revolucionaria, pp. 77-79, Instituto Cubano del Libro, La Habana 1974.
34. **Shelest, A. E.:** *Microcalculadores en física*, Nauka, Moscú, 1988 (en ruso).

AUTORES

Santiago A. Dorrbercker Drake

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Investigador Auxiliar, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas, (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba
e-mail:dorr@cipel.cujae.edu.cu

Jorge Mark Ley

Ingeniero Electricista, Cubana de Aviación SA, Ciudad de La Habana, Cuba
e-mail:Jorge.Mark@cubana.avianet.cu

Jeidy Choong Flores

Ingeniera Electricista, Profesora Adiestrada, CIPEL, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba
e-mail:jeidy@cipel.cujae.edu.cu

Orlando B. Soler Acosta

Ingeniero Electricista, Profesor Adiestrado, CIPEL, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba
e-mail:orlandob@cipel.cujae.edu.cu

C I E N C I A Y T É C N I C A



**PONEMOS
EN SUS
MANOS
REVISTAS
CIENTÍFICAS**

 **Instituto Superior Politécnico
José Antonio Echeverría
cujae**