

Sobretensiones Internas

Sobretensiones de maniobra

Una sobretensión se puede definir como una tensión anormal existente entre fase y tierra o entre fases, cuyo valor pico es superior al valor pico de la máxima tensión de operación normal de un equipo (V_m) o sistema (V_s).

Existen muchas causas por las que se pueden originar sobretensiones en una red de potencia, por esta razón su estudio se realiza de acuerdo a su origen, y a la forma de onda y tiempo de duración.

Conforme a estos criterios, se puede hacer dos clasificaciones de las sobretensiones.

En función de su origen una sobretensión puede producirse por factores externos a la red como es el caso de las descargas atmosféricas, o por factores internos a la red, por ejemplo maniobras. Así se tiene dos grandes grupos de sobretensiones:

- ❖ Sobretensiones de maniobra.
- ❖ Sobretensiones atmosféricas.

Las sobretensiones de maniobra se originan ante la operación de equipos de o súbitas modificaciones en la topología de la red eléctrica, tales como: energización y recierre de una línea, inicio y despeje de fallas, rechazos de carga y establecimiento o interrupción de corrientes capacitivas o inductivas.

Todos estos eventos provocan fenómenos transitorios que se traducen en una onda de sobretensión que se caracteriza por tener un frente de onda de algunas decenas a miles de microsegundos. Es así que los voltajes de prueba estandarizados de impulso tipo maniobra tienen un frente de onda de entre 20 y

5000 μs y un tiempo al valor medio de cola menor a 20 ms. La Figura #01 muestra la forma de onda típica de una sobretensión de maniobra.

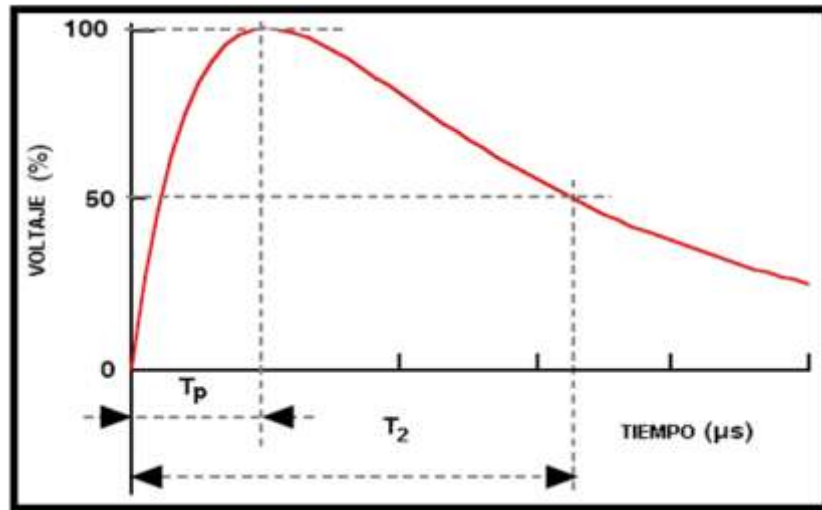


Figura #01. Forma de onda de sobretensión tipo maniobra

Las sobretensiones de funcionamiento o maniobra, también son llamadas transitorias o de conmutación, no son más que la respuesta de los circuitos RLC, cuando se presenta un cambio brusco en las condiciones de funcionamiento establecidas de una red eléctrica. Estos cambios bruscos provocan los fenómenos transitorios que por lo general se trata de ondas de sobretensión de oscilación amortiguadas o de alta frecuencia.

Las sobretensiones de maniobra están asociadas a todas las operaciones de maniobra y fallas en un sistema

La amplitud y duración de las sobretensiones transitorias dependen de la configuración del sistema, de sus parámetros eléctricos, de la condición del sistema previo al cambio, entre otras., pero por lo común son de corta duración y altamente amortiguados.

A continuación se describen algunas de las causas que generan sobretensiones de frente lento (sobretensión de maniobra).

Energización o cierre de líneas

Entre las operaciones de maniobra que pueden ocasionar un nivel de sobretensión elevada están las operaciones de apertura o cierre. Observaremos los de cierre como lo son: Energización de una línea y Recierre de una línea.

Ante la energización o recierre de líneas trifásicas, es muy probable la generación de sobretensiones en las tres fases de la línea. Así, cada cierre o recierre produce tres sobretensiones fase-tierra y por lo tanto tres sobretensiones entre fases.

Según Ing. Edgar Estuardo Chaj Ramírez en su artículo sobre: *“las sobretensiones internas en líneas de transmisión”* Las líneas de transmisión puede energizarse o desenergizarse no importa dónde está conectado la carga esto lo podemos reflejar en el punto de sobretensiones de maniobra donde se puede apreciar las distintas formas que puede ocasionar sobretensiones en los sistemas, estas se pueden estar conectadas en vacío “EXTREMO ABIERTO”, capacitivo y inductivo, y también hay casos que se pueden presentar a tierra en cortocircuito. Para realizar energización debemos estudiar distintos parámetros, como son: a) de la línea: efecto corona, terminación de la línea “longitud total”, presencia y carga atrapada en la línea con y sin reactancia de cierre o preinserción. b) parámetro del interruptor como son la máxima separación de los contactos, característica dieléctrica del cierre, ángulo de fase en el instante de maniobra, entre otras. Y por ultimo c) parámetro de la fuente como son tensión de servicio, frecuencia del servicio, potencia real del cortocircuito, red inductiva compleja y otros.

Cuando la energización o cierre de una línea de transmisión esta en vacío, se nota que la sobretensiones son producidas por la gran diferencia de polos de cierre del disyuntor así que no se genera la coordinación del cierre en sus contactos, luego de obtener el cierre de la primera fase se generan ondas de tensión en las otras dos fases ya que esta se acopla dando a que las ondas se desplacen por todo lo largo

de la línea hasta llegar al otro extremo y al chocar con la impedancia del circuito abierto donde esta se sobrepone en las ondas que siguen propagándose generando las altas tensiones.

