



Sistema automatizado para la predicción del comportamiento ante rayos de las líneas eléctricas

Olga Susana Suárez Hernández

Recibido: Septiembre del 2003

Aprobado: Noviembre del 2003

Resumen / Abstract

Se presenta un sistema automatizado nacional multipropósito que digitaliza un nuevo método simplificado para realizar estudios de predicción de comportamiento ante descargas eléctricas atmosféricas de líneas aéreas eléctricas de cualquier nivel de tensión que, trabaja eficientemente, en un ambiente amigable e interactivo con requerimientos mínimos de hardware (computadora personal a 100 MHz y 16 MBRAM). Con el uso del sistema se reporta también la validación del método.

Palabras clave: Comportamiento ante rayos, programa de cómputo, validación

This paper presents a national software that permit the use of a new simplified method to evaluate lightning performance of overhead electrical lines at all voltage level. It works efficiently, in friendship and interactive surround with minimal hardware requirements (personal computers a 100 MHz y 16 MBRAM). This software is used for validation of simplified method.

Key words: Lightning performance, software, validation

INTRODUCCIÓN

Los cálculos de estimación del comportamiento ante descargas atmosféricas de las líneas eléctricas son complejos aún cuando la base fundamental sea un método donde el enfoque y los modelos se ajusten a las formas más simplificadas que permitan representar de manera adecuada los aspectos que se involucran en el problema.¹⁻³

En la ingeniería eléctrica actual, en los estudios de los sistemas de energía incluyendo la predicción de su comportamiento ante rayos, desempeña un papel muy importante la computación como herramienta indispensable para obtener resultados rápidos y confiables.

Es bien conocido en este campo el software EMTP (Electromagnetic Transient Program) con su versión de comercialización libre (ATP). Poderoso en el tratamiento de estudios de transitorios de cualquier tipo en los sistemas eléctricos y reconocido por su alcance y la confianza de sus resultados, presenta el inconveniente de un ambiente poco amigable que limita su utilización para fines prácticos de diseños de ingeniería.

En el presente artículo se reseñan las principales características del Sistema Automatizado Rayos L.E. Dicho sistema digitaliza un método simplificado general,¹ para realizar estudios de comportamiento ante rayos de líneas con torres de cualquier material y

configuración, protegidas y no protegidas de cualquier nivel de tensión. Mediante su utilización se realiza además la validación del método.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA AUTOMATIZADO RAYOS L.E. VERSIÓN 1.0

El Sistema Automatizado Rayos L.E. permite predecir el comportamiento de líneas aéreas de energía eléctrica ante los impactos directos e indirectos de las descargas atmosféricas. Su principal objetivo es seleccionar el método de protección más adecuado, técnica y económicamente. Está diseñado y programado para plataforma de 32 bits (Windows 95, 98, 200 y Windows NT, entre otros), en lenguaje Borland Delphi V. Sus principales posibilidades se exponen en una demostración comercial confeccionada con modernas técnicas de multimedia. El sistema está estructurado en ventanas. Posterior a la presentación comercial aparece su ventana principal. Esta permite el acceso a cuatro módulos de cálculos y al de la ayuda principal del programa, y brinda la posibilidad de seleccionar entre los idiomas español e inglés. La elección habilita todo el sistema en el idioma seleccionado.

Los cinco módulos son:

1. Ángulo, el cual permite:

- Calcular el ángulo de protección del cable protector para cualquier configuración de torre en condiciones sin viento y en cualquiera de las tres regiones de viento en que se divide el país. El usuario tiene la opción de entrar otro valor de presión de viento.

- Verificar la validez del valor normalizado del ángulo de protección para cualquier configuración y altura de estructura.

- Calcular el ángulo de protección efectivo para corriente crítica, 5 kA o 10 kA de magnitud de corriente de la descarga principal.

- Calcular el ángulo de protección efectiva para una determinada probabilidad de falla en función del nivel cerámico.

- Puede ser utilizado en líneas eléctricas con cable protector de cualquier nivel de tensión que se encuentre en explotación o con propósitos de diseño.

2. Líneas protegidas con cable protector, que permiten:

- Estimar el índice de salidas por rayos por 100 km de línea al año obteniendo, por separado, el número de salidas por impacto directo en los conductores de fase y por descargas inversas. Ofrece dos posibilidades:

- Versión del método para regiones sin protección natural.

