



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**"EL EMTP APLICADO A LA SOLUCIÓN DE
PROBLEMAS TRANSITORIOS DE SISTEMAS
ELECTRICOS DE POTENCIA"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N :
ANGEL ARTURO ORTEGA GONZALEZ
EDUARDO OCHOA NUÑEZ
ALEJANDRO GERARDO BLAKE SOLIS

DIRECTOR DE TESIS: ING. ARTURO MORALES COLLANTES



MEXICO, D. F.,

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

| | PAG. |
|---------------------------------------------------------------------------|------|
| CONSIDERACIONES GENERALES..... | 2 |
| INTRODUCCION..... | 10 |
| CAPITULO I. | |
| CARGA DE UN CASO SENCILLO..... | 17 |
| CAPITULO II. CASO 1: | |
| CIRCUITOS CON SIMPLE Y DOBLE FRECUENCIA.... | 26 |
| CAPITULO III. CASO 2: | |
| VOLTAJE TRANSITORIO DE RECUPERACION..... | 47 |
| CAPITULO IV. CASO 3: | |
| CALCULO DE CONSTANTES DE LINEA..... | 62 |
| CAPITULO V. CASO 4: | |
| ESTUDIOS DE DESCARGAS ATMOSFERICAS..... | 81 |
| CAPITULO VI. CASO 5: | |
| OPERACION DE INTERRUPTORES CON CARGA CAPACITIVA..... | 102 |
| CAPITULO VII. CASO 6: | |
| RESONANCIA EN LINEAS PARALELAS EN CIRCUITOS DE EXTRA ALTA TENSION..... | 126 |
| CAPITULO VIII. CASO 7: | |
| RECIERRE DE LINEAS DE TRANSMISION..... | 145 |
| CAPITULO IX. CASO 8: | |
| APARTARFAYOS..... | 185 |
| CAPITULO X. CASO 9: | |
| FERRORESONANCIA EN TRANSFORMADOR POTENCIAL..... | 197 |
| CONCLUSIONES | 215 |
| BIBLIOGRAFIA | 217 |

CONSIDERACIONES GENERALES

El Electromagnetic Transients Program (EMTP) es un programa para computadora usado para simular sistemas transitorios electromagnéticos, electromecánicos, de control en sistemas eléctricos de potencia polifásicos. Este fue el primer desarrollo, entre muchos otros programas. Otras capacidades fueron adicionadas al EMTP después de un período de quince años y el programa ha sido ampliamente utilizado en la industria.

El EMTP fue desarrollado a finales de los sesentas por el Dr. Herman Dommel, quien llevó el programa Bonneville Power Administration (BPA). En aquel tiempo el EMTP fue expandido y distribuido bajo la dirección de BPA. Algunos modelos fueron creados por BPA, otros fueron desarrollados y utilizados por empresas y universidades. Un ejemplo fue el primer modelo desarrollado de una maquina síncrona en Southern Edison, California, para uso en estudios de SSF. Otro es el modelo destacado del apartarrayos de carburo de silicio desarrollado en Ohio Brass y AEP.

Estudios involucrados con el uso del EMTP, tienen objetivos que caen en dos categorías generales. Uno es el diseño el cual incluye coordinación de aislamientos, equipo de medición, especificación de dispositivos de protección, diseño de sistemas de control, etc. El otro resuelve problemas tales como fallas en los equipos, etc.

Una lista parcial de estudios típicos del EMTP es la siguiente:

- Switches de sobretensiones.
- Determinísticos
- Probabilísticos
- Simple polo de switcher
- Alta velocidad de cierre
- Switcher de capacitores

-Voltaje transitorio de recuperación

Sobrevoltaje producido por descargas atmosféricas.

-Relampago

-Voltajes inducidos

-Estación recibiendo un sobrevoltaje

Coordinación de aislamiento.

-Líneas aéreas

-Estaciones a la intemperie

-Subestaciones aisladas con gas

Tensión torsional en la flecha.

-Resonancia subsíncrona

-Switcheo inducido

HVDC.

-Controles

-Transitorios eléctricos

-Armónicas

Compensación estática VAR.

-Controles

-Sobrevoltajes

-Armónicas

Propagación de frecuencia aportada.

-Armónicas

-Ferroresonancia

-Resonancia en líneas paralelas

-Arranque de motores

-Sincronización fuera de fase

Sistemas generales de control.

-Tierras

-Fuentes de energía alterna

-Transposición de conductor de fase

-Protección de serie de capacitores

Esta es solo una lista parcial. Una de las mayores ventajas del EMTP es la flexibilidad en el modelado de los sistemas, así en el uso del programa tenemos una amplia variedad de estudios.

El usuario define un sistema a ser simulado por la construcción de los componentes de los modelos. Los tipos de los componentes con los cuales pueden ser modelados son:

- A. Resonancia, inductancia y capacitancia. Estos elementos pueden ser monofásicos o polifásicos en secciones π consistiendo de matrices simétricas R, L y C. Estas secciones π pueden ser usadas como modelos de línea de transmisión y transformadores.
- B. Modelo de una onda viajera para representar líneas aéreas o cables más exactos que con las secciones π . Algunos tipos diferentes son disponibles, incluyendo transposición de parámetros constantes o no transposición. Nuevamente el número de fases requeridas no será restringido a tres.
- C. Impedancias no lineales.
 - 1. Resistores no lineales para representar apartarrays.
 - 2. Inductores no lineales para representar la saturación de dispositivos con núcleo de hierro.
 - 3. Resistencias de tiempo variable la cual debe ser usada para la simulación del arco dinámico.
- D. Switches ideales los cuales serán utilizados para simular circuitos interruptivos de contacto. Switches controladores de voltaje son dispuestos para simular flashovers. Diodos y transistores están disponibles como tipos especiales de

switches. De los switches de tiempo controlado, algunos pueden ser dependientes sobre otros. El tiempo de apertura y cierre de switches sólo puede ser variado al azar en un caso probabilístico.

- E. Fuentes de corriente y voltaje ideales las cuales incluyen senoidales, D.C. y paso de funciones. sección ideal, exponenciales o uso definido de las fuentes.
- F. Máquinas síncronas trifásicas las cuales incluyen dos ejes, un modelo completo de ecuaciones, masa, resorte y un modelo de amortiguador mecánico. Las alimentaciones son hechas por excitaciones externas y gobernadores dinámicos.
- G. Un modelo generalizado de máquina universal el cual puede representar máquinas síncronas. Aunque no es tan eficiente como el modelo descrito anteriormente. Este es fundamentalmente usado para máquinas de inducción, máquinas de corriente directa o máquinas síncronas las cuales no deben ser trifásicas.
- H. Control de sistemas dinámicos los cuales son entre fases para la red eléctrica principal. Señales eléctricas medidas son registradas por el Transient Analysis of Control Systems (TACS) parte del programa. TACS emula una computadora analoga y calcula el control dinámico, y esto pasa al bloque de control de variables de la red eléctrica principal.

Los principales bloques comunes del EMTP son de dimensiones variables, así el usuario puede ajustar el tamaño del programa en forma normal y pequeña o un largo estudio del sistema.

Las entradas del programa consisten en el cálculo de intervalos de tiempo que pueden ser un largo periodo de simulación y una salida deseada también como el modelo de datos. Las ramas son definidas por resistencias en ohms, inductancia en milihenries y capacitancia en microfarads. El modelo simple de onda viajera puede estar definido por impedancias, resistencias, velocidad de onda y una línea larga para las secuencias positiva y cero. Los elementos no lineales son los especificados usualmente por puntos de corriente y voltaje para resistencias. El modelo para máquinas síncronas usa datos convencionales de estabilidad para la parte eléctrica y parámetros en unidades inglesas para la parte mecánicas. La entrada para el TACS son especificados por la transferencia de información del diagrama del Bloque de control.

La mayor parte de los datos de entrada para el EMTF son de diferente requerimiento y mas extensos que otros programas tal como flujo de carga, corto circuito y estabilidad. Esto se debe a que el programa es polifásico, puede simular elementos no lineales y en general usa mas modelos detallados que otros programas. Estas características son necesarias para una simulación exacta de una alta frecuencia transitoria, lo cual ocurre durante un corto periodo de tiempo. Afortunadamente, existen programas auxiliares que apoyan al EMTF, con lo cual asiste el usuario en la parte superior de los datos de entrada para líneas de transmisión, cables, transformadores, apartarrayos e inductores no lineales.

La primera salida de una simulación transitoria incluye gráficas del bus de voltaje, voltaje de ramas, corriente de ramas, energía disipada en las ramas, variable de máquinas y variables de sistemas de control. La impresión de los máximos valores de las variables y el tiempo con el cual estos ocurren están también disponibles en la salida.

Una solución del fasor en estado estable es ejecutada antes de la simulación transitoria para determinar las condiciones iniciales y esto también puede ser utilizado como una herramienta de estudio. Las ramas de voltaje y de corriente, bus de voltajes, pérdida y flujo de potencia son determinadas para la red entera. La mayor parte de buenos resultados con el uso del EMTF serán archivados siguiendo un procedimiento de un estudio sistemático, especialmente para nuevos usuarios. Un procedimiento sugerido para el estudio es mostrado a continuación.

1. Definir el objetivo de estudio en términos de un problema de ingeniería. Este puede incluir especificaciones de los rangos de los equipos, la explicación de una falla definiendo procedimientos de operación etc.

2. Como un efecto natural de los objetivos de estudio, seleccionar la salida a ser obtenida de la simulación del EMTF.

3. Determinar el rango de frecuencias del fenómeno en estudio y los tipos de eventos del mismo a ser simulado. Esto será de ayuda para determinar el cálculo de un intervalo largo de tiempo de simulación. Si el tiempo de corrida del caso fuera excesiva, considerar juiciosamente el establecimiento de condiciones iniciales o modelos enfocados en el fenómeno de interés y minimizando el uso de recursos de la computadora.

4. Desado en los pasos dos y tres, determina la extensión del sistema con lo cual será modelada una representación exacta del fenómeno en interés. También decide que componentes necesita la mayor parte del modelo y lo que puede ser simplificado.

5. Dibujar un diagrama de conexiones del sistema en estudio y etiquetar los buses.

6. Empezar a reunir los datos de entrada para los componentes de los modelos. Frecuentemente el usuario depende de la mayor parte de datos estimados o típicos. En este caso, identificar la mayor parte de los parámetros del modelo propensos a error, así los efectos de estos podrán ser determinados más adelante.

7. Correr una solución en estado estable basada en un caso para verificar los datos de entrada y las conexiones entre los componentes. Ajustar la fuente de voltaje para obtener las condiciones iniciales propias.

8. Antes de correr los casos transitorios, es frecuentemente útil correr un caso en el cual solo procede un intervalo de tiempo dentro de la simulación transitoria. Este tipo de caso frecuentemente descubre errores no establecidos en la solución de estado estable.

9. Estimar los resultados esperados en la simulación por medio de cálculos hechos a mano, mediciones en el sistema, etc. Comparar los resultados esperados con los resultados con los resultados del EMTF y explicar o resolver sólo las diferencias significativas.

10. Correr los casos necesarios para archivar los objetivos en estudio. También los parámetros de variación normal en los casos; parámetros para modelos críticos que pueden variar por la determinación de la sensibilidad de los resultados para datos inciertos.

En general, el usuario espera resultados válidos del EMTF. Algunos problemas ocurrirán como un resultado del sistema modelado y ejecutado por el usuario del paso tres al seis. Invariablemente, los datos de entrada explican más acerca de los otros problemas.

Desde que el programa es polifásico, largos sistemas en estudio usan extensos recursos de computación. Simulaciones

en las cuales se usan maquinas rotatorias TACS y diversos modelos de tiristores que son frecuentemente costosos como son los casos probabilísticos de switched. Por consiguiente el usuario podra intentar una simulacion que no sobrepase al sistema necesario y no mas del tiempo requerido.

La entrada para el EMTF es usualmente hecha en unidades fisicas antes que en por unidad. Los valores pueden ser escalados para obtener resultados en p.u. pero estos frecuentemente conducen a confusiones en el desarrollo del archivo de datos. Magnitudes senoidales de las fuentes son expresadas en voltajes pico o amperes linea a tierra. Las impedancias en conexi6n delta estar6n multiplicadas por tres para convertir las impedancias normales en p.u. las cuales son sobre la base de linea a tierra para el valor apropiado de la conexi6n f6sica linea a linea. El modelo de la linea de transmisi6n exhibir6 el comportamiento de una onda viajera antes que el comportamiento de las pi-secciones. Sin embargo, los modelos de linea del EMTF tendr6n un comportamiento semejante a la mayoria de los modelos de ingenieria.

INTRODUCCION

Los estudios que se muestran en el resto de este documento fueron propuestos para introducir al usuario en un proceso de aprendizaje. Los casos avanzan del mas simple al mas complicado e introduce al modelado en el EMTF haciendo resaltar en parte, que el uso del programa puede dirigir estudios de ingeniería. La colocación de los parámetros del archivo de entrada son mostrados, así el usuario puede experimentar mas conveniente con los casos. Cada estudio muestra una descripción del fenómeno en interés e ilustra la preparación de los parámetros de entrada y presenta la salida seleccionada. Esta salida es comparada con los resultados esperados.

Esto es sugerido para que el nuevo usuario lea y trabaje completamente con los casos mostrados en un sistema de computación. Los nuevos usuarios deberán estudiar por lo menos el capítulo I. Los casos mostrados se apoyan mutuamente. Sin embargo, si el tiempo es limitado, los casos mostrados dos y tres pueden proveer suficientes antecedentes para que el usuario comprenda otros casos seleccionados de interés inmediato. También la corrida de los casos se da a conocer en este documento. El usuario será fuertemente respaldado por varios de los parámetros de entrada y observa los efectos de estos en los resultados.

El capítulo I describe la estructura general y requerimientos de un archivo de entrada para el EMTF. Los comandos necesarios para correr el EMTF y obtener gráficas en la computadora del usuario no son incluidos en este documento porque estas instrucciones pueden ser variables con cada instalación del EMTF.

Nueve casos detallados basados en problemas prácticos son presentados como parte principal de este documento.

- CASO 1. Introduce circuitos monofásicos con aplicación para simple y doble frecuencia, voltaje transitorio de recuperación en una planta generadora.
- CASO 2. Introduce parámetros de línea de transmisión para simular circuitos interruptivos de voltaje transitorio de recuperación en una subestación.
- CASO 3. Muestra el uso del programa auxiliar de constante de línea (LINE CONSTANTS) para generar modelos de línea de transmisión, usados en varios de los estudios siguientes.
- CASO 4. Anexa a un modelo de línea bifásica unas torres incluyendo las bases para simular la ocurrencia de una descarga atmosférica.
- CASO 5. Muestra interruptores trifásicos con carga capacitiva.
- CASO 6. Usa resonancia en líneas paralelas, cierre compensado, líneas EHV para mostrar el cálculo de capacidades en estado estable del EMTP.
- CASO 7. Muestra el uso de la probabilidad en la simulación de switcheo para el estudio del diseño de las líneas de transmisión eléctricas.
- CASO 8. Introduce modelos de apartarrayos como una continuación de switcheo de líneas estudiado en el caso 7.
- CASO 9. Usa un modelo de un transformador no lineal para simular ferorresonancia.

El nuevo usuario tiene un entrenamiento completo en el EMTP. La aplicación guiada y la operación manual tiene la intención de ser documentos de referencia de estudios de

ingeniería actual. Este es sin embargo sugerido de modo que un procedimiento de un estudio matemático sea seguido. La aplicación quiada puede proveer de información de acerca de los objetivos de la parte de estudio, seleccionando las salidas del EMTF, desarrollando modelos de sistemas, proveiendo de datos genericos cuando sea necesario e interpretando las salidas para varios tipos de estudio. El estudio de este documento puede proveer de información acerca de los formatos de entrada, formatos de salida y mensajes de error del EMTF.

CAPITULO I

Carga de un caso sencillo

Este capítulo describe la estructura básica de una tarjeta de entrada de EMTP, con algunos de los formatos más comúnmente usados.

Las gráficas de las formas de onda es la utilidad primaria de las salidas de simulación con EMTP. Los procedimientos para la obtención de gráficos varían de acuerdo al sistema de cómputo. Los gráficos incluidos en este documento fueron obtenidos con un programa separado de post-procesamiento el cual ejecuta después el EMTP, y usa datos gráficos almacenados en disco. Este tipo de programa de graficación variara de instalación a instalación. El EMTP también ha provisto de graficación en modo bloques (batchmode) usando el software CALCOMP. Muchos sistemas de cómputo tienen este software disponible, tal como en cada caso presentado en este documento los cuales tienen la muestra CALCOMP PLOT incluido en las entradas del EMTP. El usuario puede ajustar el procedimiento de graficación de acuerdo al software de graficación disponible.

La estructura de un bloque de entrada EMTP es mostrada en la Tabla I.1. Otras secciones son separadas por una sección en blanco. Por conveniencia, el usuario puede introducir una tarjeta "imagen" con secciones en blanco ("BLANK CARD") comenzando en la columna 1, la cual será interpretada por el EMTP como una sección en blanco. Líneas de comentarios pueden ser también agregados al bloque de entrada con la introducción de un "C-blank" en las columnas 1 y 2. Texto adicional de comentarios pueden ser también agregados después del "BLANK CARD". Las líneas de comentarios son usadas extensivamente en los casos de muestra de este documento. El EMTP graba estas líneas en el archivo de los datos de entrada, pero de otra manera los ignora.

TABLA 1.1

Estructura del bloque de entrada del EMFF

BEGIN NEW DATA CASE (una línea)
 Tarjeta de peticiones especiales
 Tarjeta de datos misceláneos de punto fijo
 Tarjeta de datos misceláneos enteros
 TACS Tarjetas de funciones
 BLANK CARD
 TACS Tarjetas fuente
 BLANK CARD
 TACS Tarjetas de dispositivos y variables
 suplementales
 BLANK CARD
 TACS Tarjetas de peticiones de salida
 BLANK CARD
 TACS Tarjetas de condiciones iniciales
 BLANK CARD
 Tarjetas para ramas, transformadores, cables y
 líneas de transmisión
 BLANK CARD
 Tarjetas de switches
 BLANK CARD
 Tarjetas de fuentes
 BLANK CARD
 Tarjetas de condiciones iniciales
 Tarjetas de petición de salida de voltajes de nodo
 BLANK CARD
 CALCOMP PLOT Tarjetas de petición
 BLANK CARD
 BLANK CARD (termina el caso)

TABLA 1.2

Programas auxiliares EMTF

- CONSTANTES DE LINEA.- Calcula los datos de entrada EMTF para líneas de transmisión aéreas.
CONSTANTES DE CABLE.- Calcula los datos de entrada EMTF para cables o líneas de transmisión aéreas.
JMARTI SETUP, SEMLYEN SETUP, HAUER SETUP, WEIGHT.- Estos programas calculan los datos EMTF dependientes de frecuencia para varios modelos de líneas.
XFORMER, TRELEG, BCTRAN.- Estos programas calculan los modelos de la matriz de impedancia para datos de prueba de corto circuito de transformadores.
SATURACION.- Accesa a los siguientes tres programas:
CONVERT.- Calcula los datos para modelo de saturación de núcleo de transformador.
HYSDAT.- Calcula los datos para modelo de histéresis de núcleo de hierro.
ARRDAT.- Calcula los datos para modelo de apartarrayos no lineales.

Note que la entrada TACS viene antes que la red eléctrica de entrada. La entrada TACS no será contemplada como el último caso de esta tesis. Los casos que no incluyen al TACS simplemente borran las cinco secciones de TACS del bloque de entrada, junto con los cinco "BLANK CARDS" asociados.

Sólo una de las tarjetas especiales de peticiones será cubierta por esta tesis. Esta tarjeta transfiere el control a un subprograma dentro del EMTF llamado de constantes de línea. Este subprograma calcula los datos de entrada del EMTF para líneas de transmisión aéreas, usando datos geométricos del conductor y de la torre. El programa de constantes de línea tiene sus propias entrada de estructura, diferentes de la tabla 1.1, las cuales serán consideradas mas adelante. Los subprogramas disponibles entre las tarjetas especiales de peticiones son listadas en la tabla 1.2.

Hay muchas otras características del EMTF las cuales son disponibles en las tarjetas especiales de peticiones.

Los formatos de entrada de estas tarjetas, los cuales son necesarios para simular una transición de circuito RLC simple, serán ahora descritos en el orden en que aparecen en la tabla I.1. Los formatos de entrada son descritos de acuerdo a la notación FORTRAN. Por ejemplo, ES.0 indica un número real justificado a la derecha en formato exponencial, para llenar un total de ocho columnas incluyendo los espacios blancos a la cabeza. Similarmente, I8 es un entero de ocho columnas justificado a la derecha, y A6 es un nombre alfanumérico de seis caracteres. La notación BX significan ocho columnas en blanco.

BEGIN NEW DATA CASE: Este mensaje siempre precede un bloque de entrada.

Datos misceláneos de punto fijo: Esta tarjeta contiene siete parámetros de números reales a ser introducidos en campos de ocho columnas de ancho. Sólo los cuatro parámetros mostrados en la fig. I.1 serán usados.

| <u>DELTAT</u> | <u>TMAX</u> | <u>XOPT</u> | <u>COPT</u> |
|---------------|-------------|-------------|-------------|
| EB.0 | EB.0 | EB.0 | EB.0 |

FIG. I.1 DATOS MISCELANEOS DE PUNTO FIJO.

DELTAT es el periodo de tiempo en la simulacion. Este debe ser siempre mayor de cero.

TMAX es la cantidad de tiempo en segundos a ser simulado. Este puede ser igual o menor que cero, en cuyo caso el EMTP desarrolla una solución de estado estable de las condiciones iniciales solamente, y no desarrolla una simulación de transición.

XOPT son unidades en función de frecuencia para propósitos de especificación de inductancia. Si este es cero

o blanco, todas las inductancias son introducidas en milihenries. Si este es 60.0, por ejemplo, todas las inductancias son introducidas como ohms reactivas a 60 Hz.

COPT son unidades en funcion de frecuencia para propositos de especificacion de capacitancia. Si este es cero o está en blanco, todas las capacitancias son introducidas en microfarads. Si este es 60.0 Hz, por ejemplo, todas las capacitancias son introducidas como microohms a 60 Hz.

Tarjeta de datos miscelaneos enteros: Esta tarjeta contiene arriba de diez parámetros enteros, los cuales son introducidos justificados a la derecha en campos de ocho columnas de ancho. Sólo siete parámetros son mostrados en la fig. I.2 que serán usados en este documento.

| <u>IOUT</u> | <u>IPL0T</u> | <u>IDOUBL</u> | <u>KKSQUT</u> | <u>MAXQUT</u> | <u>ICAT</u> | <u>NENERG</u> | |
|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|-------------|---------------|----|
| 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 8X | 18 | 18 |

FIG. I.2

IOUT: Este parámetro especifica el ritmo en el cual las variables de salida son impresas durante la simulación. Si IOUT es cero o uno, cada periodo de tiempo es impreso. Si IOUT es igual a una constante "k", entonces cada periodo de tiempo k es impreso. IOUT podría ser siempre un espacio en blanco o igual a un número impar. Siete números permitirán oscilaciones numericas las cuales el usuario no puede detectar a la salida. Como una alternativa, el usuario puede especificar un IOUT muy largo para anular el periodo de tiempo de impresión. El usuario contaría entonces de la salida de graficacion.

IFLOT: Este parámetro especifica el ritmo en el cual las variables de salida son graficadas durante la simulación y, exactamente de la misma manera que IOUT controla la salida

de impresión. IFLOT podría también ser un espacio en blanco o un número impar.

IDOUBL: Poniendo IDOUBL igual a uno, causará un listado de la topología de red a ser impresa. Este es útil en el chequeo de ramas y conexiones de switches cuando se carga un caso.

KSSOUT: Poniendo KSSOUT igual a uno causará un voltaje de estado estable y la solución de corrientes es impresa para cada rama en la red. KSSOUT igual a dos causa que solo las soluciones de estado estable de fuentes y switches sean impresas. KSSOUT igual a tres causa que sean impresas las soluciones en estado estable de las variables de salida pedidas, switches y fuentes.

MAXOUT: Poniendo MAXOUT igual a uno causará que el EMTF imprima el máximo valor conseguido por cada variable de salida durante la simulación de transición.

ICAT: Poniendo ICAT igual a uno, causa que todos los datos gráficos generados por el EMTF serán salvados en disco para futuras graficaciones por un programa separado.

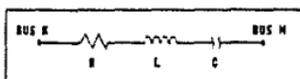


FIG. 1.3 RAMA RLC EN SERIE

| | <u>BUS K</u> | <u>BUS M</u> | | <u>R</u> | <u>L</u> | <u>C</u> | <u>RAMA DE SALIDA</u> |
|----|--------------|--------------|-----|----------|----------|----------|-----------------------|
| 2X | A6 | A6 | 12X | E6.0 | E6.0 | E6.0 | 35X I1 |

FIG. 1.4 TARJETAS DE RAMA

NENERG: Poniendo NENERG mayor ue cero causa una simulación probabilística de switcheo. Esta característica es incluida en esta tesis posteriormente.

Tarjetas de ramas: Sólo para una fase, los parámetros de ramas mostrados en la fig. I.3 son usados en ejemplos de circuitos RLC. Los parámetros son marcados en campos de seis columnas de ancho. Dado que la precisión es limitada por el número de columnas en los campos de entrada, inductancias especificadas en ohms o milihenrys y capacitancias especificadas en microhms o microfarads son usualmente las unidades óptimas escaladas. Las resistencias son introducidas en ohms. Las corrientes de rama y el voltaje de variables de salida son especificadas en estas tarjetas, mientras que voltajes de salida de nodos son especificados cerca del fin del bloque de salida del EMTF como muestra la tabla I.2. La fig. I.4 muestra los formatos de entrada de la tarjeta de ramas.

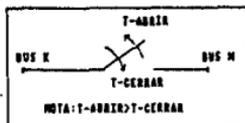


FIG. I.5 SWITCH SENCILLO

| | <u>BUS K</u> | <u>BUS M</u> | <u>T-CIERRE</u> | <u>T-ABRIR</u> | <u>RAMA DE SALIDA</u> |
|----|--------------|--------------|-----------------|----------------|-----------------------|
| 2X | A6 | A6 | E10.0 | E10.0 | 45X I1 |

FIG. I.6 TARJETAS DE SWITCH

Este formato es para ramas de una sola fase las cuales no serán usadas en las características de referencia de ramas. BUS K y BUS M son los nombres de nodos de seis caracteres en el esquema de usuario de el sistema. Se debe ser cuidadoso al asignar nombres únicos para cada nodo. Los parámetros R, L y C son la resistencia, la inductancia y la capacitancia (en serie) de la rama. Uno de estos parámetros no debe ser cero. Si el BUS K o el BUS M es marcado en cero, la rama se asume conectada a un nodo a tierra. BRANCH OUTPUT es un entero simple el cual requiere de la rama de variable de salida. Nosotros usaremos un uno para requerir salidas de corriente de inductor. Otras opciones incluye un dos para obtener una salida de voltaje diferencial de rama, un tres para obtener ambas salidas de voltaje y corriente de rama y un cuatro para obtener la salida de potencia y energía de rama.

Tarjetas de switch: El formato de estas tarjetas es similar a las tarjetas de ramas, exceptuando que los tiempos de switcheo cerrando y abriendo son especificados en vez de R, L y C.

Los modelos de switch del EMTP desarrollan una operación de cerrado y abierto durante la simulación. El formato de entrada para el switch descrito en la fig. 1.5 es mostrado en la fig. 1.6

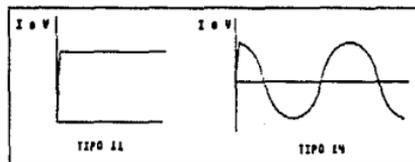


FIG. 1.7 TIPOS BASICOS DE FUENTES DE PODES

| | <u>BUS</u> | <u>V o I</u> | <u>AMPLITUD</u> | <u>FRECUENCIA</u> | <u>ANGULO DE FASE</u> |
|----|------------|--------------|-----------------|-------------------|-----------------------|
| 12 | A6 | I2 | E10.0 | E10.0 | E10.0 |

FIG. 1.8 TARJETAS DE FUENTES

El switch es conectado entre nodos BUS K y BUS M, el cual puede ser marcado con un espacio en blanco para indicar un switch a tierra. T-CLOSE y T-OPEN son especificados en segundos. Un T-CLOSE negativo puede ser usado para indicar un switch el cual es cerrado en estado estable. Si T-OPEN es marcado en blanco o es asignado un valor mayor de TMAX, el switch nunca abrirá durante la simulación. Las salidas de corriente y voltaje de ramas pueden también ser requeridas para switches de la misma manera que para ramas.

Tarjetas de fuente: Una variedad de diferentes tipos de fuentes son disponibles en el EMTF. Funciones escalón y coseno mostrados en la fig. 1.7 son usados a menudo. Las fuentes pueden ser voltajes a tierra de nodo o corrientes inyectadas en el nodo. Formatos de entrada son mostrados en la fig. 1.8.

*TYPE es un entero de dos dígitos: 11=función escalón
14=función coseno

*BUS es el nombre de nodo donde la fuente es conectada.

*V o I es un entero de dos dígitos:
en blanco= fuente de voltaje
I=fuente de corriente

*AMPLITUDE es el nivel de corriente, voltaje de escalón o la amplitud en unidades pico de línea a tierra de una onda coseno.

*FREQUENCY es la frecuencia en Hz de una función coseno (en blanco para una función escalón).

PHASE ANGLE es el ángulo de fase en grados de la función coseno (un blanco para una función seno).

| | | | | |
|--------------|--------------|----------|--|--|
| <u>IDENT</u> | <u>BUS_K</u> | <u>V</u> | | |
| I2 | A6 | E15.8 | | |

| | | | | |
|--------------|--------------|--------------|----------|----------|
| <u>IDENT</u> | <u>BUS_K</u> | <u>BUS_M</u> | <u>I</u> | <u>V</u> |
| I2 | A6 | A6 | E15.8 | E15.8 |

FIG. 1.9 TARJETAS DE CONDICIONES INICIALES

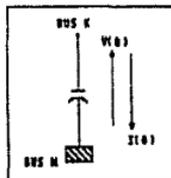


FIG. 1.10 CAPACITOR CON CARGA ALMACENADA

Estas fuentes EMTF se activarán en el primer periodo de tiempo de la simulación de la transición.

Tarjetas de condiciones iniciales: Estas son comunmente usadas para especificar carga almacenadas en capacitores. Para cada capacitor, una tarjeta es usada para especificar el voltaje inicial de nodo en cada terminal y otra tarjeta es usada para especificar el voltaje inicial y la corriente en la capacitancia. Los formatos para estas tarjetas son mostrados en la fig. 1.9, con los parámetros a ser especificados en la fig. 1.10. En este ejemplo, el BUS M

terminal del capacitor es aterrizado, tal que la tarjeta de voltaje de nodo no es requerido para el BUS M.

IDENT=1 para la tarjeta de voltaje de nodo (el primero en la fig. I.9).

IDENT=3 para la corriente de rama y voltaje de rama segunda en la fig. I.9).

BUS= nombre del nodo del capacitor terminal.

BUS K y BUS M son nombres de nodos de las ramas terminales del capacitor.

V= voltaje almacenado en el capacitor.

I=0 para un capacitor con carga de D.C. almacenada.

Tarjetas de voltaje de salida de nodo: Estas tarjetas siguen inmediatamente a las tarjetas de condiciones iniciales. Como oposición a los voltajes y corrientes de rama, estas tarjetas especifican la salida de voltaje de nodo a tierra.

Una tarjeta simple puede ser usada con un "1" en la columna dos para poner todos los voltajes de nodo a la salida. En este caso no se usara un "BLANK CARD" la cual normalmente termina la tarjeta de voltajes de salida de nodo.

Para seleccionar voltajes de nodo individuales como salida, se usan los formatos en la fig. I.11. Cada tarjeta contiene los nombres de nodo de los voltajes de salida. Mas de una tarjeta de voltaje de salida de nodo, pueden ser usadas si hay mas de tres voltajes a ser salida. De cualquier manera existe un limite de numero de variables de salida el cual varia de instalacion a instalacion.

| | | | |
|----|--------------|--------------------|---------------|
| | <u>BUS 1</u> | <u>BUS 2</u> | <u>BUS 17</u> |
| IX | A6 | A6 | A6 |

FIG. 1.11 TARJETAS DE SALIDA DE VOLTAJE DE NODOS

En cada tarjeta, el BUS 1 puede no estar en blanco.

Tarjetas de petición de gráfico: Las tarjetas en modo bloque para gráfico caen dentro de dos grupos generales. El primer grupo especifica la línea de impresora o el gráfico Calcomp, junto con el título del gráfico. Estas tarjetas son mostradas en la fig. 1.12.

Tarjeta de petición de gráfico
 2X CALCOMP PLOT o PRINTER PLOT
 Tarjeta de título del caso
 12 Formato alfanumérico (arriba de 78 caracteres)

FIG. 1.12 TARJETA DE TITULO Y PETICION DE GRAFICA

CALCOMP PLOT puede ser operacional en cada instalación, pero PRINTER PLOT siempre producirá gráficos en la salida de impresión EMTF usando caracteres alfanuméricos. Por esta razón, estos gráficos son más usados que CALCOMP PLOT.

Cualquier tipo de graficación que sea usado, la especificación de cada gráfico individual es hecho usando el formato mostrado en la fig. 1.13.

| | | | | | | | | |
|-------------|-------------|--------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| <u>FLAG</u> | <u>TIPO</u> | <u>UNIDS</u> | <u>UP1</u> | <u>MIN</u> | <u>BUS 1</u> | <u>BUS 2</u> | <u>BUS 7</u> | <u>BUS 17</u> |
| 12 | I1 | I1 | E3.0 | E4.0 | 9X | A6 | A6 | A6 |

FIG. 1.13 TARJETA DE ESPECIFICACION DE GRAFICA

FLAG es siempre igual a uno en columna dos.
TYPE =4 para un gráfico de voltaje de nodo.
 =5 para un gráfico de voltaje de rama.
 =6 para un gráfico de corriente de nodo.
UNITS=3 para una escala de tiempo en segundos.
 =4 para una escala de tiempo de milisegundos.
 =5 para una escala de tiempo en microsegundos.
UPI es el número de UNITS por pulgada.
ORIG es el tiempo de comienzo (en UNITS del gráfico).
END es el tiempo de envío (en UNITS) del gráfico.

En muchos casos, UPI, ORIG y END podrían ser cambiados para obtener una longitud de escala de tiempo total de diez a doce pulgadas. UPI podría hacer una conveniente división de escala, donde las líneas graduales son dibujadas una por pulgada. Si un gráfico de voltaje de nodo está fabricándose, arriba de cuatro diferentes voltajes de nodo pueden ser trazados en el mismo gráfico como indica la fig. I.13. Si el voltaje de rama o el gráfico de corriente está fabricándose, BUS 1 y BUS 2 son los nombres de nodo como especificó la simulación EMTP. BUS 3 y BUS 4 pueden contener nombres de nodo por una segunda variable deseada a ser trazada en la misma gráfica.

CAPITULO II

CASO I: CIRCUITOS CON SIMPLE Y DOBLE FRECUENCIA

Este caso muestra aplicaciones fáciles de parámetros de circuitos monofásicos para un problema práctico de sistemas de potencia. Las ilustraciones simplifican el modelo para obtener resultados válidos. Los resultados son fácilmente verificados por cálculos hechos a mano.

Dos niveles de voltaje auxiliares, 13.8 kV y 14.16 kV, son usados en una planta de poder, como se muestra en la figura II.1. Se asume que el circuito interruptor para el transformador auxiliar principal está abierto y por lo tanto, los buses auxiliares son alimentados solo por medio de el transformador en funcionamiento. Las siguientes fallas son consideradas: la falla "A" de tres fases a tierra en el bus de 13.8 kV y la falla "B" de tres fases a tierra falla en el lado de baja del transformador de 13.8/4.16 kV. Las fallas son aisladas por los interruptores A y B, respectivamente.

El objeto del circuito interruptor es aislar oportunamente la falla, la corriente de falla y que la recuperación de voltaje (voltaje a través del interruptor de contacto después de la interrupción) esté dentro del estandar de la capacidad del circuito interruptor. El objetivo de estos casos es para calcular el voltaje transitorio de recuperación (VTR) a través de circuitos interruptores A y B respectivamente.

La intención de estos casos es que el lector se familiarice con el uso de el programa EMTF simulando circuitos simples con elementos. Solo elementos inductivos y capacitivos, un switch y una fuente de voltaje son representados. También la salida y las graficas solicitadas son representadas lo mas fácil posible. Estos problemas

pueden ser resueltos fácilmente por cálculos hechos a mano. Por consiguiente esto facilita la colocación de datos en el archivo de entrada. Los datos seleccionados para varios de los componentes son valores típicos reales para obtener resultados razonables.

Una representación de un sistema simplificado de tres fases a tierra en las terminales del interruptor A es mostrado en la figura II.1. Este sistema es simplificado más adelante por los casos del EMTP.

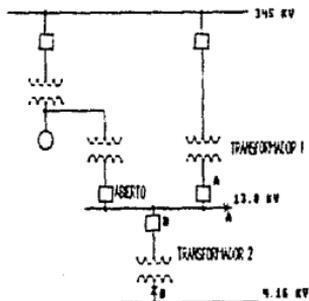


FIG. II.1 DIAGRAMA UNIFILAR DE UNA PLANTA DE PODER SIMPLIFICADO

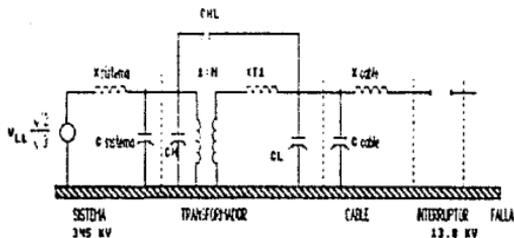


FIG. II.2 REPRESENTACION SIMPLIFICADA DE UNA FALLA TRIFASICA A TIERRA

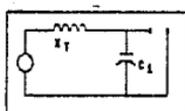


FIG. II.3 CIRCUITO EQUIVALENTE SIMPLIFICADO

La representación del transformador es la clave elemental: C_M es la capacitancia de el lado de alta, C_{ML} es la capacitancia entre los devanados de alta y baja, y C_L es la capacitancia del lado de baja.

Para un sistema de 345 kV realmente difícil, la inductancia del transformador disminuye y en segundo lugar la capacitancia puede dominar alguna frecuencia transitoria alta que ocurre en el sistema de 13.8 kV a causa del bajo $X_{sistema}$. Por lo tanto, el circuito equivalente puede ser simplificado como se muestra en la figura 1.3. C_T representa la capacitancia del transformador secundario; C_L , la capacitancia de los cables en paralelo, C_{cable} . Este circuito produce un circuito interruptor VTR con una forma de onda (1-coseno).

Para las características del sistema se asume lo siguiente:

Sistema : $X_1 = 0.02$ p.u. (en 100 MVA)

Transformador 1: 345/13.8 kV; 60 MVA; 7% de impedancia;
conexión estrella/estrella

$X_{T1} = 0.117$ p.u. (en 100 MVA) o

$L_1 = 0.589$ mH a 13.8 kV

$C_L = 0.02$ μ F

Cable : $C_{cable} = 0.09$ μ F (Clase 15 kV, 1000
pies 3/c, cable con aislamiento de
papel)

$X_{cable} =$ ignorado

$C_s = C_L + C_{cable} = 0.11$ μ F

Falla : Representada por una resistencia de 0.1
ohm distribuida en todo el circuito
interruptor

La frecuencia natural del circuito L-C puede ser
calculada como:

$$f = 1 / (2\pi\sqrt{L_1 C_s}) = 1 / 2\pi\sqrt{(0.589 \times 10^{-3})(0.11 \times 10^{-6})} = \\ = 19\,772 \text{ Hz}$$

El VTR puede tener una forma de (1-coseno) con una
cresta de $1 / 2f$ o 25.3 μ seg.

Puesto que el amortiguamiento no fue incluido en el
circuito, el pico de voltaje de recuperación puede ser 2 por-
unidad ($2 \times 13.8 \times \sqrt{2/\sqrt{3}}$) o 22.54 kV.

La figura II.4 muestra como representar el circuito en
el EMTP. Cuando una falla de tres fases a tierra se tiene que
representar, solo es necesario representarla mediante una
fase. La figura tiene los nombres que fueron asignados a los

odos. El usuario puede utilizar combinaciones nemotécnicas de letras y números para identificar los nodos. Esto puede ser muy importante cuando el circuito en estudio es muy complicado.

Los nombres de los nodos seleccionados están formados por:

| | |
|--------|------------------------------------|
| TRAN1H | Transformador 1 - Lado de alta |
| TRAN1L | Transformador 1 - Lado de baja |
| BKR 1 | Circuito interruptor A, Contacto 1 |
| BKR 2 | Circuito interruptor A, Contacto 2 |

La tabla II.1 da los datos básicos de entrada para el caso. La tabla II.2 muestra los mismos datos de entrada, pero son aumentadas varias líneas de comentarios. El propósito de algunas líneas de comentarios son para facilitar el inicio del EMTP al usuario e interpretar los datos de entrada y para que sea capaz de crear fáciles archivos de entrada sin consultar algún otro manual.

Este archivo de entrada tiene en todas las columnas títulos en forma abreviada, y además tiene el número de columnas para cada anotación. El usuario puede encontrar esto útil para identificar el archivo con una corta descripción del caso al inicio del archivo.

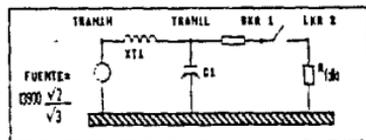


FIG. II.4 CIRCUITO MODELADO PARA UN CASO DE SIMPLE FRECUENCIA.

TABLA 11.1

ENTRADA DE DATOS PARA EL CASO DE SIMPLE FRECUENCIA

```

BEGIN NEW DATA CASE
2.0E-6 300.E-6      0      0
      5      1      1      1      0      0      0      1
TRANITRANIL          .58900
TRANIL              .11000
TRANLEVR 1          .05000
BR 2                .05000
BR 1BR 2            -1.0    1.0E-6
BLANK CARD TERMINATING BRANCH CARDS
BLANK CARD TERMINATING SWITCH CARDS
IATRAMIN 11267.    60.0   -25.0
BLANK CARD TERMINATING SOURCE CARDS
TRANHEBR 1BR 2
BLANK CARD TERMINATING NODE VOLTAGE OUTPUT REQUESTS
CALCOP PLOT
2 EXAMPLE 1 - SINGLE FREQUENCY LUMPED CIRCUIT
14525.  300.    TRANH
14525.  300.    BR 1
14525.  300.    BR 2
18225.  300.    BR 1BR 2
19525.  300.    BR 2BR 1
BLANK CARD TERMINATING PLOT REQUESTS
BLANK CARD TERMINATING THE CASE

```

El cálculo del intervalo de tiempo fue elegido para 2 microsegundos y la frecuencia natural del circuito de 19.772 Hz, por lo tanto será aproximadamente 25 intervalos de tiempo por periodo de oscilación de 51 microsegundos; el intervalo de tiempo será elegido con el aspecto más alto de la frecuencia transitoria en estudio.

Un largo intervalo de tiempo nunca llega a una inestabilidad numerica pero servira para filtrar la salida o mas bien conocida como alta frecuencia transitoria, lo cual posiblemente conduce a un falso resultado.

Ramas y otros elementos conectados a tierra solo aparecen en nodo BUS 1, y el nodo BUS 2 permanece libre. Por ejemplo, la capacitancia C_1 de 0.11 μF es conectada del TRANIL a tierra, el dato de entrada para el BUS 1 y el BUS 2 se lee "TRANIL".

Los resultados son mostrados en la figura II.5 y II.6. La figura II.5 muestra una corriente de falla en forma senoidal la cual es una rampa antes de tomar un valor cero. El circuito interruptor abre en un tiempo $t = 34 \mu\text{seg}$. El VRT (Voltaje de Recuperación Transitorio) a través del interruptor (nodos "BKR 1" a "BKR 2") comienza a recuperarse después de un tiempo $t = 34 \mu\text{seg}$. La observación de los valores del pico de Voltaje y frecuencia para el VRT se comparan con los valores calculados previamente.

Cálculos hechos a mano predicen un VRT con pico de 2 por-unidad. Pero el resultado en la figura II.6 muestra 20.5 KV, que solo es 1.82 por-unidad. La reducción ocurre debido a que la corriente de falla no es interrumpida en un pico de la fuente de voltaje. En la simulación de la falla la resistencia de .1 ohms causa la corriente de falla que no es puramente inductiva. Esto nos indica nuevamente que la fuente de Voltaje es aproximadamente 25 grados adelante del pico cuando la corriente pasa por cero.

El ángulo de fase de la fuente de voltaje en la tabla II.2 fue elegido por ser -25 grados porque la corriente de falla atrasa al voltaje por 65.8 grados. Esto es activado en el estado estable por ser especificado en T-STAR igual a -1.0 segundos en las columnas 61-70. La elección del ángulo de fase pretende que una corriente cero ocurra brevemente después del tiempo cero en la simulación.

El orden para que el usuario se familiarice con los resultados o salida del programa EMTF, es dado en la impresión completa de la salida del caso de simple frecuencia, es mostrado en la tabla II.3, en que primero los datos de entrada son impresos. En el lado derecho está la tarjeta de datos y en el izquierdo está una "interpretación" de los datos de entrada. Cuando un valor de entrada está en una columna incorrecta, la interpretación del número es diferente del acceso en el lado derecho. La interpretación será revisada para asegurar que todos los datos de entrada fueron leídos correctamente.

Si un 1 (uno) es colocado en la segunda tarjeta de datos misceláneos en la columna 24, la red de conexiones será impresa en la salida. Todas las ramas y switch conectados a cada bus son impresos. Este sirve para revisar muy bien que todas las ramas sean conectadas a los nodos correctos.

En estado estable la impresión de la salida fue requerida por colocar un "1" (uno) en la columna 32 en la segunda tarjeta de datos misceláneos. Por cada nodo, el nodo voltaje es dado en su forma rectangular y polar. Por cada rama la corriente (rectangular y polar) y el flujo de potencia (P y Q) son dadas.

Una impresión de la salida por cada quince intervalos de tiempo fue requerida (columnas 1-8, segunda tarjeta de comentarios). La impresión de la salida enlista el tiempo en que un circuito interruptor cierra o abre.

TABLA II.2

ENTRADA DE DATOS PARA EL CASO DE SIMPLE FRECUENCIA

```

C
C
C
C
C DESCRIPCION DEL CASO: CIRCUITO DE SIMPLE FRECUENCIA. SE CONSIDERA
C UNA FALLA TRIFASICA EN EL BUS DE 13.8 KV.
C OSCILACION SIMPLE "W1".
C
C
C BESTIM NEW DATA CASE
C TARJETA PARA LOS PRIMEROS DATOS MISCELANEOS
C 1 2 3 4 5 6 7 8
C 3456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C 1-8 9-16 17-24 25-32
C DELTAT TMAX TQPT COPT
C #####-----#####
C 2.0E-6 300.E-6 0 0
C
C TARJETA PARA LOS SEGUNDOS DATOS MISCELANEOS
C 1-8 9-16 17-24 25-32 33-40 41-48 49-56 57-64 65-72 73-80
C IOUT IPILOT IDOUBL FSSOULT PAJZU/T ICAT MENERS
C #####-----#####-----#####
C 5 1 1 1 0 0 0 1
C
C DATOS DE RAMPA
C 3456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C BO = TIPO DE SALIDA (BRANCH OUTPUT).
C BO = 1, SE OBTIENE CORRIENTE DE RAMPA; BO = 2, SE OBTIENE VOLTAJE DE RAMPA.
C BO = 3, SE OBTIENEN "V" E "I" DE RAMPA; BO = 4, POTENCIA Y ENERGIA.
C 3-8 9-14 27-32 33-38 39-44 80
C BUS K BUS M R L C
C #####-----#####
C TRANHTRAWIL .58700
C TRANIL .11000
C TRANILBR 1 .05000
C BR 2 .05000
C
C BLANK CARD TERMINATING BRANCH CARD
C
C TARJETA DE SWITCHES
C 3456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C 3-8 9-14 15-24 25-34 80
C BUS K BUS M T-CLOSE T-OPEN 80
C #####-----#####
C BR 1BR 2 -1.0 1.0E-6 3
C
C BLANK CARD TERMINATING SWITCH CARDS
C
C TARJETA DE FUENTES
C 1 2 3 4 5 6 7
C 3456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C COLUMN 1-2:TYPE ( 11-13 SON FUNCIONES RANPA, 14 SON COSENO ).