Energización o cierre: al energizar una línea de transmisión en vacío la sobretensión se origina por la discrepancia de polos en el cierre del Interruptor de potencia (disyuntor), esto es, la no simultaneidad del cierre de sus contactos. Así, luego de haber cerrado la primera fase se generan ondas de tensión en las otras dos fases, producto de su acoplamiento. Estas ondas se propagan a lo largo de la línea hasta alcanzar su otro extremo, en donde al chocar con la impedancia de circuito abierto, se reflejan para superponerse con las ondas que continúan propagándose, produciéndose así la sobretensión. En caso de que la línea a energizar no termine en circuito abierto sino en un transformador, el fenómeno se vuelve más complicado debido a las características no lineales de su impedancia y la presencia de armónicos. La Figura #02 ilustra la maniobra de energización de una línea de transmisión en vacío.

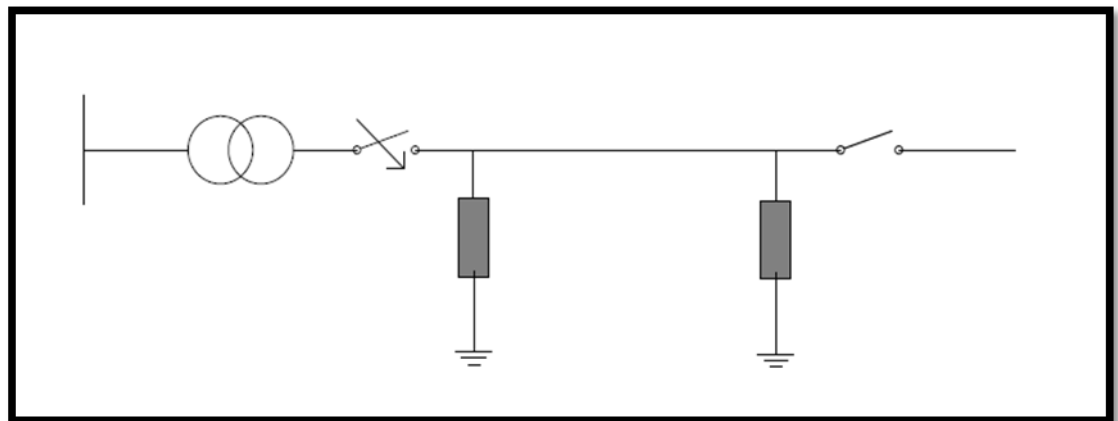


Figura #02. Energización de una línea en vacío.

Recierre de las líneas

El recierre de una línea de transmisión tiene por objeto despejar fallas transitorias, y por lo tanto tiene involucrado los procesos de apertura y cierre de los

interruptores de potencia (disyuntores de línea). Considerando el caso de que el interruptor de potencia tenga que desconectar una línea en vacío, debido a la naturaleza capacitiva del circuito al momento de interrumpir la corriente por su paso por cero, la tensión estará pasando por su valor máximo, lo cual provoca que las tres fases queden con una tensión aproximadamente igual al valor pico de la tensión fase – tierra de la fuente de alimentación. Por consiguiente, como producto de esta maniobra se genera la denominada “carga atrapada”, que permanecerá en la línea por largos períodos de tiempo, en el orden de minutos, a no ser que sea drenada por medio de reactores o transformadores de potencial inductivos.

Posterior a la apertura se ejecuta el recierre, que es en donde se pueden generar altas sobretensiones. Esto ocurre como producto de la gran diferencia de potencial que se puede generar en caso de que el recierre ocurra antes de haber drenado la carga residual o si los polos del disyuntor cierran cuando la tensión del sistema tenga polaridad opuesta a la de la línea. De aquí que es importante contrastar los tiempos de recierre con el tiempo que tarda la línea en evacuar la carga atrapada. Siendo este último factible de modificar con el uso de reactores o resistencias de preinserción en los disyuntores. La Figura #03 ilustra el recierre de una línea con carga atrapada.

Las sobretensiones originadas durante el recierre son de mayor amplitud que las originadas en la energización, debido principalmente a la carga atrapada.

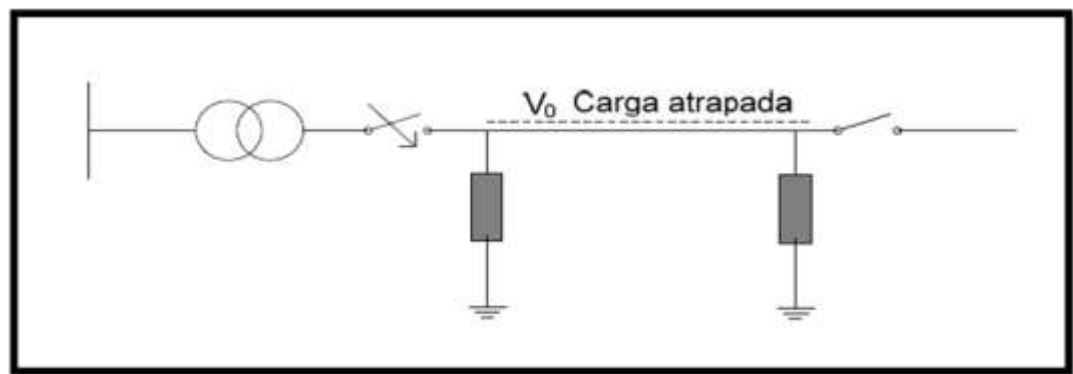


Figura #03. Recierre (Energización de una línea con carga residual).