- Versión del método utilizando las técnicas de Montecarlo para tener en cuenta la presencia de objetos altos ubicados en la ruta de la línea.

- Estudiar la influencia en el índice de salidas por rayos, del valor del ángulo de protección, el nivel básico de aislamiento a impulso, el empleo de aislamiento diferencial, el valor de la resistencia de puesta a tierra y el nivel cerámico.

- Evaluar la ocurrencia de descargas superficiales totales múltiples en el aislamiento en líneas doble circuito.

- Estimar el índice de salidas por rayos por 100 km de línea al año por impacto indirecto en líneas de tensiones intermedias.

Puede ser utilizado para el suceso de impacto directo, en líneas protegidas con cable protector de cualquier configuración, tipo de estructura y nivel de tensión, en explotación o con propósitos de diseño. Para el suceso de un impacto indirecto permite obtener la contribución de las sobretensiones inducidas en el índice total de salidas, en líneas de hasta 66 kV con este modo de protección.

3. Líneas no protegidas

Tienen las mismas posibilidades y alcance que el módulo de líneas protegidas, en este caso, para líneas existentes o con propósitos de diseño de cualquier configuración, tipo de estructura y nivel de tensión sin protección.

4. Líneas protegidas con pararrayos, que permite:

- Estimar el índice total de salidas por rayos por 100 km de línea al año cuando estas se protegen con pararrayos convencionales o con pararrayos de óxidos metálicos.

- Estudiar la influencia en el índice total de salidas por rayos, de la colocación de pararrayos en una, dos o todas las fases, en grupos o espaciados teniendo en cuenta el valor de la resistencia de puesta a tierra. Puede ser utilizado en líneas de tensiones intermedias de cualquier configuración y tipo de estructura que no utilicen otro medio de protección.

5. Ayuda principal, esta brinda:

Una explicación general de la estructura del sistema, los propósitos de cada módulo y una breve reseña de las particularidades del método en cada caso. Los cuatro módulos de cálculo convergen en los aspectos comunes de cálculo.

POSIBILIDADES ADICIONALES

Con fines relacionados a la investigación científica el sistema en general permite, entre otros:

- Estimar la magnitud más frecuente de la corriente

del rayo que golpea una línea eléctrica en condiciones y tiempos dados.

- Evaluar la sensibilidad, en el índice total de salidas por rayos, de las diferentes ecuaciones propuestas para la distancia de impacto.
- Evaluar la sensibilidad, en el índice total de salidas por rayos, de la longitud del tramo entre estructuras.
- Evaluar los rangos del diámetro y la impedancia de onda de los conductores y cables protectores en condiciones de corona de impulso en función del nivel de tensión.
- Evaluar la impedancia a impulso de las torres de las líneas eléctricas.
- Evaluar los rangos de amplitudes mínimas de corriente del rayo necesarias para causar descarga superficial total del aislamiento con impacto en los conductores de fase, en función del nivel de tensión.
- Evaluar los rangos de amplitudes mínimas de corriente del rayo necesarias para causar descarga inversa, en función del nivel de tensión y la resistencia de puesta a tierra.

AMBIENTE DE TRABAJO

La elección de uno de los módulos conduce a una ventana en forma de menú principal diseñada con componentes de acceso rápido como menú y barras de herramientas que se habilita en función del módulo seleccionado.

Esta ventana permite además, visualizar y exportar las bases de datos asociadas a cada módulo, visualizar el banco de torres en función del nivel de tensión y la condición de protección, configurar la fecha y la hora y acceder a su ayuda contextual. La elección en esta ventana de una de las variantes del método conduce a la ventana de datos principales que es común para cada módulo. La acción ejecutar de esta ventana conduce a la ventana de datos específicos de cada módulo o a mostrar los resultados en el caso del módulo ángulo.

BASES DE DATO

La información necesaria para la utilización del Sistema Automatizado Rayos L.E. está fundamentada en el almacenamiento de funciones, en la técnica de gestión de datos con base de estos en tablas de formato Paradox 7.0 y en la posibilidad de entrada de datos auxiliares mediante interacción visual con el usuario. Utiliza la novedosa técnica de Programación Multihilo en la carga de las bases de datos.

El sistema consta de 5 bases de datos:

- Estructuras de líneas protegidas: Contiene información de las estructuras tangentes con cable

protector más utilizadas en el SEN. Los principales datos almacenados son tipo de material, coordenadas de conductores y cables protectores, tramo por viento y tipo de circuito en que se utilizan.