```

```

C COLUMNA 9=10V OR 1 ( FUENTE DE VOLTAJE = 0, FUENTE DE CORRIENTE = -1 )
C 3-B 11-20 21-30 31-40 41-50 51-60 61-70 71-80
C BUS -AMPLITUDE FREQUENCY PHASERNG.
C #####/#####-----#####
T4TRAWH 11267. 60.0 -25.0 -1.0
BLANK CARD TERMINATING SOURCE CARD
C
C SALIDAS PARA VOLTAJE DE NODO
C COLUMNA 2: CON "*" TODOS LOS VOLTAJES DE NODO SEGUN DE SALIDA.
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C 3-B 9-14 15-20 21-26 27-32 33-38 39-44 45-50
C BUS 1 BUS 2 BUS 3 BUS 4 BUS 5 BUS 6 BUS 7 BUS 8
C #####-----#####-----#####
TRAWHBR 1BR 2
BLANK CARD TERMINATING NODE VOLTAGE OUTPUT
C
C GRAFICACION DE RESULTADOS
C 32
C
C PRINTER PLOT
C
C 2 (( ANALISIS DE CIRCUITO CON SIMPLE FRECUENCIA ))
C COLUMNA 1=2:FLAG ( ES SIEMPRE "1" )
C COLUMNA 3:TYPE ( 4=VOLTAJE DE NODO; 8=VOLTAJE DE RAMA; 9=CORRIENTE )
C COLUMNA 4:UNITS ( 3=ESCALA DE TIEMPO EN SEGUNDOS )
C ( 4+ * * * * MILLISEGUNDOS )
C ( 9+ * * * * MICROSEGUNDOS )
C
C 1UFI ( NUMERO DE UNITS POR PULSADA )
C 10R16 ( TIEMPO DE INICIO(en UNITS) DE LA GRAFICA )
C COLUMNA 12-15:END ( TIEMPO FINAL DE GRAFICACION )
C BUS 1 Y BUS 2:ISE DA EL NOMBRE DE LOS NODOS DE RAMA A GRAFICAR)
C BUS 3 Y BUS 4:ISE DA EL NOMBRE DE LOS NODOS DE LA SEGUNDA RAMA
C A SER DIBUJADA EN LA MISMA GRAFICA)
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C 5-7B-11 25-30 31-36 37-42 43-48 49-64 65-80
C 1P10R16 END BUS 1 BUS 2 BUS 3 BUS 4 ETIQ. SUPERIOR ETIQ. VERTICAL
14525. 300. TRAWH VOLT. NODO V O L T
14525. 700. BR 1 VOLT. RAMA V O L T
14525. 300. BR 2
18525. 300. BR 1BR 2
19525. 300. BR 2BR 1 CORRIENTE A M P E R
BLANK CARD TERMINATING PLOTS
BLANK CARD TERMINATING THE CASE

```

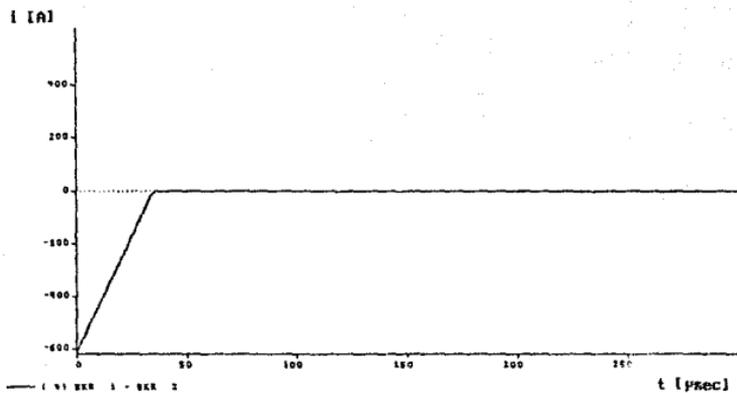


FIG. 11.5 CORRIENTE DE FALLA

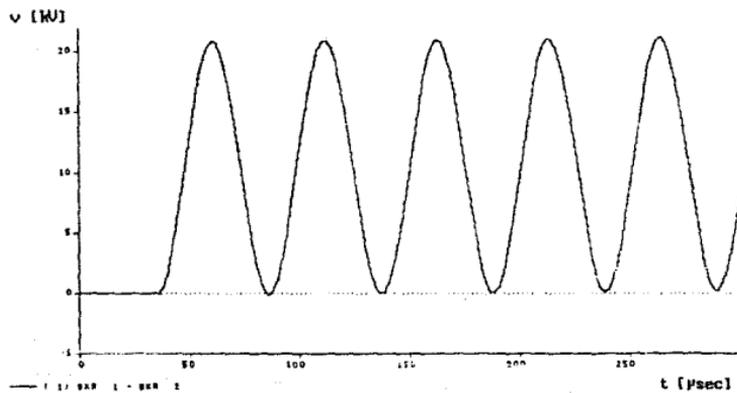


FIG. 11.6 VOLTAJE DE RECUPERACION DEL CIRCUITO INTERRUPTOR

TABLE II.3

Salida de datos para el caso de simple frecuencia

Alternative Transients Program (ATP), IBM PC XT translation. Copyright 1987. Use licensed only through LEE (K.U. Leuven, Belgium).
 Date (dd-mmm-yy) and time of day (hh:mm:ss) = 23-Feb-93 13:14:28 Name of disk plot file, if any, is C:\ATP2314.pl4
 For information, consult the copyrighted ATP EXTP Rule Book published by LEE in July, 1987. Last major program update: Dec, 1987
 Total length of "LABOOK" tables = 48950 INTEGER words. "VR807M" List Sizes follow: 214 254 424 42 2124
 33 700 1487 63 133 42 50 1 16 -999 34 3 5 1600 660 100 150 3399 3 400 42 42

Descriptive interpretation of input data cards.

R Input data card images are shown below. All 80 columns, character by character
 0 1 2 3 4 5 6 7 8
 01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890

Comment card. NUPCDD = 5529. RE data: CASIDA.DAT
 Comment card. NUPCDD = 5530. RE
 Comment card. NUPCDD = 5531. RE
 Comment card. NUPCDD = 5532. RE
 Comment card. NUPCDD = 5533. RE DESCRIPCION DEL CASO: CIRCUITO DE SIMPLE FRECUENCIA. SE CONSIDERA
 Comment card. NUPCDD = 5534. RE UNA FALLA TRAFASICA EN EL BUS DE 17.0 KVA.
 Comment card. NUPCDD = 5535. RE OSCILACION SIMPLE "NFI".
 Comment card. NUPCDD = 5536. RE

Marker card preceding new EXTP data case. RE BEGIN NEW DATA CASE
 Comment card. NUPCDD = 5539. RE TARJETA PARA LOS PRIMEROS DATOS MISCELANEOS
 Comment card. NUPCDD = 5539. RE 1 2 3 4 5 6 7 8
 Comment card. NUPCDD = 5540. RE 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
 Comment card. NUPCDD = 5541. RE 1-8 9-16 17-24 25-32
 Comment card. NUPCDD = 5542. RE DELTAT TNAI IOPT COPT
 Comment card. NUPCDD = 5543. RE #####
 Misc. data. 2.000E-06 1.000E-04 0.000E+00 RE 2.0E-6 300.E-6 0 0
 Comment card. NUPCDD = 5545. RE
 Comment card. NUPCDD = 5546. RE TARJETA PARA LOS SEGUNDOS DATOS MISCELANEOS
 Comment card. NUPCDD = 5547. RE 1-8 9-16 17-24 25-32 33-40 41-48 49-56 57-64 65-72 73-80
 Comment card. NUPCDD = 5548. RE IOU7 IPLOT IOQUEL KSSOUT WAKOUT ICAT NENE95
 Comment card. NUPCDD = 5549. RE #####
 Misc. data. 5 1 1 1 0 0 0 1 0 0 RE 5 1 1 1 0 0 0 1
 Comment card. NUPCDD = 5551. RE
 Comment card. NUPCDD = 5552. RE DATOS DE RAMPA
 Comment card. NUPCDD = 5553. RE 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
 Comment card. NUPCDD = 5554. RE BO = TIPO DE SALIDA (BRANCH OUTPUT).
 Comment card. NUPCDD = 5555. RE BO = 1, SE OBTIENE CORRIENTE DE RAMPA; BO = 2, SE OBTIENE VOLTAJE DE RAMPA.
 Comment card. NUPCDD = 5556. RE BO = 3, SE OBTIENEN "V" E "I" DE RAMPA; BO = 4, POTENCIA Y ENERGIA.
 Comment card. NUPCDD = 5557. RE 3-8 9-14 27-32 33-38 39-44 RE 80
 Comment card. NUPCDD = 5558. RE BUS K BUS M R L C RE 80
 Comment card. NUPCDD = 5559. RE #####
 Series R-L-C. 0.000E+00 5.890E-04 0.000E+00 RE TRANSMITRANIL .58900
 Series R-L-C. 0.000E+00 0.000E+00 1.100E-07 RE TRANIL .11000
 Series R-L-C. 5.000E-02 0.000E+00 0.000E+00 RE TRANLEPR 1 .05000
 Series R-L-C. 5.000E-02 0.000E+00 0.000E+00 RE BRK 2 .05000

Blank card ending branches. IBR, NTUF = 4 5 RE BLANK CARD TERMINATING BRANCH CARDS
 Comment card. NUPCDD = 5565. RE
 Comment card. NUPCDD = 5566. RE TARJETA DE SWITCHES


```

P.R. 1:  -20.5066439945 2311.3031170313 610.1328718999 46266.062340627 -5351371211283
        -2312.101955376 -90.7526690 46262.039107517 89.2443910 .6957624469E-10

P.R. 2:  -30.5066439945 2311.3031170313 -610.132871899 46266.062340627 .5351371311278 .5351371311278
        -2312.101955376 -90.7526690 -46262.039107517 -90.7526690 -6.95762447E-10 0.0000000

TENRA 0.0 0.0 610.1328718999 46266.062340627 0.0
        0.0 0.0 46262.039107517 89.2443910 0.0

Total network loss P-loss by summing injections = 1.0702742623E+00

```

Output for steady-state phasor switch currents.

| Node-K | Node-M | I-rmag | I-angle | I-magn | Degrees | Power | Reactive |
|--------|--------|----------------|-----------------|----------------|-----------|----------------|---------------|
| BKR 1 | BKR 2 | | | | | P and Q | MVA and P.F. |
| | | -6.1013287E+02 | -4.62620391E+04 | 4.62660623E+04 | -90.75256 | 5.35137131E+07 | 4.6611603E-11 |

Result at nodes with known voltage. Nodes that are shorted together by switches are shown as a group of names, with the printed solution applying to the composite group. The entry 'MVA' is SKRT(P1R2 + Q1R2) in units of power, while 'P.F.' is the associated power factor.

| Node name | Source Rectangular | Source node voltage Polar | Injected source current Rectangular | Injected source current Polar | Injected source power P and Q | Injected source power MVA and P.F. |
|-----------|-----------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| TRAWH | 10211.267636547 -4761.63995032 | 11267. -75.0000000 | -609.9410277333 -46262.04167798 | 46266.062340105 -90.7527711 | 1.0702742623E+00 -2.963950219E-09 | 2.963950219E-09 0.4126324 |

Top TAPSAV. NI, N2, N3, NCHIN, LASTOV, N4 = 2 22508 2 8 11 30552

Comment card. NUMDC = 5384. RC

Comment card. NUMDC = 5385. RC

Comment card. NUMDC = 5386. RC

Comment card. NUMDC = 5387. RC

Comment card. NUMDC = 5388. RC

Comment card. NUMDC = 5389. RC

Comment card. NUMDC = 5390. RC

Comment card. NUMDC = 5391. RC

Comment card. NUMDC = 5392. RC

Comment card. NUMDC = 5393. RC

Comment card. NUMDC = 5394. RC

Comment card. NUMDC = 5395. RC

Comment card. NUMDC = 5396. RC

Comment card. NUMDC = 5397. RC

Comment card. NUMDC = 5398. RC

Comment card. NUMDC = 5399. RC

Comment card. NUMDC = 5400. RC

Comment card. NUMDC = 5401. RC

Comment card. NUMDC = 5402. RC

Comment card. NUMDC = 5403. RC

Comment card. NUMDC = 5404. RC

Comment card. NUMDC = 5405. RC

Comment card. NUMDC = 5406. RC

Comment card. NUMDC = 5407. RC

Comment card. NUMDC = 5408. RC

Comment card. NUMDC = 5409. RC

Comment card. NUMDC = 5410. RC

Comment card. NUMDC = 5411. RC

Comment card. NUMDC = 5412. RC

Comment card. NUMDC = 5413. RC

Comment card. NUMDC = 5414. RC

Comment card. NUMDC = 5415. RC

Comment card. NUMDC = 5416. RC

Comment card. NUMDC = 5417. RC

Comment card. NUMDC = 5418. RC

Comment card. NUMDC = 5419. RC

Comment card. NUMDC = 5420. RC

Comment card. NUMDC = 5421. RC

Comment card. NUMDC = 5422. RC

Comment card. NUMDC = 5423. RC

Comment card. NUMDC = 5424. RC

Comment card. NUMDC = 5425. RC

Comment card. NUMDC = 5426. RC

Comment card. NUMDC = 5427. RC

*** Request for the voltage output of nonexistent node "TRAWH" will be ignored.

Card of names for time-step loop output. B TRAWHBR LBKR 2

Blank card ending requests for output variables. REARM CARD TERMINATING NODE VOLTAGE OUTPUT

Column headings for the 4 ENF output variables follow. These are divided among the 5 possible classes as follows

First 3 output variables are electric-network voltage differences (upper voltage minus lower voltage):

Next 1 output variables are branch currents (flowing from the upper node to the lower node):

| Step | Time | BKR 1 | BKR 1 | BKR 2 | BKR 1 | BKR 2 | BKR 2 |
|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

111 Phasor I(0) = -6.1013287E+02 Switch 'BKR 1' to 'BKR 2' closed in the steady-state.

| | | | | | | | |
|----|-------|-----|-------------|-------------|------------|--|--|
| 0 | 0.0 | 0.0 | -30.5066444 | -20.5066444 | -610.13287 | | |
| 5 | 1.E-5 | 0.0 | -21.786259 | -21.786259 | -435.72518 | | |
| 10 | 1.E-4 | 0.0 | -17.600555 | -13.663365 | -261.31129 | | |
| 15 | 1.E-3 | 0.0 | -4.3446847 | -4.3446847 | -86.893694 | | |

111 Open switch 'BKR 1' to 'BKR 2' after 3.6000000E-05 sec.

| | | | | | | | |
|----|--------|------------|------------|-----|-----|--|--|
| 20 | 1.E-4 | 1706.22568 | 1706.22568 | 0.0 | 0.0 | | |
| 25 | 1.E-4 | 13221.1264 | 13221.1084 | 0.0 | 0.0 | | |
| 30 | 1.E-4 | 20812.2841 | 20812.2841 | 0.0 | 0.0 | | |
| 35 | 1.E-4 | 14326.7128 | 14308.7026 | 0.0 | 0.0 | | |
| 40 | 1.E-4 | 2466.78767 | 2466.78767 | 0.0 | 0.0 | | |
| 45 | 1.E-4 | 1211.50251 | 1211.50251 | 0.0 | 0.0 | | |
| 50 | 1.E-4 | 12251.0775 | 12221.0775 | 0.0 | 0.0 | | |
| 55 | 11.E-3 | 20782.743 | 20782.743 | 0.0 | 0.0 | | |

| | | | | | |
|-----|--------|------------|------------|-----|-----|
| 63 | .12E-3 | 15371.5265 | 15371.5265 | 0.0 | 0.0 |
| 65 | .13E-3 | 3305.90562 | 3305.90562 | 0.0 | 0.0 |
| 71 | .14E-3 | 810.246793 | 810.246793 | 0.0 | 0.0 |
| 75 | .15E-3 | 11257.5562 | 11257.5562 | 0.0 | 0.0 |
| 85 | .16E-3 | 20639.3012 | 20639.3012 | 0.0 | 0.0 |
| 85 | .17E-3 | 16378.0184 | 16378.0184 | 0.0 | 0.0 |
| 90 | .18E-3 | 4216.96124 | 4216.96124 | 0.0 | 0.0 |
| 95 | .19E-3 | 507.731434 | 507.731434 | 0.0 | 0.0 |
| 100 | .2E-3 | 10251.8568 | 10251.8568 | 0.0 | 0.0 |
| 105 | .21E-3 | 26384.3003 | 26384.3003 | 0.0 | 0.0 |
| 110 | .22E-3 | 17318.3323 | 17318.3323 | 0.0 | 0.0 |
| 115 | .23E-3 | 5191.08811 | 5191.08811 | 0.0 | 0.0 |
| 120 | .24E-3 | 307.714781 | 307.714781 | 0.0 | 0.0 |
| 125 | .25E-3 | 9245.50266 | 9245.50266 | 0.0 | 0.0 |
| 130 | .26E-3 | 20021.2279 | 20021.2279 | 0.0 | 0.0 |
| 135 | .27E-3 | 18183.3178 | 18183.3178 | 0.0 | 0.0 |
| 140 | .28E-3 | 6218.71205 | 6218.71205 | 0.0 | 0.0 |
| 145 | .29E-3 | 213.177791 | 213.177791 | 0.0 | 0.0 |
| 150 | .3E-3 | 8249.90588 | 8249.90588 | 0.0 | 0.0 |

```

Comment card. NUPOCO = 5573.          FC
Comment card. NUPOCO = 5574.          FC      GRAFICACION DE RESULTADOS
Comment card. NUPOCO = 5575.          FC      32
Plot card ignored in search for blank terminator. R PRINTER PLOT
Comment card. NUPOCO = 5577.          FC
Plot card ignored in search for blank terminator. R 2      << ANALISIS DE CIRCUITO CON SIMPLE FRECUENCIA >>
Comment card. NUPOCO = 5579.          FC COLUMN 1-2: FLAG ( ES SIEMPRE "1" )
Comment card. NUPOCO = 5600.          FC COLUMN 3: TYPE ( 4=VOLTAJE DE MODD; 8=VOLTAJE DE RAMA; 9=CORRIENTE )
Comment card. NUPOCO = 5601.          FC COLUMN 4: UNITS ( 3=ESCALA DE TIEMPO EN SEGUNDOS )
Comment card. NUPOCO = 5602.          FC ( 4= " " " " " MILISEGUNDOS )
Comment card. NUPOCO = 5603.          FC ( 5= " " " " " MICROSEGUNDOS )
Comment card. NUPOCO = 5604.          FC UPI ( NUMERO DE UNITS POR PULGADA )
Comment card. NUPOCO = 5605.          FC ORIG ( TIEMPO DE INICIO(en UNITS) DE LA GRAFICA )
Comment card. NUPOCO = 5606.          FC COLUMN 12-15: END ( TIEMPO FINAL DE GRAFICADO )
Comment card. NUPOCO = 5607.          FC BUS 1 Y BUS 2: (SE DA EL NUMERO DE LOS MODOS DE RAMA A GRAFICAR)
Comment card. NUPOCO = 5608.          FC BUS 3 Y BUS 4: (SE DA EL NUMERO DE LOS MODOS DE LA SFERRADA RAMA
Comment card. NUPOCO = 5609.          FC A SER DIBUJADA EN LA MISMA GRAFICA)
Comment card. NUPOCO = 5610.          FC 3456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
Comment card. NUPOCO = 5611.          FC 5-79-11 25-30 40 31-36 37-42 43-48 49-64 65-80
Comment card. NUPOCO = 5612.          FC UPIORIG END BUS 1 BUS 2 BUS 3 BUS 4 ETIO. SUPERIOR ETIO. VERTICAL
Plot card ignored in search for blank terminator. R 14525. 300. TRAWH VOLT. MODC V O L T
Plot card ignored in search for blank terminator. R 14525. 300. BKR 1 VOLT. RAMA V O L T
Plot card ignored in search for blank terminator. R 14525. 300. BKR 2
Plot card ignored in search for blank terminator. R 18525. 300. BKR 1BKR 2
Plot card ignored in search for blank terminator. R 19525. 300. BKR 2DR 1 CORRIENTE A R P E R
Blank card terminating all plot cards. REBLANK CARD TERMINATING PLOTS
main20, after sub28. number = 5618

```

| Memory storage figures for the preceding, non-completed data case. | Present figure | Program limit (name) |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------|
| A value of "9999" indicates that no figure is available. | | |
| Size List 1. Number of electric network nodes. | 5 | 214 (LBUS) |
| Size List 2. Number of electric network branches. | 4 | 254 (LBRNCH) |
| Size List 3. Number of data values in R, L, C tables. | 4 | 424 (LDATA) |
| Size List 4. Number of electric network sources. | 1 | 42 (LSECT) |
| Size List 5. Storage for %c and triangularized %c. No. times = 2 Factors = 5 | 11 | 2124 (LWMT) |
| Size List 6. Number of entries in switch table. No. flops = 2 | 1 | 33 (LSWITCH) |
| Size List 7. Number of distinct ALPHANUMERIC data names plus program SPY variables. | 7 | 700 (LSIZE7) |

Una falla en la terminal de 4.16 kV del transformador 2 debe ser anulada por el circuito interruptor B (ver Figura II.1). Como en el ejemplo previo, el circuito equivalente para el transformador 2 puede ser aproximado por un inductor y un capacitor. Los siguientes datos serán asumidos para el transformador 2:

13.8/4.16 kV; 10 MVA 6% de impedancia; estrella/estrella

$X_{T2} = 0.60$ p.u. (En 100 MVA) o $L_2 = 3.03$ mH a 13.8 kV

$C_2 = 0.004$ μ F

$$f_2 = 1 / 2\pi(\sqrt{L_2 C_2}) = 1 / 2\pi(\sqrt{(3.03E-3)(0.004E-6)}) = 45.716 \text{ Hz}$$

El circuito equivalente del sistema, como fue modelado, es mostrado en la figura II.7. Este fue supuesto debido a que el VTR tendrá un estado de doble frecuencia. La frecuencia de las oscilaciones en cada terminal es determinada por la frecuencia natural de los transformadores conectados. Los transformadores 1 y 2 son conectados para interrumpir terminales 1 y 2. Las frecuencias naturales de los transformadores 1 y 2 fueron calculadas previamente como 19.772 Hz y 45.716 Hz, respectivamente.

El orden para seguir el modelo simple fue asumiendo que los circuitos del transformador no tienen amortiguamiento. Si la resistencia de los devanados del transformador fuera incluida, el amortiguamiento podrá ser observado.

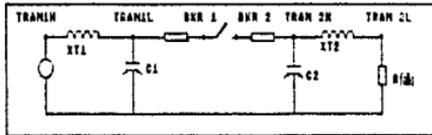


FIG. II.7 CIRCUITO MODELADO PARA EL CASO DE DOBLE FRECUENCIA.

Los datos completos de entrada son mostrados en la tabla II.4.

Las figuras II.8 y II.9 muestran los resultados. La corriente de falla ocurre en 37.05 microseg. Tiempo en el cual el voltaje a tierra en las terminales del circuito interruptor comienza a restablecerse. La figura II.8 muestra los voltajes a tierra en las terminales del interruptor y de la fuente de voltaje. Antes de la apertura del interruptor, el voltaje en "BKR 1" (línea continua en la figura II.8) es igual al de la fuente de voltaje menos el pequeño voltaje a través del transformador 1. Este pequeño voltaje puede ser calculado como 1.825 Volts que corresponde al voltaje observado en la figura II.8. El voltaje en la terminal del interruptor "BKR 2" (línea punteada en la figura II.8) oscila al rededor de cero con una frecuencia de 45.716 kHz (el periodo es 21.9 microseg), y el voltaje en la terminal del interruptor "BKR 1" oscila alrededor de la fuente de voltaje (línea continua con puntos marcados en la figura II.8 con una frecuencia de 19.772 kHz (el periodo es 50.6 microseg.)). La figura II.9 muestra que el VTR (rama del voltaje "BKR" a "BKR2") tiene una característica de doble frecuencia.

TABLA II.4

ENTRADA DE DATOS PARA EL CASO DE DOBLE FRECUENCIA

```

C
C
C
C
C DESCRIPCION DEL CASO: CIRCUITO DE DOBLE FRECUENCIA. SE CONSIDERA
C      UNA FALLA TRIFASICA EN LA BARRA DE 4.16 KV.
C      OSCILACION DOBLE "VRT" .
C
C BEGIN NEW DATA CASE
C      TARJETA PARA LOS PRIMEROS DATOS MISCELANEOS
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C 1-8 9-16 17-24 25-32
C DELTAT THAT XOPT COPT
C 0.5E-6 240.E-6 0 0
C
C      TARJETA PARA LOS SEGUNDOS DATOS MISCELANEOS
C 1-8 9-16 17-24 25-32 33-40 41-48 49-56 57-64 65-72 73-80
C IOUT IPLDT I00DEL KSSOUT PAIOUT ICAT MEMERG
C      S 1 1 1 0 0 0 1
C
C      DATOS DE RAMA
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C BO = TIPO DE SALIDA (BRANCH OUTPUT).
C BO = 1, SE OBTIENE CORRIENTE DE RAMA; BO = 2, SE OBTIENE VOLTAJE DE RAMA.
C BO = 3, SE OBTIENEN "V" E "I" DE RAMA; BO = 4, POTENCIA Y ENERGIA.
C 3-8 9-14 27-32 33-38 39-44 60
C BUS K BUS M R L C
C TRANCHTRANCHL 0.589 60
C TRANCHTRANCHL 3.030
C TRANCHL 0.11
C TRANCH 0.004
C TRANCHLBR 1 .00010
C TRANCHBR 2 .00010
C TRANCHL .10000
C
C BLANK CARD TERMINATING BRANCH CARDS
C
C      TARJETA DE SWITCHES
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C 3-8 9-14 15-24 25-34 60
C BUS K BUS M T-CLOSE T-OPEN 60
C BR 1BR 2 -1.0 1.0E-6 3
C
C BLANK CARD TERMINATING SWITCHES
C
C      TARJETA DE FUENTES
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C COLUMN 1-2: TYPE ( 11-13 SON FUNCIONES FAPPA, 14 SON COSEND ),
C COLUMN 9-10: V OR I ( FUENTE DE VOLTAJE = 0, FUENTE DE CORRIENTE = -1 )

```

C 0-B 11-20 21-30 31-40 41-50 51-60 61-70 71-80
 C BUS AMPLITUDE FREQUENCY PHASE/DEL
 14TRAWH 11267. 60.0 -5.0
 BLANK CARD TERMINATING SOURCE CARD

C
 C SALIDAS PARA VOLTAJE DE NODO
 C COLUMNA 2: CON "1" TODOS LOS VOLTAJES DE NODO SERAN DE SALIDA.
 C 2456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
 C 3-B 9-14 15-20 21-26 27-32 33-38 39-44 45-50
 C BUS 1 BUS 2 BUS 3 BUS 4 BUS 5 BUS 6 BUS 7 BUS 8
 BUR 1BR 2TRAWH

BLANK CARD TERMINATING MODE VOLTAGE OUTPUT

C
 C GRAFICACION DE RESULTADOS
 C 32

PRINTER PLOT

C
 C << ANALISIS DE CIRCUITO CON BAJA FRECUENCIA >>

C COLUMNA 1-2: FLAG (ES SIEMPRE "1")
 C COLUMNA 3: TYPE (4-VOLTAJE DE NODO; 8-VOLTAJE DE RAMA; 9-CORRIENTE)
 C COLUMNA 4: UNITS (3-ESCALA DE TIEMPO EN SEGUNDOS)
 C (4* * * * * MILLISEGUNDOS)
 C (3* * * * * MICROSEGUNDOS)
 C :NPT (NUMERO DE UNITS POR PULSADA)
 C :ORIG (TIEMPO DE INICIO (en UNITS) DE LA GRAFICA)
 C COLUMNA 12-15: END (TIEMPO FINAL DE GRAFICADO)
 C BUS 1 Y BUS 2: ISE DA EL NOMBRE DE LOS NODOS DE RAMA A GRAFICAR
 C BUS 3 Y BUS 4: ISE DA EL NOMBRE DE LOS NODOS DE LA SEGUNDA RAMA
 C A SER DIBUJADA EN LA MISMA GRAFICA

C 2456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
 C 5-7B-11 25-30 31-36 37-42 43-48 49-64 65-80
 C UP1ORIG END BUS 1 BUS 2 BUS 3 BUS 4 ETIQ. SUPERIOR ETIQ. VERTICAL
 14520. 240. BUR 1BR 2TRAWH VOLT. NODO V O L T
 18520. 240. BUR 1BR 2 VOLT. RAMA V O L T
 19520. 240. BUR 2BR 1 CORRIENTE A M P E R

BLANK CARD TERMINATING PLOTTING
 BLANK CARD TERMINATING THE CASE

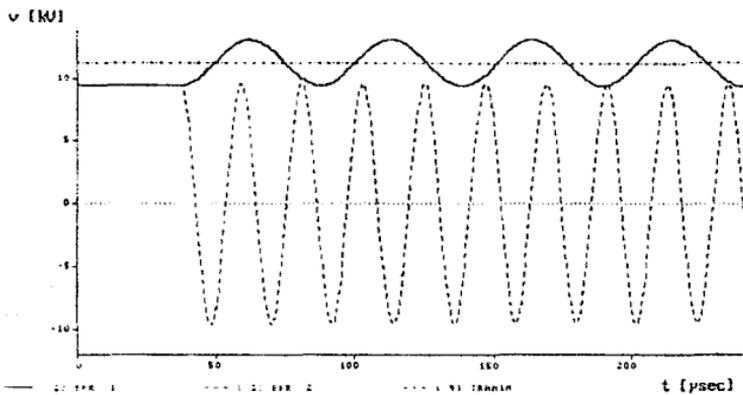


FIG. 11.8 VOLTAJE DE MODOS PARA EL CASO DE DOBLE FRECUENCIA

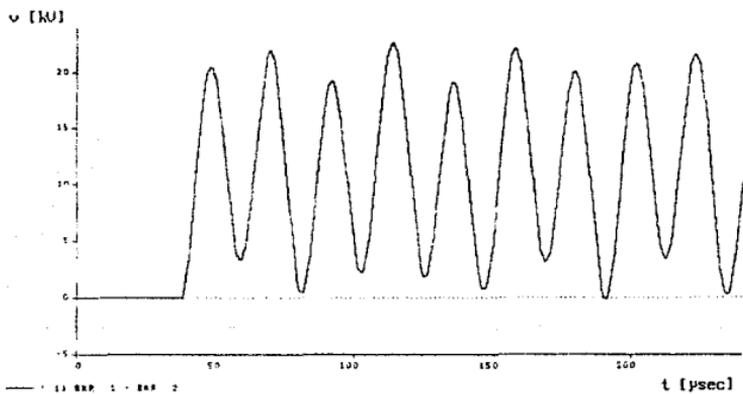


FIG. 11.9 VOLTAJE DE RECUPERACION DEL CIRCUITO INTERRUPTOR

CAPITULO III

CASO 2: VOLTAJE TRANSITORIO DE RECUPERACION

En este caso, el VTR del circuito interruptor puede ser calculado en un sistema de transmisión. Además de los elementos inductivos y capacitivos, son introducidos parámetros constantes de la línea de transmisión modelada para simular las características de una onda viajera.

El VTR, puede ser calculado por el método de la corriente de inyección. Después del arco de interrupción, en una corriente cero, el voltaje de recuperación es proporcional al producto de la corriente como una función del tiempo y la impedancia conectada al circuito interruptor. Si el pico del VTR ocurre dentro de los 500 microsegundos, la corriente de interrupción puede ser representada por una rampa.

La falla considerada en este caso es de tres fases sin conductor a tierra y falla en un interruptor de la línea (esta es prácticamente una "falla de bus"). Estas fallas generalmente resultan ser las más severas para VTR. El diagrama unifilar para la subestación y el sistema es mostrado en la figura III.1. Esta es una subestación "típica" con arreglo de transformadores y líneas de transmisión conectadas al bus. Una de la líneas es abierta para ilustrar una reflexión inicial positiva. La línea de transmisión es desconectada de la estación 6.

Los datos del sistema están basados en valores típicos de un sistema de 230 kV. La base de impedancias para 230 kV y 100 MVA puede ser calculada como $(230)^2 / 100$ o 529 ohms. Las tablas III.1 a III.3 muestran los parámetros apropiados del sistema. La figura III.2 muestra las contribuciones a la corriente de falla de cada rama en p.u. en 100 MVA. El total

de la corriente de falla es igual a la suma de las contribuciones individuales o 50.66 en p.u. En relación al voltaje, la base de corriente es igual a 251 A. por lo tanto, la falla de corriente total es igual a 12.7 kA rms o 18 KA cresta (desde la entrada del programa deben ser valores pico).

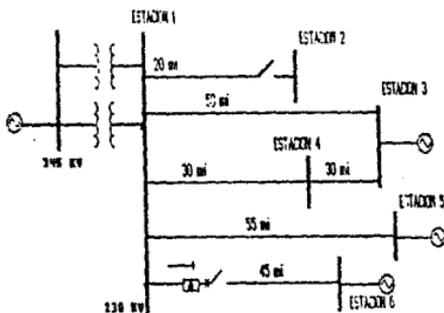


FIG. III.1 DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA

TABLA III.1

Representación de la estación 1

Dos transformadores: Cada uno de 345/230 KV, 250 MVA, 8% de impedancia.

Reactancia en paralelo: 0.016 p.u. (en 100 MVA)= 8.46 Ω o 22.5 mH.

Reactancia equivalente de la fuente de 345 KV= .03 p.u. = 42.1 mH.

Capacitancia de bus de 230 KV = .005 μ F.

TABLA III.2

Representación de las estaciones 3 y 5

Estación 3: $L = 35.0$ mH, (0.025 p.u.); $R = .377$ Ω .
 Estación 5: $L = 35.0$ mH, (0.025 p.u.); $R = .694$ Ω .

TABLA III.3

Representación de líneas de transmisión

Línea de 230 KV
 $R = .243$ Ω /milla
 $Z = 450$ Ω
 $V = 1.78 \times 10^9$ mi/seg.

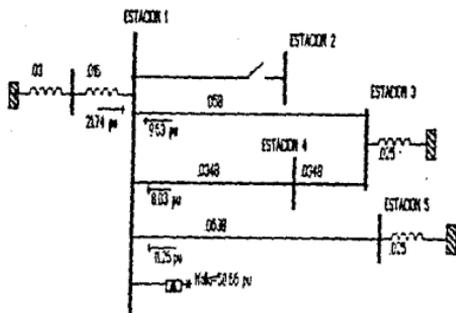


FIG. III.2 SISTEMA DE REACTANCIAS Y CONTRIBUCIONES A LA FALLA DE CORRIENTE CON REACTANCIAS EN P.U. EN 100 MVA Y BASE DE CORRIENTE EN AMPERES POR UNIDAD.

Un modelo de onda viajera es usada para las líneas de transmisión monofásicas. Cada línea tiene una impedancia

($Z = \sqrt{L/C}$) y una velocidad de onda ($V=1/\sqrt{LC}$) asociada con esta. Una resistencia para simular pérdidas en la línea también puede ser especificada. El modelo de la línea puede ser considerada como una "caja negra", con terminales. En este caso las líneas de transmisión simuladas son monofásicas. El caso tres describe modelos polifásicos de ondas viajeras.

Los datos de entrada pueden estar en cuatro formas diferentes:

1. Código "0" en la columna 52: R(Ω); L(mH); C(μ F)
(para X - OPT = 0, C - OPT = 0)
2. R(Ω); L(Ω); C(μ -mho)
(X - OPT = 60, C - OPT = 60)
3. Código "1" en la columna 52: R(Ω); Z(Ω); v (por unidad longitud/seg.)
4. Código "2" en la columna 52; R(Ω); Z(Ω); τ (seg)

Para este caso, tres líneas de entrada serán usadas con el Código "0", dos líneas de entrada serán usadas con el Código "1".

La línea de inductancia L y capacitancia C pueden ser calculados de los parámetros en la tabla III.3.

$$L = Z/V = 450/1.8E5 = 2.58 \text{ mH/milla} \dots \dots \dots (3.1)$$

$$C = 1/ZV = 1/450 \times 1.78E5 = 0.01248 \text{ } \mu\text{F/milla} \dots \dots (3.2)$$

Cada línea de transmisión tiene un tiempo de recorrido limitado dado por:

$$\tau = L/V \dots \dots \dots (3.3)$$

donde L es la longitud de la línea y V es la velocidad de la onda. Una señal entrando a la línea de transmisión alcanza el fin en τ segundos, se refleja, y regresa al inicio en 2τ segundos. La frecuencia natural de la línea tiene

un periodo de 4segundos, correspondientes a dos ciclos completos de reflexion.

Cuando una señal llega al final de la linea, parte de la señal es reflejada hacia atras sobre la linea, y parte es transmitida en la terminacion. Estos nuevos componentes son:

$$E_R = E_I ((Z_T - Z_L) / (Z_T + Z_L)) \dots \dots \dots (3.4)$$

$$E_T = E_I ((2Z_T) / (Z_T + Z_L)) \dots \dots \dots (3.5)$$

Donde: E_I es el voltaje incidente de la señal

Z_L es la impedancia que llega a la linea

Z_T impedancia equivalente en la terminación

E_R es el componente reflejado

E_T es el componente transmitido

El voltaje en la terminacion esta dado por:

$$E_T = E_R + E_I \dots \dots \dots (3.6)$$

La impedancia en la terminación puede componerse de la impedancia de otras lineas. En el caso de ambas Z_L y Z_T son resistivas y las ecuaciones 3.4 y 3.5 se convierten en factores constantes. La estacion 4 en la figura III.1 tiene una linea que entra y otra que sale, asi que: $Z_T = Z_L$, $E_R = 0$, y $E_T = E_I$. En efecto, la señal viaja a traves de la estacion 4 y ahí no es reflejada la onda a la estacion 1.

Si la terminación hace un corto circuito, entonces $Z_T = 0$

$E_R = -E_I$ y $E_T = 0$. Esta reflexion de onda puede regresar al inicio de la linea y reducir el voltaje ahí.

Si la terminación es un circuito abierto, entonces Z_T se aproxima a infinito, $E_R = E_I$ y $E_T = 2E_I$. Esta reflexion puede retornar y tiende a incrementar el voltaje en el bus local. Por lo tanto, las 20 millas de linea circuito abierto de la

estación 2 en las figura III.1 tendrá un efecto desfavorable en el VTR.

Si la terminación es una inductancia o capacitancia, Z_T es igual a sL o $1/sC$, y la reflexión puede ser analizada por transformada de Laplace. Inicialmente las inductancias se asemejan a circuitos abiertos y entonces se convierten en cortos circuitos conforme s se aproxime a cero (condiciones d.c.); mientras que las capacitancias inicialmente asemejan a cortos circuitos y entonces se convierten en circuitos abiertos. Esto puede ser visto en la terminación inductiva de la estación 3 y 5, y se incrementa el pico VTR en la estación 1. Sin embargo el VTR decrece uniformemente después del pico alcanzado.

Usualmente los generadores del programa EMTF son conectados entre un nodo y tierra. Con el fin de proporcionar un modelo de inyección de corriente en la falla, que es conectado entre dos nodos, se ponen dos fuentes de corriente como si fueran conectadas a tierra como se ve en la figura III.3.

El valor de la corriente inyectada es igual en magnitud y opuesta en polaridad a la corriente de falla. Por superposición en un circuito lineal, el resultado de la corriente en el circuito interruptor es cero, en la simulación de corriente de interrupción. Voltajes aparentes en la red, como un resultado de la inyección de corriente, define que el VTR ocurre como un resultado de la corriente de interrupción.

A fin de estimar el VTR para la primera fase del circuito interruptor para eliminar una falla de tres fases sin conductor a tierra, puede ser desarrollada una simplificación del circuito, como se muestra en la figura III.4. Desde entonces la falla es sin conductor a tierra y la segunda y tercera fase son conectadas en paralelo a tierra. Entonces la capacitancia en el bus de 230 kV es solo de 0.005

microfarads, la cual puede ser ignorada por la simplificación del cálculo.

Esta simplificación del circuito muestra como una falla de tres fases sin conductor a tierra es tan severa. El sistema neutral transfiere e incrementa el VTR. La combinación paralela de L_n y Z/n en las fases B y C incrementan el VTR por 1.5 veces sobre lo que puede ser para una falla de tres fases a tierra. Este factor puede ser una estimación para un análisis de una simple fase multiplicando la corriente de falla por 1.5. Por lo tanto, la magnitud total de la corriente de inyección es:

$$I = 1.5(42)(12.7KA) = 27 \text{ KA pico} \dots \dots \dots (3.7)$$

La figura III.5 muestra el diagrama del sistema, los nombres de los nodos y como fueron usados los datos del sistema en el EMTP. Los datos correspondientes de la entrada son mostrados en la tabla III.4.

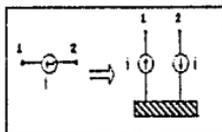


FIG. III.3 CONEXION DE LA FUENTE DE INYECCION DE CORRIENTE

TABLA III.4

ENTRADA DE DATOS PARA EL CASO TRV

```

C
C
C
C CASO FOR ANALIZAR: VOLTAJE DE RECUPERACION TRANSITORIA DEBIDO
      A UNA FALLA EN EL BUS DE 230KV
C
C RESIN MEN DATA CASE
C
C   TARJETA PARA LOS PRIMEROS DATOS MISCELANEOS
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C 1-8  9-16 17-24 25-32
C DELTAT  TWA1  XOPT  COPT
1.0E-61000.E-6      0      0
C
C   TARJETA PARA LOS SEGUNDOS DATOS MISCELANEOS
C 1-8  9-16 17-24 25-32 33-40 41-48 49-56 57-64 65-72 73-80
C PRINT  PLOT NETWORK  PULBS  PR.NAX  I PUM  PUNCH  BUMP  NLT. DIAGNOS
3000      1      1      1
C
C   DATOS DE BARRAS
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C BO = TIPO DE SALIDA (GUMMICH OUTPUT).
C BO = 1, SE OBTIENE CORRIENTE DE BARRA; BO = 2, SE OBTIENE VOLTAJE DE BARRA.
C BO = 3, SE OBTIENE "V" E "I" DE BARRA; BO = 4, POTENCIA Y ENERGIA.
C 1-8  9-14 15-20 21-26 27-32 33-38 39-44
C TIE TO 345 KV
C BUS K BUS H          R      L      C          BO
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
STAT 1A              64.600
C CAPACITANCIA DEL BUS DE 230-KV
STAT 1A              .00500
C BUS DEL INTERRUPTOR
STAT1ABR 1          .00010
C FALLA
BR 2              .00010
C
C LINEAS DE TRANSMISION
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C 27-32 33-38 39-44 45-50 CODIGO EN COLUMNA "S2"
C          R      I      V      L (M.LONGITUD)
-1STAT1ASTAT2A      .24300450.001.78E330.000 1
-1STAT1ASTAT3A      .24300450.001.78E330.000 1
-1STAT1ASTAT4A      .24300450.001.78E330.000 1
-1STAT1ASTAT3A      .243002.5280.0124830.000 0
-1STAT1ASTAT5A      .243002.5280.0124830.000 0
C
C -IMPEDANCIA CARACTERISTICA A LAS ESTACIONES
STAT2A              .77 35.

```

STARTED .763 30.

BLANK CARD TERMINATING BRANCH CARDS

C INTENSIFICADORES

C 2456789012345678901234567890

C 3-8 9-14 15-24 25-34

C BUS1 BUS2 CLOSE OPEN

C 2456789012345678901234567890

BLANK CARD TERMINATING SWITCH CARDS

C TARJETA DE FUENTES

C 245678901234567890123456789012345678901234567890

C 3-8 11-20 21-30 31-40

C BUS1 AMPLITUD FRECUENCIA TO

C 14800 1-1 27000. 60.0 90.0

C 14800 2-1 27000. 50.0 90.0

BLANK CARD TERMINATING SOURCE CARDS

C VOLTAJES A GRAFICAR

C 000001 000001 000001 000001

C BKR 1 BKR 2

C GRAFICACION DE RESULTADOS

32

C PRINTER PLOT

C 24567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890

2 << ANALISIS DE CIRCUITO CON UNA FRECUENCIA >>

C COLUMNA 1-2: FLAG (ES SIEMPRE "1")

C COLUMNA 3: TYPE (4=VOLTARE DE NODO; 8=VOLTARE DE RAMA; 9=CORRIENTE)

C COLUMNA 4: UNITS (3=ESCALA DE TIEMPO EN SEGUNDOS)

C (4= " " " " * MILISEGUNDOS)

C (5= " " " " * MICROSEGUNDOS)

C HPT1 (NUMERO DE UNITS POR PULGADA)

C DRT1 (TIEMPO DE INICIO(en UNITS) DE LA GRAFICA)

C COLUMNA 12-15: END (TIEMPO FINAL DE GRAFICADO)

C BUS 1 Y BUS 2: (SE DA EL NOMBRE DE LOS NODOS DE RAMA A GRAFICAR)

C BUS 3 Y BUS 4: (SE DA EL NOMBRE DE LOS NODOS DE LA SEGUNDA RAMA

A SER DEBUTADA EN LA MISMA GRAFICA)

C 5-78-11 25-30 31-36 37-42 43-48 49-64 65-80

C 14525. 300. TRMNH BUS 1 BUS 2 BUS 3 BUS 4 ETIQ. SUPERIOR ETIQ. VERTICAL

14525. 300. BKR 1 VOLT. NODO V O L T

14525. 300. BKR 2 VOLT. NODO V O L T

14525. 300. BKR 1 BKR 2 VOLT. NODO V O L T

14525. 300. BKR 1 BKR 2 VOLT. RAMA V O L T

14525. 300. BKR1 ASMR2 A CORRIENTE A M P E R

BLANK CARD TERMINATING PLOTTING

BLANK CARD TERMINATING THE CASE

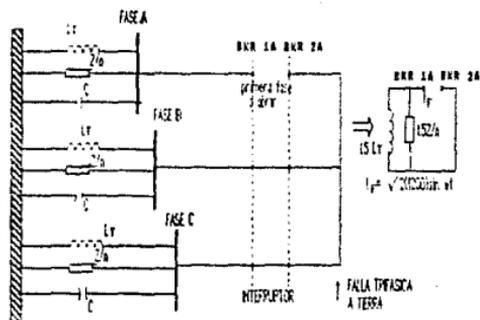


FIG. III.4 CIRCUITO SIMPLIFICADO PARA EL CALCULO DE VTR

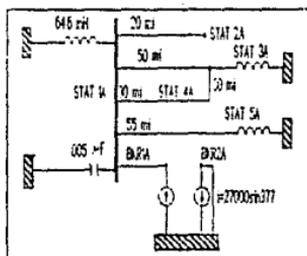


FIG. III.5 DIAGRAMA DE CIRCUITO, NOMBRES DE NODOS Y DATOS PARA EL SISTEMA.