La magnitud de las sobretensiones dependerá de las características propias del sistema, tales como: particularidades de los interruptores de potencia, porcentaje de compensación, tipo de fuente de energización y punto de la onda de tensión en el que se realiza la maniobra. Adicionalmente las sobretensiones por energización están también influenciadas por la longitud de la línea y la potencia de cortocircuito de la barra desde la cual se energiza la línea.

Mientras que en el caso de recierres la magnitud de las sobretensiones depende también del tipo de recierre, esto es, de si el recierre es trifásico o monofásico. En recierres trifásicos las sobretensiones son mayores debido a la carga atrapada en la línea, mientras que en recierres monofásicos la magnitud de las sobretensiones es incluso menor que las debidas a energización

Efecto de impedancia de la fuente

En lo que respecta a la red de alimentación, se refiere a la configuración del sistema desde el cual se energiza la línea. Así, se distingue dos posibilidades, alimentación compleja o inductiva. La alimentación compleja implica tener por lo menos una línea de transmisión conectada entre la barra de generación y la línea que alcanza la subestación. Mientras que la alimentación inductiva implica alimentar la línea que alcanza la subestación únicamente a través de un transformador. La Figura #04 muestra en forma gráfica estos conceptos.

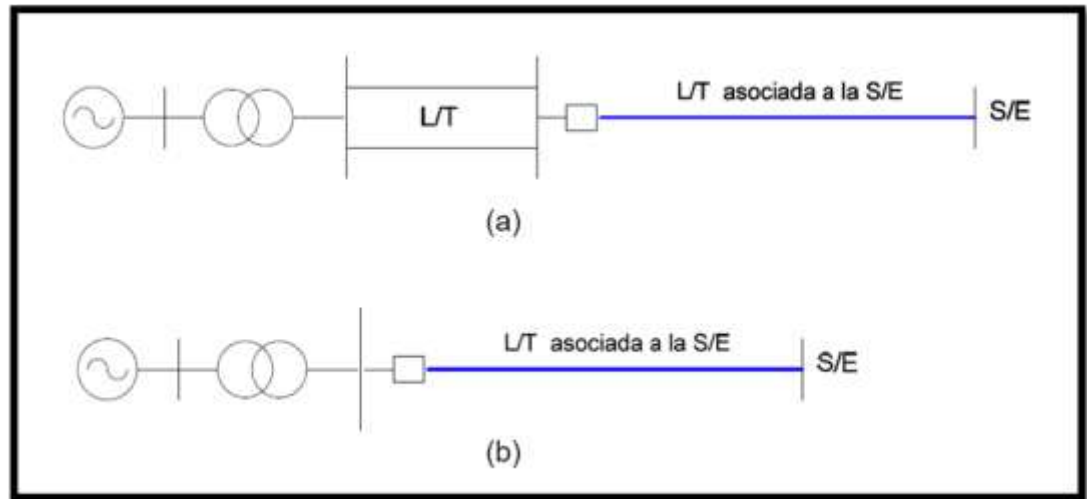


Figura #04. Red de alimentación. (a) Compleja a través de otra L/T. (b) Inductiva, únicamente a través de un transformador.

Cuando se abre una línea energizada se presentan sobretensiones que pueden llegar a tomar valores apreciables. Los casos más críticos se presentan cuando se interrumpe una corriente inductiva forzando la misma a cero, como es el caso de la interrupción de la corriente de magnetización de un transformador en vacío o la corriente del generador que pasa por su propia impedancia.

Aunque se interrumpa bruscamente en cualquier punto un circuito que contenga inductancia la corriente no puede dejar de circular por la inductancia hasta tanto la energía almacenada en el campo no se haya disipada totalmente en forma de pérdidas o haya pasado a almacenarse en el campo electrostático del sistema de que se trate.

Hay dos opciones de acoplamiento:

Para máxima transferencia de potencia o para una tensión máxima en la señal a transmitir.

a) Acoplar impedancia para máxima transferencia de potencia

Acoplar impedancia significa lograr que la impedancia de salida de la fuente y la impedancia de entrada de la carga sean "iguales".

Se tiene que acoplar la impedancia de salida de una fuente de señal con la impedancia de entrada de la carga de manera que exista una máxima transferencia de potencia y se minimice las reflexiones causadas por la carga.

Nota: cuando hay reflexiones, parte de la potencia de la señal que se desea transmitir, se regresa a la fuente. Estas reflexiones, si son muy grandes, podrían dañar la fuente de alimentación.

b) *Acoplar impedancia para la máxima transición de tensión.*

En un acoplamiento para la transmisión de tensión y para evitar las reflexiones de la carga, la carga debe ser cuasi-resistiva, y se debe acoplar perfectamente a la impedancia de la fuente (también totalmente resistiva).

Si se utiliza una línea de transmisión entre la fuente y la carga, entonces

$$Z_{\text{carga}} = Z_{\text{línea}} = Z_{\text{fuente}}$$

Donde:

Z = impedancia

$Z_{\text{línea}}$ = impedancia característica de la línea de transmisión

Aunque, como ya se dijo antes, tanto la impedancia de la fuente como de la carga deben ser cuasi-resistivas, siempre se mantiene el nombre de acople de impedancias para referirse a esta operación.

La aparición de una reactancia, sea en la fuente o en la carga causará que el acople no se logre.

Acople de impedancias reactivas

En el caso que tanto la fuente como la carga sean reactivas, se puede hacer un acople de impedancia para una sola frecuencia (tomar en cuenta que la reactancia varía con la frecuencia).

Si la frecuencia de la señal se mantiene, también se logra minimizar las reflexiones y se logra máxima transferencia de potencia.

Para adaptar impedancias, se utilizan combinaciones de inductores, capacitores y transformadores.

En el caso de los transformadores, estos tienen:

-En el bobinado con mayor número de vueltas, mas impedancia y en el bobinado con menor número de vueltas una impedancia menor.