- Estructuras de líneas no protegidas: Contiene información de las estructuras tangentes sin cable protector más utilizadas en el SEN y otras de uso frecuente en algunos países. Los principales datos almacenados son: tipo de material, coordenadas de conductores, tramo por viento y tipo de circuito en que se utilizan.

- Aisladores: Contiene la información de los principales tipos de aisladores de pedestal y disco utilizados en el SEN y algunos tipos de aisladores poliméricos. Los principales datos en la base son: longitud de fuga, altura, diámetro, coeficiente de forma, área, masa, NBAI y tensión crítica de ruptura a impulso.

- Conductores: Contiene la información de 56 tipos de conductores. Los principales datos en la base son: marca comercial, diámetro exterior, sección, peso, radio medio geométrico y resistencia en ohm por kilómetro (Ω / km).

- Pararrayos: Contiene la información de pararrayos convencionales y de pararrayos de óxidos metálicos de tensión nominal hasta 33 kV y 36 kV, respectivamente. Los principales datos en la base son para los pararrayos convencionales: tensión nominal, tensiones máximas de ruptura ante frente de onda y onda completa, tensión residual, capacidad de energía, distancia de fuga y distancia de arco. Para los pararrayos de óxidos metálicos: tensión nominal, máxima tensión de operación continua, tensión máxima de ruptura ante frente de onda, tensión residual, factor de sobretensiones temporales, capacidad de energía, distancia de fuga y distancia de arco.

De ser necesario el sistema permite la entrada de cualquier otro tipo de estructura, aislador, conductor o pararrayos según las ventanas auxiliares de entradas de datos. En el caso de las torres, el algoritmo de cálculo está diseñado para reconocer y operar correctamente con otros tipos de configuración que se desee utilizar.

SALIDA DEL SISTEMA

La salida del sistema está implementada simulando Reportes de resultados que pueden ser exportados hacia otras localizaciones de la propia máquina o de una red incluyendo el acceso a mensajería electrónica, y por impresión.

CRITERIOS DE VALIDACIÓN

La validación se efectúa comparando el índice de salidas real de la línea con el índice que se predice

mediante el método simplificado que representa el sistema automatizado. En todos los casos el índice de salidas está expresado por 100 km de línea al año.

LÍNEAS DE TRANSMISIÓN PROTEGIDAS CON CABLE PROTECTOR

Con el propósito de comparación se adicionan los resultados de predicción, en las mismas líneas, del método simplificado IEEE.² (Ver tablas 1-4.)

LÍNEAS DE SUBTRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN PROTEGIDAS CON CABLE PROTECTOR

La validación se realiza teniendo en cuenta los sucesos de impactos directo (NS directo) e

indirecto (NS indirecto), que pueden observarse en las tablas 5 y 6.

LÍNEAS DE TRANSMISIÓN NO PROTEGIDAS

Como fuente de comparación se utilizan los métodos de Mousa y Darveniza.³ (Ver tabla 7.)

LÍNEAS DE SUBTRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN NO PROTEGIDAS

En las tablas de la 8 a la 10 se muestran los resultados de validación del método para líneas de tensiones intermedias teniendo en cuenta la contribución de las salidas por las sobretensiones inducidas.

Tabla 1					
Validación líneas 500 kV					
Línea	NSR	Método IEEE		Método Simplificado	
		NSP	%Real	NSP	%Real
Johnsonville-Córdova	0,30	0,40	133	0,386	128,66

Tabla 2					
Validación líneas 345 kV					
Línea	NSR	Método Simplificado		Método IEEE	
		NSP	%Real	NSP	%Real
CIGRE # 31	3,44	2,48	72,09	2,85	82,84

Tabla 3					
Validación líneas 220 kV					
Línea	NSR	Método IEEE		Método Simplificado	
		NSP	%Real	NSP	%Real
CIGRE # 30	0,24	0,14	58,83	0,18	75,00

Tabla 4					
Validación líneas 110 kV					
Línea	NSR	Método IEEE		Método Simplificado	
		NSP	%Real	NSP	%Real
South - Jackson-Córdova	0,55	0,48	87,27	0,478	86,90

Tabla 5					
Validación líneas 34,5 kV					
Línea	NSR	Método Simplificado NS Directo	Método Simplificado NS Indirecto	Método Simplificado NSP	%Real
Yeca I	7,6	4,42	2,11	7,53	87, 56