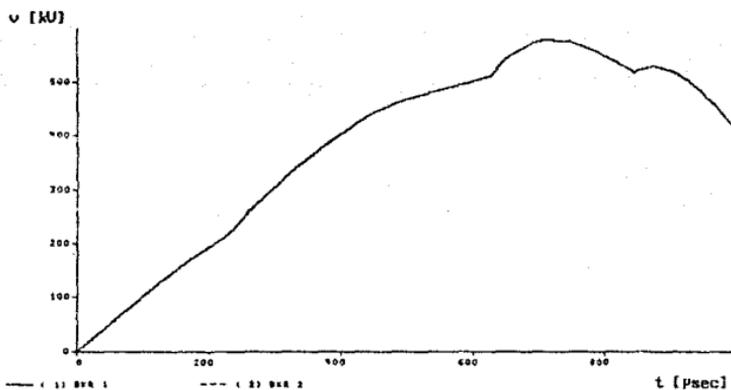


FIG. III.6 VOLTAGE A TRAVES DE LAS TERMINALES DEL CIRCUITO INTERRUPTOR "BKR 1" Y "BKR 2" CON TERMINACION INDUCTIVA EN LAS ESTACIONES 3 Y 5

La figura III.6 muestra el VTR para el caso con terminación inductiva en la estación 3 y 5. La curva sigue una exponencial hasta que la primera reflexión aparece. Este VTR está dado por:

$$e(t) = 1.5 \left(\sqrt{2} I_{rms} \right) \times L_T \left(1 - e^{-t/2n \times T} \right) \dots (3.8)$$

Donde n es el número de las líneas de la estación 1. En nuestro caso:

$$e(t) = 27000 \times 377 \times 0.0646 \left(1 - e^{-t/20 \times 2 \times 0.00001} \right) \\ = 658 \left(1 - e^{-1742t} \right) \text{ kV} \dots (3.9)$$

En 200 microsegundos, el VTR es 193 kV de acuerdo a la ecuación 3.9, lo que corresponde con la figura III.6.

El rango inicial del rizo para el VTR es muy importante. Para el ANSI Standards, este valor no tiene que ser más de 1.8 kV entre microseg. Para 242 kV para clase de circuitos interruptores. Este rango de rizo, R, puede ser estimado tomando la ecuación 3.9 y sustituyendo $T = 0$.

$$R = 658 \times 1742 \text{ kV/seg} = 1.14 \text{ kV/seg} \dots (3.10)$$

Por lo tanto, R está dentro de la capacidad del circuito interruptor. Este valor es fácilmente comprobado con la figura III.6 tras examinar el rango de 0 a 50 microsegundos en la gráfica.

La velocidad especificada de las señales fue de 1.78×10^8 millas/seg o 5.62 microseg/millas. El límite de la línea tiene una longitud de 20 millas. Por lo tanto, el tiempo de ida y vuelta es de $20 \times 2 \times 5.62$ o 224.7 useg. La figura III.6 muestra claramente el tiempo cuando la primera reflexión del límite de la línea regresa a la estación 1 e incrementa el VTR. La segunda reflexión del límite de la línea, que es una reflexión de la línea, regresa en 449.4 useg.

Las reflexiones iniciales de las estaciones 7 y 5 llegan a la estación 1 entre 652 y 618 microseg. Las terminaciones inductivas causan breves incrementos en el VTR. El efecto de la estación 5 es mas significativo puesto que esta solo tiene una línea que entra mientras que la estación 3 tiene 2 líneas. Una reflexión de la señal que entra a la estación 5 aparece en 843 microsegundos. Esta reflexión viene de la línea abierta y de la estación 2. El valor pico del VTR, E_2 , es 576 kV en la figura III.6. lo que excede el rango ANSI Standar de 426 kV por 246 kV (clase de circuitos interruptores).

La situación es mejorada al no interrumpir por completo la falla de corriente. El estándar especifica un incremento en E_2 para disminuir las corriente dadas por la siguiente operación:

$$K_{\omega} = ((15 - 1\%) / 567) + 1.15 \dots\dots\dots(3.11)$$

Con rangos estándar de interrupción de 31.5 kA, 40 kA y 63 kA disponibles en esta clase de voltajes, los límites actuales en E_2 cuando interrumpen 12.7 kA podran ser 471 kV, 477 kV y 486 kV, respectivamente. Desafortunadamente, E_2 en la figura III.6 excede este rango.

Ante esta situación, cuatro opciones son disponibles:

1. Sumar más detalles al calculo del VTR para mejorar la precisión.
2. Cambiar la configuración del sistema para reducir el VTR.
3. Usar un circuito interruptor con mas capacidad para VTR.

4. Consultar al fabricante del interruptor acerca del rango actual del dispositivo y/o posibles modificaciones que pueden ayudar.

La opción 3 complicará el uso de un interruptor clase 360 kV en un sistema de 250 kV, lo cual es altamente indeseable. La opción 4 debería ser simplemente explorada, pero esto queda fuera de alcance en esta tesis.

La opción 1 podrá complicar reduciendo la corriente de falla de interrupción o reduciendo totalmente la inductancia local de la fuente. Reduciendo L_f también incrementaría la corriente de falla, pero el efecto sobre el VTF sería benéfico de acuerdo a la ecuación 3.8.

Como un ejemplo de la opción 1 está considerar la fuente inductiva de impedancias en la estación 3 y 5. Puede ser más real considerar cada estación con tres líneas de salida y un transformador. Cada línea tiene 450 ohms de impedancia, que produce un equivalente a 150 ohms de resistencia a tierra en cada estación. El transformador origina inductancias que son asumidas para ser 0.075 p.u., lo que es tres veces la inductancia original de la estación generadora. El caso VTR fue repetido con nueva terminación de impedancias como se muestra en la tabla III.5, con resultados que se muestran en la figura III.7.

TABLA III.5

TERMINACION DE LINEA EN TRANSFORMADOR EN ESTACIONES 3 Y 5

| C IMPEDANCIAS DE FUENTE EQUIVALENTE | |
|-------------------------------------|----------|
| STAT3A | .377 105 |
| STAT5A | .763 105 |
| STAT3A | 150 |
| STAT5A | 150 |
| BLANK CARD TERMINATING BRANCH CARDS | |

Este cambio no fue realizado en el VTR hasta que el reflejo de la onda de la estación 3 y 5 llegó a la estación 1. El último pico VTR es ahora 495 kV lo que sin embargo excede el rango, pero por una muy pequeña cantidad.

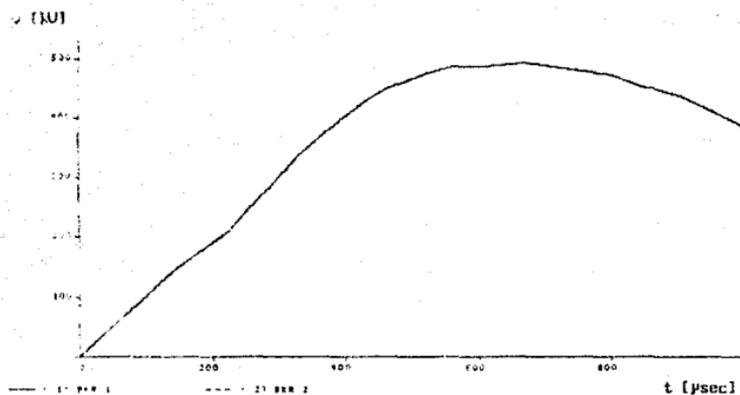


FIG. III.7 VOLTAGE A TRAVES DE LAS TERMINALES DEL CIRCUITO INTERRUPTOR "BKR 1" Y "BKR 2" TERMINACION DE LA LINEA CON UN TRANSFORMADOR EN LAS ESTACION 3 Y 5

CAPITULO IV

CASO 3: CALCULO DE CONSTANTES DE LINEA

Los modelos de las líneas de transmisión son parte muy importante en la mayoría de las simulaciones del EMTP. Después esto es usualmente necesario para modelar sistemas polifásicos y fenómenos de alta frecuencia. Los modelos de la línea requieren diferentes y más detallados datos que son usados en corto circuito, flujo de carga, y programas de estabilidad. El EMTP incluye un subprograma llamado LINE CONSTANTS (constantes de línea) el cual calcula parámetros del modelo a partir de los datos del conductor y geometría de la torre.

La rutina LINE CONSTANTS de la línea calcula la distribución de resistencia, inductancia y capacitancia en una simple frecuencia e imprime los resultados en una forma apropiada a la entrada del EMTP. Esto forma la base para establecer diversos tipos de modelos de línea.

- 1) Parámetro constante, transposición, modelo de onda viajera. Esto representa los parámetros de la secuencia positiva y cero. Esto es de más utilidad para estudios de bajas frecuencias semejante a SSF (un fenómeno de secuencia positiva). Esto es además aceptable por rápidos y simples estudios conducidos a obtener un sentido para el fenómeno. Este modelo no representa pérdidas de frecuencia dependiente, frecuencia-dependiente retorno a tierra, o no transposición de líneas.
- 2) Parámetro-constante, sin transposición, modelo de onda viajera (K. C. modelo de Lee). Este es similar al modelo número 1, pero este representa desbalanceo de impedancias y líneas sin transposición. Esto es de

mas utilidad para bajas frecuencias o estudios en estado estable donde la linea desbalanceada es importante.

- 3) Pi secciones. Estos son analogos para el TNA, modelos de linea. Estos son computacionalmente ineficientes en el EMTP, no representa perdidas de frecuencia-dependiente y puede ser posible que cause falsas oscilaciones en alta frecuencia. En la mayor parte de las veces el modelo 2 podra ser usado en lugar de pi secciones. Un ejemplo de ellos se usa en calculos de estado estable.
- 4) Modelos de frecuencia-dependiente. Existen dos formas en el uso comun. Uno (el Dommel-Meyer) asume transposicion de la linea, y el otro no (modelo de Marti). Sin embargo, hay muchas otras aplicaciones consideradas para estos modelos lo que esta fuera de aplicacion en esta tesis. Estos modelos pueden ser usados para estudiar las ondas durante el switcheo de la linea y otros estudios en alta frecuencia.

El programa constantes de linea nos ayuda para la entrada basica de todos los modelos de linea comunmente usados por el EMTP.

Tres ejemplos del programa constantes de linea son presentados. El primero considera una configuracion de una linea de 500 kV. Los parametros para el modelo 1 seran usados por switcheo de ondas, estudiado en los casos 7 y 8. El segundo ejemplo considera dos circuitos de 345 kV compartiendo el mismo derecho de via. Seis fases de seccion pi seran usados en el caso 6 para representar los dos circuitos trifasicos con circuitos acoplados durante una condicion de estado estable. El tercer ejemplo considera una linea de 230 kV con el modelo de K. C. Lee usado para representar el alambre protector (hilo de guarda) y un conductor de una fase representando un conductor de dos

fases. Este modelo sera usado para el estudio de descargas atmosfericas en el caso 4.

La linea de 500 kV, la geometria de la torre y los datos del conductor son representados en la figura IV.1. Esta informacion es trasladada dentro del programa LINE CONSTANTS mostrados en la figura IV.1. La estructura del archivo de entrada LINE CONSTANTS es:

```
BEGIN NEW DATA CASE
LINE CONSTANTS
  conductor data cards
BLANK CARD TERMINATING CONDUCTOR CARDS
  frequency and output option cards
BLANK CARD TERMINATING FREQUENCY CARDS
BLANK CARD TERMINATING LINE CONSTANTS INPUT
BLANK CARD TERMINATING EMTF INPUT
```

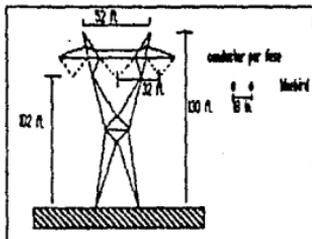


FIGURA IV.1 CONFIGURACION DE LA LINEA DE 500 KV

Mas de una constante de linea puede ser calculado en el mismo caso por la adición de tarjetas para conductores y frecuencias antes de BLANK CARD TERMINATING CONSTANTS INPUT.

Usualmente los datos de entrada estarán en unidades inglesas, esto es pies y pulgadas; sin embargo, hay una opción para la entrada de datos en unidades métricas.

Hay una tarjeta por cada conductor. Los conductores con el mismo número de fase pueden ser agrupados dentro de un conductor equivalente en el modelo de una línea final. En la tabla IV.1, las tres primeras tarjetas para los conductores representan tres fases separadas y son numeradas del uno al tres. El paquete de subconductores es manejado a través de una opción automática de agrupamiento descrita más adelante. La cuarta y quinta tarjeta de conductores representan el cable de guarda. Ambas tienen fase cero, las cuales se pueden reducir a la salida del modelo de línea final, basándose en una asunción de constante de potencial cero a lo largo del cable de guarda. Junto al número de fase, la siguiente tarjeta de parámetros de conductor puede ser de interés para el usuario que inicia.

RESIS.- d.c. Resistencia de conductor en ohms por milla.

DIAM.- Diámetro del conductor en pulgadas.

HORIZ.- Desplazamiento horizontal del conductor desde una línea de referencia vertical, en pies. La línea de referencia podrá ser la línea central de la torre.

VTOWER.-Altura del conductor en pies.

VMID.- Altura del conductor en pies.

El programa usa un promedio de altura definido por $h = (VTOWER + 2VMID) / 3$. El usuario puede opcionalmente meter este promedio de altura VTOWER y dejar VMID vacío.

La opción automática de agrupamiento para las tres fases es accionada por el "2" en la columna 80 de tarjeta de conductor de fase. Esto significa que son dos subconductores por agrupamiento. SEPAR es la separación del subconductor en

TARLA IV.1

ENTRADA DE DATOS PARA UNA LINEA DE TRANSMISION DE 500 KV

```

C
C
C
C
C DESCRIPCION DEL CASO: CALCULO DE LOS PARAMETROS DE UNA
C LINEA DE TRANSMISION TIPICA DE
C 500 KV.
C
C
C BEGIN NEW DATA CASE
C LINE CONSTANTS
C ENGLISH
C
C 1 2 3 4 5 6 7
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C COLUMNA 1-3: NUMERO DE FASE
C COLUMNA 17,18: USUJLMENTE UN *#*
C COLUMNA 80: NUMERO DE CONDUCTORES EN EL BUNDLE
C 4-8 9-16 17-26 27-34 35-42 43-50 51-58 59-66 67-72 73-78
C SKTN RESIS REACT DIAM HORIZ VTOMER UNID SEPAR ALPHA NOME
C
1 0.5 0.0426 4 1.762 -32.0 102.1 32.0 18.0 0.0 2
2 0.5 0.0426 4 1.762 0.0 102.1 32.0 18.0 0.0 2
3 0.5 0.0426 4 1.762 32.0 102.1 32.0 18.0 0.0 2
0 0.5 2.4 4 0.325 -19.8 130.0 83.5
0 0.5 2.4 4 0.325 19.8 130.0 83.5
C
C BLANK CARD TERMINATING CONDUCTOR CARDS
C
C TARJETA DE FRECUENCIA
C 10 20 30 40 50 60 70 80
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C COLUMNA 44: ICAP
C COLUMNA 58: ISEB
C COLUMNA 59: MUTUAL
C COLUMNA 60-62: IDIC
C COLUMNA 63-65: IPNT
C COLUMNA 66-68: IPUN
C COLUMNA 69-70: MODAL
C COLUMNA 71-72: ITRESF
C 345678901234567890123456789012345678901234
C 1-8 9-18 19-28 29-35 37-42 45-5254-57
C EARTH FREQUENCY GANSON PRINT PRINT DIST IPIPR
C RESIS HI ACCURACY (C) (Z)
100. 60.0 1 111111 111111 1
C
C BLANK CARD TERMINATING FREQUENCY CARDS
C BLANK CARD TERMINATING LINE CONSTANTS CASES
C BLANK CARD TERMINATING THE CASE
    
```

pulgadas. ALPHA es un ángulo del subconductor con respecto al horizontal. Usa las siguientes ALPHA:

- ALPHA=0 para dos conductores horizontales agrupados.
- ALPHA=90 para dos conductores verticales agrupados.
- ALPHA=45 para cuatro conductores agrupados.
- ALPHA=30 para tres conductores agrupados, triángulo invertido.

Hay usualmente una tarjeta de frecuencia para cálculos elementales en LINE CONSTANT. Tarjetas adicionales y salidas opcionales son usadas para modelos de línea de frecuencia de pendiente. Los parámetros de interés para iniciar son:

- EARTH RESIS = Resistividad de la tierra en ohms/metro. Suponer igual a 100 en ausencia de otra información.
- FREQUENCY = Frecuencia por la que inductancias y resistencias son evaluadas. Usualmente, pero no necesariamente, poner igual a la frecuencia (de transmisión).
- CARLSON ACCURACY = 1 para la mayor parte de los casos, esto controla la corrección por efectos de retorno a tierra por ecuación de Carlson.
- COLUMN 44 = 1 para matriz de capacitancias en microfarads.
0 para derivar matrices de admitancias en microohms.

Los parámetros para la impresión de las matrices resultantes se colocan en las columnas 30-35 y 37-42. Estos solicitan la impresión de las matrices de impedancias y admitancias (o capacitancias) y sus inversas. Estas son evaluadas por el sistema de conductores físicos (3 en nuestro ejemplo), el sistema equivalente después del agrupamiento, deducción de los cables de guarda (3 fases en nuestro ejemplo) y la representación de los componentes

simétricos. Estos podrían ser puestos igual a 1 para obtener la impresión de resultados completa.

La salida de LINE CONSTANT de este caso es mostrada en la tabla IV.2. La primer página contiene la repetición de los datos de entrada y una tabla de los conductores de la línea. El programa internamente genera tres tarjetas de conductores extra para subconductores definidos para la opción automática de agrupamiento y prepara un total de ocho entradas para la tabla de conductores. Note que cada subconductor es espaciado ± 9 pulgadas de la posición definida en HORIZ en la tarjeta de conductor. Las alturas promedio de los conductores son también calculadas.

Las siguientes páginas contienen la impresión de las matrices de salida en el siguiente orden:

| | |
|---------------|------------------------------------|
| C^{-1} o P, | conductores físicos. |
| C | , conductores físicos. |
| C^{-1} o P, | conductores de fase equivalente. |
| C^{-1} o P, | conductores simétricos. |
| C | , conductores de fase equivalente. |
| C | , componentes simétricos. |
| Z | , conductores físicos. |
| Z^{-1} | , conductores físicos. |
| Z | , conductores de fase equivalente. |
| Z | , conductores simétricos. |

Parámetros

de onda

| | |
|----------|------------------------------------|
| viajera | , componentes simétricos |
| Z^{-1} | , conductores de fase equivalente. |
| Z^{-1} | , componentes simétricos. |

Los parámetros de onda viajera pueden ser usados directamente en los parámetros constantes del modelo de transposición de línea del EMTP. Los parámetros de la tabla IV.3 fueron reunidos de la salida de esta sección de la tabla IV.2 para usarse en los casos 7 y 8. Son convenientes

TABLE 17.2

SALIDA DE DATOS PARA UNA LINEA DE TRANSMISION DE 500 KV

Alternative Transients Program (ATP), IBM PC XT translation. Copyright 1987. Use licensed only through LEE (K.U. Leuven, Belgium).
 Date (dd-mth-yy) and time of day (H.MM.SS) = 23-Feb-93 15:53:33 No plot file. Punch file of LIMI17-23155333.pch
 For information, consult the copyrighted ATP Rule Book published by LEE in July, 1987. Last major program update: Dec, 1987
 Total length of "LABCDN" tables = 14484 INTEGER words. "WARDIM" List Sizes follow: 22 20 300 20 8
 3 700 9 8 8 8 8 5000 8 -999 8 1 5 200 8 8 8 8 8 10 8

Descriptive interpretation of input data cards. R Input data card images are shown below, all 80 columns, character by character
 0 1 2 3 4 5 6 7 8
 01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890

Comment card. NUPOCD = 5529. RC data:CASESA.DAT
 Comment card. NUPOCD = 5530. RC
 Comment card. NUPOCD = 5531. RC
 Comment card. NUPOCD = 5532. RC
 Comment card. NUPOCD = 5533. RC DESCRIPCION DEL CASO: CALCULO DE LOS PARAMETROS DE UNA
 Comment card. NUPOCD = 5534. RC LINEA DE TRANSMISION TIPICA DE
 Comment card. NUPOCD = 5535. RC 500 KV.
 Comment card. NUPOCD = 5536. RC
 Header card preceding new ATP data case. RECDIN NEW DATA CASE
 Compute overhead line constants. Limit = 52 RLNE CONSTANTS
 Request for English (not metric) units. ENGLISH
 Comment card. NUPOCD = 5540. RC
 Comment card. NUPOCD = 5541. RC 1 2 3 4 5 6 7
 Comment card. NUPOCD = 5542. RC 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
 Comment card. NUPOCD = 5543. RC COLUMN 1-3: NUMERO DE FASE
 Comment card. NUPOCD = 5544. RC COLUMN 17,18: USUARIAMENTE UN "4"
 Comment card. NUPOCD = 5545. RC COLUMN 80: NUMERO DE CONDUCTORES EN EL BUNDE
 Comment card. NUPOCD = 5546. RC 4-8 9-16 17-24 25-34 35-42 43-50 51-58 59-66 67-72 73-78
 Comment card. NUPOCD = 5547. RC SKIN RESIS REACT OIEM HORIIZ VTOMER WIND SEPAR ALPHA NME
 Comment card. NUPOCD = 5548. RC
 Line conductor card. 5.000E-01 4.260E-02 4 R 1 0.5 0.0426 4 1.762 -32.0 102.1 32.0 18.0 0.0 2
 Line conductor card. 5.000E-01 4.260E-02 4 R 2 0.5 0.0426 4 1.762 0.0 102.1 32.0 18.0 0.0 2
 Line conductor card. 5.000E-01 4.260E-02 4 R 3 0.5 0.0426 4 1.762 32.0 102.1 32.0 18.0 0.0 2
 Line conductor card. 5.000E-01 2.400E+00 4 R 0 0.5 2.4 4 0.385 -19.8 130.0 83.5
 Line conductor card. 5.000E-01 2.400E+00 4 R 0 0.5 2.4 4 0.385 19.8 130.0 83.5
 Blank card terminating conductor cards. BLANK CARD TERMINATING CONDUCTOR CARDS
 Comment card. NUPOCD = 5555. RC
 Comment card. NUPOCD = 5556. RC TARJETA DE FRECUENCIA
 Comment card. NUPOCD = 5557. RC 10 20 30 40 50 60 70 80
 Comment card. NUPOCD = 5558. RC 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
 Comment card. NUPOCD = 5559. RC COLUMN 44: ICAP
 Comment card. NUPOCD = 5560. RC COLUMN 58: ISES
 Comment card. NUPOCD = 5561. RC COLUMN 59: PULTUAL
 Comment card. NUPOCD = 5562. RC COLUMN 60-62: IDEC
 Comment card. NUPOCD = 5563. RC COLUMN 63-65: IPNT
 Comment card. NUPOCD = 5564. RC COLUMN 66-68: IPUN
 Comment card. NUPOCD = 5565. RC COLUMN 69-70: MODAL
 Comment card. NUPOCD = 5566. RC COLUMN 71-72: ITRNSF

Comment card. NUPDCI = 5567. AC 3456789A123456789B123456789C123456789D1234
 Comment card. NUPDCI = 5568. AC 1-8 9-18 19-28 30-35 37-42 45-52A-57
 Comment card. NUPDCI = 5569. AC EARTH FREQUENCY CARSON PRINT PRINT DIST IPRR
 Comment card. NUPDCI = 5570. AC RESIS HI ACCURACY (C) (Z)
 Frequency card. 1.000E+02 6.000E+01 0.000E+00 X 100. 60.0 1 111111 111111 1

Line conductor table after sorting and initial processing.

| Table Row Number | Phase | Skin effect R-type | Resistance R (ohm/ft) | Reactance X-type | Reactance X (ohm/ft) or GPR | Diameter (inches) | Horizontal 1 (feet) | Avg height Y (feet) |
|------------------|-------|--------------------|-----------------------|------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 1 | 0.50000 | 0.04260 | 4 | 0.000000 | 1.76200 | -32.750 | 55.367 |
| 2 | 2 | 0.50000 | 0.04260 | 4 | 0.000000 | 1.76200 | -0.750 | 55.367 |
| 3 | 3 | 0.50000 | 0.04260 | 4 | 0.000000 | 1.76200 | 31.250 | 55.367 |
| 4 | 1 | 0.50000 | 0.04260 | 4 | 0.000000 | 1.76200 | -31.250 | 55.367 |
| 5 | 2 | 0.50000 | 0.04260 | 4 | 0.000000 | 1.76200 | 0.750 | 55.367 |
| 6 | 3 | 0.50000 | 0.04260 | 4 | 0.000000 | 1.76200 | 32.750 | 55.367 |
| 7 | 0 | 0.50000 | 2.40000 | 4 | 0.000000 | 0.32500 | -19.800 | 99.000 |
| 8 | 0 | 0.50000 | 2.40000 | 4 | 0.000000 | 0.32500 | 19.800 | 99.000 |

Matrices are for earth resistivity = 1.00000000E+02 ohm-meters and frequency 6.00000000E+01 Hz. Correction factor = 1.00000000E-06

Inverted capacitance matrix, in units of idaraf-mile \hat{L} for the system of physical conductors. Rows and columns proceed in the same order as the sorted input.

```

1 8.174429E+07
2 1.431323E+07 8.174429E+07
3 7.732981E+06 1.431323E+07 8.174429E+07
4 4.804709E+07 1.480991E+07 7.932716E+06 8.174429E+07
5 1.384272E+07 4.804709E+07 1.480991E+07 1.431323E+07 8.174429E+07
6 7.540150E+06 1.384272E+07 4.804709E+07 7.732981E+06 1.431323E+07 8.174429E+07
7 1.368010E+07 1.322245E+07 9.875827E+06 1.377112E+07 1.309169E+07 9.719372E+06 1.652231E+08
8 9.719372E+06 1.309169E+07 1.377112E+07 9.875827E+06 1.322245E+07 1.368010E+07 1.819515E+07 1.652231E+08
  
```

Capacitance matrix, in units of ifarads/mile \hat{L} for the system of physical conductors. Rows and columns proceed in the same order as the sorted input.

```

1 1.896846E-06
2 -7.480775E-10 1.915096E-08
3 -2.293066E-10 -7.340187E-10 1.902470E-08
4 -1.068123E-08 -8.70742E-10 -2.53242E-10 1.902470E-08
5 -6.339375E-10 -1.052890E-08 -8.70742E-10 -7.340187E-10 1.915096E-08
6 -2.08264E-10 -6.359375E-10 -1.068123E-08 -2.293066E-10 -7.480775E-10 1.896846E-08
7 -7.880034E-10 -6.509200E-10 -3.994502E-10 -7.864318E-10 -6.175484E-10 -3.832256E-10 1.017431E-08
8 -3.832256E-10 -6.175484E-10 -7.864318E-10 -3.994502E-10 -6.509200E-10 -7.880034E-10 -1.352050E-09 1.017431E-08
  
```

Inverted capacitance matrix, in units of $\mu\text{farads/mile}$ ϵ for the system of equivalent phase conductors.
Rows and columns proceed in the same order as the sorted input.

```
1 6.256149E+07
2 1.161166E+07 6.208426E+07
3 5.525120E+06 1.161166E+07 6.256149E+07
```

Inverted capacitance matrix, in units of $\mu\text{farads/mile}$ ϵ for symmetrical components of the equivalent phase conductor
Rows proceed in the sequence (0, 1, 2), (0, 1, 2), etc.; columns proceed in the sequence (0, 2, 1), (0, 2, 1), etc.

```
0 8.187390E+07
0.000000E+00
1 -9.581185E+05 2.154823E+06
1.659510E+06 3.732313E+06
2 -9.581185E+05 5.266666E+07 2.154823E+06
-1.659510E+06 -6.208117E-10 -3.732313E+06
```

Capacitance matrix, in units of $\mu\text{farads/mile}$ ϵ for the system of equivalent phase conductors.
Rows and columns proceed in the same order as the sorted input.

```
1 1.663070E-08
2 -2.988798E-09 1.724432E-08
3 -9.204391E-10 -2.988798E-09 1.663070E-08
```

Capacitance matrix, in units of $\mu\text{farads/mile}$ ϵ for symmetrical components of the equivalent phase conductor
Rows proceed in the sequence (0, 1, 2), (0, 1, 2), etc.; columns proceed in the sequence (0, 2, 1), (0, 2, 1), etc.

```
0 1.223660E-08
0.000000E+00
1 2.424494E-10 -7.917100E-10
-4.199347E-10 -1.371282E-09
2 2.424494E-10 1.913456E-08 -7.917100E-10
4.199347E-10 1.378624E-25 1.371282E-09
```

Impedance matrix, in units of ohms/mile ϵ for the system of physical conductors.
Rows and columns proceed in the same order as the sorted input.

```
1 1.403800E-01
1.311866E+00
2 9.149922E-02 1.403800E-01
5.463270E-01 1.311866E+00
3 9.122813E-02 9.149938E-02 1.403800E-01
4.627443E-01 5.463270E-01 1.311866E+00
4 9.142659E-02 9.141092E-02 9.136128E-02 1.403800E-01
```

| | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| | 9.17671E-01 | 5.51137E-01 | 4.68121E-01 | 1.21186E+00 | | | | | |
| 5 | 9.14977E-02 | 9.14245E-02 | 9.14109E-02 | 9.14097E-02 | 1.40283E-01 | | | | |
| | 5.40789E-01 | 9.17671E-01 | 5.52162E-01 | 5.46337E-01 | 1.31186E+00 | | | | |
| 6 | 1.12541E-02 | 9.14977E-02 | 9.14245E-02 | 9.13581E-02 | 9.14097E-02 | 1.40380E-01 | | | |
| | 4.59434E-01 | 5.40789E-01 | 9.17671E-01 | 4.42244E-01 | 5.46337E-01 | 1.31186E+00 | | | |
| 7 | 9.00251E-02 | 9.00222E-02 | 8.99891E-02 | 9.00256E-02 | 9.00213E-02 | 8.99687E-02 | 2.48881E+00 | | |
| | 5.05182E-01 | 4.99719E-01 | 4.97997E-01 | 5.06763E-01 | 4.98150E-01 | 4.93938E-01 | 1.50183E+00 | | |
| 8 | 8.79568E-02 | 9.00213E-02 | 9.00256E-02 | 8.99691E-02 | 9.00222E-02 | 9.00251E-02 | 8.56643E-02 | 2.48881E+00 | |
| | 4.52536E-01 | 4.98150E-01 | 5.06763E-01 | 4.97997E-01 | 4.99719E-01 | 5.05182E-01 | 5.22659E-01 | 1.50183E+00 | |

Inverted impedance matrix, in units of $\omega h_0/\text{mile}$ \hat{z} for the system of physical conductors.
Rows and columns proceed in the same order as the sorted input.

| | | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--|
| 1 | 1.77289E-01 | | | | | | | | |
| | -1.56667E+00 | | | | | | | | |
| 2 | 5.61134E-03 | 1.80668E-01 | | | | | | | |
| | 1.13767E-01 | -1.59291E+00 | | | | | | | |
| 3 | 9.83632E-03 | 5.80289E-03 | 1.80377E-01 | | | | | | |
| | 6.69424E-02 | 1.10673E-01 | -1.56834E+00 | | | | | | |
| 4 | -1.30407E-01 | 3.85459E-03 | 9.45629E-03 | 1.80377E-01 | | | | | |
| | 9.33393E-01 | 1.22598E-01 | 6.81484E-02 | -1.56934E+00 | | | | | |
| 5 | 7.09920E-03 | -1.29674E-01 | 3.85459E-03 | 5.80289E-03 | 1.80668E-01 | | | | |
| | 1.03839E-01 | 9.05678E-01 | 1.22598E-01 | 1.10879E-01 | -1.59291E+00 | | | | |
| 6 | 1.01657E-02 | 7.09920E-03 | -1.30407E-01 | 9.83632E-03 | 5.61134E-03 | 1.79388E-01 | | | |
| | 6.59886E-02 | 1.03839E-01 | 9.33393E-01 | 6.69424E-02 | 1.13767E-01 | -1.56667E+00 | | | |
| 7 | -4.19807E-02 | -1.50907E-02 | -2.81702E-02 | -4.12321E-02 | -3.40254E-02 | -2.80939E-02 | 3.35426E-01 | | |
| | 2.44628E-02 | 2.15131E-02 | 1.93422E-02 | 2.41668E-02 | 2.12102E-02 | 1.94377E-02 | -1.60760E-01 | | |
| 8 | -2.80939E-02 | -1.40254E-02 | -4.12321E-02 | -2.81702E-02 | -3.50957E-02 | -4.19807E-02 | -2.22337E-02 | 3.35426E-01 | |
| | 1.94377E-02 | 2.12102E-02 | 2.41668E-02 | 1.93422E-02 | 2.15139E-02 | 2.44628E-02 | -1.55470E-02 | -1.60760E-01 | |

Impedance matrix, in units of $\omega h_0/\text{mile}$ \hat{z} for the system of equivalent phase conductors.
Rows and columns proceed in the same order as the sorted input.

| | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|--|
| 1 | 1.90925E-01 | | | |
| | 9.88492E-01 | | | |
| 2 | 1.69461E-01 | 1.97580E-01 | | |
| | 4.16580E-01 | 9.80674E-01 | | |
| 3 | 1.62521E-01 | 1.69461E-01 | 1.90925E-01 | |
| | 3.56622E-01 | 4.16580E-01 | 9.88492E-01 | |

Impedance matrix, in units of $\omega h_0/\text{mile}$ \hat{z} for symmetrical components of the equivalent phase conductor
Rows proceed in the sequence (0, 1, 2), (0, 1, 2), etc.; columns proceed in the sequence (0, 2, 1), (0, 2, 1), etc.

0 5.294367E-01
1.765923E+00

1 -2.257218E-02 -4.623666E-02
-8.958342E-03 2.632235E-02

2 1.904424E-02 2.499181E-02 4.864320E-02
-1.506891E-02 5.961394E-01 2.760789E-02

Sequence Surge impedance Attenuation velocity Wavelength Resistance Reactance Susceptance
magnitude (ohm) angle (deg.) db/mile miles/s miles ohm/mile ohm/mile ohm/mile
Zero: 6.32173E+02 -8.34435E+00 3.67699E-03 1.36655E+03 2.17759E+03 5.29437E-01 1.76592E+00 4.613309E-06
Positive: 2.87601E+02 -1.20030E+00 3.71747E-04 1.81753E+05 3.02922E+03 2.49918E-02 5.96139E-01 7.21236E-06

Inverted impedance matrix, in units of ohm-mile \hat{z} for the system of equivalent phase conductors.
Rows and columns proceed in the same order as the sorted input.

1 9.895179E-02
-1.263233E+00

2 2.236804E-02 1.019880E-01
4.510851E-01 -1.574462E+00

3 3.929472E-02 2.236804E-02 9.895179E-02
2.680221E-01 4.510851E-01 -1.263233E+00

Inverted impedance matrix, in units of ohm-mile \hat{z} for symmetrical components of the equivalent phase conductor
Rows proceed in the sequence (0, 1, 2), (0, 1, 2), etc.; columns proceed in the sequence (0, 2, 1), (0, 2, 1), etc.

0 1.259846E-01
-5.201810E-01

1 -1.842144E-02 -1.437490E-01
-1.595205E-02 6.891017E-02

2 2.305158E-02 7.195239E-02 1.316529E-01
-7.952406E-03 -1.690373E+00 9.020841E-02

Blank card terminating frequency cards.

BLANK CARD TERMINATING FREQUENCY CARDS

Blank card ending "LINE CONSTANTS" cases.

BLANK CARD TERMINATING LINE CONSTANTS CASES

Timing figures characterizing central processor (CP) solution speed.

| | CP sec | I/O sec | Sum sec |
|--------|--------|---------|---------|
| Totals | 26.700 | 0.000 | 26.700 |

Alternative Transients Program (ATP), IBM PC XT translation. Copyright 1987. Use licensed only through LEE (K.U. Leuven, Belgium).

Date (dd-mth-yy) and time of day (hh:mm:ss) = 23-Feb-93 10:54:10 No plot file. Punch file of LUNITT = Z3135410.pch

For information, consult the copyrighted ATP/ENTP Rule Book published by LEE in July, 1987. Last major program update: Dec, 1987

Total length of "LABCON" tables = 16421 INTERFER words. "WARDIN" List Sizes follow: 22 20 300 20 8

9 700 8 8 8 8 8 5000 8 -999 8 ; 5 299 8 8 8 8 8 8 10 8

Descriptive interpretation of input data cards.

8 Input data card images are shown below, all 80 columns, character by character
0 1 2 3 4 5 6 7 8
012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890

Blank card to terminate ENTP execution.

BLANK CARD TERMINATING THE CASE

parámetros en este formato pensando en terminos de onda viajera. La única entrada adicional requerida para el EMTP es la longitud total de la línea en millas.

TABLA IV.3

MODELO DE PARAMETROS DE LINEA 500 KV

| | Resistencia | Impedancia | Velocidad de onda |
|--------------------|--------------------|--------------|----------------------|
| | (Ω /milla) | (Ω) | (milla/seg) |
| Secuencia cero | 0.52944 | 632.17 | 1.31*10E5 |
| Secuencia positiva | 0.02499 | 287.60 | 1.82*10E5 |

En realidad, hay dos formas de línea idénticas (secuencia positiva) con 287.6 ohms con impedancias y velocidades cerca de la velocidad de la luz. El nodo de tierra tiene una alta impedancia, hay más pérdidas y tiene una lenta velocidad de onda.

Las matrices en la tabla IV.2 presentan ambas partes, la real y la imaginaria. Para las matrices Z, estas son válidas y definen $R + j\omega L$, o su inversa. Solo las partes reales de ciertos elementos de C y P serán usados para los componentes simétricos. En particular solo C_{00} , $C_{11} = C_{22}$, P_{00} y $P_{11} = P_{22}$ podrán ser usados. Para las líneas sin transposición, los componentes simétricos son solo una aproximación, lo cual trae como consecuencia la no secuencia cero, acoplamiento de elementos en Z, C etc.

El uso de las matrices impresas en la salida para proveer la entrada del EMTP para los modelos de la línea es ilustrado con el próximo ejemplo. Estas salidas pueden ser de utilidad para comparaciones con otros programas de parámetros de línea o para otro tipo de estudios que no abarca el EMTP.

Dos circuitos de 345 KV que comparten el mismo derecho de via son mostrados en la Figura IV.2. Los datos del conductor son dados en la tabla IV.4. Los datos de entrada de LINE CONSTANTS en la tabla IV.5 son muy similares a los de la entrada del ejemplo anterior. Hay un total de 10 tarjetas de conductores, cuatro de las cuales describen los hilos de guarda. Las seis tarjetas restantes representan los conductores de fase. Las fases numeradas del 1 al 3 representan un circuito, mientras que las fases numeradas del 4 al 6 representan al segundo circuito. Los nombres de los conductores en las columnas 73-78 son opcionales y no tienen efecto en los resultados. Note que cada circuito tiene la misma geometria de la torre pero diferentes conductores y diferentes tipos de hilos de guarda. El desplazamiento horizontal del conductor se refiere a la linea central del camino entre los dos conductores. En este caso, el promedio de altura del conductor es manejada en el campo de VTOWER. El modelo de linea final tendra seis fases, tres por cada circuito.

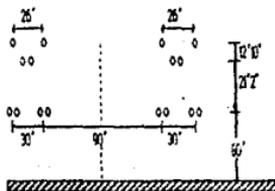


FIG. IV.2 DOS LINEAS DE 345 KV SOBRE EL MISMO DERECHO DE VIA.

TABLA IV.4

Datos de los conductores de la línea de 345 KV

| | Tipo, Nombre | Diametro (pulg.) | Resistencia (Ω/mi) |
|-------------------------|-----------------|------------------|--------------------|
| Linea 1: Hilo de guarda | 3/8" EHS | .36 | 6.59 |
| Conductor | cardinal | 1.196 | .1191 16 in |
| Linea 2: Hilo de guarda | 7 no. 8 Aluweld | .3854 | 1.901 |
| Conductor | Rail | 1.165 | .1195 18 in |

La tarjeta de frecuencia es idéntica a la usada en el ejemplo anterior.

Las matrices seleccionadas a la salida de este caso de LINE CONSTANT son mostradas en la tabla IV.6, llamadas C y Z para los conductores de fase equivalente. Esas matrices están en unidades por milla, y tienen que ser multiplicadas por el número de millas por pi-sección. Los valores resultantes pueden ser usados directamente como una entrada del EMTP para multi-fase RLC acoplando ramas. La rama de referencia característica es conveniente para varias pi-secciones en cascada para formar un modelo de línea. Si las inductancias son especificadas en mH antes que en ohms, los datos de la matriz Z tienen que ser convertidos apropiadamente.

Las pi-secciones pueden contener elementos R y L en serie, con C igualmente repartidos en cada fin de las pi-secciones. Este no es un modelo verdadero de una onda viajera, pero este puede producir buenos resultados si los intervalos de tiempo y el número de las pi-secciones por línea son seleccionados cuidadosamente. De otra manera, los elementos L y C pueden dar un rizo para falsos transitorios. En el caso 6, las pi-secciones son usadas para el cálculo en

estado estable en el cual estas consideraciones no son importantes.

TABLA IV.5

ENTRADA DE DATOS PARA UNA LINEA DE TRANSMISION DE 345 KV

C
C
C
C
C
C DESCRIPCION DEL CASO: CALCULO DE LOS PARAMETROS DE DOS
C LINEAS DE TRANSMISION DE 345 KV.
C MISMO DERECHO DE VIA.
C
C BEGIN NEW DATA CASE
C LINE CONSTANTS
C ENGLISH
C
C 1 2 3 4 5 6 7
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C COLUMNA 1-3: NUMERO DE FASE
C COLUMNA 17,18: USUALMENTE UN "4"
C COLUMNA 80: NUMERO DE CONDUCTORES EN EL BUNDLE
C 4-8 9-16 19-26 27-34 35-42 43-50 51-58 59-66 67-72 73-78
C SKIN RESIS REACT DIAM HERTZ VTOHER WIND SEPAR ALPHA NAME
C
C TORRE IZQUIERDA
1 0.5 0.1195 4 1.165 -60.0 101.2 18. 0. RAIL 2
2 0.5 0.1195 4 1.165 -45.0 80.0 18. 0. RAIL 2
3 0.5 0.1195 4 1.165 -75.0 80.0 18. 0. RAIL 2
0 0.5 1.901 4 .3854 -47.0 114.0
0 0.5 1.901 4 .3854 -73.0 114.0
C TORRE DERECHA
4 0.5 0.1191 4 1.196 60.0 101.2 18. 0. CARDIN 2
5 0.5 0.1191 4 1.196 45.0 80.0 18. 0. CARDIN 2
6 0.5 0.1191 4 1.196 75.0 80.0 18. 0. CARDIN 2
0 0.5 6.59 4 .360 47.0 114.0
0 0.5 6.59 4 .360 73.0 114.0
C BANK CARD TERMINATING CONDUCTOR CARD
C
C TARJETA DE FRECUENCIA
C 10 20 30 40 50 60 70 80
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C COLUMNA 44: ICAF
C COLUMNA 58: ISES
C COLUMNA 59: MUTUAL
C COLUMNA 60-62: IDEC
C COLUMNA 63-65: IPNT
C COLUMNA 66-68: IPUN
C COLUMNA 69-70: MODAL
C COLUMNA 71-72: ITORSEF
C 1-8 9-18 19-28 30-35 37-42 45-5254-57
C EARTH FREQUENCY CARSON PRINT PRINT DIST IPIPR

C RESIS 42 ACCURACY (2) (2)
100. 60.0 1 111112 111111 1
BLANK CARD TERMINATING FREQUENCY CARDS
BLANK CARD TERMINATING LINE CONSTANTS CASES
BLANK CARD TERMINATING THE CASE

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

TABLE IV.6

SALIDA DE DATOS PARA UNA LINEA DE TRANSMISION DE 345 KV

Capacitance matrix, in units of $\mu\text{farads/mile}$ Δ for the system of equivalent phase conductors. Rows and columns proceed in the same order as the sorted input.

```

1 1.74972E-08
2 -2.78182E-09 1.64566E-08
3 -3.03087E-09 -2.72990E-09 1.62514E-08
4 -2.91423E-10 -3.91339E-10 -1.81095E-10 1.75333E-08
5 -3.90727E-10 -7.02542E-10 -2.70275E-10 -3.00024E-09 1.64947E-08
6 -1.80738E-10 -2.70160E-10 -1.23209E-10 -3.04972E-09 -2.74362E-09 1.63909E-08
    
```

Impedance matrix, in units of ohms/mile Δ for the system of equivalent phase conductors. Rows and columns proceed in the same order as the sorted input.

```

1 2.79857E-01
  8.89471E-01
2 1.781657E-01 2.43150E-01
  3.48951E-01 9.43325E-01
3 1.967267E-01 1.79989E-01 2.39954E-01
  3.506821E-01 3.38716E-01 9.46664E-01
4 1.77002E-01 1.67334E-01 1.652281E-01 2.44206E-01
  1.96672E-01 2.30085E-01 2.02870E-01 9.86273E-01
5 1.75032E-01 1.66080E-01 1.62688E-01 1.72818E-01 2.25660E-01
  2.11666E-01 2.52768E-01 2.20010E-01 4.22122E-01 9.92472E-01
6 1.68233E-01 1.605791E-01 1.57201E-01 1.69890E-01 1.61415E-01 2.19532E-01
  1.91701E-01 2.26254E-01 2.01268E-01 4.28745E-01 4.14283E-01 1.00550E+00
    
```

CAPITULO V

CASO 4: ESTUDIO DE DESCARGAS ATMOSFERICAS

Las líneas modernas de transmisión de alto voltaje están diseñadas para una perfecta protección de una descarga directa, así que muchas de las fases de la descarga suceden debido a un backflasch anterior. Este backflasch sucede cuando la descarga termina en una torre o hilo de guarda y el voltaje resultante de la torre es suficiente para causar un arco desde la torre a la fase conductora. Este caso ilustrará el backflasch usando una línea de 230 kV como ejemplo. Este parámetro predominante de sobretenión y la resistencia de la base de la torre serán ilustrados, así como el efecto en las torres adyacentes.

Usando los resultados del EMTF, el rango de valores de la descarga será calculado.

La línea considerada tiene dos hilos de guarda. Una sobrecorriente al final de la torre será dividida entre cada hilo de guarda e impedancia de la torre. Los hilos de guarda con corriente también inducirán voltajes acoplados y corrientes sobre la fase del conductor, ilustrado en la figura V.1. La tensión en el aislamiento de la torre corresponde a la diferencia entre el voltaje de la fase conductora acoplada y el voltaje sobre la torre adyacente también mostrada en la figura V.1. Por lo tanto si la tensión pico excede del flashover crítico del voltaje (CFO) para cualquier hilo de aislamiento o apertura de aire, un backflash anterior se sucede.

Para una descarga en la torre el valor inicial del voltaje es dado por:

$$1 / (S (2/Z_0 + 1/Z_c)) \dots \dots \dots (5.1)$$

Donde: S es la corriente
 Z_0 es la impedancia del hilo de guarda
 Z_t es la impedancia de la torre

Este rango de rizo está alterado por las reflexiones de la onda desde la torre hasta la resistencia de la base (TFR). Un valor típico de Z_t es 200 ohms; donde usualmente $TFR \ll Z_t$ y las reflexiones son negativas, reduciéndose así el voltaje pico en la punta de la torre.