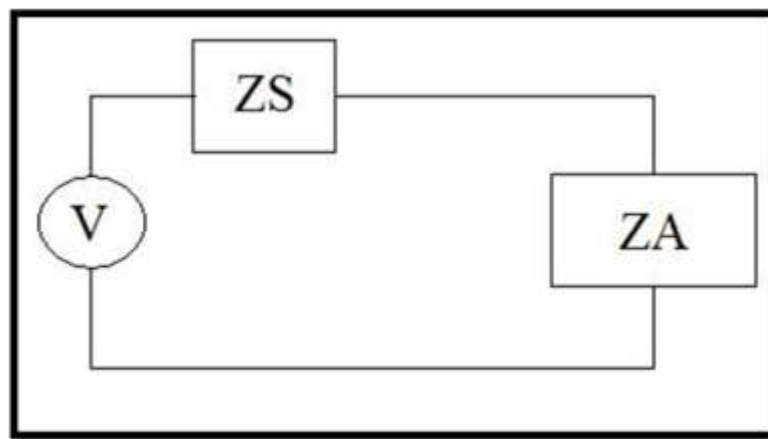


Figura #05. Impedancia de la carga e impedancia de la línea

Las sobretensiones por maniobras en líneas pueden ser controladas mediante el uso de resistores de preinserción en los interruptores de potencia, el cierre controlado del disyuntor, transformadores de tensión inductivos, compensación o pararrayos.

El uso de resistencias de preinserción es uno de los métodos más efectivos para controlar sobretensiones generadas en la operación de los interruptores de potencia. Estas resistencias se conectan en serie a la línea previo al cierre de los contactos principales del disyuntor para una vez que el disyuntor ha efectuado el cierre se forme un divisor de tensión con la resistencia preinsertada para así reducir la tensión inicial. Una vez que esto ha sucedido las resistencias se cortocircuitan para ser eliminadas del circuito. La Figura #06 muestra dos arreglos para el uso de las resistencias de preinserción. En ambos casos debe primero cerrarse el contacto A para permitir que entre la resistencia R, y luego de un intervalo de tiempo deberá cerrar B para cortocircuitar a R.

El valor de R suele ser similar al de la impedancia característica de la línea, y su tiempo de permanencia está entre 6 y 15 ms.

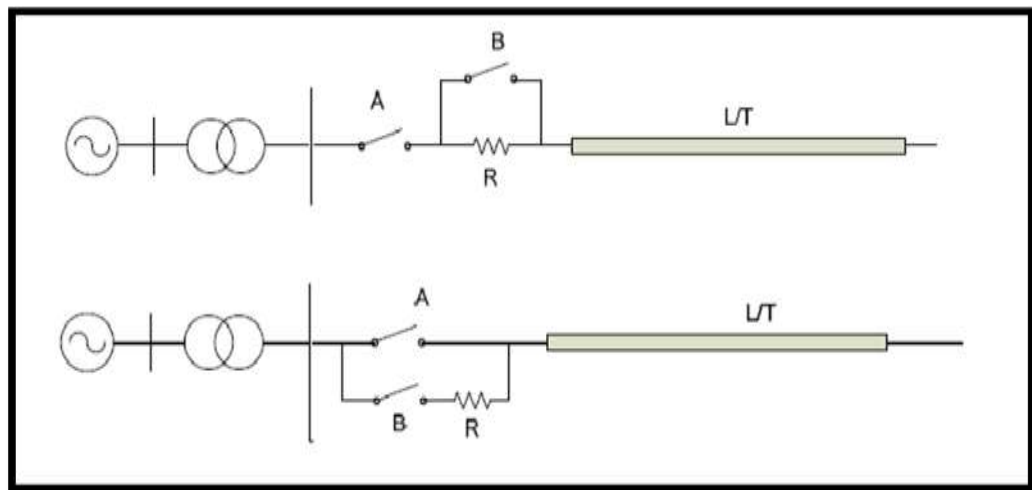


Figura #06. Arreglos para la maniobra de una L/T usando resistencias de preinserción R.

En operaciones de recierre en donde se tiene sobretensiones elevadas producto de la carga atrapada, el uso de resistencias de preinserción es importante.

Los transformadores de tensión inductivos conectados en los terminales de la línea, reducen las cargas atrapadas en las fases después de su apertura, ya que

sirven como camino de drenaje de esta carga. Dando como resultado que las sobretensiones de frente lento por el recierre trifásico subsecuente sean comparables con las de energización de la línea.

Parámetros de la línea

Cada autor maneja su definición de línea de transmisión, en esencia es lo mismo así que se define como:

"ES UN MEDIO O DISPOSITIVO POR DONDE SE PROPAGA O TRANSMITE INFORMACIÓN (ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS) A ALTAS FRECUENCIAS."

En la siguiente figura #07 se muestra el circuito equivalente de una línea de transmisión

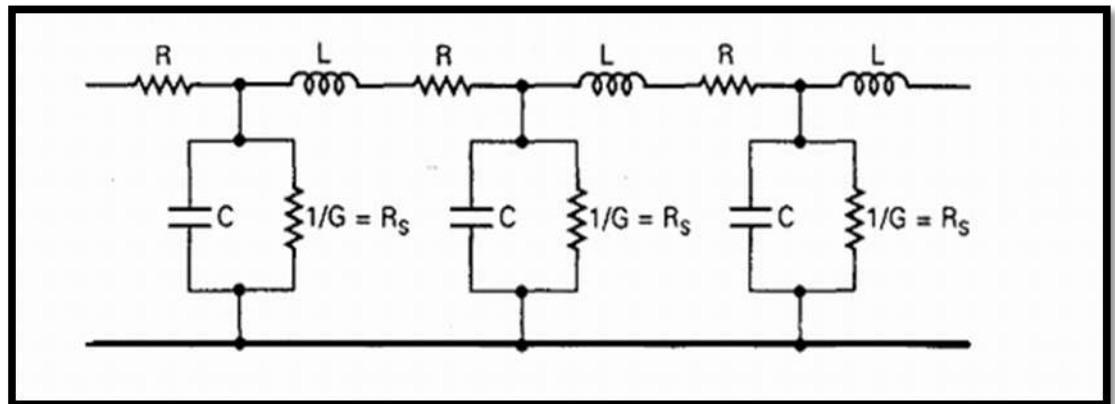


Figura #07. Circuito equivalente de una línea de transmisión.