Tabla 6					
Validación líneas 13,8kV					
Línea	NSR	Método Simplificado NS Directo	Método Simplificado NS Indirecto	Método Simplificado NSP	%Real
Línea ohs	10,4	3,78	7,22	11,0	105,77

Tabla 7					
Validación en líneas no protegidas					
Línea	NSR	Metodos NSP % Real		Metodo Simplificado NSP %Real	
765 kV Acero	5,0	4,58	91,6	4,63	92,60
500 kV Acero	6,4	6,3	98,43	6,36	99,38
230 kV Acero	6,0	5,3	88,33	5,72	95,53
230 kV Madera	4,6	3,8	82,60	4,1	89,13
110 kV Acero	8,55	7,95	92,98	7,96	93,09
110 kV Madera	5,27	5,33	101,4	5.32	100,94

Tabla 8					
Validación líneas 66 kV					
Línea	NSP	Método NSP %Real		Método Simplificado NSP %Real	
Capreb.	8,17	7,3	89,35	7,33	89,72

LÍNEAS DE DISTRIBUCION PROTEGIDAS CON PARARRAYOS

Al no contar con estadística de líneas protegidas con pararrayos la validación de este algoritmo se realiza por comparación de los resultados analíticos obtenidos mediante el programa EMTP (tabla 11).

En todos los casos los pararrayos están colocados en las tres fases.

CONCLUSIONES

Después de realizada la investigación se puede llegar a las siguientes conclusiones:

1. Se desarrolla el Sistema Automatizado de Cálculo Rayos L.E. con las técnicas más modernas de programación en ambiente Windows que digitaliza un nuevo método simplificado para la predicción del comportamiento ante rayos de las líneas eléctricas y permite realizar estudios en un

Tabla 9					
Validación líneas 34,5 kV					
Línea	NSP	Método Simplificado Directo	Método Simplificado Indirecto	Método Simplificado NSP	%Real
SEAQ 33	9,8	8,62	1,0	9,62	98,16

Tabla 10					
Validación líneas 13,8 kV					
Línea	NSP	Método Simplificado NS Directo	Método Simplificado NS Indirecto	Método Simplificado NSP	%Real
Acapulco	30,5	9,0	24,8	33,8	110,81

Tabla 11			
Validación del Método (13,8 kV)			
	Método NSP	Met. Simplificado NSP	% Metodo
Pararrayos convencionales			
Triangular	12,0	11,97	99,75
Horizontal	12,6	12,7	100,79
Vertical	9,8	9,73	99,29
Pararrayos de óxidos metálicos			
Triangular	11,66	11,68	100,17
Horizontal	12,55	12,33	98,24
Vertical	9,6	9,55	99,48

medio amigable e interactivo y obtener soluciones rápidas.

2. El sistema estudiado representa a su vez otros aportes como son aumentar el grado del conocimiento científico sobre el problema de la respuesta de las líneas eléctricas al fenómeno del rayo a partir de estudios de sensibilidad, posibilitar la realización de análisis que son imposibles por métodos manuales, aumentar la confiabilidad de la protección a partir del estudio de un número mayor de alternativas y un ahorro en la adquisición de software particulares de cada tipo de línea que además pueden no ajustarse totalmente a las condiciones de operación cubanas.

REFERENCIAS

1. Suárez, S.: "Método para la estimación del comportamiento ante rayos de líneas aéreas

eléctricas", Tesis Doctoral, Ciudad de La Habana, Cuba, 2001.

2. Anderson, J. G: *Lightning Performance of Transmission Line. Ch 12, of Second Edition of Transmission Line Reference Book 345 kV and Above*, EPRI, Palo Alto, California, 1982.

3. Mousa, A. M. and K. D. Srivasta: "The Lightning Performance of Unshielded Steel-Structure Transmission Lines", *IEEE, Trans. PWRD*, Vol. 4, No. 2, 1989.

AUTORA

Olga Susana Suárez Hernández

Ingeniera Electricista, Doctora en Ciencias Técnicas, Investigadora, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba

e-mail: susana@cipel.cujae.edu.cu

LATINO

50

Usted puede contactarnos en:

FÁBRICA DE TRANSFORMADORES LATINO

Ave. Independencia km 6 ½
Capdevila, Boyeros.
Ciudad de La Habana.
CUBA

Teléfono: 45-1067
Email: homero@obech.cu

10

25

Si de Transformadores se trata Latino es su Destino.