Si hacemos la aproximación de $Z_t = Z_0/2$ y también asumimos que $TFR \ll Z_t$ entonces la figura V.2 muestra el voltaje en la parte alta de la torre cuando la reflexión de la torre adyacente no se considera.

$$E_T = Z_T \tau_T (I/T_0) \dots\dots\dots (5.2)$$

$$E_{TT} = TFR \pm I + E_T \dots\dots\dots (5.3)$$

$$E_F = TFR \pm I \dots\dots\dots (5.4)$$

Donde: τ_T es el tiempo de viaje en la torre
 T_0 es el tiempo de la sobretensión
 I es pico de la magnitud de la corriente

Cuando se consideran las reflexiones de las torres adyacentes el tiempo final es reducido cuando la entrada de la corriente tiende a infinito. Esto ocurre porque las ondas inciden en lo alto de las torres adyacentes y observan una impedancia de sobretensión de Z_0 . Las reflexiones negativas viajan de regreso al punto de partida y reducen ahí el voltaje de la torre.

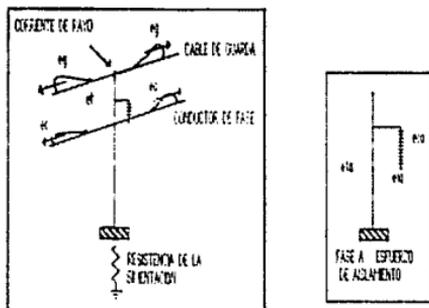


FIG. V.1 FENOMENO DE BACK-FLASH PARA UNA LINEA MONOFASICA CON UN HILO DE GUARDA.

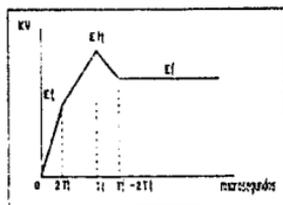


FIG. V.2 VOLTAJE EN LO MAS ALTO DE LA TORRE ADYACENTE A LA REFLEXION DE LAS TORRES.

Cuando las líneas de transmisión y las torres son simétricas a la torre donde ocurre la descarga, la línea puede ser "doblada" al rededor del punto de descarga como lo muestra la figura V.3 para simplificar el analisis. La torre afectada tiene un exceso de impedancia mientras que los

conductores y otras torres tienen valores medios. Las descargas a medio trayecto pueden doblarse alrededor del punto de la descarga. En este caso toda la impedancia de carga y resistencia de base son valores medios. Solo un número limitado de las torres necesitan ser consideradas. Si el tiempo de sobretensión es T_0 y el tiempo de viaje entre las torres es T_1 , entonces solo $T_0/(2T_1)$ de tiempo en las torres de cada lado, pueden tener un efecto en el pico de voltaje. La línea mas allá de la última torre considerada, puede ser representada con una impedancia. Para las líneas policonductor la terminación propia es solo una matriz y de resistencia mutua para no guardar ninguna reflexión.

La geometría de la torre es mostrada en la figura V.4. Solo una de las fases exteriores del conductor es simulada para que los conductores exteriores experimentarían una tensión del aislamiento. Esto ocurre porque el voltaje inducido en el conductor exterior es inferior que el conductor del centro. Ambos hilos de guarda son agrupados en un conductor equivalente como se describe en el caso 3. Un resumen del modelo de impedancias y las fases del mismo es mostrado en la tabla V.1. Las líneas paralelas en el punto afectado son representadas al usar impedancia modal, con la misma matriz de transformación y el mismo comportamiento de la matriz modal de velocidad.

Las torres están modeladas con un solo conductor a tierra, con una impedancia de sobretensión de 200 ohms y una velocidad de onda cerca a la velocidad de la luz. El tiempo total del viaje en la torre es 0.102 microsegundos. La distancia a lo largo de la torre, de lo más alto a un punto adyacente de la fase de conductores, no es modelada separadamente aun cuando toma un tiempo limitado para llegar a este tiempo. La razón es que toma aproximadamente el mismo tiempo limitado para el voltaje acoplado para aparecer sobre la fase del conductor y el EMTF no puede modelar este efecto. La corriente de descarga tiene una magnitud de -1000 amperes de cresta y un tiempo posterior de 90 microsegundos. Este

tiempo adelantado es un parámetro variable en el estudio. La figura V.3 muestra la forma de onda de la corriente ya que el sistema del modelo es lineal y el resultado del EMTF puede expresarse en términos de I_T por $1A$ de la corriente de descarga.

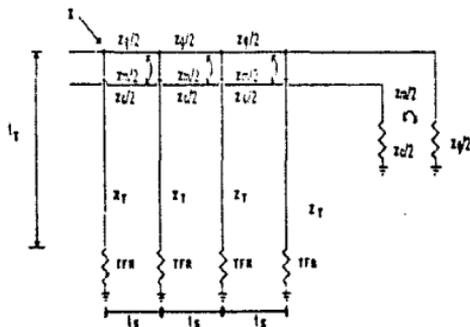


FIG. V.3 SISTEMA SIMPLIFICADO AL FINAL DE UN RAYO EN UNA TORRE.

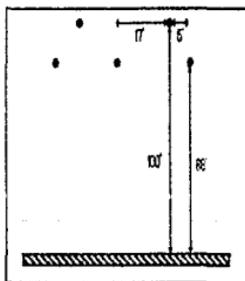


FIG. V.4 CONFIGURACION DE UNA LINEA DE 230 KV

TABLA V.1

LISTA DE IMPEDANCIAS DE UNA LINEA DE 330 KV

| | | |
|---------------------------------|---|---------------------------|
| Modo 1 | - | $Z = 523.18 \Omega$ |
| | | $V = 186\ 280$ millas/seg |
| Modo 2 | - | $Z = 274.09 \Omega$ |
| | | $V = 186\ 280$ millas/seg |
| dominio de fase | - | $Z_{om} = 316.46 \Omega$ |
| | | $Z_u = 480.8 \Omega$ |
| | | $Z_m = 93.6 \Omega$ |
| Matriz modal de transformacion: | | |
| | | 0.91097 -0.41247 |
| $T_1 =$ | | 0.41247 0.91097 |

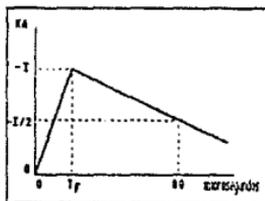


FIG. V.5 ENTRADA DE UNA FUENTE DE CORRIENTE DEL RAYO

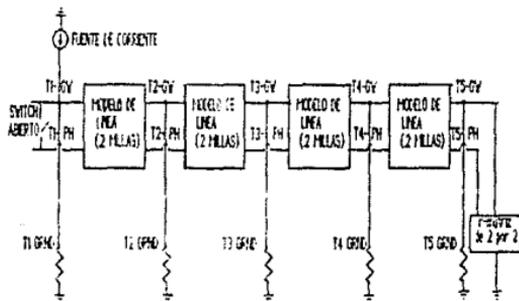


FIG. V.6 MODELO DEL EMT PARA UNA DESCARGA EN LA TORRE.


```

-171-6W T56RD      0.0 100.0 9.0EB 100.0 1
C TOWER 0
-172-6W T56RD      0.0 100.0 9.0EB 100.0 1
C TOWER 0
-173-6W T56RD      0.0 100.0 9.0EB 100.0 1
C TOWER 4
-174-6W T46AC      0.0 100.0 9.0EB 100.0 1
C TOWER 0
-175-6W T56RD      0.0 100.0 9.0EB 100.0 1
C
C USANDO EL MODELO DE LINEA NO TRANSPUESTA DE F.C. LEE
C COL. 1-4 = LINEA NO TRANSPUESTA.
C COL. 5: PHASE NUMBER
C COL. 6 - 8: BUS 1
C COL. 9 -14: BUS 2
C COL.15 -20: BUS 3
C COL. 21-27: BUS 4 (LOS BUSES 3 Y 4 SON DE REFERENCIA)
C COL. 27-36: MODAL RESISTANCE IN OHMS/MILE
C COL. 37-50: MODAL SURGE IMPEDANCE
C COL. 51-62: MODAL SPEED OF PROPAGATION IN MILES/SECOND
C COL. 63-74: LENGTH OF THE LINE IN MILES
C COL. 76: ILINE = 1
C COL. 79: NUMERO DE FASES, INCLUYENDO EL HILO DE TIERRA.
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
#VINTAGE, 1
-171-FW T2-FW      0.00000E+01 0.26159E+03 0.18623E+09      .20E+00 1 2
-171-6W T2-6W      0.00000E-01 0.13704E+03 0.18623E+09      .20E+00 1 2
#VINTAGE, 0
C PRIMERO LA PARTE REAL DEL RENDON 1, MATRIZ T1.
C SEGUNDO LA PARTE IMAG. DEL RENDON 1, MATRIZ T1.
C PARTE REAL DEL RENDON 2 ETC.
C 3456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
0.91977      -0.41247
0.00000      0.00000
0.41247      0.91977
0.00000      0.00000
C
#VINTAGE, 1
C 3456789012345678901234567890
-172-FH T3-FH T1-FH T2-FH
-172-6W T3-6W T1-6W T2-6W
#VINTAGE, 1
-173-FH T4-FH T1-FH T2-FH
-173-6W T4-6W T1-6W T2-6W
#VINTAGE, 1
-174-FH T5-FH T1-FH T2-FH
-174-6W T5-6W T1-6W T2-6W
CLANK CARD TERMINATING SPANCHES
C SWITCH CARDS
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C 1-8 9-14 15-24 25-34 35-44 45-54 55-64 65-74
C
C OUTPUT OPTION 24 COLUMN 60)
C MODE NAMES      IE FLASHOVER      SPECIAL REFERENCE
C      TIME TO      TIME TO      OR VOLTAGE      REQUEST SWITCH-NAME
C BUS1 BUS2      CLOSE      OPEN      NSTEP      WORD      BUS3 BUS4

```

```

T1-6W T1-PH      1.0
BLANK CARD TERMINATING SWITCHES
C SOURCE CARDS
C 24567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C COLUMN 1,2: TYPE OF SOURCE 1 - 17, I.E. 6. 11-13 ARE AMP FUNCTIONS, 14 = COSINE10
C COLUMN 4,10: 0=VOLTAGE SOURCE, -1=CURRENT SOURCE
C 1 1-6 11-20 21-30 31-40 41-50 51-60 61-70 71-80
C NGC# AMPLITUDE FREQUENCY TO IN SEC AMPL-41 TIME-11 T-START T-STOP
C NAME IN HI DEG# SECONDS SECONDS SECONDS
1211-6W 1.1 1.1 1.E+6 -.5 80.E-6 0.
BLANK CARD TERMINATING SOURCE CARDS
C NODE VOLTAGE OUTPUT
C IN COLUMN 2: "1" ALL NODES WILL BE OUTPUT. NO BLANK CARD USED TO
C TERMINATE NODE VOLTAGE OUTPUT
C 24567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C 3-6 9-14 15-20 21-26 27-32 33-38 39-44 45-50 51-56 57-62 63-68 69-74 75-80
C BUS1 BUS2 BUS3 BUS4 BUS5 BUS6 BUS7 BUS8 BUS9 BUS10 BUS11 BUS12 BUS13
T1-6W T1-PH T2-6W T2-PH T3-6W T3-PH T4-6W T4-PH T5-6W T5-PH
BLANK CARD TERMINATING NODE VOLTAGE OUTPUT
C PLOTTING OF THE RESULTS
C PRINTER PLOT
C (CASE TITLE UP TO 78 CHARACTERS)
C #1 RAYD A TORSE TFR=50, TF=2 #1
C THE FOLLOWING IS FORMAT OF THE PLOT REQUEST CARDS
C COLUMN 1, "1"
C COLUMN 2, A=VOLTAGE DE MODE
C B=VOLTAGE DE RAMP
C C=COORDONATE DE RAMP
C COLUMN 4, UNIDADES DE LA ABSCISA 1=GRADOS
2=CICLOS
3=SEGUNDOS
4=MILISEGUNDOS
5=MICRO-SEG.
C COLUMNS 5-7 HORIZONTAL SCALE (UNITS PER INCH)
C COLUMNS 8-11 TIME WHERE PLOT STARTS
C COLUMNS 12-15 TIME WHERE PLOT ENDS
C COLUMNS 16-20 VALUE OF BOTTOM VERTICAL SCALE
C COLUMNS 21-24 VALUE OF TOP VERTICAL SCALE
C COLUMNS 25-48 UP TO FOUR NODE NAMES
C COLUMNS 49-64 GRAPH HEADING LABEL
C COLUMNS 65-80 VERTICAL AXIS LABEL
C 245678901234567890123456789012345678901234567890
C BUS 1 BUS 2
1450.5 6.00 T1-6W T1-PH
1450.5 6.00 T2-6W T2-PH
1450.5 6.00 T3-6W T3-PH
1450.5 6.00 T4-6W T4-PH
1450.5 6.00 T5-6W T5-PH
1850.5 6.00 T1-6W T1-PH
BLANK CARD TERMINATING PLOTTING
BLANK CARD TERMINATING THE CASE

```

Un modelo para la simulación de la descarga en la torre es mostrada en la figura V.6. Note que se marcan 0.2 millas o 1.056 pies. Los datos de entrada para este modelo son mostrados en la tabla V.2. El tiempo de recorrido de la distancia es 1.074 microsegundos para cada modo. El tiempo particular de paso escogido es 1/10 el tiempo de viaje de la sección de conducción más corta, los cuales están en las torres. En general, deberá ser integrado un número de intervalos de tiempo en cada modelo de viaje, o al menos un número mayor de intervalos de tiempo.

Tres casos se corrieron con descargas en la torre; un tiempo de 2 microsegundos para TFR de 50 ohms y de 20 ohms, y un tiempo de 1 microsegundo con TFR de 50 ohms. Las salidas primarias impresas dieron valores mínimos requeridos por un 1 en la columna 40 en la tarjeta de datos misceláneos y una gráfica requerida por un 1 en la columna 64.

La figura V.7 muestra el voltaje en lo más alto de la torre y la fase de voltaje para el caso 1, el cual tiene una descarga a la torre con TFR igual a 50 y T_p igual a 1. El voltaje en lo más alto de la torre (línea continua) va de tiempo cero a aproximadamente 0.20 microsegundos, cuando la primera reflexión desde la base de la torre llega a lo más alto. A un microsegundo la entrada pico es alcanzada y la reflexión de la onda en la torre donde fue la descarga elimina la inductancia del voltaje de la torre. De 1.2 a 2.15 microsegundos, el voltaje de lo más alto de la torre se encuentra estable a un valor más o menos constante, pero entonces llega la primera reflexión adyacente de la torre y reflexiones subsecuentes y actúan para reducir el sobrevoltaje final.

Estimando E_T , E_{TT} y E_p con las ecuaciones 5.2, 5.3 y 5.4

$$E_T = 200(.102/1) = 20.4 \text{ kV vs } 18 \text{ kV en la fig. V.7 ... (5.5)}$$

$$E_{TT} = 50 + E_T = 70.4 \text{ kV vs } 48 \text{ kV en la fig. V.7 ... (5.6)}$$

$$E_p = 50 \text{ kV vs } 38 \text{ kV en la fig. V.7 ... (5.7)}$$

Las fórmulas aproximadas están basadas en $Z_0 / 2 = Z_T$, pero en el modelo tenemos $Z_0 / 2 = 156.3$ ohms y $Z_T = 200$ ohms. Las aproximaciones están aun revisadas para mejorar los resultados.

Las figuras V.8, V.9, V.10 y V.11 muestran la parte alta de la torre y los voltajes de los conductores de fase en las torres 2, 3, 4 y 5 respectivamente. Se muestran los viajes de sobretensión por la línea y la atenuación por reflexiones negativas en cada parte alta y base de la torre. En la torre 5 (figura V.11), la impedancia de sobretensiones de la torre y la resistencia de la base contribuyen a una terminación imperfecta para los hilos de guarda; así los voltajes reflejados aparecen ahí. La figura V.12 muestra el voltaje a través del aislamiento en la torre 1.

Ha sido encontrado que la proporción de interrupción puede ser aproximada haciendo todos los cálculos de acuerdo al tiempo principal de dos microsegundos, aunque existe una probabilidad de variación en los tiempos de partida actuales. Por lo tanto, dos casos mas fueron corridos con $TFR = 50$ y $TFR = 20$, ambos con tiempos iguales a 2 microsegundos.

Las figuras V.13 y V.14 muestran el voltaje en lo más alto de la torre, fase de voltaje acoplados y aislamiento de tensión para el caso $TFR = 50$. Las figuras V.15 y V.16 muestran estos voltajes para el caso $TFR = 20$. Comparando estos casos puede observarse que la resistencia de la base más baja y los tiempos principales más largos tienen un efecto significativo en la disminución del aislamiento de la tensión.

Para usos en cálculos de propagación de interrupción, las tensiones de los voltajes son leídas de la impresión de la tabla V.3 para los casos con $TFR = 50$ y $TFR = 2$. Los números de interés son el voltaje en la parte alta de la torre (K_{TT}) y la fase de tensión aislada (K_{TA}) por ampere de la corriente de descarga.

TABLE V.3

SALIDA DE MAXIMOS Y MINIMOS PARA EL CASO DE UN RAYO QUE CAE EN LA TORRE

Column headings for the 11 ENTP output variables follow. These are divided among the 5 possible classes as follows

First 11 output variables are electric-network voltage differences (upper voltage minus lower voltage);

| Step | Time | T1-GW | T1-FH | T2-GW | T2-FH | T3-GW | T3-FH | T4-GW | T4-FH | T5-GW | |
|------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | T5-FH | | | | | | | | | |
| | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| 588 | .59976E-5 | -12.081643 | -17.167153 | -5.0775093 | -9.8504009 | -2.9134421 | -4.0684398 | -1.2033179 | -1.1541951 | -3.4137542 | -1.0933108 |
| | | 0.0 | | | | | | | | | |
| | | -.05872624 | | | | | | | | | |

Extrema of output variables follow. Order and column positioning are the same as for the preceding time-step loop output.

| | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Variable maxima : | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | .609934982 | .190399407 | .521494717 |
| | .157200423 | | | | | | | | | | |
| Times of maxima : | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | .54264E-5 | .54264E-5 | .47022E-5 | |
| | .47022E-5 | | | | | | | | | | |
| Variable minima : | -30.633717 | -43.502846 | -12.666729 | -12.139313 | -3.5904312 | -4.0684398 | -1.2033179 | -1.7744037 | -5.248126 | -6.8918518 | |
| | -.24820616 | | | | | | | | | | |
| Times of minima : | .19992E-5 | .19992E-5 | .19992E-5 | .54264E-5 | .54264E-5 | .59976E-5 | .59976E-5 | .57732E-5 | .57732E-5 | .44982E-5 | |
| | .44982E-5 | | | | | | | | | | |

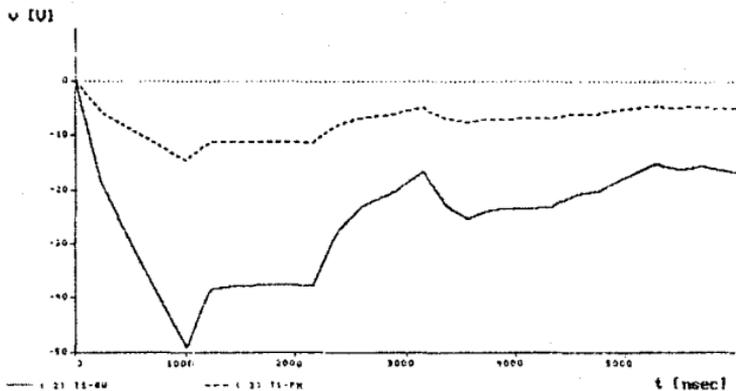


FIG. U.7 HILO DE GUARDA DE LA TORRE 1 Y VOLTAJES DE FASE ACOPLADOS,
 $Tf = 1$, $TFR = 58$

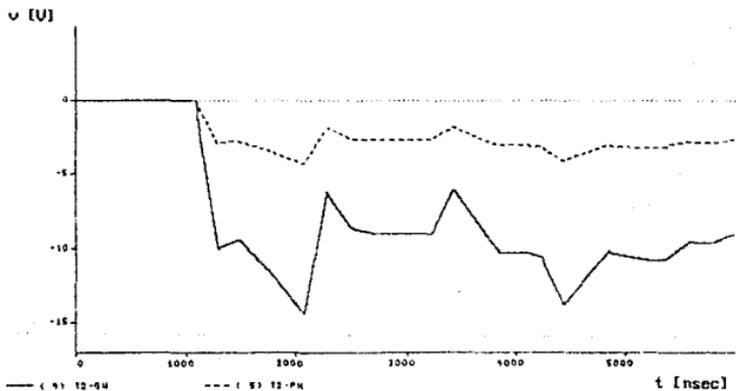


FIG. U.8 HILO DE GUARDA DE LA TORRE 2 Y VOLTAJES DE FASE ACOPLADOS,
 $Tf = 1$, $TFR = 58$

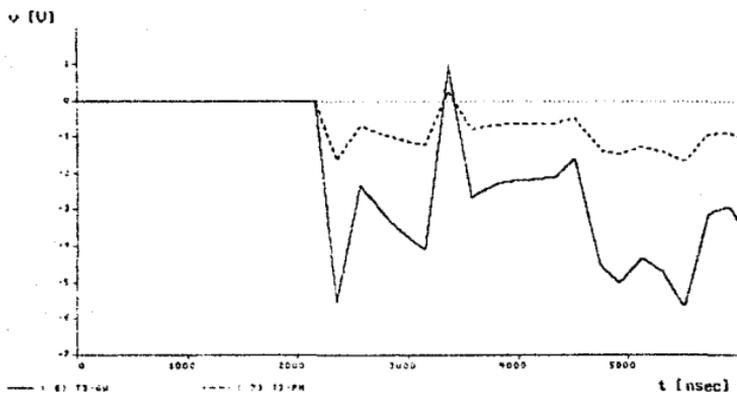


FIG. U.9 HILO DE GUARDA DE LA TORRE 3 Y VOLTAJES DE FASE ACOPLADOS,
 $T_f = 1$, $T_{FR} = 58$

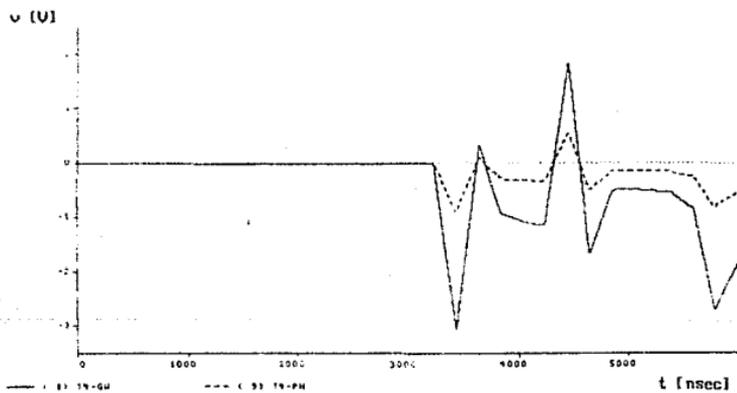


FIG. U.10 HILO DE GUARDA DE LA TORRE 4 Y VOLTAJES DE FASE ACOPLADO,
 $T_f = 1$, $T_{FR} = 58$

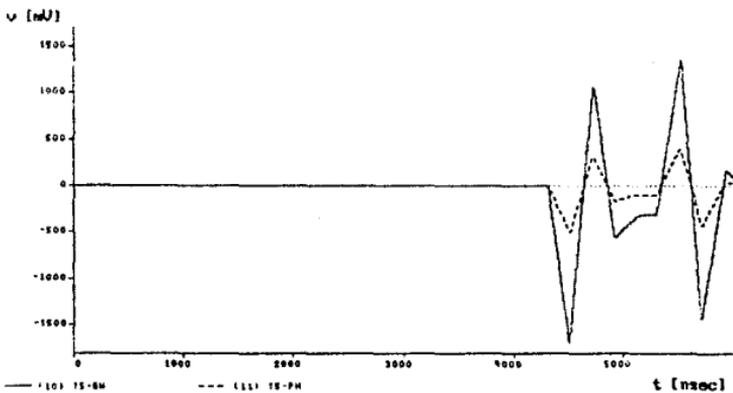


FIG. U.11 HILO DE GUARDA DE LA TORRE 5 Y VOLTAJES DE FASE ACOPLADOS,
 $T_f = 1$, $T_{FR} = 58$

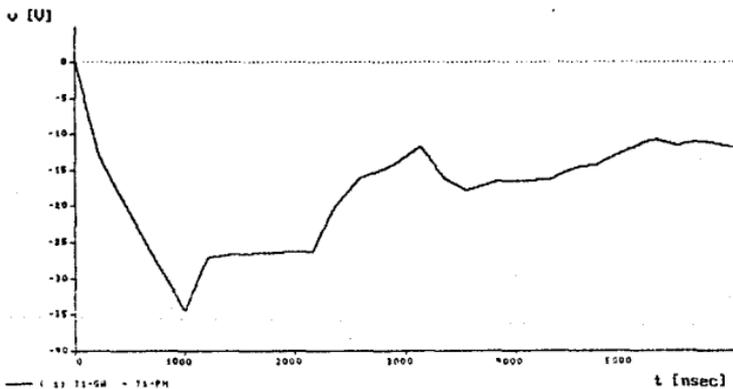


FIG. U.12 TENSION DEL AISLAMIENTO, $T_f = 1$, $T_{FR} = 58$

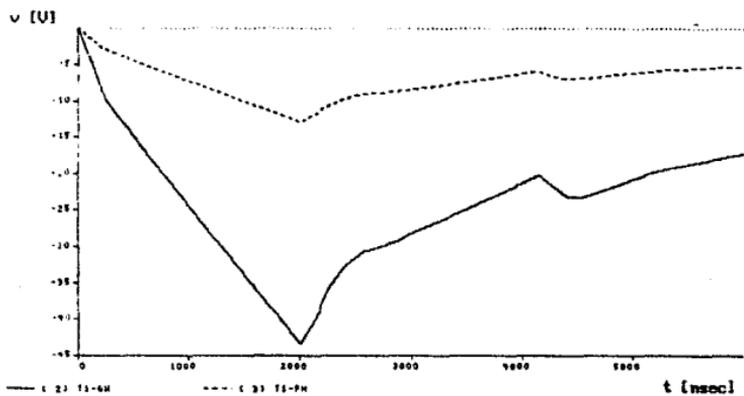


FIG. U.13 HILO DE GUARDA DE LA TORRE I Y VOLTAJES DE FASE ACOPLADOS,
 $T_f = 1$, $T_{FR} = 50$

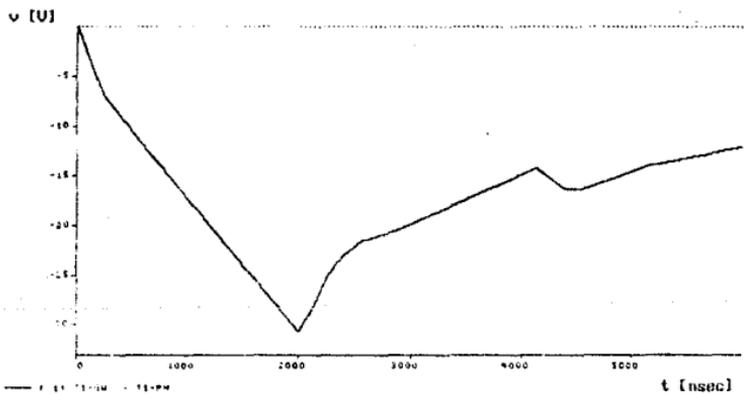


FIG. U.14 TENSION DEL AISLAMIENTO, $T_f = 2$, $T_{FR} = 50$

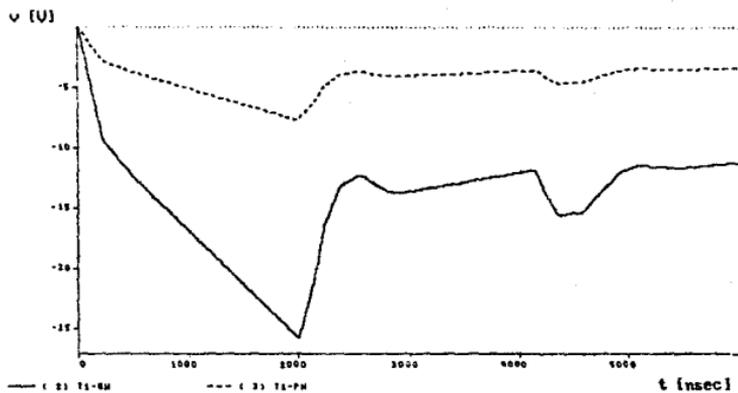


FIG. U.15 HILO DE GUARDA Y VOLTAJES DE FASE ACOPLADOS,
 $T_1 = 2$, $TFR = 28$

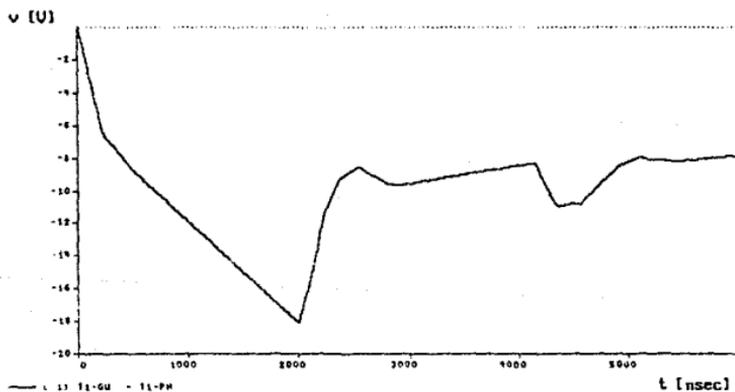


FIG. U.16 TENSION DEL AISLAMIENTO, $T_1 = 2$, $TFR = 28$

Con el propósito de ilustrar, será asumido que habrá doce aisladores por falla en la línea. La longitud total de fallas es 12×5.75 pulgadas o 5.75 pies. Para un estándar 1.2/50 de polaridad negativa de una señal impulso, la fuerza aislante es de 170 kV por pie. Por lo tanto el CFO estándar es 977.5 kV para una falla de doce aislantes. Este puede ser ajustado por la siguiente fórmula.

$$CFO_{na} = (.58 + 1.39/NT_p)CFO \dots\dots\dots (5.8)$$

Esta fórmula hace aproximaciones para el tiempo de flashover para exceso de cargas pequeñas y finales como se ilustra en la figura 4.14 y 4.16.

Para calcular una corriente crítica para un flashover de un relámpago, la fuerza del aislamiento deberá ser más ajustada para voltajes de frecuencia de polaridad negativa. Para este sistema un voltaje razonable de pico es:

$$V_{pp} = (230 \sqrt{2}/\sqrt{3}) (1.05) = 197.2 \text{ kV} \dots\dots\dots (5.9)$$

TABLA V.4

RESULTADOS DEL ESTUDIO DEL BACKFLASH

| Caso No. | Punto de descarga | TFR Ohms | T _p μ-seg | K _{TT} kV / | K _{IA} kA | I _c KA |
|----------|-------------------|----------|----------------------|----------------------|--------------------|-------------------|
| 1 | Torre 1 | 50 | 1 | 48.0 | 34.0 | 51.8 |
| 2 | Torre 1 | 50 | 2 | 43.0 | 30.5 | 44.8 |
| 3 | torre 1 | 20 | 2 | 25.5 | 18.8 | 75.8 |

TABLA V.5

CAPACIDAD DE AISLAMIENTO COMO UNA FUNCION DE UNA ONDA

| T_F μseg | CF_{0NM} kV | $CF_{0NM} \cdot K \cdot V_{DF}$ kV |
|---------------|------------------|---------------------------------------|
| 1 | 1926 | 1763 |
| 2 | 1528 | 1365 |

La corriente crítica puede ser calculada como:

$$I_c = (CF_{0NM} - V_{DF}) / (F_{IA}) \dots\dots\dots(5.10)$$

Donde $F = 0.551$ para líneas verticales y $K = 0.827$ para líneas horizontales (nuestro caso). Para corrientes de descarga de magnitud mayor que I_c , se asume que ocurre un backflash. La capacidad de aislamiento para varias ondas avanzadas son mostradas en la tabla V.5, mientras que las corrientes críticas han sido incluidas en la tabla V.4.

La probabilidad de distribución de la corriente de descarga es descrita por una distribución log-normal LN (33.3, 0.605). Esta es similar a una distribución Gaussiana o normal excepto que la variable se reduce como sigue:

$$Z = \ln (I / 33.3) / .605 \text{ para } I > 20 \text{ kA} \dots\dots\dots(5.11)$$

Este valor de Z puede ser usado con tablas de probabilidad en un libro básico. La probabilidad de exceder la corriente crítica es la misma que la probabilidad del flashover, dado que una descarga termina en el hilo de guarda que es mostrado en la tabla V.5.

El número de descargas terminadas en el hilo de guarda serán calculadas asumiendo un nivel isoserámico de 30 rayos por año; la densidad de la tierra es:

$$N_0 = .063 (30)^{1.28} = 4.4 \text{ descargas/km}^2 \dots\dots\dots (5.12)$$

TABLA V.6

PROBABILIDAD DEL FLASHOVER

| Localización de descarga | TFR n | I_e kA | Z | $F (I > I_e)$ Por Unidad |
|--------------------------|-------|----------|-------|--------------------------|
| Torre 1 | 50 | 44.8 | .490 | .3121 |
| Torre 2 | 20 | 75.8 | 1.360 | .0369 |

El área del hilo de guarda es aproximadamente:

$$A = L(2R_g + S_g)$$

Donde L es la longitud de la línea, S_g es la separación del hilo de guarda (34 ft. o 10.36 m en nuestro caso) y R_g es un radio conocido por:

$$R_g = 14.4 h^{.44} \dots\dots\dots (5.14)$$

Donde h es la altura de la torre en metros (100 ft. o 30.48 m en nuestro caso). Por lo tanto:

$$R_g = 14.4 (30.48)^{.44} = 64.76 \text{ m} \dots\dots\dots (5.15)$$

El número de descargas que terminan en el hilo de guarda, por unidad de longitud de línea es:

$$\begin{aligned} N(G)/L &= N_0(2 R_g + S_g) = \dots\dots\dots (5.16) \\ &= (4.4 \text{ descargas/km}^2/\text{yr}) \cdot (2(1.0643 \text{ km}) + .0104 \text{ km}) \\ &= .62 \text{ descargas/km}^2/\text{yr} = 1.0 \text{ descargas/milla/yr} \end{aligned}$$

Usualmente se asume que debido a la baja altura de los hilos de guarda, el 60% de estas descargas terminan sobre la torre y un 40% sobre los hilos de guarda; además se asume que

las descargas no podran causar un backflash en la torre debido a un fenomeno de pre-descarga de voltaje no incluido en los calculos. En estos calculos solo las descargas en la torre seran consideradas. El rango de salida es dado por:

$$LFOR = (N(G)/L) (L/P) (P \text{ de la tabla V.6})$$

Con TRF = 50, el LFOR es aproximadamente 19/100 millas/yr, y con TFR = 20, el LFOR es aproximadamente 5/100 millas/yr.

El LFOR con la baja resistencia de la base puede ser aceptable, considerando que la mayoría de las fallas son temporales y que recerrando tendrá un buen resultado. Es posible que los calculos puedan ser hechos para líneas existentes en la misma área geográfica y comparados con la representación actual para propósitos de "calibración" de los calculos.

Un apartarrayos es una parte del diseño de las líneas de transmisión de potencia, protegiendo de descargas directas y los requerimientos de aislamiento para la contaminación, los cuales en el apartarrayos también deben ser considerados.

CAPITULO VI

CASO 5: OPERACION DE INTERRUPTORES CON CARGA CAPACITIVA

Los bancos de capacitores como interruptores de derivación de tres fases pueden llegar a algunos sobrevoltajes transitorios interesantes. Los efectos en los bancos mismos, sus dispositivos de switcheo, de apartarrayos cercanos y el aislamiento de equipo cercano debiera ser considerado.

El análisis de los capacitores como interruptores es básicamente un problema de agrupación de circuitos. Las frecuencias involucradas son usualmente bajas comparadas con el VTR, relámpagos y líneas de switcheo de transitorios. Este caso introducirá el modelo de sistemas trifásicos. Los voltajes de recuperación de los capacitores serán estudiados.

Cuando un interruptor del banco de capacitores se abre, la corriente es interrumpida, lo cual ocurre con un voltaje pico en el banco de capacitores. Este voltaje en el capacitor decae lentamente, después de que todos los polos del capacitor están abiertos. Los voltajes de recuperación son determinados por la frecuencia de la fuente de voltaje y las cargas d.c. atrapadas en los capacitores. La conexión a tierra del banco afecta a la carga contenida y la excesiva distancia del polo del interruptor puede también afectar a los voltajes de recuperación.

Un modelo del EMTP para simular los voltajes de recuperación del capacitor como interruptor se muestra en la figura VI.1. Los valores actuales de los parámetros no son importantes, sin embargo la fuente de impedancias fue hecha dentro de una pequeña resistencia para eliminar las altas frecuencias transitorias y colocar la fuente de voltaje en el bus del capacitor. La conexión a tierra del banco y los

tiempos de apertura (distancia del polo) son parámetros importantes a investigar. Un archivo de entrada para bancos sin conexión a tierra se muestra en la tabla VI.1. Una pequeña capacitancia aislada del banco neutral a tierra se ha incluido.

Desde que el fenómeno es una combinación de d.c. y 60 Hz, un largo intervalo de tiempo puede ser usado. Una regla es establecer el intervalo de tiempo de ejecución no mayor a un grado de un ciclo de frecuencia o no mayor a 46 microsegundos. En este caso, un valor de 50 microsegundos fue escogido. Otra limitación en el largo intervalo de tiempo deberá ser seleccionada con respecto a la corriente de interrupción en el modelo de switch del EMTF. Ya que el EMTF realiza cálculos en intervalos de tiempo discretos, los switches interrumpirán la corriente en el primer intervalo de tiempo después de un paso por cero el cual ocurre después del tiempo de apertura especificado. La pequeña cantidad de corriente la cual es efectiva para "cortar", puede conducir a altas frecuencias transitorias si los elementos inductivos están presentes en el modelo. Pequeños intervalos de tiempo limitarán la cantidad de la pequeña corriente "cortante" cuando un switch abre.

Las magnitudes de las fuentes de voltaje fueron establecidas en 1, así que las gráficas de salida estarán en por unidad.

Si el banco es aterrizado, cada fase del banco de capacitores es independiente y tiene un comportamiento parecido al de un capacitor de una sola fase. La figura VI.2 muestra la fase B operando con una carga almacenada (línea punteada) en el capacitor y la fuente de voltaje de la fase B (línea sólida). El voltaje a través de los contactos del interruptor es la diferencia entre estos dos voltajes. En la figura VI.3 se muestra que el pico de voltaje de recuperación para un banco aterrizado es 2 por unidad sin considerar la distancia del polo.

TABLA VI.1

ENTRADA DE DATOS PARA VOLTAJES DE RECUPERACION DEL INTERRUPTOR CAPACITIVO

```

C
C
C
C
C DESCRIPCION DEL CASO: SE SIMULA UN BANCO DE CAPACITORES EN DERIVACION
C CON OPERACION NORMAL DEL SWITCH. EL BANCO NO ES
C TA ATERRIZADO.
C
C BEGIN MAIN DATA CASE
C
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C 1-8 9-16 17-24 25-32
C DELTAT INAK ILEFT COPT
C 50.0E-6 50.0E-3 60. 0
C IOUT IPLOT IDOUBL ASSOUT PAIOUT ICAT MONERS
C 20000 3 1 1 1 0 0 1
C SOURCE IMPEDANCE 27-32
C R
C SRCE ABUS A .01
C SRCE BRUS BSRCB ABUS A
C SRCE CRUS CSRCB ABUS A
C CAPACITOR BANK MICROFARADS VOLTAGE OUTPUT
C 39-44
C BANK ABANK N 1000.0 2
C BANK BBANK NBANK ABANK N 2
C BANK CBANK NBANK ABANK N 2
C STRAY BANK NEUTRAL CAPACITANCE MICROFARADS
C BANK N .1
C
C BLANK CARD ENDING BRANCHES
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C CAPACITOR SWITCH
C 15-24 25-34
C CLOSING TIME OPENING TIME VOLTAGE OUTPUT
C BUS ABANK A -1.0 .001 2
C BUS BBANK B -1.0 .001 2
C BUS CBANK C -1.0 .001 2
C
C BLANK CARD ENDING SWITCHES
C SIMULATIONAL SOURCES
C 1 PU VOLTS. 60-HZ PHASE ANGLE ACTIVE IN SS
C 14SRCE A 1.0 60. 0. -1.
C 14SRCE B 1.0 60. -120. -1.
C 14SRCE C 1.0 60. -240. -1.
C
C BLANK CARD ENDING SOURCES
C OUTPUT BUS AND CAPACITOR BANK VOLTAGES
C BANK ABANK BBANK CBANK NBUS ABUS BRUS C
C
C BLANK CARD ENDING NODE VOLTAGE OUTPUT REQUESTS
C PRINTER PLOT
C 2 OPENING UNGROUNDED BANKS
C 1445.0 50.0 BUS ABANK A
    
```

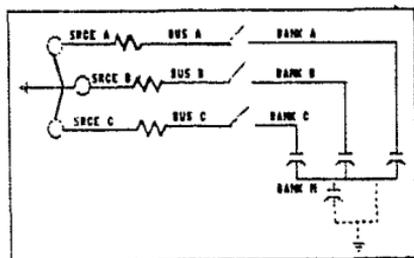


FIG. VI.1 SISTEMA MODELO PARA VOLTAJE DE RECUPERACION DE UN CAPACITOR SWITCH.

Si el banco está aterrizado, la primera fase para abrir está aun conectada a las otras dos fases a través del banco neutral. Este banco neutral sin conexión a tierra puede adquirir o almacenar la carga de las otras dos fases cuando las fases restantes interrumpen un cuarto de ciclo; después el banco neutral tiene un voltaje de .5 por unidad contenido en él. La figura VI.4 muestra la fase C de voltaje del capacitor a tierra (línea punteada) y el voltaje de la fuente (línea sólida). El voltaje en el capacitor consta de 1 por unidad almacenado en el capacitor mas .5 por unidad el cual se agrega a la capacitancia aislada del banco neutral.

La acumulación de voltaje en el banco neutral se suspende a los 7.0 milisegundos, porque las fases A y B interrumpieron. El voltaje de recuperación de la fase C alcanza un pico de 1.5 por unidad. Las fases A y B recuperaron voltajes que alcanzan picos de 1.87 por unidad.

Si las fases A y B no interrumpen en 7 milisegundos, es debido a un problema mecánico o eléctrico, y el voltaje del banco neutral continúa acumulándose. Esto se muestra en la fig. VI.6, donde el voltaje del banco neutral sigue una senoidal de 0.5 por unidad con medio pico de magnitud hasta que las fases A y B finalmente interrumpen en 10 milisegundos. La recuperación de voltaje de la fase C alcanza un pico de 3 por unidad hasta que las fases restantes interrumpen.

El capacitor como interruptor tiene que ser diseñado para soportar esta frecuencia de recuperación de voltaje como una tensión de estado estable. Ya que los bancos sin conexión a tierra son muy comunes, el interruptor deberá ser diseñado para un voltaje de recuperación de 2.5 por unidad más un margen de seguridad de 1.05 por unidad para la operación del sistema. Si el interruptor presenta un mal funcionamiento dentro de la apertura, el voltaje de recuperación podrá ser incluso mayor.

Bancos de capacitores de derivación a niveles de voltaje de 230 kV y mayores, son usualmente conectados a tierra. Si estos bancos no se conectarán a tierra, pudiera ser necesario usar un interruptor de la siguiente clase de voltaje más alto.

Si el interruptor no puede soportar la tensión del voltaje de recuperación ocurrirá un recierre. El voltaje que estaba a través del polo abierto se convierte en una alta tensión de entrada al sistema.

La frecuencia baja resultante, de los sobrevoltajes transitorios puede causar una falla en el aislamiento o en la operación de los apartarrayos. La operación de un apartarrayos bajo estas condiciones puede llevar a una falla en este, debido a una excesiva disipación de energía de los capacitores en derivación.

La figura VI.11 muestra el esquema de la instalación de capacitores en una planta industrial. Los capacitores son conectados en delta a 4160 volts con un rango total del banco de 3600 kVAR en cuatro pasos de 900 kVAR cada uno. Solamente los dos primeros casos se muestran en la figura VI.11. Los capacitores se usan para corregir el factor de potencia y soportar el voltaje durante el arranque del motor. La conexión delta de los capacitores no es muy común, pero esto puede ser usado en sistemas de alto y mediano voltaje.

Se realizaron mediciones de campo de la operación normal del interruptor. Cada paso de los capacitores es switchado separadamente con un switch al vacío, y cada paso tiene reactores limitadores de corriente. El modo normal de operación es poner cada paso en encendido o apagado en secuencia numérica.

La figura VI.12 muestra los buses de voltaje medios mientras se energiza el primer paso. Los tres polos del paso 1 tienen interruptores al vacío cerrados aproximadamente al mismo tiempo, cercano a un pico en el bus de voltaje en la fase B. Aparecen oscilaciones transitorias de aproximadamente de 875 Hz, alcanzando un pico de 1.68 por unidad en la fase B. El rango de amortiguamiento se puede estimar mediante el calculo del log del decremento de acuerdo a la siguiente definición:

$$\log \text{ dec} = (1/n) \ln(A_0/A_n) \dots\dots\dots(6.1)$$

donde A_0 y A_n son las amplitudes del ciclo cero y ciclo n del transitorio.

En el voltaje de la fase B en la figura VI.12, el logaritmo del decremento se estima midiendo las amplitudes de los dos primeros ciclos. Se puede usar una regla para medir la elevación positiva de cada ciclo.

$$\log \text{ dec} = (1/1) \ln(.94/.42) = .81 \dots\dots\dots(6.2)$$

La Q de esta oscilacion puede derivarse y compararse a la Q para un circuito RLC.

$$Q = \pi / \log \text{ dec} = 3.7 \dots\dots\dots (6.3)$$

El parametro Q es igual a n para circuitos RLC en paralelo o para circuitos RLC en serie. La ecuacion 6.3 acepta el uso de constantes de tiempo. En muchos otros casos, Q sera igual a $2\pi / \log \text{ dec}$.

El circuito simplificado RLC es monofásico aislado, así que una $n = R/Z_0$ y de aproximadamente 4 debe dar la característica de amortiguamiento apropiado. Solamente el parametro C es conocido

$$MVAR_{\text{max}} = .900 = (kV)^2 / X_c \dots\dots\dots (6.4)$$

$$C = .900 / ((4.16)^2 (377)) = 138 \times 10^{-6} \dots\dots\dots (6.5)$$

Esta es una capacitancia de línea a neutro, así que la capacitancia equivalente conectada en delta sería 46 microfarads.