R.- Resistencia total en Serie de la línea por unidad de longitud, incluyendo ambos conductores. Unidades: Ohms/metro.

L.- Inductancia total en Serie de la línea por unidad de longitud, incluyendo la inductancia debida al flujo magnético interno y externo a los conductores de la línea. Henrios/metro.

G.- Conductancia en paralelo de la línea por unidad de longitud. Es una representación de las pérdidas que son proporcionales al cuadrado de la tensión entre los conductores o al cuadrado del campo eléctrico en el medio. Generalmente G representa una pérdida interna molecular de los materiales aislantes dieléctricos. Siemens/metro.

C.- Capacidad en paralelo de la línea por unidad de longitud. Farads/metro.

CONSTANTE DE PROPAGACIÓN.

La constante de propagación (a veces llamada el coeficiente de propagación) se utiliza para expresar la atenuación (pérdida de la señal) y el desplazamiento de fase por unidad de longitud de una línea de transmisión. Conforme se propaga una onda, a lo largo de la línea de transmisión, su amplitud se reduce con la distancia viajada. La constante de propagación se utiliza para determinar la reducción en voltaje o corriente en la distancia conforme una onda se propaga a lo largo de la línea de transmisión.

Para una línea infinitamente larga, toda la potencia incidente se disipa en la resistencia del cable, conforme la onda se propague a lo largo de la línea. Por lo tanto, con una línea infinitamente larga o una línea que se ve como infinitamente larga, como una línea finita se termina en una carga acoplada ($Z = Z_L$), no se refleja ni se regresa energía nuevamente a la fuente.

FACTOR DE VELOCIDAD

Una consideración importante en aplicaciones de líneas de transmisión es que la velocidad de la señal en la línea de transmisión es más lenta que la velocidad de una señal en el espacio libre. La velocidad de propagación de una señal en un cable es menor que la velocidad de propagación de la luz en el espacio libre, por una fracción llamada factor de velocidad.

La velocidad a la que viaja una onda electromagnética, en una línea de transmisión, depende de la constante dieléctrica del material aislante que separa los dos conductores. La constante dieléctrica es simplemente la permeabilidad relativa del material. La constante dieléctrica relativa del aire es 1.0006. Sin embargo, la constante dieléctrica de los materiales comúnmente utilizados en las líneas de transmisión varía de 1.2 a 2.8, dando factores de velocidad desde 0.6 a 0.9.

La constante dieléctrica depende del tipo de material que se utilice. Los inductores almacenan energía magnética y los capacitadores almacenan energía eléctrica. Se necesita una cantidad finita de tiempo para que un inductor o capacitor tome o dé energía. Por lo tanto, la velocidad a la cual una onda electromagnética se propaga a lo largo de una línea de transmisión varía con la inductancia y la capacitancia del cable.

LONGITUD ELÉCTRICA DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

La longitud de una línea de transmisión relativa a la longitud de onda que se propaga hacia abajo es una consideración importante, cuando se analiza el comportamiento de una línea de transmisión. A frecuencias bajas (longitudes de onda grandes), el voltaje a lo largo de la línea permanece relativamente constante. Sin embargo, para frecuencias altas varias longitudes de onda de la señal pueden estar presentes en la línea al mismo tiempo. Por lo tanto, el voltaje a lo largo de la línea puede variar de manera apreciable. En consecuencia, la longitud de una línea de transmisión frecuentemente se da en longitudes de onda, en lugar de dimensiones lineales.

Los fenómenos de las líneas de transmisión se aplican a las líneas largas. Generalmente, una línea de transmisión se define como larga si su longitud excede una dieciseisava parte de una longitud de onda; de no ser así, se considera corta. Una longitud determinada, de línea de transmisión, puede aparecer corta en una frecuencia y larga en otra frecuencia.

Elementos del sistema de alta tensión

Los principales componentes de una línea eléctrica aérea de Alta Tensión son los:

- Conductores.
- Aisladores.
- Apoyos.

Los conductores.

Estos son siempre desnudos. Pueden ser hilos de cobre reunidos formando cuerda o hilos de aluminio con refuerzo de acero. Estos últimos se prefieren por ser más ligeros y económicos. Al igual que las placas de un condensador, los conductores de una línea mantienen la carga al desconectar la fuente de tensión. Para prevenir accidentes graves, antes de trabajar sobre una línea en vacío, ésta debe ponerse a tierra, por lo cual se colocan interruptores adecuados de puesta a tierra.

En la parte más alta de la torre, se ponen conductores desnudos, llamados de guardia, que sirven para apantallar la línea e interceptar los rayos antes que alcancen los conductores activos situados debajo. Esos hilos de guardia no conducen corriente, por lo que normalmente se hacen de acero y se conectan solidariamente a tierra en cada una de las torres. Las torres se conectan solidariamente a tierra. Cuando un rayo cae sobre la torre, o el cable de guardia, la corriente del rayo puede descargarse rápidamente a tierra sin llegar a producir arcos en la cadena de aisladores.

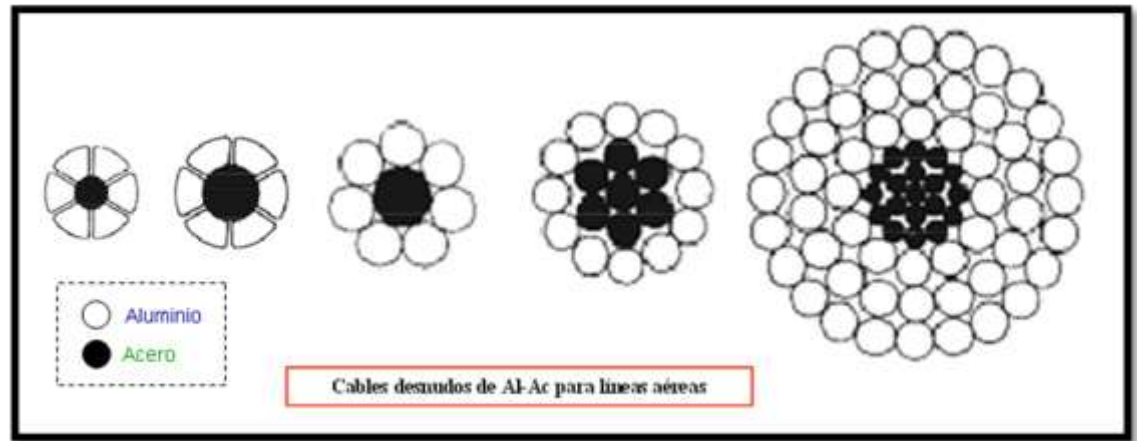


Figura #08. Conductores de aluminio y cobre para sistemas de transmisión en alta tensión.

Disposición de Los Conductores

En la medida de lo posible los conductores de las líneas aéreas se disponen de tal manera que sus secciones formen los vértices de un triángulo equilátero, de esta manera la caída de tensión inductiva es la misma para los tres conductores, pero también se suele usar la disposición en un mismo plano.

Por otra parte, es frecuente la instalación en los apoyos de dos circuitos, o más, y que cada fase esté constituida por más de un conductor

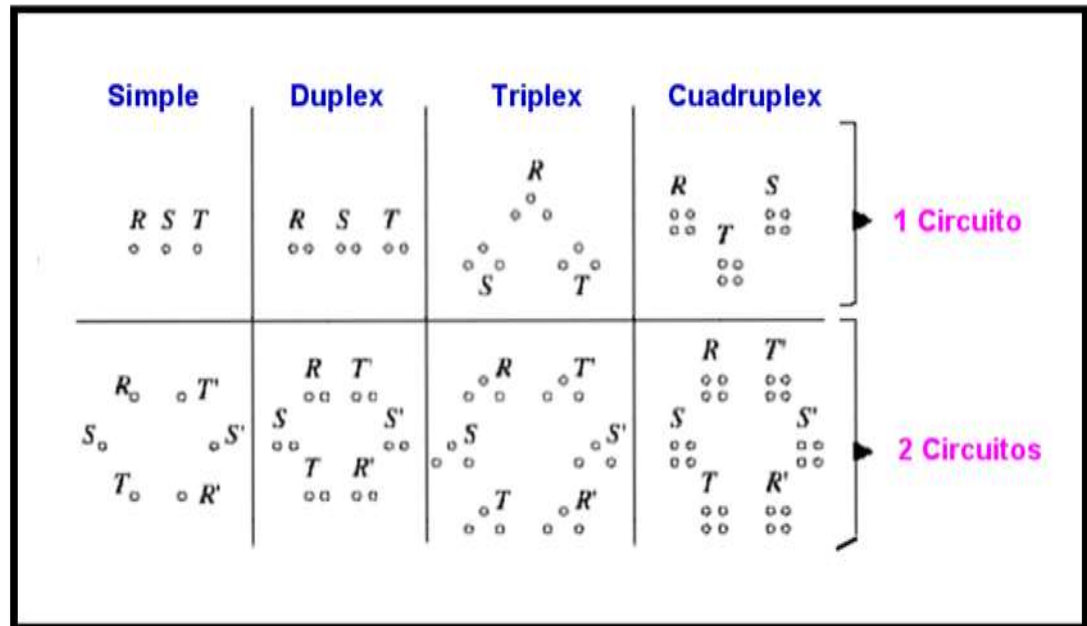


Figura #09. Disposición de los conductores para los diferentes aplicaciones.

Los aisladores

Sirven de apoyo y soporte a los conductores, al mismo tiempo que los mantienen aislados de tierra. El material más utilizado para los aisladores es la porcelana, el vidrio y materiales sintéticos como resinas epoxi.

De una manera general los aisladores se pueden clasificar en:

a) Aisladores fijos: unidos al soporte por un herraje fijo y no pueden, por consiguiente, cambiar normalmente de posición después de su montaje.



Figura #10. Aisladores fijos

b) Aisladores en cadena: constituidos por un número variable de elementos según la tensión de servicio; formando una cadena móvil alrededor de su punto de unión al soporte. Este es el tipo de aislador más empleado en media y en alta tensión.