La inductancia del sistema, L, puede ser estimada de la frecuencia natural de la figura VI.12.

$$f_0 = 875 \text{ Hz} = 1 / (2\pi \sqrt{LC}) \dots\dots\dots (6.6)$$

$$L = 1 / (4\pi^2 (875)^2 (138 \times 10^{-6})) = 0.00024 \text{ Henries} \dots\dots\dots (6.7)$$

Esta inductancia del sistema resulta en 26.6 kA de una falla de corriente trifásica en el bus del capacitor. Se escogio una resistencia de amortiguamiento en paralelo de 5.3 ohms.

$$Q = R/Z_0 = 5.3 / \sqrt{(.24 \times 10^{-3}) / (138 \times 10^{-6})} = 4 \dots\dots\dots (6.8)$$

TABLA VI.2
 DATOS DE ENTRADA DEL EL ENTP PARA INTERRUPTOR CAPACITIVO BACK-TO-BACK

```

C
C
C DESCRIPCION DEL CASO: BACK-TO-BACK. SIMULACION DE DOS BANCOS DE
C CAPACITORES CONECTADOS EN DELTA BACK-TO-BACK
C (ESFALDA CON ESFALDA) CON REACTORES LIMITADORES
C DE CORRIENTE
C
C
C BEGIN NEW DATA CASE
C
C PRIMERA TARJETA DE DATOS MISCELANEOS
C 345678901234567890123456789012
C 1-B 9-16 17-24 25-32
C T-STEP T-MAX I-OPT C-OPT
C SEGS. SEGS. 0=MH 0=HF
C F(HZ) F(HZ)
C -----XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
C 10.0E-6 40.E-3
C
C SEGUNDA TARJETA DE DATOS MISCELANEOS
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C 1-B 9-16 17-24 25-32 33-40 41-48 49-56 57-64 65-72 73-80
C PRINT PLOT NETWORK PR.SS PR.MAX I PUM PUNCH DUMP MUR. DIAGNOS
C 0=EACH 0=EACH 0=NO 0=NO 0=NO 0=NO 0=NO 0=NO INTO KENERG PRINT
C K-K-TH K-K-TH I=SI I=SI I=SI I=SI I=SI DISK STUDIES 0=NO
C XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
C 20000 3 1 1 1 1
C
C RAMAS
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C 3-B 9-14 15-20 21-24 27-32 33-38 39-44
C NODE NAMES REFERENCE RES. (NO. CAP. (OUTPUT IN COLUMN 80)
C BRANCH MH UF J= 1
C BUS1 BUS2 BUS3 BUS4 DHM DHM WMD V= 2
C I,V= 3
C 1 2 3 4 5 P,E= 4
C 3456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C SOURCE IMPEDANCE
C -----XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
C SRCE ABUS A 0.24
C SRCE BBUS BSRCE ABUS A
C SPCE CBUS CSRCE ABUS A
C BUS ASRCE A 5.3
C BUS BSRCE BBUS ASRCE A
C BUS CSRCE CBUS ASRCE A
C
C
C CURRENT LIMITING REACTORS
  
```

STP1 ACAP1 A .02500
 STP1 BCAP1 BSTP1 ACAP1 A
 STP1 CCAP1 CSTP1 ACAP1 A
 STP2 ACAP2 BSTP2 ACAP1 A
 STP2 BCAP2 BSTP1 ACAP1 A
 STP2 CCAP2 CSTP1 ACAP1 A
 CAP1 ASTP1 A 10.0
 CAP1 BSTP1 BCAP1 ASTP1 A
 CAP1 CSTP1 CCAP1 ASTP1 A
 CAP2 ASTP2 ACAP1 ASTP1 A
 CAP2 BSTP2 BCAP1 ASTP1 A
 CAP2 CSTP2 CCAP1 ASTP1 A

C

C BANKS DE CAPACITORES

CAP1 ACAP1 B 46.000
 CAP1 BCAP1 CCAP1 ACAP1 B
 CAP1 CCAP1 ACAP1 ACAP1 B
 CAP2 ACAP2 BCAP1 ACAP1 B
 CAP2 BCAP2 CCAP1 ACAP1 B
 CAP2 CCAP2 ACAP1 ACAP1 B
 CAP1 A .001

CAP1 B CAP1 A
 CAP1 C CAP1 A
 CAP2 A CAP1 A
 CAP2 B CAP1 A
 CAP2 C CAP1 A

BLANK CARD ENDING BRANCHES

C SWITCH CARDS

C 1 2 3 4 5 6 7
 C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
 C 3-8 9-14 15-24 25-34 35-44 45-54 55-64 65-74

C

OUTPUT OPTION IN COLUMN 80)

| C | NODE NAMES | TIME TO CLOSE | TIME TO OPEN | OR VOLTAGE | IE FLASHOVER | SPECIAL REQUEST | REFERENCE SWITCH-NAME |
|---|-------------|---------------|--------------|------------|--------------|-----------------|-----------------------|
| C | BUS1 | BUS2 | CLOSE | OPEN | NSTEP | | WORD BUS1 BUS2 |
| C | ##### | ##### | ----- | ##### | ----- | ##### | ----- |
| | BUS ASTP1 A | 0.0005 | 1.00 | | | | 3 |
| | BUS BSTP1 B | 0.0005 | 1.00 | | | | 3 |
| | BUS CSTP1 C | 0.0005 | 1.00 | | | | 3 |
| | BUS ASTP2 A | 0.0172 | 1.00 | | | | 3 |
| | BUS BSTP2 B | 0.0172 | 1.00 | | | | 3 |
| | BUS CSTP2 C | 0.0172 | 1.00 | | | | 3 |

BLANK CARD ENDING SWITCHES

C SOURCE CARDS

C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
 C COLUMN 1,2: TYPE OF SOURCE 1 - 17, (E.G. 11-13 ARE RAMP FUNCTIONS, 14 = COSINE) 0
 C COLUMN 9,10: 0-VOLTAGE SOURCE, -1-CURRENT SOURCE
 C 3-8 11-20 21-30 31-40 41-50 51-60 61-70 71-80
 C NODE AMPLITUDE FREQUENCY TO IN SEC AMPL-A1 TIME-T1 T-START T-STOP
 C NAME IN HZ DEGR SECONDS SECONDS SECONDS

C SOURCE VOLTAGES

| C | ##### | ----- | ##### | ----- | ##### | ----- |
|----------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 14SRCE A | 1.0 | 60. | 120.00 | | | -1. |
| 14SRCE B | 1.0 | 60. | 000.00 | | | -1. |
| 14SRCE C | 1.0 | 60. | 240.00 | | | -1. |

BLANK CARD ENDING SOURCES

C MODE VOLTAGE OUTPUT

* C IN COLUMN 2: ** ALL MODES WILL BE OUTPUT. NO BLANK CARD USED TO

C TERMINATE MODE VOLTAGE OUTPUT

C 3456789012345678901234567890123456789012345678901234567890

C 3-8 9-14 15-20 21-26 27-32 33-38 39-44 45-50 51-56 57-62 63-68 69-74 75-80

C BUS1 BUS2 BUS3 BUS4 BUS5 BUS6 BUS7 BUS8 BUS9 BUS10 BUS11 BUS12 BUS13

*****-----111111-----*****111111-----111111-----*****

BUS ABUS 6BUS CCAP1 ACAP1 BCAP1 CCAP2 ACP2 BCAP2 C

BLANK CARD ENDING MODE VOLTAGE OUTPUT

C PLOTTING OF THE RESULTS

C PRINTER PLOT

C (CASE TITLE UP TO 70 CHARACTERS)

2 ** BACK-TO-BACK CAPACITOR ENERGIZATION **

C THE FOLLOWING IS FORMAT OF THE PLOT REQUEST CARDS

C COLUMN 2, **

C COLUMN 3, 4-VOLTAGE DE MODE

C 8-VOLTAGE DE RAMP

C 9-CORRIENTE DE RAMP

C COLUMN 4, UNIDADES DE LA ABSCISA 1-GRADOS

C 2-CICLOS

C 3-SEGUNDOS

C 4-MILISEGUNDOS

C 5-MICRO-SEG.

C COLUMNS 5-7 HORIZONTAL SCALE (UNITS PER INCH)

C COLUMNS 8-11 TIME WHERE PLOT STARTS

C COLUMNS 12-15 TIME WHERE PLOT ENDS

C COLUMNS 16-20 VALUE OF BOTTOM VERTICAL SCALE

C COLUMNS 21-24 VALUE OF TOP VERTICAL SCALE

C COLUMNS 25-48 UP TO FOUR MODE NAMES

C COLUMNS 49-64 GRAPH HEADING LABEL

C COLUMNS 65-80 VERTICAL AXIS LABEL

C 345678901234567890123456789012345678901234567890

C BUS 1 BUS 2 BUS 3 BUS 4

C 1-111-----1111-----*****111111-----111111-----

1444.0 40.0 BUS A

1444.0 40.0 BUS B

1444.0 40.0 BUS C

1444.0 40.0 CAP1 A

1444.0 40.0 CAP1 B

1444.0 40.0 CAP1 C

1444.0 40.0 CAP2 A

1444.0 40.0 CAP2 B

1444.0 40.0 CAP2 C

1944.0 40.0 BUS ASTP1 A

1944.0 40.0 BUS BSTP1 B

1944.0 40.0 BUS CSTP1 C

1944.0 40.0 BUS ASTP2 A

1944.0 40.0 BUS BSTP2 B

1944.0 40.0 BUS CSTP2 C

BLANK CARD ENDING PLOT CARDS

BLANK CARD TERMINATING THE CASE

| | | |
|--------|------|-------------|
| 1045.0 | 50.0 | BUS ASANK A |
| 1445.0 | 50.0 | BUS SSANK B |
| 1645.0 | 50.0 | BUS SSANK B |
| 1845.0 | 50.0 | BUS CSANK C |
| 1945.0 | 50.0 | BUS CSANK C |

BLANK CARD ENDING PLOT CARDS

BLANK CARD TERMINATING THE CASE

Los valores de R y L están conectados entre los nodos SRCE y BUS en la figura VI.11. El valor delta de C, el cual es 46 microfarads, está conectado línea a línea a los nodos CAP1 y CAP2 en la figura VI.11. También hay pequeñas capacitancias a tierra aisladas a estos nodos para asegurar que los voltajes permanezcan matemáticamente definidos en el EMTF siempre que los capacitores interruptores estén abiertos. La tabla VI.2 muestra los datos de entrada al EMTF para este caso.

Los reactores limitadores de corriente en la figura VI.11 y en la tabla VI.2 también son modelados con circuitos RL en paralelo. Estos parámetros son estimados de otra prueba de campo donde el segundo paso de los capacitores fue energizado. Los voltajes terminales del capacitor en el paso 1 se representan en la figura VI.13. Los voltajes transitorios en la fase B alcanzan un pico de 1.5 por unidad con una frecuencia de 2700 Hz y un log dec de 0.15 sobre el periodo de -4 a 0 milisegundos. También hay una oscilación de 875 HZ impuesta en las oscilaciones más ligeramente amortiguadas de 2700 Hz. Estas altas frecuencias transitorias son el resultado de los dos pasos del banco de capacitores resonando entre dos inductores limitadores de corriente en serie. La inductancia de los reactores limitadores de corriente deben ser calculados del valor de la capacitancia conocida y de la frecuencia de oscilación observada.

$$L = 1/4\pi^2(2700)^2(138 \times 10^{-6}) = 0.025 \text{ milihenries} \quad (6.9)$$

Un tamaño comercial disponible de inductores limitadores de corriente es de 25 microhenries, lo cual concuerda con el valor estimado. Este valor se usa en la tabla VI.2. Un valor apropiado de G para log dec igual a .15 es aproximadamente 20. Una resistencia de amortiguamiento en paralelo de 10 ohms se escoge para el ciclo back-to-back (de ida y de regreso). Por lo tanto:

$$G = 10/(.025 \times 10^{-3}/138 \times 10^{-6}) = 23.5 \dots\dots\dots(6.10).$$

Esto completa los parámetros de entrada requeridos para la figura VI.11 y la tabla VI.2. Las magnitudes de la fuente de voltaje son 1 para obtener directamente en por unidad los picos de este voltaje a la salida.

El primer caso considera la energización de los dos primeros casos del capacitor. El paso 1 es energizado cerca de un pico en el bus de voltaje de la fase B. Un ciclo después, el paso 2 se energiza cerca de un pico en el bus de voltaje de la fase B. En la práctica los pasos del banco no se energizan tan rápido, pero los resultados de la simulación son válidos por la forma transitoria de energizar el paso 1 que ha muerto antes de que los interruptores del paso 2 cierren.

Los tiempos de switcheo fueron escogidos para facilitar la comprobación de las gráficas del EMTP con las figuras VI.12 y VI.13. Energizando el paso 2 se ilustrarán los riesgos del interruptor back-to-back switcheando en términos de magnitudes y frecuencias altas. Las corrientes del capacitor serán ilustradas.

La figura VI.14 muestra el bus de voltaje de la fase B durante la secuencia de energización back-to-back. El pico, mientras se energiza el punto 1, es de 1.58 por unidad, comparado con 1.68 por unidad en la figura VI.12. La frecuencia y característica de amortiguamiento para ambos pasos de energización son aproximadamente correctos.

Las figuras VI.15 y VI.16 muestran los voltajes terminales del capacitor de la fase B. Cuando se energiza el paso 2, ambos voltajes del banco presentan una frecuencia alta transitoria la cual no aparece en el bus del capacitor porque no participa en el banco de capacitores limitando la corriente. El pico en CAP1B es 1.65 por unidad, comparado con el 1.5 por unidad de la figura VI.13. La alta frecuencia y la característica de amortiguamiento son

comparables a la figura VI.17. En las figuras VI.17 y VI.18 se muestra la corriente del capacitor de la línea de la fase B. Dado que las magnitudes de las fuentes de voltaje son 1.0 y 4160 volts, se usan impedancias. La base de corriente es 3396 amperes pico y el rango de corrientes es de .052 por unidad para cada paso. El pico de corriente cuando se energiza el paso 1 es de .60 por unidad o 11.5 rangos de tiempo. Cuando se energiza el paso 2, ambos pasos del capacitor experimentan picos de aproximadamente de 1.25 por unidad o 24 rangos de tiempo. Estos impulsos de corriente transitorios experimentados, mientras se energizan los pasos adicionales de los capacitores, podrán ser mayores sin los reactores limitadores de corriente.

Se simuló un recierre en el paso 1 con el paso 2 ya en apagado. Se supuso que la fase A abrió pero las fases B y C no y un recierre ocurrió en un voltaje de recuperación de 3 por unidad en la fase A. Para simular el recierre, se agregó un interruptor adicional entre los nodos SRCE A y BUS A en la figura VI.11. El primer interruptor está inicialmente cerrado y abre inmediatamente para simular la interrupción de corriente inicial. el segundo interruptor esta inicialmente abierto, y cierra a 11.1 milisegundos o un ciclo y medio después de la interrupción de corriente inicial. Las tarjetas de entrada del interruptor para este caso son mostradas en la tabla VI.3.

Las figuras VI.19 y VI.20 muestran el bus del capacitor y el voltaje terminal del paso 1 de la fase A. Estos transitorios presentan las mismas características de frecuencia y amortiguamiento observadas cuando se energizó el paso 1; pero alcanza picos mayores de 2.3 por unidad y 2.45 por unidad en el bus y la terminal en el paso 1, respectivamente. El valor máximo del pico sin amortiguamiento puede ser de tres por unidad. El pico de la corriente de impulso en la fase A después del recierre fue de 24.4 intervalos de tiempo.

TABLA VI.3

SWITCHES PARA SIMULACION DE RECEPCION

| C TARJETAS DE SWITCH | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------|--|---------|--|------------------|--|-----------------|--|--------------|--|----------------------------|--|------------------|--|-------|--|
| C 24567891123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890 | | | | | | | | | | | | | | | |
| C 3-8 | | 9-14 | | 15-24 | | 25-34 | | 35-44 | | 45-54 | | 55-64 | | 65-74 | |
| C (OPCION DE SALIDA EN LA COLUMNA 80) | | | | | | | | | | | | | | | |
| C NOMBRES DE | | NOMBRES | | TIEMPO DE CIERRE | | TIEMPO DE ABRIR | | DE FLASHOVER | | PALABRA DE PETIC. ESPECIAL | | NOMBRE DE SWITCH | | BUS6 | |
| C INTERFUP:TOP CAPACITIVO | | | | | | | | | | | | | | | |
| BUS ASTP1 A | | - | | 0.0005 | | 0.0005 | | | | | | | | 3 | |
| STP1 A BUS A | | 0.0111 | | 1.00 | | | | | | | | | | 1 | |
| BUS BSTP1 B | | - | | 0.0005 | | 1.00 | | | | | | | | 3 | |
| BUS CSTP1 C | | - | | 0.0005 | | 1.00 | | | | | | | | 3 | |
| BUS ASTP2 A | | 0.9172 | | 1.00 | | | | | | | | | | 3 | |
| BUS BSTP2 B | | 0.9172 | | 1.00 | | | | | | | | | | 3 | |
| BUS CSTP2 C | | 0.9172 | | 1.00 | | | | | | | | | | 3 | |
| BLANK: CARD ENGINE SWITCHES | | | | | | | | | | | | | | | |

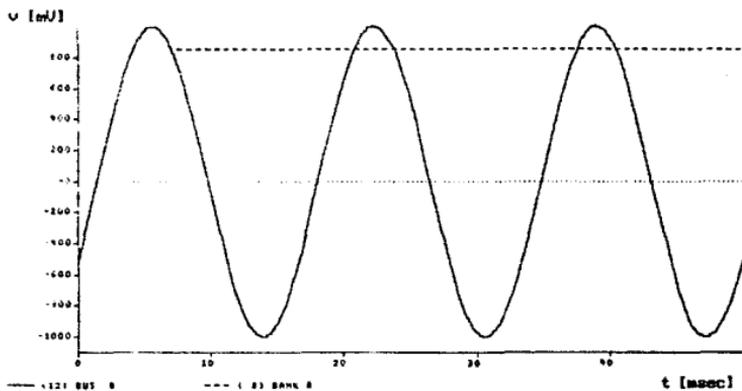


FIG. UI.2 VOLTAGE DE LA FASE B, CON BANCO DE TIERRA

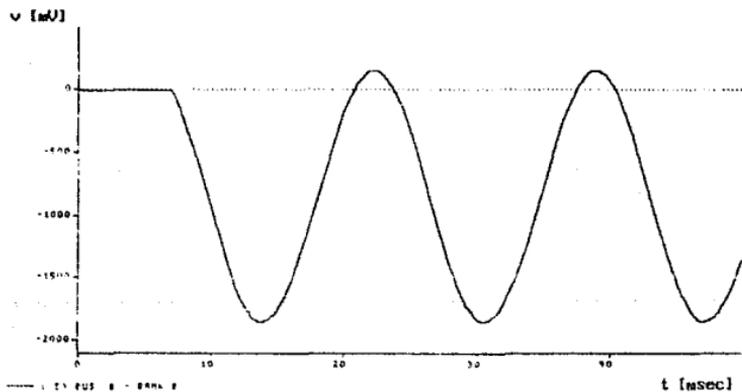


FIG. UI.3 VOLTAGE DE RECUPERACION DE LA FASE B, CON BANCO DE TIERRA

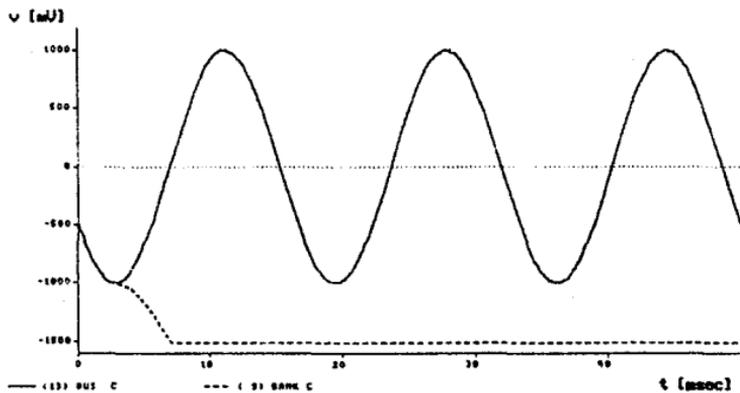


FIG. UI.4 VOLTAJE DE LA FASE C, SIN BANCO DE TIERRA

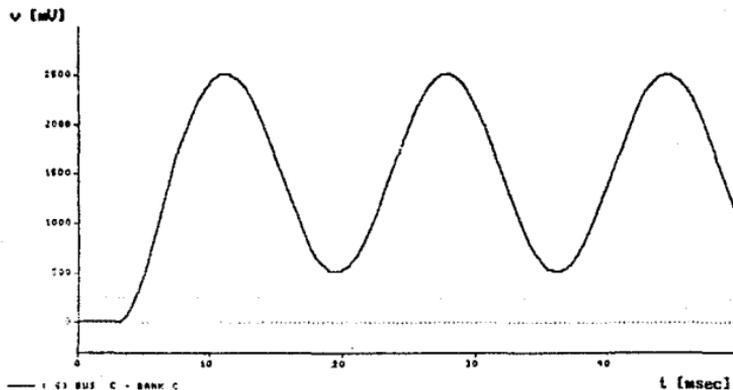


FIG. UI.5 VOLTAJE DE RECUPERACION DE LA FASE C, SIN BANCO DE TIERRA

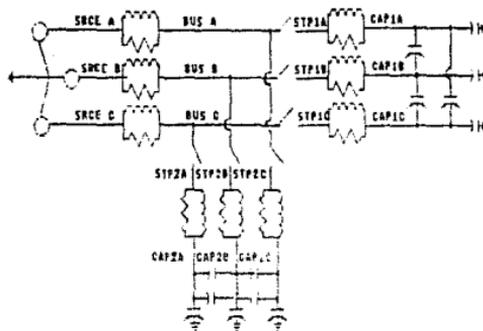
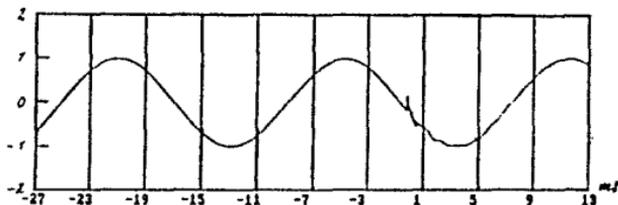
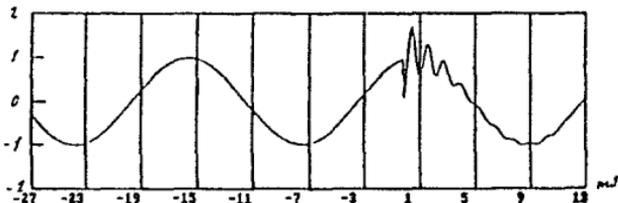


FIG. VI.11 EL MODELO DEL EMTP PARA BACK-TO-BACK PARA UN BANCO DE CAPACITORES CON REACTORES DE CORRIENTE LIMITADA.

FASE A. VOLTAJE DE CAPACITOR DE BUS
PASO 1 ENERGIZADO



FASE B. VOLTAJE DE CAPACITOR DE BUS
PASO 1 ENERGIZADO



FASE C. VOLTAJE DE CAPACITOR DE BUS
PASO 1 ENERGIZADO

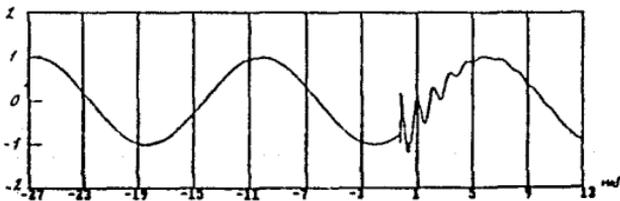
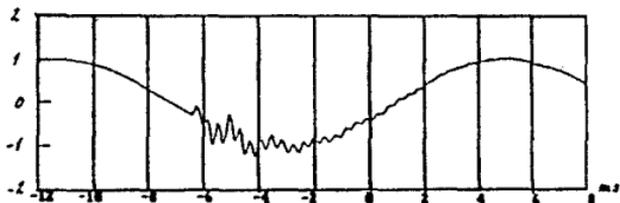
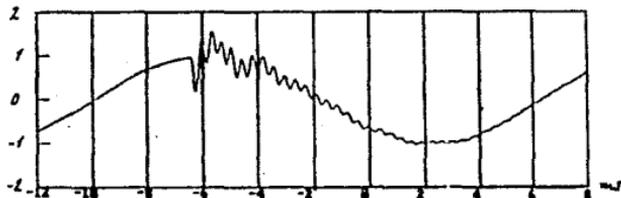


FIG. VI.12 VOLTAJES DE CAPACITOR DE BUS MIENTRAS SE ENERGIZA EL PASO 1.

FASE A. VOLTAJE DE CAPACITOR DE PASO 1
PASO 2 ENERGIZADO



FASE B. VOLTAJE DE CAPACITOR DE PASO 1
PASO 2 ENERGIZADO



FASE C. VOLTAJE DE CAPACITOR DE PASO 1
PASO 2 ENERGIZADO

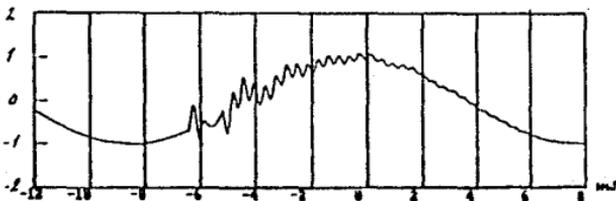


FIG. VI.13 VOLTAJES DE CAPACITOR DE PASO 1 MIENTRAS SE ENERGIZA PASO 2

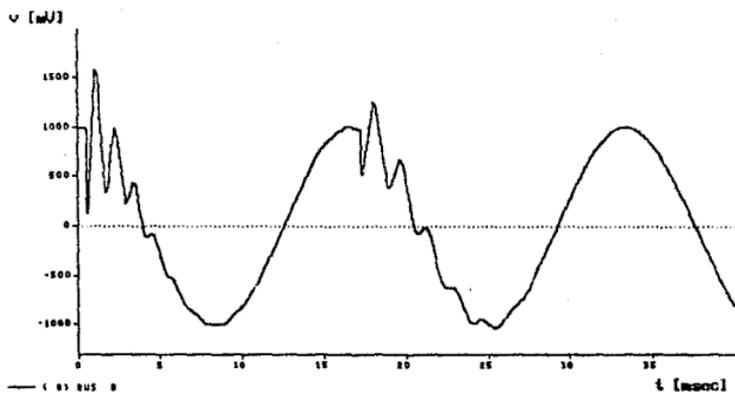


FIG. U1.14 VOLTAJE EN EL BUS DE LA FASE B DURANTE LA ENERGIZACION BACK-TO-BACK

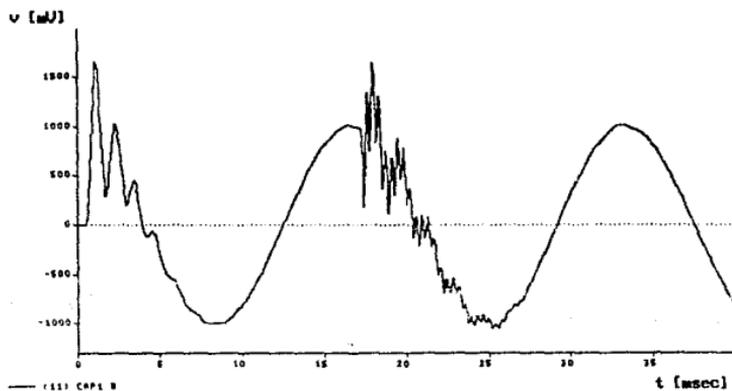


FIG. U1.15 VOLTAJE EN EL PASO 1 DE LA FASE B DURANTE LA ENERGIZACION BACK-TO-BACK

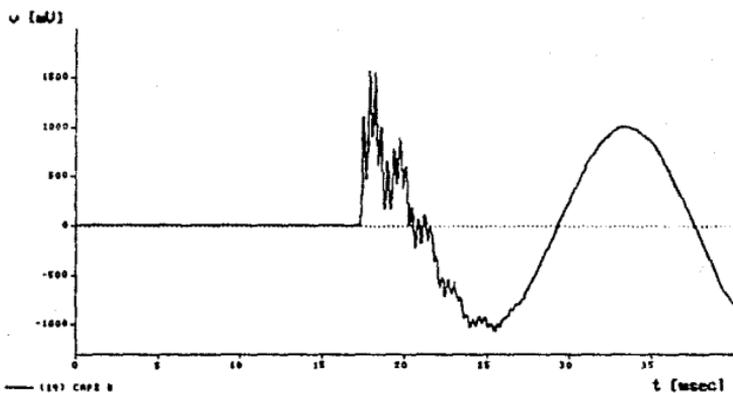


FIG. U1.16 VOLTAJE EN EL PASO 2 DE LA FASE B DURANTE LA ENERGIZACION BACK-TO-BACK

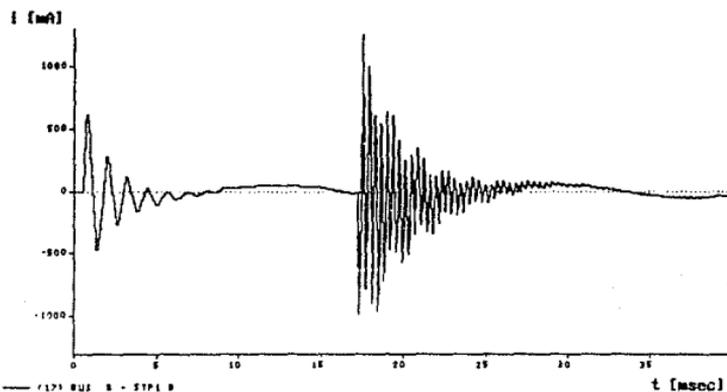


FIG. U1.17 CORRIENTE EN EL PASO 1 DE LA FASE B DURANTE LA ENERGIZACION BACK-TO-BACK

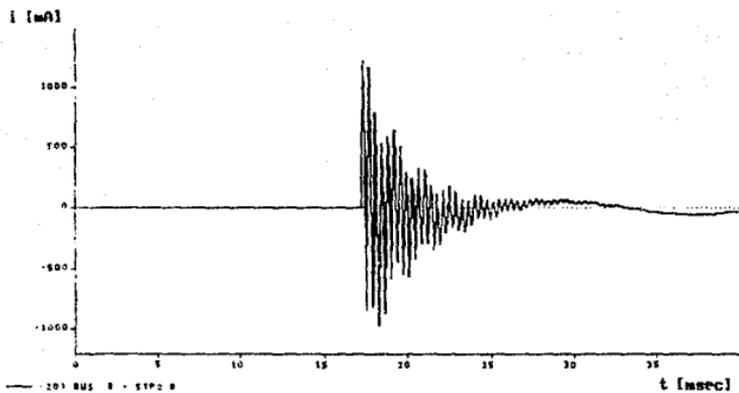


FIG. VI.18 CORRIENTE EN EL PASO 2 DE LA FASE B DURANTE LA ENERGIZACION

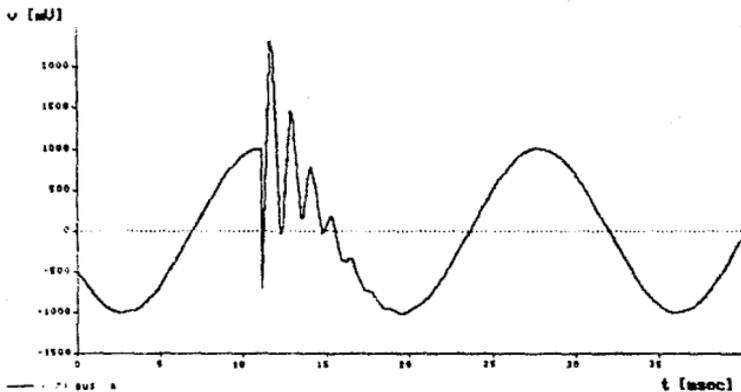


FIG. VI.19 VOLTAJE EN EL BUS DE LA FASE A DURANTE EL RECIERRE DEL PASO 1

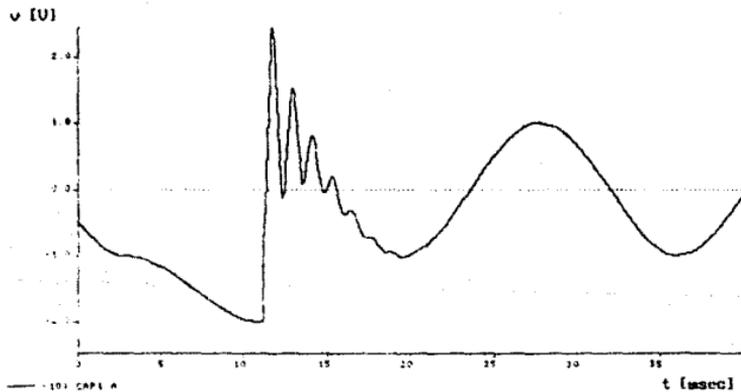


FIG. VI.20 VOLTAJE EN EL PASO 1 DURANTE EL RECIERRE DE ESTE

CAPITULO VII

CASO 6: RESONANCIA EN LINEAS PARALELAS EN CIRCUITOS DE EXTRA ALTA TENSION.

En este caso, se comprueba la habilidad del análisis del EMTP para el estudio de un estado estable que es demostrada calculando los voltajes acoplados en líneas de transmisión paralelas. Las líneas están representadas con secciones π en cascadas para facilitar la comparación directa con un estudio TNA para el mismo sistema.

Altos voltajes resonantes pueden ocurrir bajo ciertas condiciones de operación de compensación paralelo en líneas de transmisión EHV. Un circuito es abierto debido a una falla, y los reactores derivados permanecen conectados. Los voltajes resonantes ocurren en la línea no energizada acoplándola con la línea energizada más cercana. Los circuitos resonantes en serie consisten de interlíneas de capacitancia y un reactor derivado en la línea no energizada.

Un diagrama simplificado del sistema estudiado se muestra en la figura VII.1

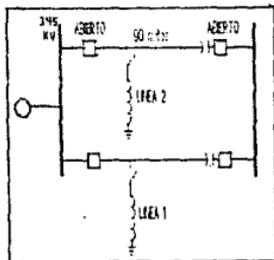


FIG. VII.1 DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL SISTEMA DE ESTUDIO.

Las constantes de línea para una configuración de línea paralela fueron calculados en el caso 3. La resistencia, reactancia inductiva y las matrices de capacitancia de las constantes de línea impresas son presentadas en una base por milla en la tabla VII.1. Estas matrices de 6×6 definen su propia impedancia mutua y capacitancias para ambas líneas trifásicas, así como el acoplamiento electromagnético y electrostático de las líneas.

Las líneas de transmisión están modeladas con varias secciones π en serie. Estas mejoran la exactitud del cálculo para ambos estados estables y transitorios con aproximaciones más cercanas a la naturaleza del parámetro distribuido de las líneas. Para los estudios TNA se aplica la regla del dedo pulgar en la que la sección π deberá ser usada por cada diez millas de línea. Las líneas de la figura 6.1 son de 30 millas de largo cada una en secciones π en cascada deben ser usadas cuando las líneas de transmisión transitorias están para ser simuladas en el EMTP. Diferentes tipos de modelos de línea son usualmente más adecuados que las secciones π .

Los valores por milla en la tabla VII.1 tienen que estar multiplicados por el número de millas por sección π para obtener el dato apropiado de entrada para la sección π . La tabla VII.2 muestra el formato de entrada de datos para dos líneas de transmisión acopladas. Si el sistema solo tiene un circuito, la matriz de entrada requerida deberá tener únicamente las tres primeras filas. Se asume que las líneas de transmisión tienen puntos de transposición a cada 30 millas como se muestra en la figura VII.2.

El orden para determinar la variación de la magnitud de sobrevoltajes resonantes va con el tamaño del reactor derivado, y varios valores de la reactancia derivada fueron escogidos. La reactancia puede ser calculada utilizando la siguiente formula:

$$X_L = (kV_{LL})^2 / \text{reactor MVA} \dots\dots\dots (7.1)$$

TABLA VIII.1

MATRIZ DE DATOS PARA SISTEMA DE TRANSMISION DE 345 kV

Capacitance matrix, in units of $\mu\text{farads/mile}$ ℓ for the system of equivalent phase conductors. Rows and columns proceed in the same order as the sorted input.

```

1 1.749725E-08
2 -2.981825E-09 1.645446E-08
3 -3.030675E-09 -2.729906E-09 1.632144E-08
4 -2.914233E-10 -3.913257E-10 -1.810950E-10 1.753332E-08
5 -3.907274E-10 -7.025430E-10 -2.702754E-10 -3.000240E-09 1.649474E-08
6 -1.807385E-10 -2.701402E-10 -1.232094E-10 -3.049722E-09 -2.743429E-09 1.637094E-08

```

Impedance matrix, in units of ohms/mile ℓ for the system of equivalent phase conductors. Rows and columns proceed in the same order as the sorted input.

```

1 2.798573E-01
  8.889471E-01
2 1.981437E-01 2.431500E-01
  3.489510E-01 9.433253E-01
3 1.987267E-01 1.779890E-01 2.399542E-01
  3.304621E-01 3.587168E-01 9.466644E-01
4 1.770224E-01 1.693324E-01 1.652381E-01 2.942082E-01
  1.966724E-01 2.300658E-01 2.028703E-01 9.862938E-01
5 1.750322E-01 1.660804E-01 1.626830E-01 1.728188E-01 2.256604E-01
  2.116642E-01 2.327683E-01 2.200104E-01 4.221232E-01 9.924729E-01
6 1.682553E-01 1.605791E-01 1.572014E-01 1.649904E-01 1.614153E-01 2.193325E-01
  1.917010E-01 2.262543E-01 2.012689E-01 4.287450E-01 4.142834E-01 1.003504E+00

```

Del programa LINE CONSTANTS resulta que cada linea tiene una capacitancia de secuencia positiva de aproximadamente de .0197 microfarads por milla. La linea cargada de esta manera es :

$$(kV_{LL})^2/X_c = 3445^2 \times 377 \times .0197 \times 10^{-6} = .884 \text{ MVAC/milla ... (7.2)}$$

Para una linea de 90 millas, la linea total cargada es 79.6 MVAC

TABLA VII.2

FORMATO DE ENTRADAS PARA LAS SECCIONES P1

| | |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| Resistencias en | Ohms/Unidades de longitud |
| Reactancias en | Ohms/Unidades de longitud |
| Capacitancias en | Microfarad/Unidades de longitud |
| R11 L11 C11 | -- Solo si en |
| R21 L21 C21 R22 L22 C22 | -- circuitos es |
| R31 L31 C31 R32 L32 C32 R33 L33 C33 | -- representado |
| R41 L41 C41 R42 L42 C42 R43 L43 C43 | |
| R44 L44 C44 | |
| R51 L51 C51 R52 L52 C52 R53 L53 C53 | |
| R54 L54 C54 R55 L55 C55 | |
| R61 L61 C61 R62 L62 C62 R63 L63 C63 | |
| R64 L64 C64 R65 L65 C65 R66 L66 C66 | |

Los valores del reactor derivado en la tabla VII.3 fueron simulados.

TABLA VII.3

VALORES DEL REACTOR DERIVADO

| Reactor derivado | Porcentaje | Reactancia |
|------------------|-----------------------|-----------------------|
| Valor en MVA | Compensación derivada | Inductiva en Ω |
| 30.0 | 37.7 | 3967.5 |
| 40.0 | 50.3 | 2975.6 |
| 43.5 | 54.5 | 2736.2 |
| 45.2 | 56.8 | 2633.3 |
| 46.4 | 58.3 | 2567.4 |
| 46.2 | 60.6 | 2469.4 |
| 53.0 | 66.6 | 2245.7 |
| 63.0 | 79.2 | 1889.3 |

Valores típicos de compensación derivada varían de un rango del 40% al 80%.

Se asume que las líneas de transmisión en serie son compensadas en un 60%. El programa de LINE CONSTANTS calculó la secuencia positiva de la reactancia como 1.5213 mH/milla o .5735 Ω /milla. La reactancia total de la línea equivale a $90 \times .5735$ o 51.6. Asumiendo un 60% en la compensación serie, las capacitancias en serie pueden ser calculadas:

$$C = 1/377 \times .6 \times 51.6 = 85.7 \mu F \dots\dots\dots (7.3)$$

La figura VII.2 muestra el diagrama del sistema representado y los nombres de los nodos. La tabla VII.4 muestra los datos completos de entrada.

Ningún transitorio está siendo investigado y por lo tanto la primera tarjeta de datos en la tabla VII.4 de intervalos de tiempo (columnas 1-8) y el tiempo máximo (columnas 9-16) se coloca en "cero". Las inductancias para la línea de transmisión fueron calculadas en ohms, y por lo tanto, todas las otras inductancias (e.g. el reactor

6P2.0 CP2.0 C
C 34567890123456789012345678901234567890

C CUARTA SECCION FI
1P1.3 CP1.4 CUARNTA1.1 A
2P1.3 AP1.4 A
3P1.3 BP1.4 B
4P2.3 CP2.4 C
5P2.3 AP2.4 A
6P2.3 BP2.4 B

C QUINTA SECCION FI
1P1.4 CP1.5 CUARNTA1.1 A
2P1.4 AP1.5 A
3P1.4 BP1.5 B
4P2.4 CP2.5 C
5P2.4 AP2.5 A
6P2.4 BP2.5 B

C 34567890123456789012345678901234567890

C SEITA SECCION FI
1P1.5 CP1.6 CUARNTA1.1 A
2P1.5 AP1.6 A
3P1.5 BP1.6 B
4P2.5 CP2.6 C
5P2.5 AP2.6 A
6P2.5 BP2.6 B

C SEPTIMA SECCION FI
1P1.6 BP1.7 BUARNTA1.1 A
2P1.6 CP1.7 C
3P1.6 AP1.7 A
4P2.6 BP2.7 B
5P2.6 CP2.7 C
6P2.6 AP2.7 A

C 34567890123456789012345678901234567890

C OCTAVA SECCION FI
1P1.7 BP1.8 BUARNTA1.1 A
2P1.7 CP1.8 C
3P1.7 AP1.8 A
4P2.7 BP2.8 B
5P2.7 CP2.8 C
6P2.7 AP2.8 A

C NOVENA SECCION FI
1P1.8 BP1.9 BUARNTA1.1 A
2P1.8 CP1.9 C
3P1.8 AP1.9 A
4P2.8 BP2.9 B
5P2.8 CP2.9 C
6P2.8 AP2.9 A

C CAPACITORES SERIE
C 34567890123456789012345678901234567890

C 39-44
P1.9 AP1.10A 85.700
P1.9 BP1.10B 85.700
P1.9 CP1.10C 85.700
P2.9 AP2.10A 85.700
P2.9 BP2.10B 85.700
P2.9 CP2.10C 85.700

C

C REACTORES PARALELO

C 345678901234567890123456789012345678901234567890

| | | |
|---|-------|--------|
| C | | 33-36 |
| | JUNIA | 2567.4 |
| | JUNIB | 2567.4 |
| | JUNIC | 2567.4 |
| | JUNCA | 2567.4 |
| | JUNCB | 2567.4 |
| | JUNCC | 2567.4 |

C

C OCURRE FALLA EN EL PUNTO 2 DE TRANSICION
C SOBRE LA LINEA :

C 34567890123456789012345678901234567890

| | | |
|---|--------|-------|
| C | | 27-32 |
| | P1.6 C | .01 |

C

BLANK CARD TERMINATING BRANCHES

C

C TARJETA DE SWITCHES

C 34567890123456789012345678901234567890

| | | | | |
|---|-----|------|-------|-------|
| C | 3-8 | 9-14 | 15-24 | 25-34 |
|---|-----|------|-------|-------|

C BUS K BUS M T-CLOSE T-OPEN

C INTERRUPTORES EN SAN JUAN

| | | |
|---------------|------|------|
| JUAN A/JUANIA | -1.0 | 1.0 |
| JUAN B/JUANIB | -1.0 | 1.0 |
| JUAN C/JUANIC | -1.0 | 1.0 |
| JUAN A/JUNCA | 1.0 | -1.0 |
| JUAN B/JUNCB | 1.0 | -1.0 |
| JUAN C/JUNCC | 1.0 | -1.0 |

C INTERRUPTORES EN MCKINLEY

| | | |
|--------------|------|------|
| P1.10/MCKINA | -1.0 | 1.0 |
| P1.10/MCKINB | -1.0 | 1.0 |
| P1.10/MCKINC | -1.0 | 1.0 |
| P2.10/MCKINA | 1.0 | -1.0 |
| P2.10/MCKINB | 1.0 | -1.0 |
| P2.10/MCKINC | 1.0 | -1.0 |

BLANK CARD TERMINATING SWITCHES

C

C TARJETA DE FUENTES

C 3456789012345678901234567890123456789012345678901234567890

C COLUMNA 1-21:TYPE (11-13 SON FUNCIONES RAMP, 14 SON COSENO).

C COLUMNA 9-10:V DR 1 (FUENTE DE VOLTAJE = 0, FUENTE DE CORRIENTE = -1)

| | | | | | | | | |
|---|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C | 3-8 | 11-20 | 21-30 | 31-40 | 41-50 | 51-60 | 61-70 | 71-80 |
|---|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

C BUS AMPLITUDE FREQUENCY PHASE/ANG

| | | | | | | | | |
|-----------|---------|------|--------|--|--|--|--|------|
| 1A/JUAN A | 281700. | 60.0 | 0.0 | | | | | -1.0 |
| 1A/JUAN B | 281700. | 60.0 | -120.0 | | | | | -1.0 |
| 1A/JUAN C | 281700. | 60.0 | -240.0 | | | | | -1.0 |

BLANK CARD TERMINATING SOURCES

C

C SALIDAS PARA VOLTAJE DE MODO

C COLUMNA 21 CON *1* TODOS LOS VOLTAJES DE MODO SERAN DE SALIDA.

C 3456789012345678901234567890123456789012345678901234567890

| | | | | | | | | |
|---|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C | 3-8 | 9-14 | 15-20 | 21-26 | 27-32 | 33-38 | 39-44 | 45-50 |
|---|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

C BUS 1 BUS 2 BUS 3 BUS 4 BUS 5 BUS 6 BUS 7 BUS 8

JUNCA/JUNCB/JUNCC

BLANK CARD TERMINATING MODE VOLTAGE OUTPUT

BLANK CARD TERMINATING PLOTTING

BLANK CARD TERMINATING THE CASE

derivado) también sus entradas estarán en ohms. Cuando la frecuencia es de 60 Hz, un valor de 60 es colocado en la columna 17-24 de la primera tarjeta de datos misceláneos. Las salidas de los estados estables son requeridas, y por lo tanto, un 1 se coloca en la columna 32 de la segunda tarjeta de datos misceláneos.

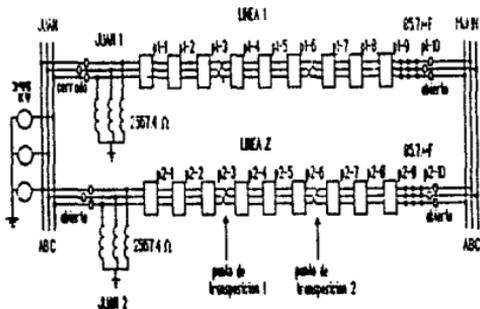


FIG. VII.2 DIAGRAMA DEL SISTEMA CON NOMBRES DE NODOS

La condición de los sistemas simulados está dado por los siguiente eventos:

La línea 2 ha sido desenergizada debido a una falla o por mantenimiento programado y por lo tanto los interruptores del circuito en ambas terminales de la línea se han abierto.

Una falla de línea a tierra ocurrió en la línea 1 a 60 millas del nodo "JUANIC" (en el punto de transposición).

Los relevadores de línea trataron de corregir la falla abriendo los interruptores del circuito.

El interruptor del circuito en el "MCHIN" al final de la línea 1 abrió adecuadamente; de cualquier forma, el interruptor del circuito al final en el "JUAN" falla al abrir (las tres fases permanecen cerradas). La falla sin tiene que ser corregida por el interruptor de respaldo.

Esta secuencia de eventos deja una línea desenergizada y la otra energizada. Los voltajes en estado estable para esta condición del sistema fueron calculadas para 8 rangos de reactores conectados. Los resultados muestran que los voltajes en estado estable en la línea 2 desenergizada depende de los rangos de los reactores derivados. Los resultados para el voltaje del reactor derivado (nodo "JUAN2"), como una función del tamaño del reactor derivado, son obtenidos de la entrada de datos como están en la tabla 6.4, los cuales son resumidos en la tabla 6.5 y graficados en la figura 6.6. Los resultados graficados indican una condición de resonancia de aproximadamente 46.4 MVAR.

Las corridas fueron repetidas sin falla en la línea 1. Esto puede representar un error o un paro manual del interruptor de la línea 1. Un resumen de los voltajes de la línea 2 sin ninguna falla en la línea 1 está dado en la tabla VII.6 y graficado en la figura VII.3. Observando los voltajes de reactores derivados en la línea 2, vemos que fueron significativamente menores que los mostrados para la línea 1.

La tabla VII.7 muestra una lista parcial de las salidas del estado estable. Las cantidades de interés están resaltadas en la impresión de la salida. La impresión de las salidas es para el caso donde un reactor derivado de 43.5 MVA y un falla en el punto de transposición 2 fueron simulados. Los voltajes de los nodos "JUAN1A", "JUAN1B" y "JUAN1C" están balanceados desde una fuente infinita que es conectada a los nodos "JUAN1". Los voltajes tienen la misma magnitud de 281.7 kV L-G pico o 345 kV L-L rms, y los ángulos de fase son 0, -120 y 120 grados, respectivamente. Los voltajes en la

TABLA VII.5

VOLTAJES DE MODO EN KV CON UNA FALLA DE LINEA A TIERRA A 60 MILLAS DEL FINAL ENERGIZADO

| | 30 MVA | 40 MVA | 43.5 MVA | 45.2 MVA | 46.4 MVA | 48.2 MVA | 53 MVA | 63 MVA |
|--------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|
| JUNCA | 131.1 | 389.5 | 1254.2 | 8387.4 | 14969 | 624.5 | 246.7 | 108.2 |
| JUNCB | 131.4 | 389.6 | 1254.3 | 8388.2 | 14956 | 624.2 | 246.5 | 108.0 |
| JUNCC | 129.3 | 386.9 | 1250.6 | 8381.4 | 14975 | 626.8 | 249.8 | 113.2 |
| P2.3 A | 93.1 | 332.4 | 1234.3 | 8546.5 | 15600 | 674.9 | 291.1 | 150.4 |
| P2.3 B | 91.4 | 332.7 | 1232.3 | 8541.5 | 15607 | 676.6 | 292.3 | 151.4 |
| P2.3 C | 92.2 | 333.9 | 1231.9 | 8540.8 | 15605 | 676.2 | 293.2 | 154.4 |
| P2.6 A | 53.0 | 317.4 | 1294.4 | 8648.8 | 16151 | 722.3 | 335.2 | 193.3 |
| P2.6 B | 53.9 | 318.7 | 1295.9 | 8648.4 | 16138 | 720.9 | 333.6 | 191.4 |
| P2.6 C | 53.5 | 317.3 | 1293.9 | 8645.7 | 16148 | 722.5 | 335.9 | 195.8 |
| P2.9 A | 53.0 | 318.2 | 1298.2 | 8677.6 | 16207 | 724.9 | 336.4 | 194.1 |
| P2.9 B | 53.9 | 319.5 | 1299.7 | 8677.7 | 16194 | 723.5 | 334.9 | 192.2 |
| P2.9 C | 53.5 | 318.1 | 1297.7 | 8674.3 | 16203 | 725.0 | 337.2 | 196.6 |

TABLA VII.6

VOLTAJES DE MODO EN KV SIN FALLA EN LA LINEA

| | 30 MVA | 40 MVA | 43.5 MVA | 45.2 MVA | 46.4 MVA | 48.2 MVA | 53 MVA | 63 MVA |
|--------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|
| JUNCA | 2.3 | 3.4 | 6.4 | 27.7 | 5.8 | 3.3 | 3.5 | 5.8 |
| JUNCB | 1.5 | 1.0 | 3.0 | 32.4 | 9.5 | 5.9 | 4.8 | 6.3 |
| JUNCC | 2.5 | 3.9 | 7.7 | 31.9 | 5.7 | 2.7 | 3.2 | 5.6 |
| P2.3 A | 2.1 | 3.2 | 6.3 | 28.4 | 6.0 | 3.4 | 3.5 | 5.7 |
| P2.3 B | 1.7 | 1.2 | 2.8 | 33.1 | 9.9 | 4.2 | 5.1 | 6.6 |
| P2.3 C | 2.4 | 3.8 | 7.7 | 32.5 | 6.0 | 2.9 | 3.2 | 5.6 |
| P2.6 A | 2.2 | 3.3 | 6.4 | 28.6 | 6.1 | 3.5 | 3.6 | 5.8 |
| P2.6 B | 1.7 | 1.2 | 2.8 | 33.3 | 10.0 | 4.2 | 5.1 | 6.6 |
| P2.6 C | 2.3 | 3.8 | 7.7 | 32.8 | 6.0 | 2.8 | 3.1 | 5.5 |
| P2.9 A | 2.2 | 3.3 | 6.4 | 28.7 | 6.1 | 3.5 | 3.6 | 5.8 |
| P2.9 B | 1.7 | 1.2 | 2.8 | 33.5 | 10.0 | 4.2 | 5.1 | 6.6 |
| P2.9 C | 2.3 | 3.8 | 7.7 | 32.9 | 6.0 | 2.8 | 3.1 | 5.5 |

línea C de los reactores derivados son 1254, 1254 y 1251 kV por fases A, B y C, respectivamente.

En falla la fase C de la línea 1, la corriente de falla fluye. Como una revisión manual, la línea de impedancia entre la fuente y la falla puede ser calculada por la falla de línea a tierra:

$$1/3(X_1+X_2+X_0) = 1/3(.53353+.57353+1.6319) = .9263 \Omega/\text{mi} \dots (7.4)$$

$$\begin{aligned} \text{La impedancia total de la línea} &= 60 \text{ mi} \times .9263 \Omega/\text{mi} = \\ &= 55.58 \Omega \dots \dots \dots (7.5) \end{aligned}$$

El pico de la corriente de falla es igual a:

$$((345 \times \sqrt{2})/\sqrt{3}) \times 1/55.58 = 5.068 \text{ kA pico} \dots \dots \dots (7.6)$$

Esta corriente de falla no considera la corriente de carga capacitiva de la línea y bien se compara con el valor de 5.045 kA pico dado en la tabla VII.7.

Las corrientes en los nodos "JUANIC" son mostradas en la figura VII.4. La caída de voltaje a través de la primera sección P1 es aproximadamente 500 A x 9.16 Ω o 46.3 kV, la cual se compara con la caída observada de 281.7 kV - 274.2 kV o 47.3 kV, mostradas en la figura VII.4. La corriente del reactor derivado tiene un valor de $(43.5 \times 100)/(\sqrt{3} \times 345) = 72.7$ A rms o 102.95 A pico lo cual es idéntico a la corriente dada en la impresión del EMTP.

La fase A y B tienen principalmente corriente de carga en la línea capacitiva. Utilizando únicamente capacitancia de secuencia positiva y una sección de voltaje uniforme, una corriente de carga puede ser:

$$(345000 \times \sqrt{2}/\sqrt{3}) \times 377 \times (.019682 \times 10^{-6} \text{ F}/\text{mi}) = 2.09 \text{ A}/\text{mi} \dots (7.7)$$

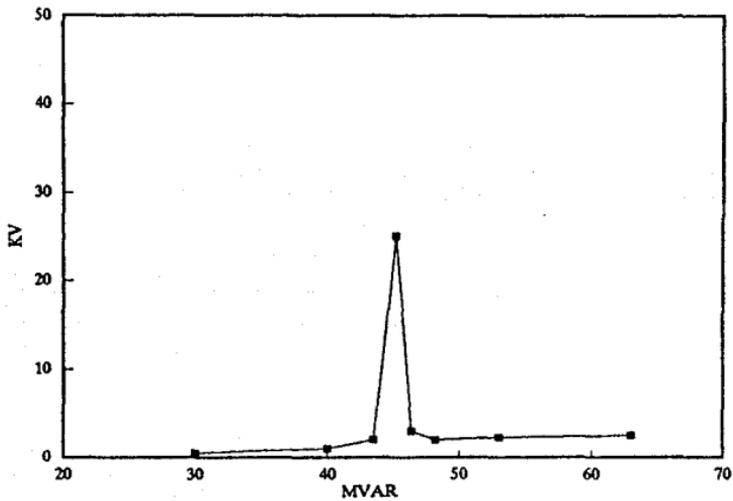


FIGURA VII.3

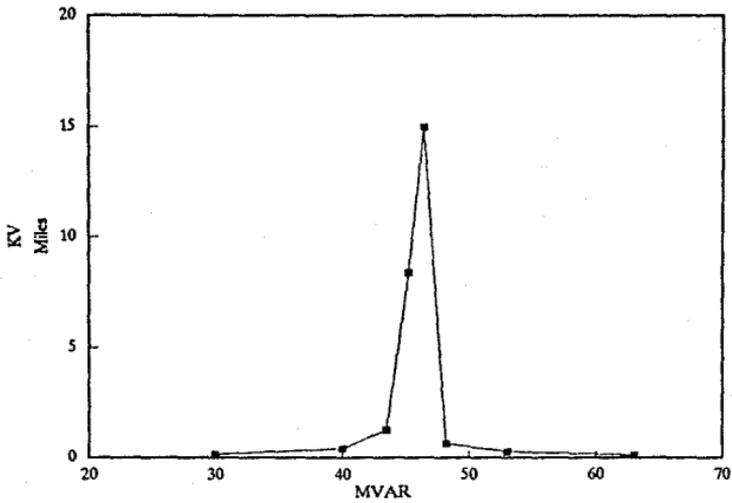


FIGURA VII.3

TABLE VII.7

Salida Parcial de Estado Estable

Sinusoidal steady-state phasor solution, branch by branch. All flows are away from a bus, and the real part, magnitude, or "P" is printed above the imaginary part, the angle, or "Q". The first solution frequency = 6.0000000E+01 hertz.

| Bus k | Bus h | Phasor mode -tilde | | Phasor branch current | | Power flow | |
|--------|-----------------|--------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|------------------|--------------------|
| | | Rectangular | Polar | Rectangular | Polar | P and Q | Power loss P and Q |
| JUN14 | | 281700. | 281700. | -26.5759754263 | 195.71073099101 | -.37432265613E7 | .126749042291E7 |
| | | 0.0 | 0.0 | 193.89812272998 | 97.8044198 | -.27310551955E8 | -.2976067.2949305 |
| P1.1 A | 286405.386708E3 | 287210.47825375 | 22.115498544811 | 173.00906533527 | | .501071718426E7 | |
| | -21489.84138875 | -4.2910307 | -171.5297472956 | -82.6528693 | | .243344847015E8 | |
| JUN18 | | -142650. | 281700. | 138.81386591416 | 165.48538406181 | .121312596165E7 | -.715795.6637714 |
| | -243959.3562461 | -120.0000000 | -90.06952751597 | -32.9833759 | | -.23277625659E8 | -.653307.4781694 |
| P1.1 B | -136845.5529803 | 299522.99900356 | -128.4790695163 | 151.59843058252 | | -.19289231254E7 | |
| | -266434.4570789 | -117.1828227 | 80.466707279983 | 147.9402604 | | .226215181804E8 | |
| JUN1C | | -140850. | 281700. | 3050.7233189472 | 4756.9278152409 | .230361081199E9 | .3073420953E8 |
| | 243959.35624608 | 120.0000000 | 3649.8560890371 | 50.1095180 | | .629167363539E9 | 0516475.5289916 |
| P1.1 C | -116494.6476749 | 233605.5285677 | -3070.448239272 | 4776.7894793912 | | -.19162673022E9 | |
| | 202485.78577917 | 119.9128331 | -3659.243820843 | -129.9997988 | | -.52400258797E9 | |
| JUN2A | | -162441.7189903 | .149450317129E7 | 578.65888454814 | 582.10676627004 | -.5142446753E-5 | -.169256.1012209 |
| | -.14856488202E7 | -96.7399661 | -63.27090402364 | -6.2399661 | | -.43498086177E9 | 42714976.2787635 |
| P2.1 A | -164437.4671102 | .151697933327E7 | -514.0955183225 | 517.16712051012 | | -.169256.1012158 | |
| | -.15089406751E7 | -96.2229732 | 56.281689543028 | 173.7523046 | | .392265885467E9 | |
| JUN2B | | -170216.3235944 | .149414124618E7 | 578.1778632756 | 581.5666766299 | -.1431189663E-5 | -.316608.0488398 |
| | -.14844138462E7 | -96.5414811 | -66.29910555209 | -6.5414811 | | -.4347702079E9 | 39295308.1987578 |
| P2.1 B | -171360.7042744 | .151695162236E7 | -518.0227668672 | 521.4075681546 | | -.316608.0488364 | |
| | -.15072417633E7 | -96.4861973 | 59.3149497023 | 173.4679321 | | .395474899702E9 | |
| JUN2C | | -164546.1951539 | .149589266811E7 | 579.07791735611 | 582.61379921785 | .2395208666E-5 | -.247356.3528984 |
| | -.14867248453E7 | -96.3156201 | -64.09057560406 | -6.3156201 | | -.43873763767E9 | 39142130.9436246 |
| P2.1 C | -166167.0714694 | .15179831293E7 | -519.3537543712 | 522.52963318853 | | -.247356.2528980 | |
| | -.15088699231E7 | -96.2845159 | 57.522998710392 | 173.6797488 | | .396572506721E9 | |
| JUN1A | | 281700. | 281700. | 0.0 | 109.72189763964 | 0.0 | 0.0 |
| | | 0.0 | 0.0 | -109.7218976396 | -90.0000000 | .154543292825E8 | 15454329.2825427 |
| TERA | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 109.72189763964 | 0.0 | 0.0 |
| | | 0.0 | 0.0 | 109.72189763964 | 90.0000000 | 0.0 | 0.0 |
| JUN19 | | -140850. | 281700. | -95.02195070736 | 109.72189763964 | .80126463226E-9 | .80126463226E-9 |

| | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| | -243759.3562461 | -120.0000000 | 54.860948819818 | 150.0000000 | .154543292625B | 15454329.2625427 |
| TERSA | 0.0 | 0.0 | 95.02195070726 | 109.72189782984 | | 0.0 |
| | 0.0 | 0.0 | -54.86094881982 | -30.0000000 | | 0.0 |
| JUANIC | -140650 | 281700 | 95.02195070726 | 109.72189782984 | .42382452103E-7 | .42382452103E-7 |
| | 243759.35624609 | 120.0000000 | 54.860948819818 | 30.0000000 | .154543292625B | 15454329.2625427 |
| TERSA | 0.0 | 0.0 | -95.02195070726 | 109.72189782984 | | 0.0 |
| | 0.0 | 0.0 | -54.86094881982 | -150.0000000 | | 0.0 |
| JUANCA | -162441.7189903 | .149450317129E7 | -578.65888454811 | 582.10746677001 | .41327439249E-9 | .41327439249E-9 |
| | -1.14856488202E7 | -96.2199661 | 63.270904023646 | 173.7600339 | .434990861766E9 | 347806661.7361791 |
| TERSA | 0.0 | 0.0 | 578.65888454811 | 582.10746677001 | | 0.0 |
| | 0.0 | 0.0 | -63.27090402365 | -6.2199661 | | 0.0 |
| JUANB | -170216.3235944 | .149414124618E7 | -578.17786327259 | 581.96667686298 | .12732925822E-8 | .12732925822E-8 |
| | -1.48441284832E7 | -96.5414811 | 66.299105323795 | 177.4921159 | .434770270701E9 | 34770267.9186263 |
| TERSA | 0.0 | 0.0 | 578.17786327259 | 581.96667686298 | | 0.0 |
| | 0.0 | 0.0 | -66.299105323 | -6.5414811 | | 0.0 |
| JUANC | -164546.1951539 | .14958701566711E7 | -579.07791755011 | 582.61219921789 | .23064785637E-9 | .23064785637E-9 |
| | -1.14867246452E7 | -96.3156201 | 64.090595664082 | 173.6843799 | .43273767874E9 | 34763527.6744913 |
| TERSA | 0.0 | 0.0 | 579.07791755015 | 582.61219921789 | | 0.0 |
| | 0.0 | 0.0 | -64.09059566408 | -6.3156201 | | 0.0 |
| Pl.6 C | 31.889167913075 | 48.743637607779 | 3186.9167913075 | 4874.2637607779 | 118797.11026192 | 118797.11026192 |
| | 36.882222597977 | 49.1703805 | 3688.2222597977 | 49.1703805 | .1012523239E-11 | 0.0000000 |
| TERSA | 0.0 | 0.0 | -3186.916791308 | 4874.2637607779 | | 0.0 |
| | 0.0 | 0.0 | -3688.222259798 | -120.8276195 | | 0.0 |
| Total network loss P-loss by summing injections = 2.278297968990E+08 | | | | | | |

Output for steady-state phasor switch currents.

| Node-K | Node-N | I=real | I=imag | I=mag | Degrees | Power | Reactive |
|--------|--------|-----------------|-----------------|----------------|----------|-----------------|-----------------|
| JUAN A | JUANIA | -2.65759784E+01 | 8.41762351E+01 | 8.82718959E+01 | 107.5219 | -3.74322656E+06 | -1.18562227E+07 |
| JUAN B | JUANIB | 4.37915153E+01 | -3.52285787E+01 | 5.62030657E+01 | -38.8151 | 1.21312504E+06 | -7.82287636E+06 |
| JUAN C | JUANIC | 3.14574527E+03 | 3.70471704E+03 | 4.86010716E+03 | 49.6648 | 2.30361081E+08 | 6.44218735E+08 |
| JUAN A | JUANCA | Open | Open | Open | Open | Open | Open |
| JUAN B | JUANCB | Open | Open | Open | Open | Open | Open |
| JUAN C | JUANC | Open | Open | Open | Open | Open | Open |
| P1.10A | MDX1A | 9.09494702E-13 | 1.81898940E-12 | 2.03369199E-12 | 63.4149 | 7.54634104E-08 | -2.41227622E-07 |
| P1.10B | MDX1B | 1.81898940E-12 | -4.54747231E-13 | 1.87497136E-12 | -14.0362 | -1.95887897E-08 | -3.66281095E-07 |
| P1.10C | MDX1C | 1.42106547E-14 | -7.10542736E-15 | 1.58882186E-14 | -26.5651 | -5.12378652E-12 | -1.73795313E-11 |
| P2.10A | MDX1A | Open | Open | Open | Open | Open | Open |
| P2.10B | MDX1B | Open | Open | Open | Open | Open | Open |
| P2.10C | MDX1C | Open | Open | Open | Open | Open | Open |

Solution at nodes with known voltage. Nodes that are shorted together by switches are shown as a group of names, with the printed result applying to the spanned group. The entry "PWR" is $\sqrt{P^2 + Q^2}$ in units of power, while "P.F." is the associated power factor.

Node Source node voltage Injected source current Injected source power

La corriente de carga total equivale a $90 \times 2.09 = 188$ A cresta. La tabla VII.7 muestra corrientes de carga de 206 A y 236 A para fases A y B respectivamente. La corriente para los nodos "JUAN1A" y "P1.1 A" son mostradas en la figura VII.5. Todas las corrientes pueden ser sumadas vectorialmente.

Las revisiones manuales de las magnitudes de corriente y caídas de voltaje pueden establecerse confiablemente en listas de resultados del EMTF y al mismo tiempo sirven para revisar que fueron usados los datos correctos de entrada. En este sistema simple, las revisiones son fáciles de hacer, pero aun en sistemas complejos, cálculos simples pueden ser hechos utilizando simplificaciones de sistemas para asegurarse de que los resultados del EMTF son aceptables. Además los cálculos a mano pueden indicar simplificaciones razonables en el modelo del sistema el cual permitirá estudios en el EMTF para ser ejecutados eficientemente.

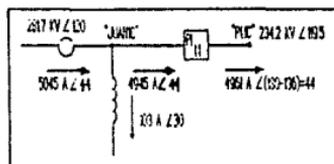


FIG. VII.4 CRESTA DE CORRIENTE EN AMPERES DE LOS NODOS "JUAN1C" Y "P1.1C".

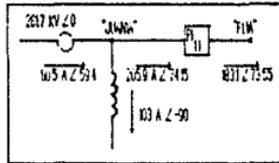


FIG. VII.5 CRESTA DE CORRIENTE EN AMPERES DE LOS NODOS "JUANIA" Y "P1.1A".

Varias opciones son disponibles para eliminar el problema de resonancia entre líneas derivadas compensadas en paralelo. Estas incluyen:

1. Evitar los tamaños del reactor que causen resonancia.
2. Utilizar interruptores de circuito para desconectar automáticamente reactores de las líneas desenergizadas.
3. Instalar reactores con interruptor en la subestación en lugar de las líneas.

De estas, la segunda opción es probablemente la solución más simple y económica.

CAPITULO VIII

CASO 7: RECIERRE DE LINEAS DE TRANSMISION

En este caso es ilustrado el uso del EMTF para sobretensión por switcheo. Los nuevos conceptos del EMTF a ser introducidos son la representación estadística de transformadores y switches. Una carga almacenada en la línea de transmisión es calculada y especificada en condiciones iniciales. El objetivo de estudio es determinar la distribución de probabilidad de las variaciones de sobrevoltaje por switcheo (SOV) en comparación con la resistencia aislante de la línea. El aislante puede ser especificado tal como se lleva a cabo en el criterio para el diseño del índice de interrupción de la línea. Las dos operaciones que son comunmente consideradas son la energización y el recierre de líneas de transmisión. Cuando una línea es energizada, una sobretensión igual al voltaje a través del circuito de interrupción en el momento de cerrar, se divide entre la impedancia de fuente y la impedancia de la línea de sobretensión. La máxima sobretensión de entrada a la línea que se conserve sin cambio, puede tener una magnitud de arriba de 1 p.u. dependiendo del tiempo relativo de cierre para 60 Hz en la fuente de voltaje y la fuente de impedancia. Esta sobretensión viaja al extremo de la línea abierta y sufre una reflexión positiva. En líneas trifásicas, ondas de propagación multimodales pueden resaltar en sobrevoltajes mayores de 2 p.u.

Una falla de línea a tierra ocurre en la línea de transmisión. Los circuitos de interrupción en ambos extremos de la línea abren por ello, eliminando la falla. Una carga de aproximadamente 1 p.u. o mayor se hará presente en las fases con falla. Después de 20 o mas ciclos a 60 Hz, el circuito de interrupción al extremo de la línea cerrará. Una

sobretensión aproximadamente igual al voltaje a través del circuito de interrupción, en el momento de cerrar, viaja por la línea. La sobretensión puede tener una magnitud de arriba de 3 p.u. cuando la fuente de voltaje de 60 Hz está totalmente fuera de fase con la carga retenida, resultando un voltaje de sobretensión al final de la transmisión, de aproximadamente 4 p.u. después de la reflexión positiva de la interrupción. El voltaje total en este caso es de 3 p.u. (4 p.u. de la sobretensión menos 1 p.u. del estado estable).

Este sobrevoltaje de recierre puede ser reducido mediante preinserción de resistencias. El esquema de un circuito de interrupción de potencia con preinserción de resistencias es mostrado en la figura VIII.1.

El contacto auxiliar "A" cierra primero interviniendo la resistencia de preinserción.

La resistencia de preinserción es incluida en serie con la fuente de impedancia de la línea de transmisión. El sobrevoltaje de entrada es reducido de un valor de 2 p.u. (el peor de los casos sin resistencia) a un valor de $2.0 (Z/(Z+R))$ como muestra la Fig. VIII.2, donde R es el valor del resistor y Z es la impedancia de sobretensión de la línea. Si la resistencia de preinserción y la impedancia de sobretensión son iguales, la tensión sobresaliente es reducida a $2\frac{1}{2}$ o 2 p.u. Después de un tiempo de preinserción de 8 a 10 ms., el contacto principal cierra, y la resistencia es puesta en corto circuito, lo cual genera una sobretensión. Puede ser mostrado que la sobretensión de cortocircuito es de aproximadamente:

$$E' = (R/Z) (1/493) E \dots \dots \dots (8.1)$$

donde l es la longitud de la línea en miles y E es el voltaje instantáneo a tierra en el circuito de interrupción.

El cierre actual de los tres polos del circuito de interrupción no ocurre en el mismo instante de tiempo. El cierre del circuito de interrupción puede ser representado por una distribución normal Gaussiana. El valor principal de la distribución es llamado "punto asistente". El tiempo entre el primer y el último polo a cerrar es llamado "periodo de polo". La figura 7.3 muestra la distribución normal para el tiempo de cierre en los contactos principales. Truncando la distribución en $+3\sigma$ y -3σ , la desviación estándar es definida como el "periodo de polo" en segundos dividido entre seis.

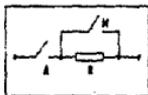


FIG. VIII.1 ESQUEMA DE UN POLO DE UN CIRCUITO INTERRUPTOR EHV CON UNA RESISTENCIA DE PREINSERCIÓN.

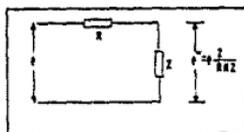


FIG. VIII.2 VOLTAJE VIAJANDO EN LA LINEA DE TRANSMISIÓN, "z", COMO UNA FUNCIÓN DEL RESISTOR DE PREINSERCIÓN R.

t_0 = ENERGIZACION
 t_{aA} = RECIEFRE DE FASE A
 t_{aB} = RECIEFRE DE FASE B
 t_{aC} = RECIEFRE DE FASE C

DISTRIBUCION NORMAL:

μ = TIEMPO DE RECIEFRE EN msecs.

σ = PERIODO DE POLO EN msecs. / 6

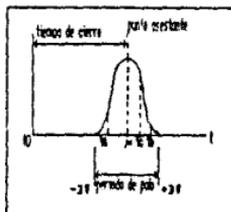


FIG. VIII.3 TIEMPO DE RECIEFRE DE LOS CONTACTOS PRINCIPALES DEL CIRCUITO INTERRUPTOR.

Para un circuito de interrupción con resistencias de reinserción, el cierre del contacto auxiliar puede ser descrito por una distribución normal dada por el tiempo de reinserción más significativo y una desviación estándar de los contactos auxiliares, σ_a . La fig. VIII.4 muestra los tiempos de cierre de los contactos principales y auxiliares en las tres fases.

En el cierre de un circuito de interrupción, dos eventos aleatorios ocurren:

1. El evento aleatorio del cierre de los contactos de interrupción alrededor de un punto aleatorio, lo que fue ya discutido.

2. El segundo evento aleatorio es que tal o el punto asistente puede ocurrir en cualquier punto de la onda de frecuencia con igual probabilidad, y puede por lo tanto ser representado por una distribución uniforme como se muestra en la fig. VIII.5.

Un número aleatorio uniforme es generado por una simulación de switcheo el cual corresponde a cierto punto de asentamiento. Después de que el punto de asentamiento es fijado, el tiempo de cerrado de todos los contactos es determinado por números aleatorios aplicados a la distribución normal para los contactos auxiliar y principal.

Para los 500 KV del circuito de interrupción, el siguiente conjunto de datos estadísticos fue especificado:

- * El tiempo principal de cerrado de los contactos principales..... $\mu_M=20$ ms
- * Tiempo principal de preinserción..... $\mu_M=10$ ms
- * Periodo de polo de los contactos principales.. $6\sigma_M=8$ ms
- * Periodo de polo de los contactos auxiliares.. $6\sigma_A=4$ ms
- * Resistencia de preinserción..... $R=450 \Omega$

El recuadro de los puntos asistentes fueron seleccionados a ser 360° de ciclo de frecuencia.

Este dato puede ser introducido en la sección de switcheo estadístico para la introducción de datos después de las tarjetas misceláneas de datos.

Usualmente 200 operaciones de cerrado son simuladas. El SOV obtenido de estos 200 cierres de circuito de interrupción son generalmente representados por una distribución normal o Gaussiana.

Las tablas probabilísticas de distribución normal pueden ser encontradas en libros de texto básicos.

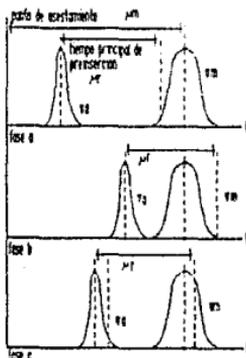


FIG. VIII.4 TIEMPO DE RECIERRE PARA CONTACTOS PRINCIPALES Y AUXILIARES.

El sistema estudiado consiste de dos líneas de transmisión de 500 kV conectados a una subestación, un generador local con un transformador elevador y una fuente remota en una línea no switchable. Esto podría representar un sistema de alto voltaje en un escenario premeditado por desarrollar.

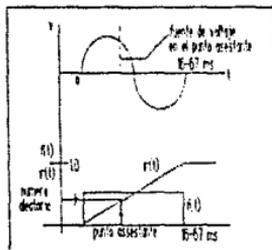


FIG. VIII.5 UNA DISTRIBUCION UNIFORME PARA LA SELECCION DE UN PUNTO ASESTANTE.

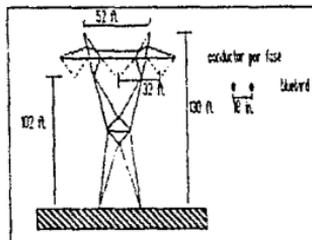


FIG. VIII.6 TORRE DE TRANSMISION TIPICA DE 500 KV.

Un diseño físico de una torre de 500 KV como es mostrado en la fig. VIII.6 fue simulado para una línea de 120 millas la cual será switchheada. La rutina de constantes de línea para el programa EMTP fue usado para calcular los datos de la línea. Los datos de entrada fueron mostrados en la tabla IV.1. Los datos de salida para las constantes de línea del programa son resumidos en la tabla VIII.1.

TABLA VIII.1

DATOS PARA EL SWITCHED, 120 MILLAS, LINEA DE 500 KV

| | <u>Secuencia cero</u> | <u>secuencia positiva</u> |
|----------------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Impedancia de sobretensión Ω | 632.17 | 287.60 |
| Velocidad mi/s | 1.3066×10^8 | 1.8176×10^8 |
| Resistencia Ω /mi | .529 | .0245 |
| Reactancia Ω /mi | 1.766 | .596 |
| Capacitancia μ F/mi | .01223 | .01913 |

Los datos dados en la tabla VIII.2 fueron asumidos para una línea de 90 millas de 500 KV.

TABLA VIII.2

DATOS PARA 90 MILLAS, LINEA DE 500 KV

| | <u>Secuencia cero</u> | <u>secuencia positiva</u> |
|----------------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Impedancia de sobretensión Ω | 591.3 | 281.7 |
| Resistencia Ω /mi | .5580 | .0310 |
| Inductancia Ω /mi | 1.6722 | .5816 |
| Capacitancia μ F/mi | .01268 | .0194 |

Una forma fácil del uso de modelos de transformadores para el EMTF es el componente TRANSFORMADOR saturable. Este es de simple fase, multidevanado con rama de oscilación opcional. El usuario proporciona las vueltas, la resistencia del devanado y la inductancia a tierra para cada terminal en espiral en un circuito equivalente en estrella. Estos parámetros son calculados para el voltaje de transformador y los MVA, conexiones del devanado y pruebas de cortocircuito.

La rama de excitación es definida por una resistencia conectada en un punto de la estrella considerado para pérdidas de núcleo y una inductancia no lineal conectada en un punto de la estrella la cual es una entrada con puntos de acoplamiento de flujo de corriente.

Los parámetros para el modelo del transformador elevador del generador son calculados como sigue, en este caso. El modelo de transformador no es central en este caso.

Dado:

- * 26/525 kV, conectado en delta-estrella, 500 MVA
- * $Z_{HL}=10\%$
- * I_e a 100% de voltaje=.3% proporción de corriente
- * I_e a 110% de voltaje=.7% proporción de corriente
- * I_e a 120% de voltaje=3.0% proporción de corriente=

$$X_{base} = KV^2/MVA = (525)^2/500 = 551 \Omega \dots \dots \dots (8.2)$$

asumiendo que $Z_H = Z_L = 5\% \dots \dots \dots (8.3)$

$$Z_H = 551 \times .05 = 27.55 \dots \dots \dots (8.4)$$

$$\text{relación de vueltas} = 525 / (\sqrt{3} \times 26) = 11.66 \dots \dots \dots (8.5)$$

$$Z_L = 27.55 / (11.66)^2 = .2026 \dots \dots \dots (8.6)$$

$$\begin{aligned} \text{Proporcion de corriente} &= 500,000 / (43 \times 525) \\ &= 550 \text{ A} \dots \dots \dots (8.7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Proporcion de corriente excitante} &= .003 \times 550 \\ &= 1.65 \text{ A rms o } 2.33 \text{ pico} \dots \dots \dots (8.8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Proporcion de Flujo} &= 525,000 \times 42 / (43 \times 377) \\ &= 1137 \text{ Vs} \dots \dots \dots (8.9) \end{aligned}$$

Las características no lineales estimadas para la inductancia magnetizante son mostradas en la tabla VIII.3

TABLA VIII.3

CARACTERISTICAS MAGNETICAS DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIAL

| <u>Voltaje</u> | <u>Corriente (Amps pico)</u> | <u>Flujo (Vs)</u> |
|----------------|------------------------------|-------------------|
| 100% | 2.33 | 1137 |
| 110% | 5.44 | 1250 |
| 120% | 23.33 | 1364 |
| 200% | 1579.00 | 2274 |

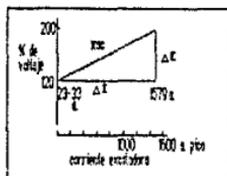


FIG. VIII.7 CORRIENTE DE MAGNETIZACION DE TRANSFORMADOR.

La corriente a 200% de voltaje fue estimada para el caso de inductancia de núcleo, como se ilustra en la figura VIII.7.

$$X_{AC}=4\pi \times X_{HL}=4\pi \times 25.1=220.4 \Omega \dots \dots \dots (8.10)$$

Esta aseveración en las inductancias de núcleo es comúnmente usado en los estudios TNA

$$E=800\pi \times 0.0525 \times J2/J3=343 \text{ V} \dots \dots \dots (8.11)$$

$$IE/X_{AC}=343,000/220.4=1556 \text{ A} \dots \dots \dots (8.12)$$

$$I_{200k}=20.33+1556=1579 \text{ A} \dots \dots \dots (8.13)$$

Generadores locales son comúnmente representados por su reactancia subtransitoria para estudios de sobretensión por switcheo. Una unidad de 500 MVA con $x''d=.15$ p.u. y 26 kV de voltaje fue incluido en el modelo.

$$X_{base}=kV^2/MVA=26^2/500=1.352 \Omega \dots \dots \dots (8.14)$$

$$x''d=.15 \times 1.352=.203 \Omega \dots \dots \dots (8.15)$$

Los parámetros para la fuente remota son mostrados en la tabla VIII.4.

TABLA VIII.4

PARAMETROS DE LA FUENTE DE PODER REMOTA

| | <u>Impedancia</u> | |
|---------------------|------------------------|----------|
| | <u>por unidad con</u> | |
| | <u>base de 100 MVA</u> | <u>Ω</u> |
| Secuencia positiva: | .05 | 125 |
| Secuencia cero: | .02 | 50 |

$$X_{base}=500^2/100=2500 \Omega$$

Las impedancias equilibradas de la fuente son convenientemente incluidas en el EMTF como ramas tipo 51-53 como se ilustra en la tabla VIII.5. Tres secciones especifican las conexiones terminales de la sección de impedancia trifásica en p_1 . La secuencia cero R y L (o X) es una entrada en la primera sección, y los parámetros de secuencia positiva son introducidas en la segunda sección.

Los códigos ITYPE del 51 al 53 son llamados por el EMTF para leer estos parámetros e internamente convertirlos a impedancias balanceadas propias y mutuas para uso del mismo programa.

Una falla en estado estable de 525 KV (1.05 p.u. de voltaje nominal) será asumida. El orden para obtener un voltaje de 525 KV_{rms}-L-L en el bus "B500", fuentes con picos de voltaje de 18.863 KV de pico y 500.281 KV de pico fueron conectados en "EQUL" (fuente local equivalente) y "EQUR" (fuente remota equivalente) respectivamente.

El voltaje en estado estable en el bus B500 de 500 KV previamente a recerrarse es de 428.42 KV de pico lo cual se convierte a 525 KV_{rms}-L-L. Una o dos iteraciones de selección de fuente de voltaje podrían ser necesarias a obtener el bus de voltaje de 500 KV deseado.

La fig. VIII.8 muestra el diagrama unifilar del sistema representado y la fig. VIII.9 muestra las ramas y nodos con sus nombres, los cuales fueron representados. En la línea switchada, el voltaje al fin del envío será "SEND" y al fin de la recepción será "REC". Los 33.3 microsegundos de periodo de tiempo fueron cambiados porque esto se divide posteriormente en el tiempo de transmisión de la secuencia positiva de la línea switchada de 660 microsegundos.

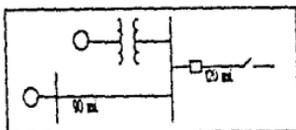


FIG. VIII.8 DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA REPRESENTADO

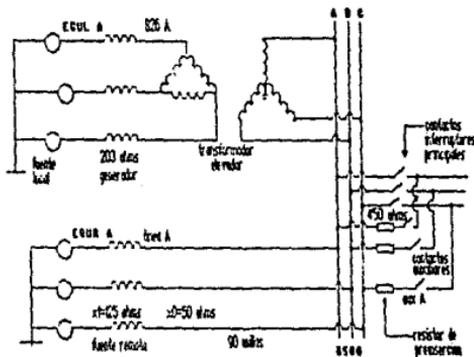


FIG. VIII.9 SISTEMA REPRESENTADO CON LOS NOMBRES DE LOS NODOS.

Previo a la simulación de las 200 operaciones de recierre, las condiciones iniciales (a plena carga) en la

línea switchheada tienen que ser establecidas. Una falla de línea a tierra es aplicada en la fase A al fin de la recepción, nodo "REC A". Los contactos auxiliares fueron desconectados para esta simulación. Las fases B, A y C son abiertas en un tiempo de 20.81 mseg., 23.21 mseg. y 26.44 mseg. respectivamente. La introducción de datos para este caso es presentada en la tabla VIII.5. Las Figs. VIII.10 y VIII.11 muestran el fin del envío y el fin de recepción de voltajes en la línea. Las fases A, B y C son graficadas en la misma figura.

La fig. VIII.10 muestra el fin del envío del voltaje de línea para el caso donde la falla fue aplicada para la simulación completa.

La frecuencia de la oscilación de voltaje en la fase A después de abrir el interruptor corresponde al tiempo de viaje de sobretensión en la línea de 120 millas. Este voltaje es acoplado a las fases B y C sin falla. Las cargas inducidas en la fase B y C son aproximadamente de 525 KV y 415 KV respectivamente, tal como el estado estable de D.C. es cercano. Las cargas incluidas, expresadas en p.u. son 1.29 y 1.02 respectivamente (1 p.u.=408 KV). El voltaje de fin de recepción en la fig. VIII.11 es cercanamente del mismo tipo que los voltajes de D.C. incluidos.

Dado que no es posible predecir en el avance el tiempo de operación de switcheo, el cual resulta en máximo sobrevoltaje de switcheo, probablemente los casos son desarrollados con el establecimiento de operaciones de switcheo aleatorio en cada caso. Esto produce una distribución de probabilidad de sobrevoltajes de switcheo los cuales pueden ser comparados a la distribución de probabilidad de la resistencia de aislamiento. El resultado es un periodo de descarga de sobretensión de switcheo por 100 operaciones (SSFOR) el cual puede ser usado como una figura de mérito para el diseño de la línea.

TABLA VIII.2

ENTRADA DE DATOS PARA CALCULO DE CARGA ALMOCENADA

```

C
C
C
C
C DESCRIPCION DEL CASO: UNA FALLA ES APLICADA EN "RED" A. EL INTE-
C      RUMPTOR PRINCIPAL ABRE DESPUES DE 0.02 SEG.
C      EL INTERRUPTOR AUXILIAR SE CONSIDERA FUERA.
C      LA CORRIENTA MUESTRA LA CARGA ATRAPADA EN LA
C      LINEA DE 120.0 MILLAS DESPUES DE QUE EL IN-
C      TERRUPTOR LIBERA LA FALLA. LA FALLA ES DES-
C      CONECTADA DESPUES DE 96 msseg.
C
C BEGIN NEW DATA CASE
C
C PRIMERA TARJETA DE DATOS MISCELANEOS
C 345678901234567890123456789012
C 1-B 9-16 17-24 25-32
C 1-STEP 1-MAI 1-OPT 0-OT7
C SEGS. SEGS. 0=ms 0=ms
C F1(2) F1(2)
C 33,30E-6 80.E-3 60.0 0
C
C SEGUNDA TARJETA DE DATOS MISCELANEOS
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C 1-B 9-16 17-24 25-32 33-40 41-48 49-56 57-64 65-72 73-80
C PRINT PLOT NETWORK PR.SS PR.MAI 1.PUN PUNCH GUMP MULT. DIAGNS
C 0=CACH 0=EACH 0=NO 0=NO 0=NO 0=NO 0=NO 0=NO 0=NO 0=NO 0=NO 0=NO
C K=K-TH K=K-TH 1=SI 1=SI 1=SI 1=SI 1=SI 1=SI 1=SI 1=SI 1=SI 1=SI
C 20000 1 1 1 1 1 0 0 1 0
C 2345678901234567890123456789012345678901234567890
C LOCAL SOURCE (GENERADOR)
C 026 REDUL A 0.203
C 026 REDUL B 0.203
C 026 REDUL C 0.203
C
C
C FAULT AT THE RECEIVING END. FASE A
C FAULTA 0.01
C
C
C REMOTE SOURCE (ACOPLEMIENTO MUTUO)
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C SEQUENCE VALUES
C 27-32 33-44
C R L (FFIRST ZERO, THEN POS. SEQUENCE)
C
C S/LINE REDUL A 50.0
C S/LINE REDUL B 125.0
C S/LINE REDUL C
C
C LINEAS DE TRANSMISION

```

C 3456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
 C 27-32 33-38 39-44 45-50 CODE IN COLUMN 1000
 C 5 1 0 LE (LEADING ZERO)
 C (SEQUENCIA POSITION, DEFO)
 C
 -18500 ALINE A 0.05001, 0.922, 0.0268 90.0 0
 -18500 BLINE B 0.02100, 0.816, 0.1940 90.0 0
 -18500 CLINE C
 C 120 MILE LINE, FLAT CONFIGURATION
 C 3456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
 -18500 AXED A 0.02941, 7.659, 0.0224120.0 0
 -18500 BXED B 0.02499, 0.9614, 0.0194120.0 0
 -18500 CXED C
 C
 C TRANSFORMER
 C 345678901234567890123456789012345678901234567890
 C 3-13 15-20 27-32 33-38 39-44 45-50
 C REQUESTOR BUS 1 FLUX BUS R-146
 TRANSFORMER 2.02 (137) 1 3.ES
 C
 C 1-16 17-32
 C CURRENT FLUX
 2.33 1137.0
 5.44 1250.0
 22.12 1244.0
 1579.00 2274.0
 9999
 C TRANSFORMER WINDINGS
 C COLUMN 1,2: WINDING NUMBER
 C 345678901234567890123456789012345678901234567890
 C 3-8 9-14 27-32 33-38 39-44
 C BUS1 BUS2 K-K L-K TURNS
 18500 A 27.53 11.66
 2826 ABCB E 0.2026 1.0
 TRANSFORMER Y Y
 18500 B
 2826 B826 C Z
 TRANSFORMER Y Z
 18500 C
 2826 C826 A
 BLANK CARD TERMINATING SEARCH CARDS
 C
 C SWITCH CARDS
 C 3456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
 C 3-8 9-14 15-24 25-34 35-44 45-54 55-64 65-74
 C (OUTPUT OPTION IN COLUMN 80)
 C NODE NAMES IE FLASHOVER SPECIAL REFERENCE
 C TIME TO TIME TO OR VOLTAGE RESIDES; SWITCH NAME
 C BUS1 BUS2 CLOSE OPEN NSTEP WOF0 BUS5 BUSA
 8500 B800 A -1.0 0.020
 8500 B800 B -1.0 0.020
 8500 C800 C -1.0 0.020
 REC AFALTA -0.01 0.0960
 BLANK CARD TERMINATING SWITCH CARDS
 C SOURCE CARDS

C 234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
 C COLUMN 1, 2: TYPE OF SOURCE 1 - 17, I.E.G. 11-13 ARE RAMP FUNCTIONS, 14 = COSINE
 C COLUMN 3, 10: 0=VOLTAGE SOURCE, -1=CURRENT SOURCE
 C 7-9 11-20 21-30 31-40 41-50 51-60 61-70 71-80
 C NODE AMPLITUDE FREQUENCY TO IN SEC APPL-81 TIME-11 T-START T-STOP
 C NAME IN HZ DEGR SECONDS SECONDS SECONDS
 1AERDL 4 18663.0 60.0 0.0 -1.0
 1AERDL 6 18663.0 60.0 -120.0 -1.0
 1AERDL 8 18663.0 60.0 -240.0 -1.0
 C REMOTE SOURCE
 1AERDR A 300261.0 60.0 30.0 -1.0
 1AERDR B 300261.0 60.0 -90.0 -1.0
 1AERDR C 300261.0 60.0 -210.0 -1.0
 C
 BLANK CARD TERMINATING SOURCE CARD
 C NODE VOLTAGE OUTPUT
 C 234567890123456789012345678901234567890
 B500 B8500 B8500 C8500 A8500 B8500 C8500 A8500 B8500 C8500
 BLANK CARD TERMINATING NODE VOLTAGE OUTPUT
 C PLOTTING CARDS
 PRINTER PLOT 2
 E (CASE TITLE UP TO 78 CHARACTERS)
 Z # LIBERACION DE FALLA MONOFASICA 11
 C THE FOLLOWING IS FORMAT OF THE PLOT REQUEST CARDS
 C COLUMN 2, "1"
 C COLUMN 3, 4=VOLTAGE DE NODO
 C 8=VOLTAGE DE RAMP
 C 9=CORRIENTE DE RAMP
 C COLUMN 4, UNIDADES DE LA ABSCISA 1=GRADOS
 C 2=CILOS
 C 3=SEGUNDOS
 C 4=MILISEGUNDOS
 C 5=MICRO-SEG.
 C COLUMNS 5-7 HORIZONTAL SCALE (UNITS PER INCH)
 C COLUMNS 8-11 TIME WHERE PLOT STARTS
 C COLUMNS 12-15 TIME WHERE PLOT ENDS
 C COLUMNS 16-20 VALUE OF BOTTOM VERTICAL SCALE
 C COLUMNS 21-24 VALUE OF TOP VERTICAL SCALE
 C COLUMNS 25-48 UP TO FOUR NODE NAMES
 C COLUMNS 49-64 GRAPH HEADING LABEL
 C COLUMNS 65-80 VERTICAL AXIS LABEL
 C 2345678901234567890123456789012345678901234567890
 1448.0 80.0 REC AREC BREC C
 1448.0 80.0 SEND ASEND BSEND C
 BLANK CARD TERMINATING PLOT REQUESTS
 BLANK CARD TERMINATING THE CASE

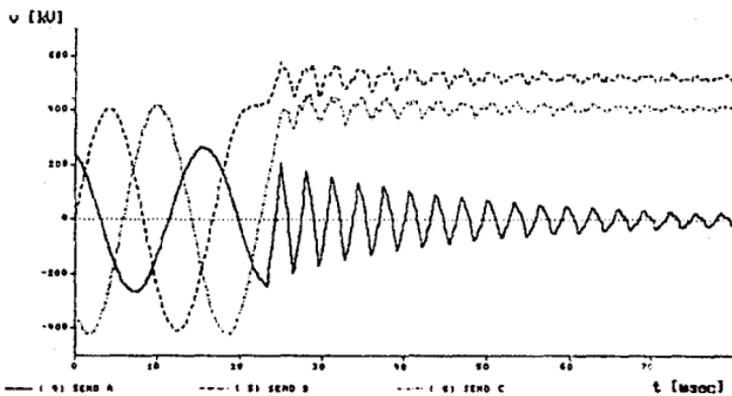


FIG. VIII.10 CORRECCION DE LA FALLA, VOLTAJE AL FINAL DEL ENVI0

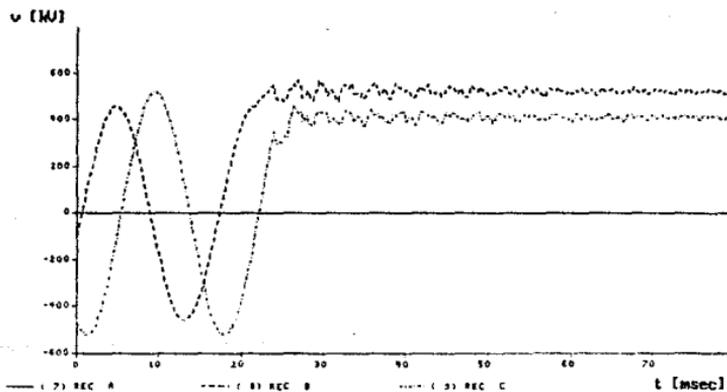


FIG. VIII.11 CORRECCION DE LA FALLA, VOLTAJE AL FINAL DE LA RECEPCION

Por cada recierre, gran cantidad de números aleatorios son seleccionados. Usando la distribución uniforme determinada por el ancho del marco del punto asistente, un punto asistente específico es determinado. Usando los parámetros estadísticos del cerrado de los contactos principales y auxiliares, los tiempos de cerrado para cada contacto son determinados. Cada conjunto de tiempos de cierre de contactos resulta de cada sobrevoltaje por switcheo. El orden para determinar el carácter estadístico de sobrevoltajes por switcheo, es simular 200 operaciones de recierre.