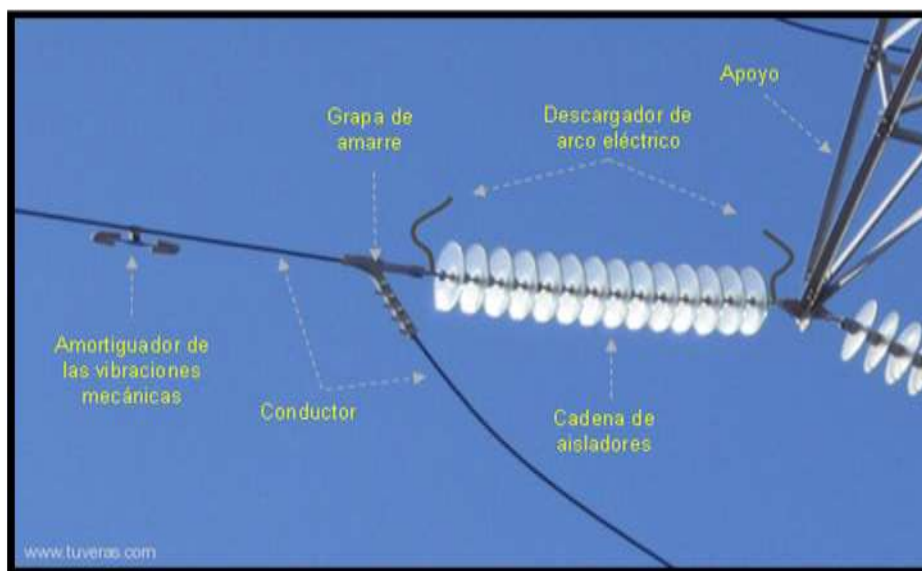


Figura #11. Aislador en cadena

Apoyos para líneas de alta tensión.

Los apoyos que deben mantener los conductores a suficiente altura sobre tierra y adecuadamente distanciados entre sí.

Según su función se clasifican en:

- ❖ Apoyos de alineación: Su función es solamente soportar los conductores y cables de tierra; son empleados en las alineaciones rectas.
- ❖ Apoyos de anclaje: Su finalidad es proporcionar puntos firmes en la línea, que limiten e impidan la destrucción total de la misma cuando por cualquier causa se rompa un conductor o apoyo.
- ❖ Apoyos de ángulo: Empleados para sustentar los conductores y cables de tierra en los vértices o ángulos que forma la línea en su trazado. Además de las fuerzas propias de flexión, en esta clase de apoyos aparece la composición de las tensiones de cada dirección.
- ❖ Apoyos de fin de línea: Soportan las tensiones producidas por la línea; son su punto de anclaje de mayor resistencia.
- ❖ Apoyos especiales: Su función es diferente a las enumeradas anteriormente; pueden ser, por ejemplo, cruce sobre ferrocarril, vías fluviales, líneas de telecomunicación o una bifurcación,

Perdida de carga

La pérdida de carga de un sistema eléctrico de transmisión, puede dar origen también a sobretensiones internas, capaces de producir daños a los componentes eléctricos de la red. En los sistemas de transmisión de energía el ángulo formado por las tensiones en los extremos transmisor y receptor (Figura #11) determina el porcentaje de potencia activa que se transmite, mientras que la diferencia existente entre ambas tensiones (valores pico o rms) establece el porcentaje de potencia reactiva que fluye a través de la línea.

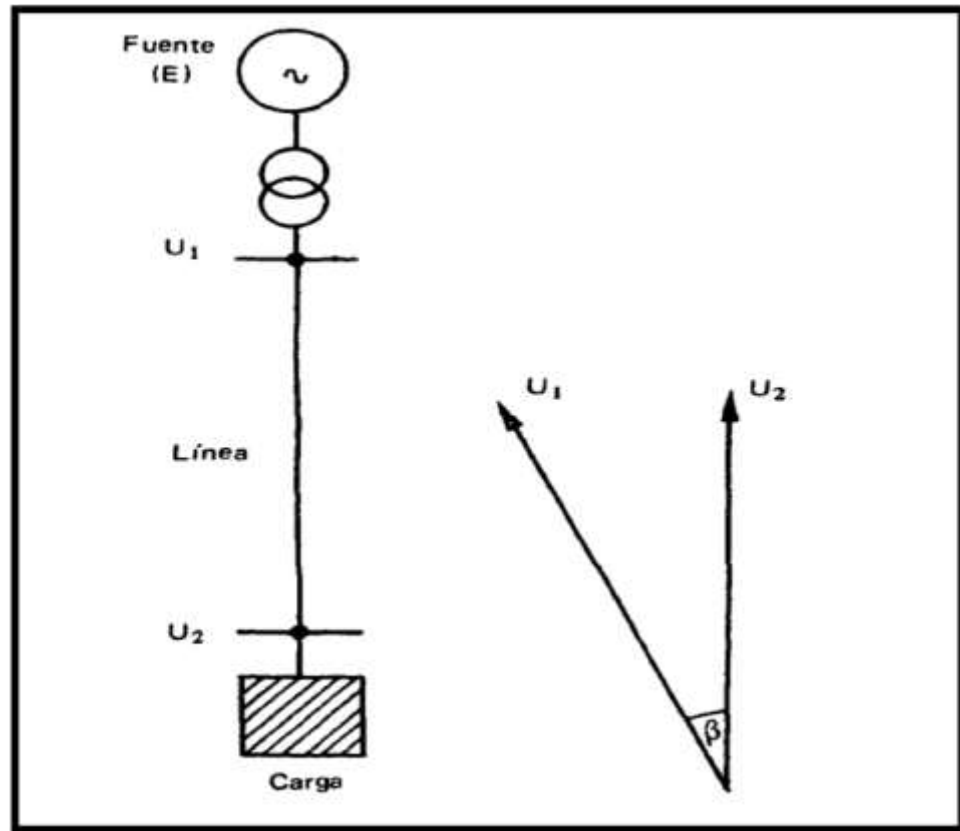


Figura #11. Como se genera el ángulo de carga β

Cuando existe una carga inductiva se desconecta súbitamente en el extremo receptor de la línea, la tensión de régimen en el mismo sufre un incremento, como consecuencia de un fenómeno transitorio que se le superpone. Este incremento de tensión es afortunadamente de corta duración, pero le da origen a sobretensiones temporales.