Esto ha sido encontrado en estudios TNA donde 200 simulaciones dadas en una buena representación de los sobrevoltajes, y otras simulaciones más, tienen solo un pequeño efecto en sobrevoltajes. La introducción de datos para un caso probable, con resistencias de preinserción de 400 ohms, está dado en la tabla VIII.6.

La tercera carta miscelánea de datos contiene muchos parámetros de estadística de switcheo. AINCR define la clase de tamaño para los histogramas de sobrevoltaje en p.u. Es usualmente igual a .05 o .1 p.u., para llegar a obtener un total de 10 a 20 clases de histogramas. Un valor de .05 fue más apropiado para el caso de resistencias de preinserción porque el rango de sobrevoltajes es pequeño.

Las tres primeras cartas de switcheo en la tabla VIII.6 son para los contactos principales. En lugar de tiempos de cierre y apertura, el tiempo medio de cierre y la desviación estándar alrededor del punto asistente son introducidos. Las siguientes tres cartas de switcheo son para los contactos auxiliares. Sus parámetros de entrada son el valor medio y la desviación estándar de sus tiempos relativos de cierre o sus "switches maestros". llamándose así a los contactos principales. Estos interruptores son conectados aparte al correr el caso sin medidas de reducción de sobrevoltajes.

FIGURA VIII.6 DATOS DE ENTRADA PARA 200 RECIBEROS

```

BEGIN NEW DATA CASE
C
C PRIMERA TARJETA DE DATOS MISCELANEOS
C 345678901234567890123456789012
C 1-5 9-16 17-24 25-32
C 1-STEP 1-MAX 1-DPT C-DPT
C SEGS. SEGS. 0=MH 0=MF
C F(MI) F(MI)
33.30E-6 .37 69.0 0
C
C SEGUNDA TARJETA DE DATOS MISCELANEOS
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C 1-8 9-16 17-24 25-32 33-40 41-49 49-56 57-64 65-72 73-80
C PRINT PLOT NETWORK PP.SS FR.MAX 1 PUM PUNCH DUMP MULT. DIAGNOS
C 0=EACH 0=EACH 0=NO 0=NO 0=NO 0=NO 0=NO 0=NO INTQ MEMERS PRINT
C F=K-TH k=K-TH 1=SI 1=SI 1=SI 1=SI 1=SI 1=SI DISK STUDIES 0=NO
5000 1 1 1 1 1 1 1 2
C
C TERCERA TARJETA DE DATOS MISCELANEOS ( DATOS DE SWITCHES )
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C 1-8 9-16 17-24 25-32 33-40 41-48 49-56 57-64 65-72 73-80
C 1SW 1TES1 1Q1ST 1MCR 1RAXM 1DEGM 1DEGM 1STATR 1SIGM 1NSEED
1 0 0 1 1 0
C
C BRANCHES ( RPNAS )
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C 3-B 7-14 15-20 21-26 27-32 33-38 39-44
C MODO MONTR REFERENCIA RES. IND. CAP. ( SALIDA EN LA COLUMNA 80 )
C BUS1 BUS2 BUS3 BUS4 OHMS OHMS OHMS I = 1
C V = 2
C I,V = 3
C P,E = 4
C 3456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
REC AREC B 10. E9 2
REC BREC C 10. E9 2
REC CREC A 10. E9 2
SEND AGENC B 10. E9 2
SEND BSEND C 10. E9 2
SEND CSEND A 10. E9 2
C RESISTENCIA DE FREINSERCIOM
8500 AAXI A 450.
2500 BAUX B 450.
8500 CAUX C 450.
C LOCAL SOURCE (GENERADORI
826 AEDUL A 0.203

```

```

826 BEG B      0.203
826 CEQU C      0.203
C
C PENDE SOURCE (ACOMPLIMIENTO MUTUO)
C 2456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C          SEQUENCE VALUES
C          27-32 33-44
C          R          L (FIRST ZERO, THEN POS. SEQUENCE)
S/LINE REGUR A          50.0
S/LINE REGUR B          125.0
S/LINE CEGUR C
C
C LINES DE TRANSMISION
C 245678901234567890123456789012345678901234567890
C          27-32 33-38 39-44 45-50 CODIGO EN COLUMNA *52*
C          R          L          C          LE (LE=LONGITUD)
C          (SECUENCIA POSITIVA,CERO)
-18500 ALINE A          0.55801.6722.01268 90.0 0
-28500 BLINE B          0.03100.5316.01940 90.0 0
-38500 CLINE C
C 120 MILE LINE, FLAT CONFIGURATIDN
C 2456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
-18500 AREC A          0.52941.7659.01224120.0 0
-28500 BREC B          0.02499.59614.01914120.0 0
-38500 CREC C
C
C TRANSFORMADOR
C 245678901234567890123456789012345678901234567890
C          3-12 15-20 27-32 33-38 39-44 45-50
C REQUESTWORD BUS          I          FLUI          BUS R-MAG
TRANSFORMER          2.33 1127.          I
C
C          1-16          17-32
C          CURRENT          FLUX
          2.77          1137.0
          5.44          1250.0
          23.32          1384.0
          1579.00          2274.0
          9999
C TRANSFORMER WINDINGS
C COLUMN 1,2: WINDING NUMBER
C 245678901234567890123456789012345678901234567890
C          3-6 9-14          27-32 33-38 39-44
C          BUS1 BUS2          W-K          L-K          TURN
18500 A          27.55 11.66
2826 #26 B          0.2926 1.0
TRANSFORMER          I          Y
18500 B
2826 #26 C
TRANSFORMER          I          I
18500 C
2826 #26 A
BLANK CARD TERMINATING BRANCH CARD
C
C STATISTIC SWITCHES
C 2456789012345678901234567890123456789012345678901234567890

```

```

: 1-1 9-14 15-24 25-34 53-64
C BUS1 BUS2 PEAK STANDARD
C CLOSING DEVIATION
C TIME MAIN CONT
:
8500 ASEND A .0165 .0014 STATISTICS
8500 BSEND B .0165 .0014 STATISTICS
8500 CSEND C .0165 .0014 STATISTICS
C
C SWITCHES AUXILIARES
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C 15-24 25-34 REFERENCE
C RANDN STANDARD SWITCH
C DELAY DEVIATION 65-70 71-76
C TIME AUXILIARY
AUX ASEND A -.010 .0007 STATISTICS8500 ASEND A
AUX BSEND B -.010 .0007 STATISTICS8500 BSEND B
AUX CSEND C -.010 .0007 STATISTICS8500 CSEND C
BLANK CARD TERMINATING SWITCH CARDS
C SOURCE CARDS
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C COLUMN 1,2: TYPE OF SOURCE 1 - 17, I.E. 11-13 ARE RAMP FUNCTIONS, 14 = COSINE)
C COLUMN 9,10: 0-VOLTAGE SOURCE, -1-CURRENT SOURCE
C 3-B 11-20 21-30 31-40 41-50 51-60 61-70 71-80
C MODE AMPLITUDE FREQUENCY TO IN SEC AMPL-A1 TIME-T1 T-START T-STOP
C NAME IN HZ DEGR SECONDS SECONDS SECONDS SECONDS
14EQUL A 18863.0 60.0 0.0 -1.0
14EQUL B 18863.0 60.0 -120.0 -1.0
14EQUL C 18863.0 60.0 -240.0 -1.0
C REMOTE SOURCE
14EQUR A 380281.0 60.0 30.0 -1.0
14EQUR B 380281.0 60.0 -90.0 -1.0
14EQUR C 380281.0 60.0 -210.0 -1.0
C
BLANK CARD TERMINATING SOURCE CARD
C
C CONDICIONES INICIALES EN EL SWITCHED DE LA LINEA
C 345678901234567890123456789012345678901234567890
C COLUMNA 2: 2 = TARJETA PARA MODOS DE VOLTAJE
C 3-B 9-23 (FORMAT E15.B)
C BUS1 INST.VOLT.T=0
ZSEND A 0.
ZSEND B525000.
ZSEND C415000.
ZREC A 0.
ZREC B525000.
ZREC C415000.
C
C COLUMNA 2: 3 = TARJETA PARA CORRIENTES DE RAMA
C 34567890123456789012345678901234567890
C 3-B 7-14 15-29
C BUS1 BUS2 CORRIENTE T=0
ISEND AREC A
ISEND BREC B
ISENC CREC C
C
C MODE OUTPUTS
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890

```

3-6 9-14 15-20 21-26 27-32 33-38 39-44 45-50 51-56 57-62 63-68 69-74 75-80
C BUS1 BUS2 BUS3 BUS4 BUS5 BUS6 BUS7 BUS8 BUS9 BUS10 BUS11 BUS12 BUS13
8500 86500 86500 CSEND ASEND BSEND CREC AREC BREC C
BLANK CARD TERMINATING MODE VOLTAGE OUTPUT
BLANK CARD TERMINATING PLOT REQUESTS
C SALIDA PARA EL CASO * STATISTICS *
C COLUMNA 2: 0 = VOLTAJES DE MODO
C -1 = VOLTAJES DE RAMA
C 34567890123456789012345678901234567890
C -14 15-20 21-26 27-32 33-38
C BASE VOLT BUS1 BUS2 BUS3 BUS4
C SOLICITUD DE HISTOGRAMAS PARA UNA LINEA A TIERRA
0 408270.CEND ASEND BSEND C
0 408270.REC AREC BREC C
C SOLICITUD DE HISTOGRAMAS PARA UNA LINEA A LINEA
-1 408271.SEND ASEND BSEND CSEND CSEND A
-1 408272.REC AREC BREC CREC CREC A
BLANK CARD TERMINATING STATISTICS OUTPUT
BLANK CARD TERMINATING THE CASE

CASO V.B.7
 RESULTADOS ESTADÍSTICOS

1.1 Statistical distribution of peak voltage at node "SEND A". The base voltage for per unit printout is V-base = 4.08247000E+05

| Interval | voltage | voltage in | Frequency | Cumulative | Per cent |
|----------|-------------|----------------|-----------|------------|--------------------|
| number | in per unit | physical units | (density) | frequency | .SE. current value |
| 25 | 1.2500000 | 0.51033625E+06 | 0 | 0 | 100.000000 |
| 26 | 1.3000000 | 0.53074970E+06 | 2 | 2 | 0.000000 |

Summary of preceding table follows: Grouped data Ungrouped data

| | |
|-------------------------------------|----------------|
| Mean = 1.27500000E+00 | 1.26157266E+00 |
| Variance = 0.00020000E+00 | 7.86849275E-05 |
| Standard deviation = 0.00000000E+00 | 8.87045250E-03 |

2.1 Statistical distribution of peak voltage at node "SEND B". The base voltage for per unit printout is V-base = 4.08247000E+05

| Interval | voltage | voltage in | Frequency | Cumulative | Per cent |
|----------|-------------|----------------|-----------|------------|--------------------|
| number | in per unit | physical units | (density) | frequency | .SE. current value |
| 25 | 1.2500000 | 0.51033625E+06 | 0 | 0 | 100.000000 |
| 26 | 1.3000000 | 0.53074970E+06 | 1 | 1 | 50.000000 |
| 27 | 1.3500000 | 0.55116315E+06 | 1 | 2 | 0.000000 |

Summary of preceding table follows: Grouped data Ungrouped data

| | |
|------------------------------------|----------------|
| Mean = 1.30000000E+00 | 1.31746730E+00 |
| Variance = 1.25000000E-03 | 1.97000740E-03 |
| Standard deviation = 3.5255391E-02 | 4.46190251E-02 |

3.1 Statistical distribution of peak voltage at node "SEND C". The base voltage for per unit printout is V-base = 4.08247000E+05

| Interval | voltage | voltage in | Frequency | Cumulative | Per cent |
|----------|-------------|----------------|-----------|------------|--------------------|
| number | in per unit | physical units | (density) | frequency | .SE. current value |
| 21 | 1.0500000 | 0.42868245E+06 | 0 | 0 | 100.000000 |
| 22 | 1.1000000 | 0.44909590E+06 | 1 | 1 | 50.000000 |
| 23 | 1.1500000 | 0.46950935E+06 | 0 | 1 | 50.000000 |
| 24 | 1.2000000 | 0.48992280E+06 | 1 | 2 | 0.000000 |

Summary of preceding table follows: Grouped data Ungrouped data

| | |
|-------------------------------------|----------------|
| Mean = 1.12500000E+00 | 1.13793460E+00 |
| Variance = 2.30000000E-03 | 2.61790023E-03 |
| Standard deviation = 7.57106781E-02 | 6.01487636E-02 |

4.1 SUMMARY SUMMARY

The following is a distribution of peak overvoltages among all output nodes of the last data card that have the same base voltage. This distribution is for the analysis of the peaks at all output nodes with V-base = 4.08247000E+05

| Interval | voltage | voltage in | Frequency | Cumulative | Per cent |
|----------|-------------|----------------|-----------|------------|--------------------|
| number | in per unit | physical units | (density) | frequency | .SE. current value |
| 25 | 1.2500000 | 0.51033625E+06 | 0 | 0 | 100.000000 |
| 26 | 1.3000000 | 0.53074970E+06 | 1 | 1 | 50.000000 |
| 27 | 1.3500000 | 0.55116315E+06 | 1 | 2 | 0.000000 |

Summary of preceding table follows: Grouped data Ungrouped data

| | |
|------------------------------------|----------------|
| Mean = 1.30000000E+00 | 1.31746730E+00 |
| Variance = 1.25000000E-03 | 1.97000740E-03 |
| Standard deviation = 3.5255391E-02 | 4.46190251E-02 |

Statistical output of node voltage 0.4082E+06 ± 0 4:0270.REC AREC BREC C

7) -----
 Statistical distribution of peak voltage at node "REC A". The base voltage for per unit printout is V-base = 4.0827000E+05
 Interval voltage voltage in Frequency Cumulative Per cent
 number in per unit physical units (density) frequency .GE. current value
 28 1.4500000 0.37157890E+06 0 0 100.000000
 29 1.4500000 0.37198150E+06 1 1 50.000000
 30 1.5000000 0.41240500E+06 1 2 0.000000

Summary of preceding table follows: Grouped data Ungrouped data
 Mean = 1.4500000E+00 1.47787031E+00
 Variance = 1.25000000E-03 1.02674313E-03
 Standard deviation = 1.5353391E-02 0.21985268E-02

8) -----
 Statistical distribution of peak voltage at node "REC B". The base voltage for per unit printout is V-base = 4.0827000E+05
 Interval voltage voltage in Frequency Cumulative Per cent
 number in per unit physical units (density) frequency .GE. current value
 28 1.4000000 0.37157890E+06 0 0 100.000000
 29 1.4500000 0.37198150E+06 1 1 50.000000
 30 1.5000000 0.41240500E+06 0 1 50.000000
 31 1.5500000 0.43781850E+06 1 2 0.000000

Summary of preceding table follows: Grouped data Ungrouped data
 Mean = 1.4350000E+00 1.46728033E+00
 Variance = 5.00000000E-03 5.10683586E-03
 Standard deviation = 1.07106781E-02 7.28480326E-02

9) -----
 Statistical distribution of peak voltage at node "REC C". The base voltage for per unit printout is V-base = 4.0827000E+05
 Interval voltage voltage in Frequency Cumulative Per cent
 number in per unit physical units (density) frequency .GE. current value
 24 1.2000000 0.48992400E+06 0 0 100.000000
 25 1.2500000 0.51033750E+06 1 1 50.000000
 26 1.3000000 0.53075100E+06 0 1 50.000000
 27 1.3500000 0.55116450E+06 1 2 0.000000

Summary of preceding table follows: Grouped data Ungrouped data
 Mean = 1.2750000E+00 1.27932346E+00
 Variance = 5.00000000E-03 7.23540716E-03
 Standard deviation = 1.07106781E-02 8.51786779E-02

0) -----
 SUMMARY
 8) -----
 The following is a distribution of peak overvoltages among all output nodes of the last data card that have the same base voltage.
 This distribution is for the maxima of the peaks at all output nodes with V-base = 4.0827000E+05
 Interval voltage voltage in Frequency Cumulative Per cent
 number in per unit physical units (density) frequency .GE. current value
 29 1.4500000 0.37198150E+06 0 0 100.000000
 30 1.5000000 0.41240500E+06 1 1 50.000000
 31 1.5500000 0.43781850E+06 1 2 0.000000

Summary of preceding table follows: Grouped data Ungrouped data
 Mean = 1.5000000E+00 1.48972491E+00
 Variance = 1.25000000E-02 1.68975206E-03
 Standard deviation = 1.5353391E-02 4.11066929E-02

Comment card. NUNDCD = 5706. AC SOLICITUD DE HISTOGRAMAS PARA UNA LINEA ALINEA
 Statistical output of branch voltage 0.4083E+06 R-1 408271. SEND ASEND BSEND CSEND ESEND A

9)

| Statistical distribution of peak voltage for branch | | | "SEND A" to | "SEND I" | Base voltage | for per unit output = 4.08271000E+00 |
|-----------------------------------------------------|-------------|----------------|-------------|------------|--------------------|--------------------------------------|
| Interval | voltage | voltage in | Frequency | Cumulative | Frequency | Per cent |
| number | in per unit | physical units | (density) | frequency | .GE. current value | |
| 44 | 2.200000 | 0.878190E+06 | 0 | 0 | 100.00000 | |
| 45 | 2.250000 | 0.9186475E+06 | 1 | 1 | 50.00000 | |
| 46 | 2.300000 | 0.9740220E+06 | 1 | 2 | 0.00000 | |

Summary of preceding table follows: Grouped data Ungrouped data

Mean = 2.2500000E+00 2.24203678E+00

Variance = 1.2500000E-03 1.57295812E-03

Standard deviation = 1.5551391E-02 5.0724318E-02

10)

| Statistical distribution of peak voltage for branch | | | "SEND B" to | "SEND C" | Base voltage | for per unit output = 4.08271000E+00 |
|-----------------------------------------------------|-------------|----------------|-------------|------------|--------------------|--------------------------------------|
| Interval | voltage | voltage in | Frequency | Cumulative | Frequency | Per cent |
| number | in per unit | physical units | (density) | frequency | .GE. current value | |
| 38 | 1.950000 | 0.77571870E+06 | 0 | 0 | 100.00000 | |
| 39 | 1.950000 | 0.7961204E+06 | 2 | 2 | 0.00000 | |

Summary of preceding table follows: Grouped data Ungrouped data

Mean = 1.9250000E+00 1.9242223E+00

Variance = 0.0000000E+00 4.94696901E-05

Standard deviation = 0.0000000E+00 7.0334925E-03

11)

| Statistical distribution of peak voltage for branch | | | "SEND C" to | "SEND A" | Base voltage | for per unit output = 4.08271000E+00 |
|-----------------------------------------------------|-------------|----------------|-------------|------------|--------------------|--------------------------------------|
| Interval | voltage | voltage in | Frequency | Cumulative | Frequency | Per cent |
| number | in per unit | physical units | (density) | frequency | .GE. current value | |
| 38 | 1.950000 | 0.7757187E+06 | 0 | 0 | 100.00000 | |
| 39 | 1.950000 | 0.7961204E+06 | 1 | 1 | 50.00000 | |
| 40 | 2.000000 | 0.8165270E+06 | 1 | 2 | 0.00000 | |

Summary of preceding table follows: Grouped data Ungrouped data

Mean = 1.9500000E+00 1.9679123E+00

Variance = 1.2500000E-03 1.08351244E-02

Standard deviation = 1.5551391E-02 3.2919205E-02

12)

| SUMMARY |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|

12)

A distribution of peak values among all output branches of the last data card that have the same base value follows. This statistical distribution is for the maxima of the peaks at all of these output branches having base voltage = 4.08271000E+00

| Interval | voltage | voltage in | Frequency | Cumulative | Frequency | .GE. current value |
|----------|-------------|----------------|-----------|------------|--------------------|--------------------|
| number | in per unit | physical units | (density) | frequency | .GE. current value | |
| 44 | 2.200000 | 0.878190E+06 | 0 | 0 | 100.00000 | |
| 45 | 2.250000 | 0.9186475E+06 | 1 | 1 | 50.00000 | |
| 46 | 2.300000 | 0.9740220E+06 | 1 | 2 | 0.00000 | |

Summary of preceding table follows: Grouped data Ungrouped data

Mean = 2.2500000E+00 2.24203678E+00

Variance = 1.2500000E-03 1.57295812E-03

Standard deviation = 1.5551391E-02 5.0724318E-02

Statistical output of branch voltage 4.08271000E+00 40827.1000 AREC EPED EPEC EREC EDEC A

12) -----
 Statistical distribution of real voltage for branch "REC C" to "REC E". Base voltage for per unit output = 4.08272000E+05
 Interval voltage voltage in Frequency Cumulative Per cent
 number in per unit physical units (density) frequency .GE. current value
 41 2.4500000 0.1000226E+07 1 0 100.000000
 42 2.5000000 0.10206830E+07 1 1 50.000000
 43 2.5500000 0.10481936E+07 1 2 0.000000
 Summary of preceding table follows: Grouped data Ungrouped data
 Mean = 2.5000000E+00 2.47648830E+07
 Variance = 1.2500000E-01 1.26452017E+02
 Standard deviation = 1.5527091E-02 3.55399243E+02

14) -----
 Statistical distribution of real voltage for branch "REC C" to "REC D". Base voltage for per unit output = 4.08272000E+05
 Interval voltage voltage in Frequency Cumulative Per cent
 number in per unit physical units (density) frequency .GE. current value
 41 2.0500000 0.67769576E+06 1 0 100.000000
 42 2.1000000 0.67772710E+06 1 1 50.000000
 43 2.1500000 0.67778461E+06 0 1 50.000000
 44 2.2000000 0.67819840E+06 0 1 50.000000
 45 2.2500000 0.67810700E+06 1 1 50.000000
 46 2.3000000 0.67820262E+06 2 2 0.000000
 Summary of preceding table follows: Grouped data Ungrouped data
 Mean = 2.17500000E+00 2.19559767E+06
 Variance = 2.0000000E-02 2.42168700E+02
 Standard deviation = 1.41421356E-01 1.44280535E+01

15) -----
 Statistical distribution of real voltage for branch "REC C" to "REC A". Base voltage for per unit output = 4.08272000E+05
 Interval voltage voltage in Frequency Cumulative Per cent
 number in per unit physical units (density) frequency .GE. current value
 41 2.1000000 0.67737123E+06 0 0 100.000000
 42 2.1500000 0.67778461E+06 1 1 50.000000
 43 2.2000000 0.67819840E+06 2 2 0.000000
 Summary of preceding table follows: Grouped data Ungrouped data
 Mean = 2.1500000E+00 2.1390454E+06
 Variance = 1.2500000E-01 2.92794495E+02
 Standard deviation = 1.55553791E-02 4.50527090E+02

16) -----
 SUMMARY
 19) -----

A distribution of peak values among all output branches of the last data card that have the same base value follows. This statistical distribution is for the maximum of the peaks at all of these output branches having base voltage = 4.6827256E+05

| Interval number | voltage in per unit | voltage in physical units | Frequency (density) | Cumulative frequency | Per cent .GE. current value |
|-----------------|---------------------|---------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------|
| 49 | 2.4500000 | 0.10002844E+07 | 0 | 0 | 100.000000 |
| 50 | 2.5000000 | 6.10204809E+07 | 1 | 1 | 50.000000 |
| 51 | 2.5500000 | 0.10410926E+07 | 1 | 2 | 9.000000 |

Summary of preceding table follows: Grouped data Ungrouped data
 Mean = 2.5000000E+00 2.47843830E+00
 Variance = 1.2500000E-03 1.28455017E-03
 Standard deviation = 3.5355391E-02 3.5839743E-02

Blank card ends statistical tabulation requests. BLANK CARD TERMINATING STATISTICS OUTPUT

Sample curve symbols : "A", "B", and "C"
 Theoretical curve symbol : "I"
 Common curve symbol : "E"

Switch "8500 A" to "SEND A"
 8.82800023E-03 switch closings per column
 Columns

5 10 15 20 25 30



Time (scale = 4.6886667E-04 Sec/line)

Switch "8500 B" to "SEND B"
 8.82800023E-03 closings per column
 Columns

5 10 15 20 25 30



Time (scale = 4.6886667E-04 Sec/line)

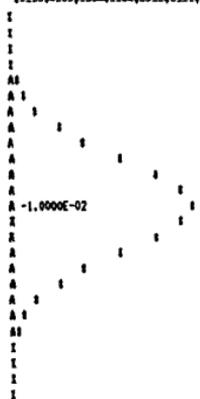
Switch "8500 C" to "SEND C"
 8.87800023E-03 closings per column
 Columns

5 10 15 20 25 30



Time (scale = 4.6886667E-04 Sec/line)

Switch "AJI A" to "SEND A"
 8.87800023E-03 switch closings per column
 Columns
 5 10 15 20 25 30



Time (scale = 2.3333333E-04 Sec/line)

Switch "AJI B" to "SEND B"
 8.87800023E-03 closings per column
 Columns
 5 10 15 20 25 30



Time (scale = 2.3333333E-04 Sec/line)

Switch "AJI C" to "SEND C"
 8.87800023E-03 closings per column
 Columns
 5 10 15 20 25 30



Time (scale = 2.3333333E-04 Sec/line)

La salida de este caso comienza con una solución en estado estable y en base en un caso donde no hubo variación aleatoria de switcheo. Entonces los 200 tiros aleatorios empiezan. Por cada tiro, el tiempo actual de cerrado y el pico de sobrevoltaje son impresos. Esto permite al usuario volver a correr los casos de simple tiro para obtener el gráfico de las formas de onda. El EMTP imprime un resumen de los sobrevoltajes cuyos histogramas de la distribución de voltaje son dibujados. Cada resumen es incluido en la tabla VIII.7 para el "caso pico" en el fin de la recepción de los voltajes de línea a tierra para el caso en que no se toman medidas de reducción de sobrevoltajes. Este resumen considera los voltajes máximos los cuales aparecen de fase a tierra o de fase a fase, para el constante monitoreo de los puntos durante cada tiro. Este grupo es desarrollado automáticamente por el EMTP que concuerda con la salida estadística, la cual aparece al fin del archivo de entrada. Para la sencilla especificación de las diferentes bases de voltaje en las cartas de salida solicitadas, llamadas "Salidas para el caso estadístico", los resúmenes de los casos picos fueron obtenidos para el fin del envío y el fin de recepción de sobrevoltajes. Cada variable con la misma base de voltaje es agrupado dentro del histograma. Los resúmenes de caso pico son usados en métodos de diseño de aislamiento, porque ellos describen las variaciones en cualquier fase de la línea durante un tiro particular. Para el recierre de simples polos, son usados picos de fase individual en lugar del "casos pico".

La primera y la segunda cartas de salida estadísticas definen el fin del envío y de la recepción en histogramas de sobrevoltaje de fase a tierra, ambos por fases individuales y agrupados dentro de los casos pico. La tercera y cuarta carta de salida estadística definen el mismo tipo de histogramas para sobrevoltajes de fase a fase. Estos datos pueden ser importantes para el estudio actual de líneas de terminación en transformador (transformer terminated lines).

El caso de recierre fue corrido con y sin resistencias de preinserción. Las recepciones de sobrevoltaje fueron bruscamente reducidas con resistencias, como se muestra. Las figs. VIII.12 y VIII.13 muestran los histogramas de caso pico de sobrevoltajes de switcheo, para el fin de recepción de sobrevoltajes de fase a tierra en los dos casos. Los voltajes en p.u. en la tabla VIII.7 representan los "límites de baja clase" del histograma. Por ejemplo, un tiro tuvo un pico al fin de la recepción entre 1.40 y 1.50 p.u., dos tiros tuvieron picos entre 1.50 y 1.60, etc. Estos números son leídos de la columna de densidad de frecuencia.

Las distribuciones de probabilidad acumulativa son también graficadas para ambas variables en un plano de probabilidad normal y son ilustradas en las figs. VIII.12 y VIII.13. Las gráficas son generadas usando la columna de frecuencia acumulativa de la tabla VIII.7.

Una línea recta apropiada es aplicada a la parte superior de la distribución ya que esta es la porción más significativa de la distribución para propósitos de coordinación de aislamientos. Parámetros de cada distribución llamados la media μ , y la distribución estándar σ , son determinados de los gráficos. El EMTP actúa en el desarrollo de esta función y determina los parámetros de una distribución normal apropiada para los sobrevoltajes como se ve en la tabla VIII.7. El uso de esta propiedad para la coordinación de aislamientos, por lo tanto, no es recomendable desde el hecho de que el programa trata de adaptar todos los datos, antes que el más importante dato, en la parte superior de la distribución.

Los picos de sobrevoltaje en puntos sobre la línea, además de que son considerablemente bajos al fin de la recepción, son considerados en la fig. VIII.14. Un cálculo detallado SSFOR podría considerar el pico de voltaje en cada torre de la línea. Por lo tanto, una simple y considerada

aseveración podría ser considerada al fin de la recepción de sobrevoltajes en el diseño.

Un parametro estadístico usado en la coordinación de aislamientos, es el switcheo estadístico de sobrevoltaje E2. Este es un valor estimado del cual, 2% de las operaciones de switcheo serán excedidas y esto puede ser leído de las graficas como el voltaje en 98% de probabilidad acumulativa. E2 fue estimado en 3.73 p.u. sin resistencias y 1.79 p.u. con resistencias de preinserción. Una técnica de diseño simple y conservadora podría ser el poner E0 igual a V3, voltaje de resistencia de aislamiento estadístico. V3 es definida para hacer tres desviaciones estándar bajo el voltaje crítico de descarga CFO. Cincuenta por ciento de las pruebas de tiro en el voltaje CFO causarán descarga mientras 50% no lo harán.

La línea será asumida estar al nivel del mar y también será asumida la distancia de aislamiento mayor de un metro. Bajo estas condiciones, la distancia requerida en metros está dada por:

$$S = 8 / (4140 / CFO - 1) \dots \dots \dots (8.16)$$

Donde la CFO está en KV y S en metros. Nuestro voltaje base es de 500 KV, o 408.25 KV pico de línea a tierra. Para el caso sin resistencias:

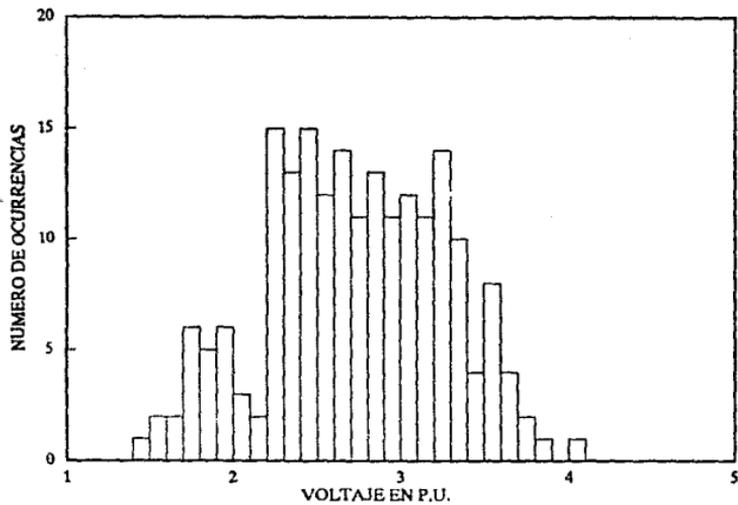
$$E_2 = 3.73 \times 408.25 \text{ KV} = 1523 \text{ KV} \dots \dots \dots (8.17)$$

r_a fue asumida ser .05 * CFO, puesto que:

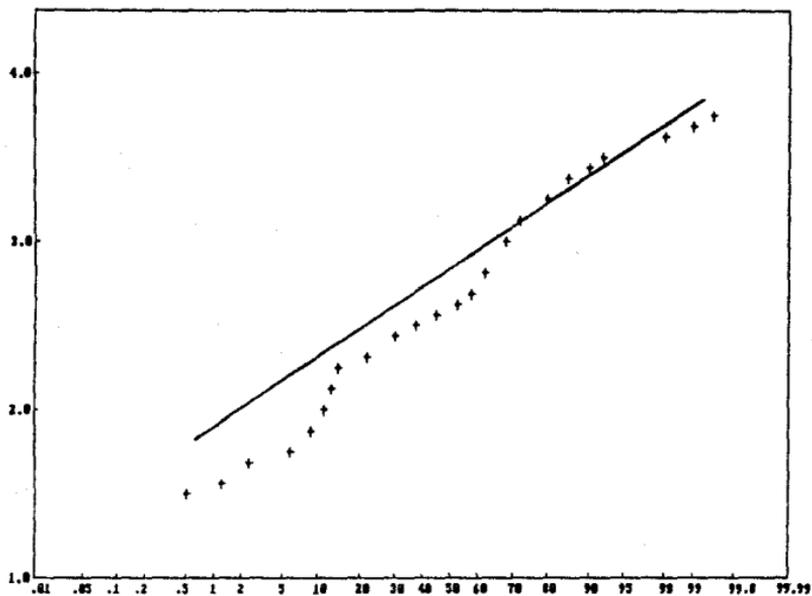
$$V_3 = CFO - 3r_a = E_2 \dots \dots \dots (8.18)$$

$$CFO = E_2 / (1 - .15) = 1523 \text{ KV} / .85 \dots \dots \dots (8.19)$$

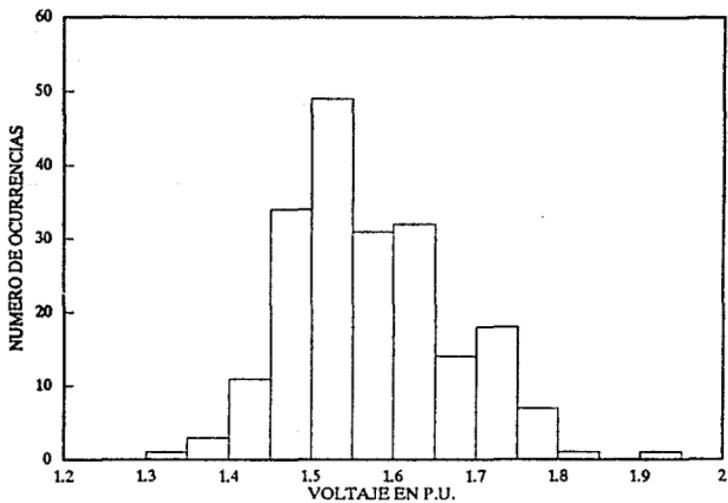
$$S = 8 / (4140 / 1792 - 1) = 6.10 \text{ m} = 20 \text{ ft.} \dots \dots \dots (8.20)$$



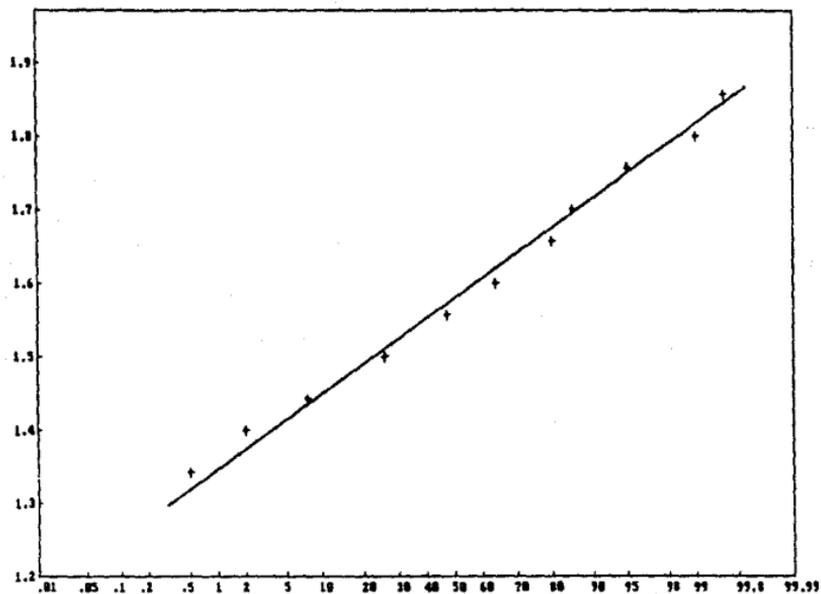
ca. FIG. VIII.12 HISTOGRAMA DE SOBREVOLTAJES PARA EL CASO DE PICOS DE VOLTAJE DE LINEA A TIERRA AL FIN DE LA RECEPCION SIN ESQUEMAS DE REDUCCION DE SOBREVOLTAJES



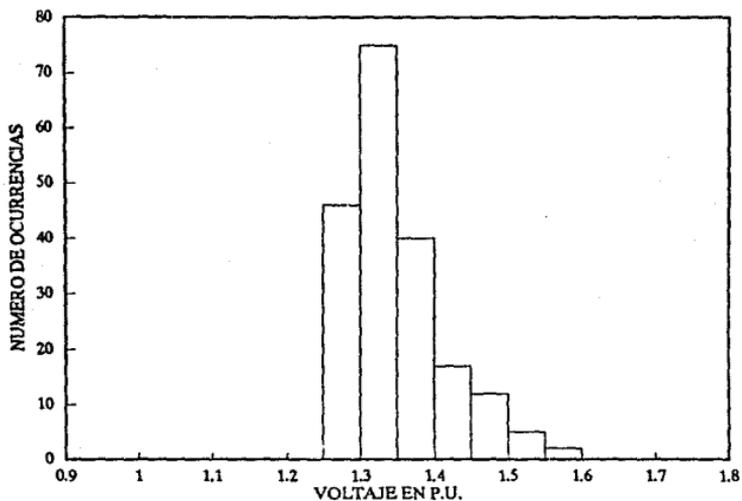
6. FIG. VIII.12 AJUSTE DE PROBABILIDAD NORMAL PARA EL CASO DE PICOS DE VOLTAJE DE LÍNEA A TIERRA AL FIN DE LA RECEPCIÓN SIN ESQUEMAS DE REDUCCIÓN DE SOBRESISTENCIA



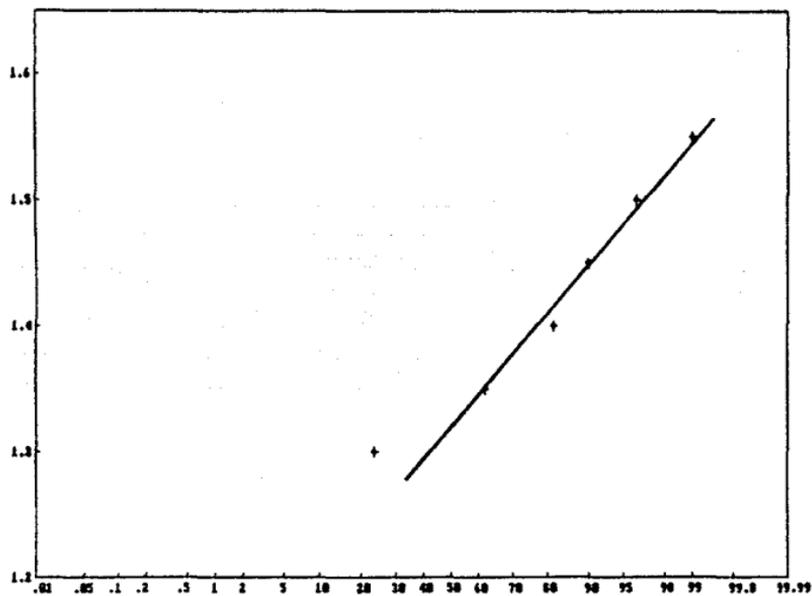
a. FIG. VIII.13 HISTOGRAMA DE SOBREVOLTAJES PARA EL CASO DE PICOS DE VOLTAJE DE LINEA A TIERRA AL FIN DE LA RECEPCION CON RESISTENCIAS DE PREINSECCION



6. FIG. VIII.13 AJUSTE DE PROBABILIDAD NORMAL PARA EL CASO DE PICOS DE VOLTAJE DE LÍNEA A TIERRA AL FIN DE LA RECEPCIÓN CON RESISTENCIAS DE PRIMIZACIÓN



a. FIG. VIII.14 HISTOGRAMA DE SOBREVOLTAJES PARA EL CASO DE PICOS DE VOLTAJE DE LÍNEA A TIERRA AL FIN DEL ENVÍO SIN ESQUEMAS DE REDUCCIÓN DE SOBRETENSION



6. FIG. VIII.14 AJUSTE DE PROBABILIDAD NORMAL PARA EL CASO DE PICOS DE VOLTAJE DE LINEA A TIERRA AL FIN DEL ENVÍO SIN ESQUEMAS DE REDUCCION DE SOBRETENSION

De la fig. VIII.6. esta distancia de tiro no puede ser llevada a cabo con el diseño de la torre. Para el caso con resistencias:

$$E_s = 1.79 \times 408.25 \text{ KV} = 731 \text{ KV} \dots \dots \dots (8.21)$$

$$CFD = 731 / 1.85 = 860 \text{ KV} \dots \dots \dots (8.22)$$

$$S = 8 / (4140 / 860 - 1) = 7.10 \text{ m} = 6.9 \text{ ft} \dots \dots \dots (8.23)$$

Esta distancia del conductor de la fase a la estructura de la torre es mas práctica. Para determinar el número de aislamiento estándar 5-3/4 pulgadas en la cuerda, la distancia de tiro es multiplicada por 1.05 y dividida entre .146m, la longitud de un aislante.

$$\begin{aligned} \text{no. ins} &= 2.1 \text{ m} \times 1.05 / .146 \text{ m/ins} \\ &= 15.1 \text{ aislantes} \dots \dots \dots (8.24) \end{aligned}$$

Basados en el estudio, 15 cuerdas aislantes y resistencias de preinserción de 450 ohms podrían ser recomendadas para satisfacer los requerimientos de sobretensión por switcheo. El criterio de diseño de V3=E3 es señalada por un descarga por 100 operaciones de switcheo, pero la evidencia empírica sugiere que todos lo cálculos del índice de interrupción por sobretensión en switcheo han sido conservadores. En el final del diseño de la línea, los relámpagos y los requerimientos de contaminación son considerados. Este dictará el uso de mas de 15 aislantes por cuerda en líneas típicas de 500 KV.

El mas alto registro al fin de la recepción de voltaje ocurrió en la simulación de recierre no. 190 sin resistencias de preinserción y en la operación de recierre no. 146 con resistencias. Los actuales tiempos de operación de contacto y lapso de polo son mostrados en la tabla VIII.8.

TABLA VIII.8

TIEMPO DE CERRADO EN MILLISEGUNDOS EN
QUE RESULTA EL MAS ALTO SOBREVOLTAJE
AL FIN DE LA RECEPCION

| | <u>Con resistencias</u> | | <u>Sin resistencias</u> |
|-----------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|
| | Contacto auxiliar | Contacto Principal | Contacto Principal |
| Fase A | 13.7754 | 23.8155 | 32.2316 |
| Fase B | 17.4987 | 26.6852 | 31.2096 |
| Fase C | 16.5491 | 26.5176 | 33.1682 |
| Periodo de polo | 3.723 | 3.070 | 1.959 |

Los registros al fin del envío y al fin de la recepción de voltaje para los tiempos de cierre de la tabla VIII.8 son dados en la tabla VIII.9.

TABLA VIII.9

SOBREVOLTAJES AL FIN DEL ENVIO Y AL
FIN DE LA RECEPCION EN KV (Y P.U.)

| | <u>Fin de envío</u> | <u>Fin de recepción</u> |
|-----------------------|---------------------|-------------------------|
| <u>Con resistores</u> | | |
| Fase A | 467.0(1.14) | 681.9(1.67) |
| Fase B | 636.6(1.56) | 782.5(1.92) |
| Fase C | 526.6(1.29) | 632.6(1.55) |
| <u>Sin resistores</u> | | |
| Fase A | 772.4(1.89) | 909.2(2.23) |
| Fase B | 1116.8(2.74) | -1419.0(3.48) |
| Fase C | -982.2(2.41) | -1643.1(4.02) |

CAPITULO IX

CASO 8: APARTARRAYOS

El sistema descrito en el caso 7 y mostrado en la fig. VIII.9 fue usado para ilustrar el uso del oxido de metal en apartarrayos. Esto es usado como medida de reducción de sobretensión similar a la preinserción de resistencias. Un caso simple de recierre fue simulado con apartarrayos de oxido de metal de 396 kV instalado en cada terminal de la línea switchheada. El EMTP puede modelar estos apartarrayos con una característica VI exponencial simple. No fueron modelados los entrehierros. Una característica VI es definida basada en una referencia o base de voltaje el cual es determinado por el apartarrayos valorando en una cresta de kilovolts.

$$I=2500(V/V_{REF})^{24} \dots \dots \dots (9.1)$$

$$V_{REF}=1.39 \times 10^6 \text{ (396,000)} \dots \dots \dots (9.2)$$

La característica VI definida por la ecuación 9-1 es presentado en la tabla IX.1 a lo largo del rango de los niveles de protección de sobretensión por switcheo y voltajes de descarga 8x20 para tres manufacturas diferentes de apartarrayos. Esto debe ser realizado de tal forma que el voltaje de descarga del apartarrayos dependa sobre la pendiente de la forma de onda de la corriente de descarga así como de su magnitud. El pico de voltaje usualmente ocurre después del pico de corriente. Los voltajes de descarga mostrados para formas de onda de corriente 8x20 son mas altas que los voltajes de descarga de sobretensión por switcheo, pero mas bajos que los voltajes de descarga por sobretensión por relampagos, los cuales tienen magnitudes de corriente comparables pero frentes de onda cortos. Las sobretensiones tienen muchos frentes de onda largos y

magnitudes de corriente los cuales usualmente no exceden a unos pocos cientos de amperes. Algunos apartarrayos tienen series de entrehierros los cuales tienen una parte derivada de óxido de metal.

El modelo de la ecuación IX-1 y la tabla IX.1 puede ser adecuada por mas estudios de sobretensión por switched. Esta precisión puede ser improvisada al agregar mas segmentos exponenciales VI, entrehierros derivados, series de entrehierros y o un grupo de circuitos RLC para simular la dinamica discutida anteriormente.

El archivo de entrada para el caso de apartarrayos es presentado en la tabla IX.2. Las conexiones del apartarrayos son incluidas en la lista de ramas pero las características VI son definidas después de las condiciones iniciales y antes del los registros de voltaje de salida de nodos.

TABLA IX.1

CARACTERISTICAS VI DE APARTARRAYOS DE OXIDO DE METAL DE

| I (Amperes) | <u>396 KV</u> | |
|----------------|---------------|-----------------------|
| | Ecuacion B-1 | V (KV) Fabricantes |
| 100 | 688.3 | |
| 300 | 719.0 | |
| 500 | 732.2 | |
| 1000 | 752.0 | |
| 1500 | 763.8 | 776 a 807 |
| 3000 | 784.5 | 812 a 838 |
| 5000 | 800.0 | 843 a 865 |
| 10000 | 821.7 | 890 a 912 |
| 20000 | 843.7 | 947 a 960 |
| 40000 | 866.7 | 1046 a 1053 |

Los apartarrays de fin de recepción y envío son considerados ser dos componentes trifásicos separados debido a que el metodo del EMTF es de simulación no lineal. También un voltaje preexistente es definido por cada apartarrayos correspondiente a la carga almacenada.

La línea switchheada fue partida en 5 secciones de 24 millas para obtener un perfil de picos de voltajes a los largo de la línea. Los nodos intermedios son nombrados PNT1, PNT2, PNT3 y PNT4 para el fin de recepción y transmisión. Son requeridas cartas adicionales de condiciones iniciales para los nodos extra y secciones de línea. El periodo de tiempo para este caso fue cambiado a un décimo usado para pruebas de probabilidad para evitar en lo posible la inestabilidad en el modelo del apartarrayos.

El voltaje de descarga de sobretensión de switcheo de apartarrayos será determinado por el punto en el cual la pendiente de las características VI igualan la impedancia de sobretensión de la línea. Altas corrientes iniciales y voltajes pueden ocurrir si el "voltaje de circuito abierto" o el voltaje al fin de la recepción sin apartarrayos es muy grande. Usando el análisis de una fase con impedancia de sobretensión de secuencia positiva, el voltaje de descarga puede ser estimado:

$$I=2500/(V/779000)^{2.4} \dots \dots \dots (9.3)$$

$$V=576564 \times I^{1/2.4} \dots \dots \dots (9.4)$$

$$dV/dI=22176 \times I^{-2.4/2.4} \dots \dots \dots (9.5)$$

$$\text{en } dV/dI=288 \text{ ohms, } I=91.61 \text{ Amps. } \dots \dots \dots (9.6)$$

$$V_{DESCARGA}=576564 \times 91.61^{1/2.4}=685.97 \text{ KV}$$

$$(1.63 \text{ por unidad}) \dots \dots \dots (9.7)$$

TABLA IX.2
 ENTRADA DE DATOS PARA EL CASO DE APARTARRAYOS

```

C
C
C      SIMULACION DE RECIERRE DE UNA LINEA DE TRANSMISION DE 120 MILLAS
C
C
C      SEGUN NEW DATA CASE
C
C      TARJETA DE MISCELANEOS 1
C      1      2      3      4      5      6      7      8
C 3456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C DELTAT TMA1  IGPT  IGPT  EPSILN  TOLMAT
C #####-----#####-----#####
C 33.30E-7  0.07  60.  0.
C
C      OTROS MISCELANEOS.
C  LGUT  IPLOT  IDOUBL  XSSOUT  MAXOUT  IPUN  MERSAV  ICAT  NENERG  IPPSUP
C #####-----#####-----#####-----#####-----#####
C 25000  9      1      1      1      1
C
C SI "NENERG" ES DIFERENTE DE CERO, ENTONCES ES NECESARIO CONSTRUIR UNA TARJETA
C ADICIONAL, PARA MANEJAR LA CARACTERISTICA ESTADISTICA DEL SWITCHEO.
C
C      DATOS DE ELEMENTOS (RAMAS, CARGAS Y ELEMENTOS CONCENTRADOS)
C ***IMPEDANCIA INTERNA DE LA FUENTE LOCAL***
C BUSA  BUSB  BUS REF  RESIS INDUCT CAPAC
C 34567890123456789012345678901234567890
C #####-----#####-----#####
C 826  AEGUL A      0.203
C 826  BEGUL B      0.203
C 826  CEGUL C      0.203
C
C ***IMPEDANCIA INTERNA DE LA FUENTE REMOTA, MUTUAMENTE ACOPLADA***
C SILINE AEGUL A      50.
C SILINE BEGUL B      125.
C SILINE CEGUL C
C
C      PARAMETROS DISTRIBUIDOS DE LAS LINEAS DE TRANSMISION
C ***LINEA DE TRANS. DE 90. m. CONECTADA A LA FUENTE REMOTA***
C BUSA  BUSB  BUS REF  RESIS INDUCT CAPAC LONG
C #####-----#####-----#####
C -18500 ALINE A      .5801.6722.01268  50.
C -26500 BLINE B      .03100.5816.01940  90.
C -32500 CLINE C
C
C ***LINEA DE 120.0 m. PLAT CONFIGURATION***
C SE HA DIVIDIDO LA LINEA EN 5 SECCIONES PI DE 24m C/U
C BUSA  BUSB  BUS REF  RESIS INDUCT CAPAC LONG
C #####-----#####-----#####
C -15END BPMT1 A      .5294 1.7459.01224 24.  0
C -25END BPMT1 B      .02499.59614.01914 24.  0
  
```


1826 8826 C
TRANSFORMER
18500 C
1826 8826 A

Z

C
BLANK CARD TERMINATING BRANCH CARDS

C ***INTERRUPTORES EN EL NODO 8500-SEND***
C BUSA BUSB Tclose DES.STD. Vflash SPEC. WORD BUSA BUSB I
C #####
8500 ASEND A .0322316 1.0
8500 BSEND B .0312096 1.0
8500 CSEND C .0331682 1.0

C
BLANK CARD TERMINATING SWITCH CARDS

C
C DATOS DE GENERADORES A 23.0 KV
C *** FUENTE GENERADORA LOCAL ***
C NAME IV AMPLITUD FREQ TIME-0 AI TIME-1 ISTART TSTOP
C #####-----
14EQUL A 18863. 60.0 0. -1.0
14EQUL B 18863. 60.0 -120. -1.0
14EQUL C 18863. 60.0 -240. -1.0
C
C ***FUENTE GENERADORA REMOTA***
14EQUR A 380281. 60.0 30. -1.0
14EQUR B 380281. 60.0 -90. -1.0
14EQUR C 380281. 60.0 -210. -1.0

C
BLANK CARD TERMINATING SOURCE CARDS

C
C CONDICIONES INICIALES DE LOS INTERRUPTORES (VOLTAJES-NODOS Y CORRIENTES-RAMAS)
C ***CONDICIONES INICIALES DE LOS VOLTAJES DE BUSES***
C BUS A VALOR ESPEFIADO
C #####
2SEND A 0.
2SEND E 525000.
2SEND C 415000.
C
2REC A 0.
2REC B 525000.
2REC C 415000.
C
2PNT1 A 0.
2PNT1 B 525000.
2PNT1 C 415000.
C
2PNT2 A 0.
2PNT2 B 525000.
2PNT2 C 415000.
C
2PNT3 A 0.
2PNT3 B 525000.
2PNT3 C 415000.
C
2PNT4 A 0.
2PNT4 B 525000.
2PNT4 C 415000.
C
C ***CONDICIONES INICIALES DE LAS CORRIENTES DE RAMAS***

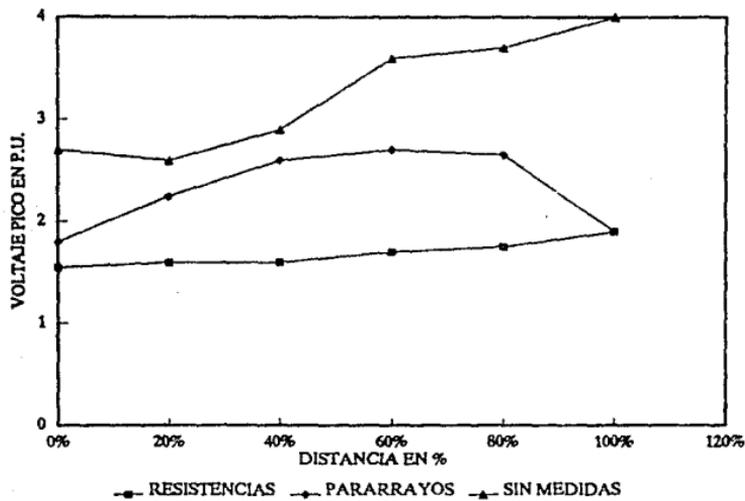
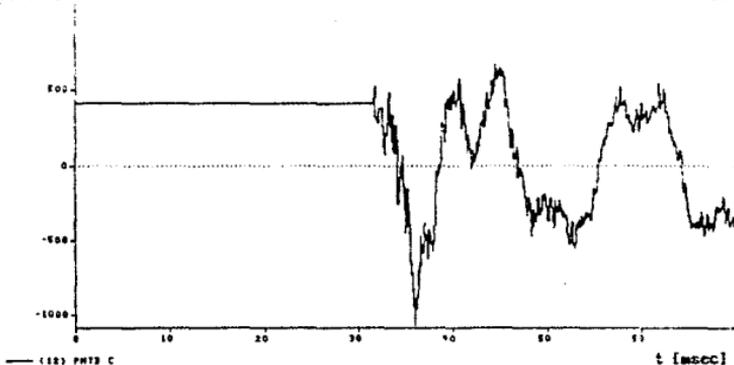


FIG. IX.1 PERFILES DEL SOBREVOLTAJE DE LINDA

v [KV]

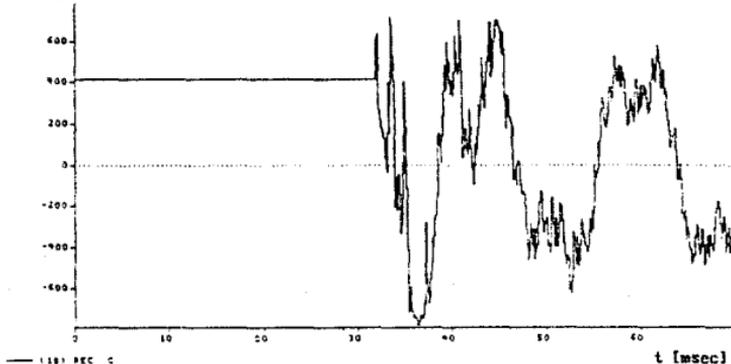
38-Jun-93 08:43:58



(18) PNT3 C
VOLTAJE EN EL CUARTO PUNTO DE MEDICION DE LA FASE C (PNT3) CON CARGA ATRAPADA EN EL FIN DE LA LINEA

v [KV]

38-Jun-93 08:43:58



(18) REC C
VOLTAJE DE LA FASE C EN EL RECEPTOR Y CON CARGA ATRAPADA EN EL FINAL DE LA LINEA

El sobrevoltaje al fin de la recepción sin apartarrayos o resistencias puede ser tan alto como 4.02 p.u. o 1643.1 KV. El actual voltaje de pico del apartarrayos podría ser estimado por:

$$I = (E_{osc} - V_{osc\text{carga}}) / Z = (1643.1 - 685.97 / 268) = 3327 \text{ A} \dots \dots \dots (9.8)$$

$$V = 576564 \times 3327 \times 10^{-6} = 787.6 \text{ KV (1.93 p.u.)} \dots \dots \dots (9.9)$$

En algunos casos esto puede sugerir que los apartarrayos son mas efectivos que las resistencias de preinserción. Sin embargo estos solo operan al final de las lineas. Ondas reflejadas de los apartarrayos al fin de la recepción viajan de regreso a la fuente y son agregadas a la sobretensión ascendente sobrante. Tipicamente, picos de sobrevoltajes son mas altos en puntos interiores de la linea que las localidades de los apartarrayos.

Tenemos una ecuación para la aproximación de picos de voltaje en puntos interiores de una linea donde los apartarrayos al fin de la linea han sido empleados.

$$E_m = E_i + (e_{A1} - i_{A1} Z_c \pm V_d) / 2 \dots \dots \dots (9.10)$$

donde:

E_m = Maximo pico de voltaje en la linea

E_i = Voltaje de sobretension de entrada

e_{A1}, i_{A1} = valores de voltaje y corriente para ecc. 9-6 y 9-7.

Z_c = impedancia de sobretension de la linea

V_d = voltaje de carga almacenada

El signo negativo para V_d es usado si E_i es de la misma polaridad de V_d . El voltaje máximo al fin de la recepción sin reducción de sobretensión ocurre en la fase C. Los contactos interruptores son cerrados en 33.2 mseg. como se

muestra en la tabla VIII.B. El voltaje de bus al final de la recepción en la fase C en el instante de cerrar puede ser calculado de la solución de fasores, los cuales establecen que el voltaje de nodo de estado estable en 85000 es de 397.9 KV con un ángulo de 150 grados.

$$V_c = 397.9 \cos(150^\circ + 360^\circ (33.2 \text{ mseg} / 16.67 \text{ mseg})) \\ = -333.6 \text{ KV} \dots \dots \dots (9.11)$$

El voltaje de sobretensión de entrada es la diferencia entre V_c y la carga inicial almacenada de 415 V. Por lo tanto, $E_i = -748.6$ KV y el signo positivo es usado en la ecuación 8-10 porque E_i y V_d son de polaridad positiva. Un valor estimado de E_m es:

$$E_m = 748.600 + (685,970 - 91.61(288) + 415,000) / 2 \\ = 1286 \text{ KV} = 3.15 \text{ p.u.} \dots \dots \dots (9.12)$$

Tres casos fueron desarrollados con tiempos de cerrado de switch tomados de la tabla VIII.B. El caso con apartarrayos al fin de la línea fueron corridos con los mismos tiempos de switcheo como en el caso sin reducción de sobretensión. Esto necesariamente no producirá el mas alto sobrevoltaje posible con apartarrayos al fin de la línea, pero sería muy parecido. Un caso de probabilidad con un modelo de apartarrayos usará mas tiempo de CPU que los casos en la sección 7 por dos razones:

1. El modelo de apartarrayos no lineal aumenta el proceso computacional en cada periodo de tiempo.
2. Un corto periodo de tiempo debe ser usado para obtener un resultado adecuado con el modelo no lineal que podría ser un caso diferente.

El caso de apartarrayos fue corrido con un periodo de tiempo de 3.33 microsegs. mientras que los casos sin medidas

de reducción de sobretensión y con resistencias de preinserción fueron corridos con periodos de tiempo de 33.3 microsegs. como el caso 7. Los resultados de pico de voltaje son presentados en la tabla IX.3. Hay pequeñas diferencias con la tabla VIII.9 porque las 120 millas de longitud de la línea han sido distribuidas en 5 secciones con solo 4 periodos de tiempo por sección. La ecuación 9.9 adecuadamente predice el pico de voltaje al fin de recepción, pero la ecuación 9.12 fue un poco conservadora en la predicción del pico de voltaje en la línea.

TABLA IX.3

RESULTADOS DE LOS PICOS DE SOBREVOLTAJE EN P.U.

| <u>CASO</u> | <u>envío</u> | <u>ent3</u> | <u>rec</u> |
|------------------------------|--------------|-------------|------------|
| Sin medidas de reducción | 2.72 | 3.54 | 3.96 |
| Apartarrayos | 1.82 | 2.71 | 1.91 |
| Resistencias de preinserción | 1.56 | 1.65 | 1.91 |

La fig. IX.1 muestra el perfil del sobrevoltaje para el caso del apartarrayos y también para el caso de resistencias de preinserción sin medidas de reducción de sobretensión. Si el diseño establece $V3=E2$ y es usado para el caso de probabilidad sin apartarrayos, el propio valor de $E2$ podría ser el máximo registrado a lo largo del perfil de la línea. El criterio del diseño puede conducir a un gran número de aislantes alojados por el uso de resistencias de preinserción.

En las siguientes figuras se muestran los picos de voltaje a partir de un punto de 74 mi. de la fase C con una carga atrapada en el final de la línea (apartarrayo).

CAPITULO X

FERRORRESONANCIA EN TRANSFORMADOR POTENCIAL

Este objetivo de estudio es resolver un problema de operación causado por ferrorresonancia no lineal desde un transformador potencial (PT) y un circuito interruptor abierto graduando capacitancia. Esta ferrorresonancia conduce a muy alto poder de sobrevoltaje de frecuencia en el bus PT y subsecuentemente fallas en aislamientos. Las salidas del EMTP de interés son los gráficos de voltajes de bus PT, aunque la evaluación de la salida es más cualitativa que cuantitativa en este caso.

El resultado en cada caso será esta ferrorresonancia ocurra o no ocurra, o esta estabilidad aparece como marginal. El actual pico de voltaje no es tan importante.

El fenómeno simulándose es altamente no lineal y una selección de tiempo propia es importante para obtener una solución numérica adecuada. Algunos experimentos con el tamaño de periodo pueden ser necesarios. El modelo de EMTP principal usado en este estudio es del tipo de rama de transformador saturable.

Un arreglo típico de subestación de interruptor y medio es mostrado en la fig. X.1. Una falla en el bus 2 es eliminada por el circuito interruptor A, el cual es último interruptor a abrir, y una expectativa podría ser que el voltaje de bus sea cero después que el interruptor abre. De cualquier manera, el más moderno circuito interruptor EHV tiene capacitores a través de los interruptores para graduar el voltaje y declinar el voltaje de recuperación en transición.

Después de que estos interruptores abren, el bus está prácticamente conectado a la fuente. Dependiendo del rango de capacitancia de bus, para abrir la capacitancia interruptiva, un alto voltaje relativo puede aparecer en el bus.

Un circuito simplificado representando un circuito interruptor conectado al bus de 345 kV es mostrado en la fig. X.2. Los otros circuitos interruptores han sido aislados por la desconexión de switches. Con valores picos de 650 pF para la capacitancia de bus, hay un voltaje de 60 Hz acoplado capacitivamente en el bus supuestamente desenergizado, con una magnitud igual a 81.5% de la fuente de voltaje. Este voltaje puede ser suficientemente grande para saturar una impedancia magnetizante de FT.

Cuando el último interruptor de la fig. X.1 o X.2 abre, aparecerá un pequeño pico de voltaje almacenado en la capacitancia de bus porque el graduado en MVA del FT es pequeño y grande la impedancia de magnetización. Esta carga almacenada decae a baja frecuencia y puede ser considerada a ser D.C. para un análisis simple. El voltaje cc D.C. satura al transformador.

Con una nueva inductancia de magnetización saturada en el circuito, la carga almacenada decaerá rápidamente e inicia una oscilación de circuito LC mientras suficiente flujo ha sido agregado al núcleo causando saturación en dirección contraria. En un transformador verdaderamente desenergizado estas oscilaciones de carga almacenada aparecen como ondas cuadradas con magnitudes decrecientes e incrementando periodos. (Fig. X.3).

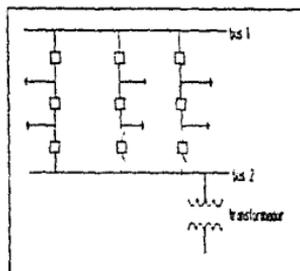


FIG. X.1 ARREGLO DE UNA SUBESTACION CON TÍPICO INTERRUPTOR Y MEDIO.

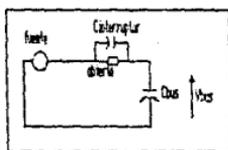


FIG. X.2 CIRCUITO SIMPLIFICADO.

Con un voltaje aplicado de 60 Hz sobre el bus mostrado en la fig. X.2 puede aparecer suficiente energía agregada para suministrar perdidas de transformador y mantener las oscilaciones de carga almacenada. Esta situación es conocida como ferrorresonancia con formas de onda típicas como se muestra en la fig. X.4. Esta forma de onda es combinación de oscilación de carga almacenada con voltaje acoplado de 60 Hz. Desde este voltaje es requerido mantener las oscilaciones de carga almacenada, y estas oscilaciones deben ocurrir a medio ciclo, a un ciclo o a un ciclo y medio, etc. de intervalo.

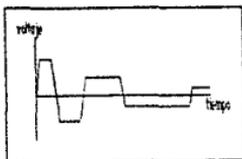


FIG. X.3 OSCILACION DE VOLTAJE DE ONDA CUADRADA DE UN TRANSFORMADOR DESERNEFGIZADO.

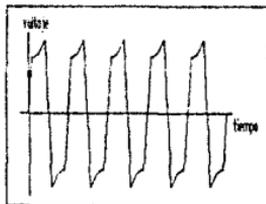


FIG. X.4 FORMA DE ONDA TIPICA DEL VOLTAJE DE FERRORESONANCIA .

La frecuencia de oscilación mas comunmente observada es de 60 Hz y 20 Hz. Alguna subarmónica non de 60 Hz es teoricamente posible, mientras que ferroresonancia sobre frecuencia no puede ocurrir. Hay muchas soluciones simples a este problema particular de ferroresonancia:

1. Usar dispositivos de acoplamiento de potencial capacitivo (CCPD) mas que PT's. Estos dispositivos no tienen una inductancia de magnetización no lineal.

2. Sumar capacitancias de bus para reducir el voltaje acoplado de 60 Hz.

3. Sumar elementos de perdida en el bus PT.

La tercera opcion es la que será estudiada aquí.

Los PT's generalmente tienen una estrella secundaria de línea a tierra de 115 V y una delta secundaria de 115V de línea a línea. La delta secundaria tiene una esquina abierta que provee una medición de voltaje de secuencia cero para la relevación. La esquina abierta desarrolla $3E_0$, donde E_0 es el voltaje del sistema de secuencia cero. Para eliminar ferorrresonancia, un resistor podría ser agregado a la esquina abierta de la delta, o un resistor switchheadc trifásico podría ser agregado a la estrella secundaria. Las resistencias en estrella podrían ser switcheadas tan rápido como el PT sea desenergizado. Una fórmula apropiada para el resistor de máximo rango es:

$$R_c = X_c V_s \dots \dots \dots (30.1)$$

donde V_s es el voltaje PT saturado por unidad y X_c es la capacitancia interruptiva en una base de 115 V.

El resistor delta es efectivo sólo si hay un voltaje de secuencia cero presente. Normalmente habrá un pequeño desbalance de secuencia cero en el sistema y habrá también una secuencia cero desbalanceada si la ferorrresonancia no lineal ocurre. El máximo tamaño de resistor delta debe ser determinado por experimentación. La resistencia no podría ser mas pequeña que 1 ohm, ya que este aparecerá en la relevación del circuito en todo momento. Una resistencia de 1 ohm reduce la medida de $3E_0$ por aproximadamente 10%. El resistor delta no es efectivo en todos los casos, pero sería simple y mas barato que los resistores en estrella.

El modelo de transformador es la característica crítica de esta simulación. El modelo de transformador EMTF consiste en separar elementos a considerar para la relación de vueltas y las impedancias de pérdida a tierra, el núcleo y el acoplamiento capacitivo. Estos elementos pueden ponerse arriba y usarse independientemente uno de otro. Terminales de capacitancias fueron usados en el caso 1 para consideración de acoplamiento de transformadores electrostáticos. Una de las operaciones para el modelado de las relaciones de vueltas y las impedancias de pérdidas a tierra fue ilustrado en el caso 7. En este caso la atención será enfocada en el modelo del núcleo.

Las impedancias de pérdida a tierra en el PT son bajas y no muy importantes para la simulación. La relación de vueltas es de 1800 en el primario de 345 KV a uno en la estrella y delta secundarias. El voltaje nominal secundario son, de esta manera, 115V y 199V línea a línea. Una inductancia de pérdida a tierra de .001 ohm es colocada en cada rama de la estrella equivalente, con resistencia cero del devanado. La entrada para este elemento es mostrada en la Tabla X.1. El EMTF convierte estas relaciones y las impedancias a tierra de la estrella equivalente dentro de una matriz de admitancia por cada fase o terminal del PT.

Observe el arreglo de nombres de nodos para cada fase. El devanado 1 está conectado a un bus de 345 KV, resultando una conexión de estrella trifásica aterrizada. Similarmente el devanado 2 resulta en una estrella trifásica aterrizada. El devanado 3 forma una delta secundaria abierta. Una delta secundaria cerrada resultaría por el cambio THREE o DELTAA en la fase A del devanado 3, y conectando la fase C del devanado 3 del DELTAC a DELTAA, mas bien que de DELTAC a tierra. Los devanados delta cerrados debe tener una carga conectada u otro camino a tierra tal que sus voltajes terminales son definidos matemáticamente.

Si no hay carga a ser conectada como es el caso de muchos devanados terciarios delta, es suficiente saturar una esquina de la delta dado que los voltajes terminales delta no son de interés. Los corrientes del devanado delta y los otros voltajes terminales serian todavia correctos porque hay solo una conexion a tierra en el devanado delta.

Dado que la ferromresonancia es un fenomeno de la frecuencia, el acoplamiento electroestatico de PT no es importante para esta simulación y no sera modelado.

El modelo del nucleo consiste de una caracteristica de saturación detallada. El EMTP modela la saturación como una función lineal del flujo de acoplamiento en Volts-segundos contra la corriente de amperes. Los fabricantes de transformadores normalmente dan las curvas de saturación en unidades de Volts contra Amperes, basado en pruebas de frecuencia. Una conversión de voltaje de flujo de acoplamiento es dada por:

$$\Phi_{\text{picos}} = 42V_{\text{rms}} \cdot L / (47 \times 377) \dots \dots \dots (10.2)$$

para transformadores de 60 Hz. Esta fórmula puede ser aplicada a datos de fabricante para desarrollar una conversión punto a punto. De cualquier manera, dado que la característica de saturación no es lineal, una constante de escalamiento entre picos y la corriente de magnetización en RMS es solo aproximada. El EMTP contiene un programa auxiliar de conversión la cual fue usada en este caso.

Los datos del fabricante para la característica de saturación del PT es presentado en tabla X.2 junto con los resultados de la conversión a picos de acoplamiento de flujo y corriente. Las curvas de voltaje RMS de 60 Hz contra corriente y picos de acoplamiento de flujo contra corriente son graficados en la fig. X.5.

La característica es lineal arriba de .59 p.u. de voltaje. En estado estable, la característica es representada por una simple inclinación, la cual pasa a través del punto de .59 p.u. El error en corrientes de 1 p.u. de voltaje es muy bajo. El voltaje saturado a 60 Hz es aproximadamente 396.8 KV a 345 KV o 1.15 p.u.

La fig. X.5 también muestra dos acoplamientos de flujo del EMTP contra características de corriente. Una es obtenida multiplicando el dato de corriente RMS del fabricante por $\sqrt{2}$. El otro es obtenido por el programa auxiliar del EMTP. Exceptuando el primer punto de corriente en .59 p.u. de voltaje. Las corrientes en esta curva para un valor dado de acoplamiento de flujo son tan altas como la curva aproximada. Si un voltaje de 1 p.u. es aplicado a la segunda curva, fluirá una corriente de magnetización RMS de 0.0187 amps, lo cual es marcado por los datos medidos del fabricante. La corriente de magnetización RMS producida por la curva aproximada será tan pequeña como el valor correcto.

Mientras que, la diferencia en acoplamiento de flujo entre las dos curvas dadas, un valor es pequeño, la diferencia en corriente de acoplamiento de flujo es muy significativa.

La ferrorresonancia FT es manejada por una fuente de voltaje rígida tal que el modelo del programa auxiliar del EMTP es más apropiado y producirá más resultados negativos que la curva aproximada.

La representación de acoplamiento de flujo contra corriente más bien que volts contra corriente es más apropiada a las características físicas del núcleo. Una alta magnitud de voltaje en alta frecuencia tiene un bajo acoplamiento de flujo y no puede saturar el núcleo. De cualquier manera, una baja frecuencia o voltaje de D.C. tiene un acoplamiento de flujo alto siempre que la magnitud de voltaje sea pequeño y el núcleo será saturado.

Un núcleo con pérdidas puede ser representado con una resistencia lineal en paralelo con la característica de saturación. Esta combinación resulta en una histerénesis característica que aproxima con el actual comportamiento del núcleo. En este caso, las pérdidas del núcleo fueron abandonadas como una suposición conservativa. El usuario es alentado a simular pérdidas de núcleo para determinar sus efectos en la ferrorresonancia.

Los datos de entrada para el transformador son mostrados en la tabla X.1. El primer conjunto de datos de transformador requerido contiene las coordenadas de las características lineales usadas para el núcleo en el cálculo en estado estable y la resistencia de las pérdidas lineales del núcleo. El nombre del bus en esta carta identifica el punto de comienzo en el cual la saturación y los elementos de pérdida de núcleo son conectados. Puede ser usado como una rama de referencia en las cartas subsiguientes de transformador. El siguiente conjunto de datos contiene los puntos de acoplamiento de flujo de picos de corriente los cuales definen la saturación característica, terminada en un dato "999". Tres cartas de devanados siguen como se describe en el caso 7. Las siguientes dos cartas de transformadores dan la referencia de las ramas excitantes conectadas al nodo X, tal que los puntos de acoplamiento de flujo de corriente no necesitan ser introducidos nuevamente. Estas nuevas ramas excitantes son conectadas a nodos Y y Z.

TABLE 1.1

ENTRADA DE DATOS PARA EL CASO DE FERRORESONANCIA EN UN PT

```

C
C
C
C
C DESCRIPCION DEL CASO: SE SIMULA EL FENOMENO DE FERRORESONANCIA
C                      EN UN TRANSFORMADOR DE POTENCIAL CONECTA-
C                      DO A UNA BARRA DE 345-KV A TRAVES DE UN
C                      INTERRUPTOR SPA QUE CONTEMPLA CAPACITORES
C                      PARA GRADUAR VOLTAGE.
C
C BEGIN NEW DATA CASE
C
C PRIMERA TARJETA DE DATOS MISCELANEOS
C 345678901234567890123456789012
C 1-B 9-16 17-24 25-32
C T-STEP 1=INI 1=OPT 1=OPT
C SEGS. SEGS. 0=WH 0=WF
C                      FREQ1 FREQ2
C 25.0E+6 200.E-3 60.0 0
C
C SEGUNDA TARJETA DE DATOS MISCELANEOS
C 345678901234567890123456789012345678901234567890
C 1-B 9-16 17-24 25-32 33-40 41-48 49-56 57-64 65-72 73-80
C PRINT PLOT NETWORK PR.SS PR.INI 1 PUN PUNCH CUMP MULT. DIAGNOS
C 0=EACH 0=EACH 0=NO 0=NO 0=NO 0=NO 0=NO 0=NO 0=NO 0=NO
C K=K-TH K=K-TH 1= S1 0=NO
C 3000 5 1 1 1 0 0 1
C
C ROWS
C 3456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C 3-B 9-14 15-20 21-26 27-32 33-38 39-44
C MORE NAMES REFERENCE RES. (NO. CAP. (OUTPUT IN COLUMN 80)
C BRANCH WH WF I= 1
C BUS1 BUS2 BUS3 BUS4 CHM QPM QPMD V= 2
C P, V= 3
C P, E= 4
C
C SIZE ARUS A .00065
C SIZE BRUS BSIZE ARUS A
C SIZE CBUS CSIZE ARUS A 1
C BUS A .00015
C BUS B BUS A
C BUS C BUS A
C
C MUTUALLY COUPLED R,L CIRCUITS
C 34567890123456789012345678901234567890
C 27-32 33-38
C R0,R1 L0,L1
C S1THEY ASIZE A 10.60
C S2THEY BSIZE B 6.64

```

SOTHEV OFFICE C

C

C TRANSFORMER

C 345678901234567890123456789012345678901234567890

C 3-13 15-20 27-32 33-36 37-44 45-50

C RESISTANCE 1.5 1 FLUX BUS R=96

TRANSFORMER 0.002 439.23 1

C

C 1-16 17-32

C CURRENT FLUX

0.0020 439.23

0.0043 549.04

0.0077 604.05

0.0108 658.84

0.0153 680.93

0.0240 713.86

0.0342 732.91

0.0540 755.00

0.0688 774.28

0.1143 793.54

0.1511 807.20

0.1904 818.63

0.2650 834.71

0.3361 845.54

0.6639 859.40

9999

C

C

C TRANSFORMER WINDINGS

C COLUMN 1, 2 WINDING NUMBER

C 345678901234567890123456789012345678901234567890

C 3-6 9-14 27-32 33-38 39-44

C BUS1 BUS2 P-K L-K TURN

IBUS A 0.0010 1800.

INYE A 0.0010 1.0

C

C THIRD DELTAR 0.0010 1.0

C

TRANSFORMER X Y

IBUS B

INYE B

3DELTADELTA

TRANSFORMER X Z

IBUS C

INYE C

3DELTA

C

C RESISTENCIA DE CARGA PARA ELIMINAR FERRRESONANCIA

C CONNECTED IN OPEN DELTA CORNER

C

C THIRD 1.0

C CONNECTED ON FT WYE SECONDARY

C

C WYE H/DRO A 1.5

C WIE BLOAD PWYE ALDAD A
C WYE BLOAD DWYE ALDAD A

BLANK CARD TERMINATING BRANCH CARDS

C
C INTERRUPTORES
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C 3-8 9-14 15-24 25-34 35-44 45-54 55-64 65-74
C (OUTPUT OPTION IN COLUMN 80)
C MODE NAMES IE FLASHOVER SPECIAL REFERENCE
C TIME TO TIME TO OR VOLTAGE REQUEST SWITCH-NAME
C BUS1 BUS2 CLOSE OPEN NSTEP WORD BUS3 BUS4
C SRC1 ABL1 A -1.0 0.020
C SRC2 BBL2 B -1.0 0.020
C SRC3 CBL3 C -1.0 0.020

C EN CASO DE QUE ENTRE RESIS. CONECTADA EN ESTRELLA (1.5 OHM ...)

C LOAD A 0.040 1.0
C LOAD B 0.040 1.0
C LOAD C 0.040 1.0

BLANK CARD TERMINATING SWITCH CARDS

C FUENTES

C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C COLUMN 1,2: TYPE OF SOURCE 1 - 17, I.E.G. 11-13 ARE RAMP FUNCTIONS, 14 = COSINE)
C COLUMN 9,10: 0=VOLTAGE SOURCE, -1=CURRENT SOURCE
C 3-8 11-20 21-30 31-40 41-50 51-60 61-70 71-80
C NAME AMPLITUDE FREQUENCY TO IN SEC AMPL-A1 TIME-T1 T-START T-STOP
C NAME IN KZ DEBR SECONDS SECONDS SECONDS
C
C 14THEV A 281491.0 60.0 0.0 -1.0
C 14THEV B 281491.0 60.0 240.0 -1.0
C 14THEV C 281491.0 60.0 120.0 -1.0

BLANK CARD TERMINATING SOURCE CARDS

C VOLTAJES MODALES DE SALIDA

C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C 3-8 9-14 15-20 21-26 27-32 33-38 39-44 45-50 51-56 57-62 63-68 69-74
C BUS ABL1 BRUS C

BLANK CARD TERMINATING MODE VOLTAGE OUTPUT

C GRAFICADO
C PRINTER PLOT

C (CASE TITLE UP TO 78 CHARACTERS)
C 44 FT FERRORESONANCE WITH NO COUNTERMEASURES 44
C THE FOLLOWING IS FORMAT OF THE PLOT REQUEST CARDS
C COLUMN 2, "1"
C COLUMN 3, 4=VOLTAGE DE MODO
C 8=VOLTAGE DE RAMP
C 9=CORRIENTE DE RAMP
C COLUMN 4, UNIDADES DE LA ABSCISA 1=GRADOS
C 2=CICLOS
C 3=SEGUNDOS

C
 C
 C COLUMNS 5-7 HORIZONTAL SCALE UNITS PER INCH
 C COLUMNS 8-11 TIME WHERE PLOT STARTS
 C COLUMNS 12-15 TIME WHERE PLOT ENDS
 C COLUMNS 16-20 VALUE OF BOTTOM VERTICAL SCALE
 C COLUMNS 21-24 VALUE OF TOP VERTICAL SCALE
 C COLUMNS 25-48 UP TO FOUR MODE NAMES
 C COLUMNS 49-64 GRAPH HEADING LABEL
 C COLUMNS 65-80 VERTICAL AXIS LABEL
 C 345678901234567890123456789012345678901234567890
 143.02 .200 BUS A
 143.02 .200 BUS B
 143.02 .200 BUS C
 143.02 .200 SPOE CBUS C
 BLANK CARD TERMINATING PLOT REQUESTS
 BLANK CARD TERMINATING THE CASE

TABLA X.2

CURVA DE SATURACION DE FT

| <u>Datos de fabricante</u> | | <u>Modelo del EMTF</u> | |
|----------------------------|----------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------|
| Voltaje L-L en KV rms | Corriente de magnetizacion en A rms/42 | Flujo pico en V-seg. | Corriente de magnetizacion pico en Amperes |
| 202.8 | .0020 | 439.26 | .0020 |
| 253.5 | .0035 | 549.07 | .0047 |
| 278.9 | .0055 | 603.98 | .0077 |
| 304.2 | .0080 | 658.85 | .0108 |
| 314.4 | .0100 | 680.85 | .0153 |
| 329.6 | .0150 | 713.79 | .0240 |
| 338.4 | .0200 | 733.01 | .0342 |
| 348.6 | .0300 | 754.97 | .0540 |
| 357.5 | .0400 | 774.19 | .0688 |
| 356.3 | .0600 | 793.41 | .1143 |
| 372.7 | .0800 | 807.14 | .1511 |
| 377.7 | .1000 | 818.12 | .1904 |
| 385.4 | .1400 | 834.57 | .3561 |
| 390.4 | .1800 | 845.57 | .3561 |
| 396.8 | .3000 | 859.3 | .6639 |

Las reactancias de fuente equivalentes de 5.64 ohms y 10.6 ohms fueron asumidas para las secuencias cero y positivas, respectivamente. Estas son equivalentes a una falla trifasica y falla de linea a tierra de corrientes de 30 KA y 25 KA, respectivamente.

Se asumió que el capacitor de graduación a través del circuito interruptor tiene un valor de 650 pf. La capacitancia de 745 KV del bus #1 fue asumida de ser 150 pf. Para estimar el máximo tamaño de resistor de estrella conectado usando la ec. 10.1, el voltaje efectivo saturado de modelado es aproximadamente de 398.8 KV o 1.15 p.u. La reactancia capacitiva del interruptor es de 4.08 ohms de una

base de 345 KV o 1.26 ohms despues de una transformación de voltaje de 100/11. La resistencia critica estimada está entre 1.15:1.26 o 1.45 ohms.

La fig. X.6 muestra el circuito y los nombres de nodos como se representan en el EMTP.

La tabla X.1 muestra la entrada de datos para el caso sin resistencias de carga. Un periodo de tiempo pequeño de un grado a 60 Hz es necesario, aunque siempre la ferrorresonancia es un fenómeno de baja frecuencia, porque la saturación es altamente no lineal.

La fig. X.7 muestra la ferrorresonancia ocurriendo despues de que el interruptor hace contacto a 20 mseg. La ferrorresonancia comienza inmediatamente despues de abrir el interruptor, a una frecuencia de 20 Hz. La fig. X.8 muestra la corriente de magnetización del PT durante la ferrorresonancia. Los pulsos de corriente largos acompañan los cambios de polaridad contrario en la saturación de núcleo.

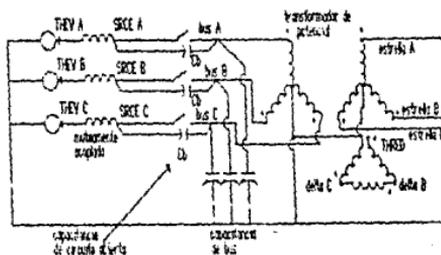


FIG. X.6 DIAGRAMA DEL CIRCUITO Y NOMBRES DEL NODO.

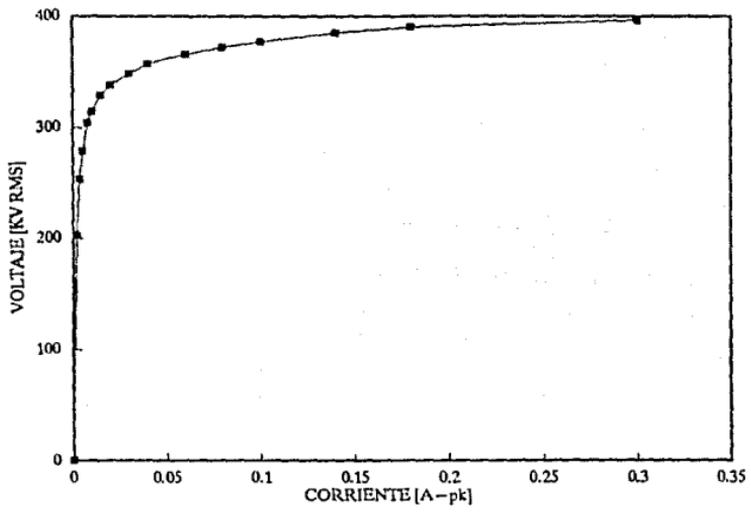


FIG. X.5b CURVA CARACTERISTICA DE FABRICANTE DE LA SATURACION DE UN TRANSFORMADOR POTENCIAL

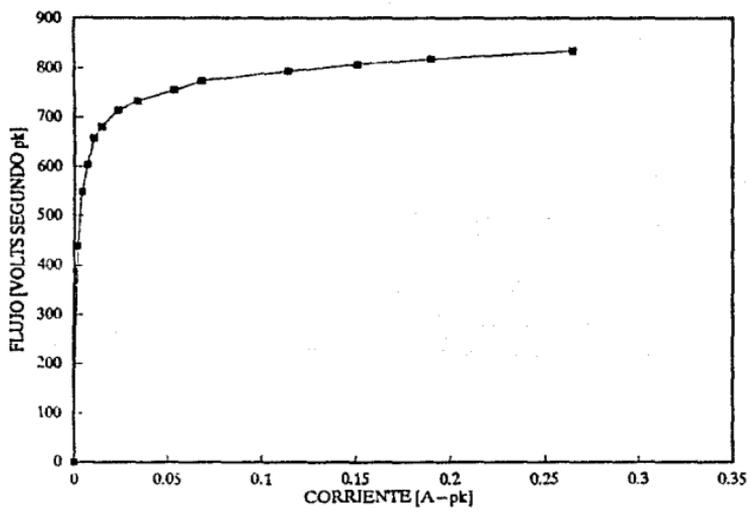


FIG. X.5a CURVA CARACTERISTICA ENTPE DE LA SATURACION DE UN TRANSFORMADOR POTENCIAL

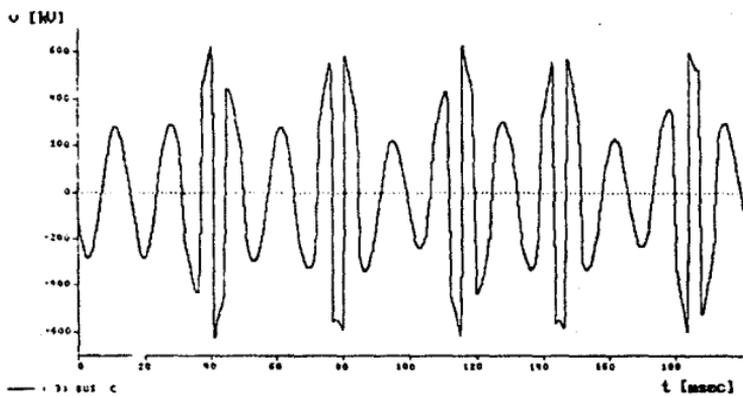


FIG. X.7 VOLTAJE EN EL BUS PT DE LA FASE C SIN CARGA RESISTIVA

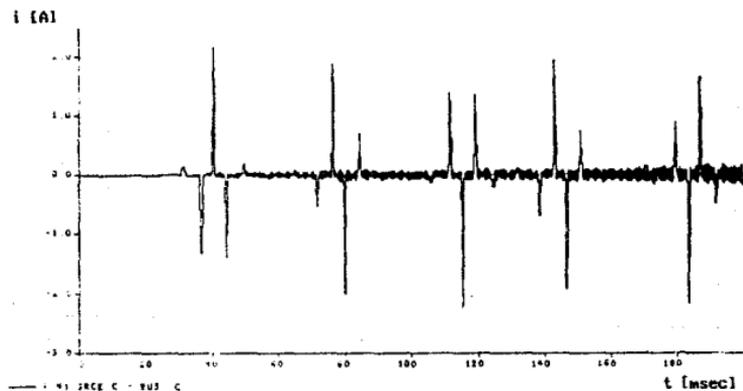


FIG. X.8 CORRIENTE DE MAGNETIZACION DE LA FASE C SIN CARGA RESISTIVA

CONCLUSIONES

El EMTF simula sistemas transitorios electromagnéticos, electromecánicos y de control de sistemas eléctricos de potencia, estas simulaciones ayudan a comprender el comportamiento físico del sistema cuyos resultados son muy aproximados a la realidad.

El estudio del EMTF tiene dos objetivos principales, el primero es el diseño, el cual incluye coordinación de aislamientos, equipo de medición, especificación de equipos de protección, diseño de equipos de control, etc. El segundo principalmente es resolver fallas en los equipos.

Este programa puede ser utilizado en el estudio de sistemas eléctricos tales como: switcheo de sobretensiones, sobrevoltajes producidos por descargas atmosféricas, compensación estática de var, ferrorresonancia, arranque de motores, entre otros.

Una de las ventajas del EMTF es la flexibilidad del modelado de los sistemas a simular empleando elementos como: resistencias, inductancias y capacitancias, además se pueden modelar líneas aéreas con secciones pi incluyendo transposición de parámetros, considerando que no existe restricción en el número de fases, también se pueden modelar impedancias no lineales: como resistores representando apartarrayos, los inductores representan la saturación de dispositivos con núcleo de hierro, también se usan modelos de switches ideales para simular circuitos interruptivos así como también se utilizan fuentes de corriente, voltaje y máquinas síncronas ideales.

El tamaño del programa depende de las necesidades del sistema a simular.

Los pasos a seguir para crear una tarjeta de datos de entrada para el EMTF son los siguientes:

- Definir el objetivo de estudio en terminos de un problema de ingeniería.
- Seleccionar la salida a ser obtenida de la simulación del EMTF.
- Determinar el rango de frecuencia del fenomeno en estudio y los tipos de eventos del mismo a ser simulado.
- Basándose en los casos anteriores determinar la extensión del sistema con lo cual será modelada una representación exacta del fenomeno en interes.
- Dibujar un diagrama de conexiones del sistema en estudio y etiquetar los buses.
- Reunir los datos de entrada para los componentes de los modelos.
- Estimar los resultados esperados de la simulación por medio de calculos realizados a mano.
- Correr los casos necesarios para obtener los objetivos en estudio.

La importancia del estudio del programa EMTF, es saber que contamos con una herramienta de apoyo para diseño y solución de problemas de sistemas eléctricos de potencia. este es de gran utilidad para el estudiante, así como en su desarrollo en el campo profesional.

Los casos analizados son representativos del uso del EMTF, pero estos son tan solo algunos de los multiples estudios que se pueden desarrollar con el empleo de este programa.

BIBLIOGRAFIA

Electromagnetic Transients Program (EMTP)

Primer

S. F. Mauzer, T. E. McDermott

WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION 1985