Otra manera de estudiar el comportamiento de la línea a las pérdidas de cargas sería al conectar una impedancia de carga a la impedancia de corto circuito del sistema (Figura #12) ambas inductivas, con lo cual la tensión de la fuente (U_1) es mayor que la tensión en el extremo de la carga (U_2). El bote de carga o pérdida de carga se manifiesta entonces cuando se interrumpe la intensidad de corriente que demanda la carga, la cual cancela la caída de tensión en la impedancia de corto

circuito. La consecuencia que esto origina, es un incremento de tensión en los contactos del interruptor cercano a la fuente.

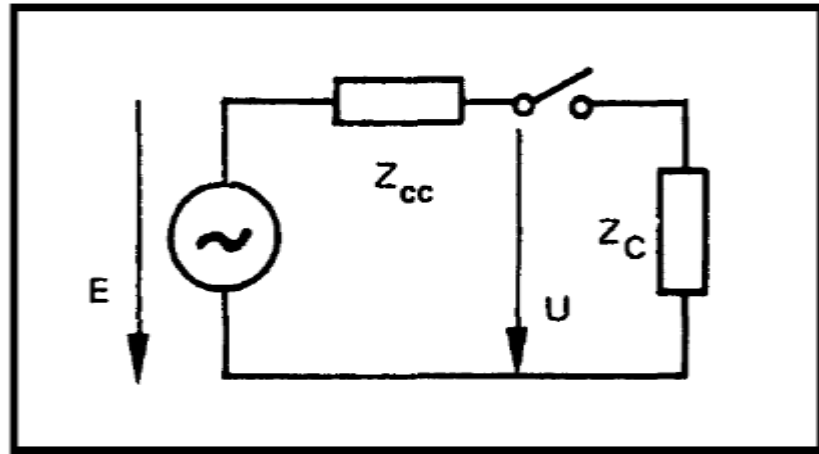


Figura #12. Diagrama equivalente para pérdida de la carga

La compensación en derivación de las líneas de transmisión de longitud apreciable tiene un efecto muy favorable en la impedancia de corto circuito, y por consiguiente también en el bote de carga, pues disminuye el incremento de tensión a frecuencia de régimen.

La transmisión a base de líneas en paralelo, al igual que la subdivisión de la carga, puede evitar la incidencia del bote de carga en casi 100%. El incremento mismo de la tensión se logra evitar en la práctica recurriendo a un sistema de protección que se desconecte inmediatamente al interruptor de potencia de lado del suministro (fuente). Algunas compañías de electricidad desconectan incluso ambos interruptores (fuente y carga) simultáneamente para evitar las sobretensiones temporales en cuestión. En los sistemas muy extensos, con líneas de transmisión de longitud apreciable, el mejor método para combatir las sobretensiones temporales causadas por la pérdida de carga consiste en transmitir solo potencia activa.

Sobretensiones por fallas:

Son sobretensiones que hacen presentar fallas en la red eléctrica, estas pueden ser producidas por diferentes factores y pueden mostrarse en diversos lugares de la misma red. La falla más común en los sistemas de potencia es el cortocircuito monofásico, es decir, una falla entre fase y tierra. Una falla monofásica fase-tierra, causada por ejemplo por el contacto a tierra de un conductor aéreo con una rama, puede provocar sobretensiones en las otras dos fases sanas.

Dependiendo del tipo de operación que se le dará al circuito, se determina el tipo de sistema que se utilizara, eligiendo entre sí estará conectado a tierra o aislado de tierra, cabe destacar que cada sistema tiene sus pros y sus contras. Aunque la única ventaja que ofrece la conexión aislada de tierra es que se puede mantener el servicio si se presenta una falla, esto se logra sobrealimentando las otras líneas y manteniéndolas trabajando.

Estas fallas pueden clasificarse en:

1. Sobretensión debido a una falla a tierra solida:

Cuando se presenta una falla a tierra en una línea, la corriente de falla es limitada por las capacitancias de línea a tierra.

Las consecuencias que se derivan de esta situación son:

- Elevación de la tensión con respecto a tierra de las fases no fallada las que pasan a tener una tensión a tierra igual que la tensión de línea
- Se producen caídas de tensión peligrosas en el suelo en las proximidades del punto de falla.
- Elevación brusca del potencial del punto neutro con las consecuentes sobretensiones transitorias en el caso de fallas intermitentes.

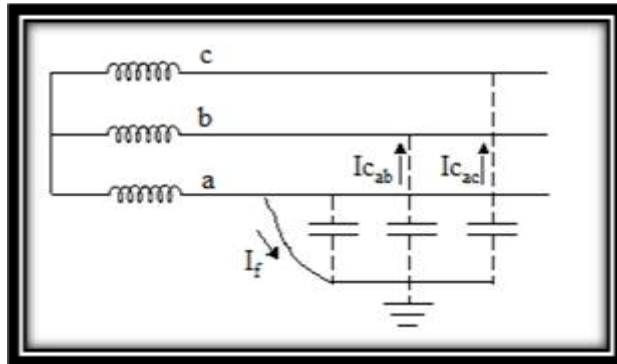


Figura #13. Sistema trifásico de una red eléctrica presentando una falla monofásica

2. Sobretensión debido a una falla a tierra intermitente:

En el caso de fallas intermitentes a tierra se pueden producir sobretensiones de hasta 5 - 6 veces la tensión nominal del sistema. Un sistema con el neutro aislado operando bajo condiciones normales mantiene su punto neutro al potencial de tierra, sin embargo, al presentarse una falla a tierra en algunas de las fases de la red eléctrica la tensión de esta se desplaza al punto neutro del sistema, por lo que la tensión en esa línea es igual a cero (0). De no establecerse un contacto sólido en la falla al pasar la corriente por cero la misma se extingue, manteniéndose el punto neutro al potencial adquirido debido a la carga atrapada.

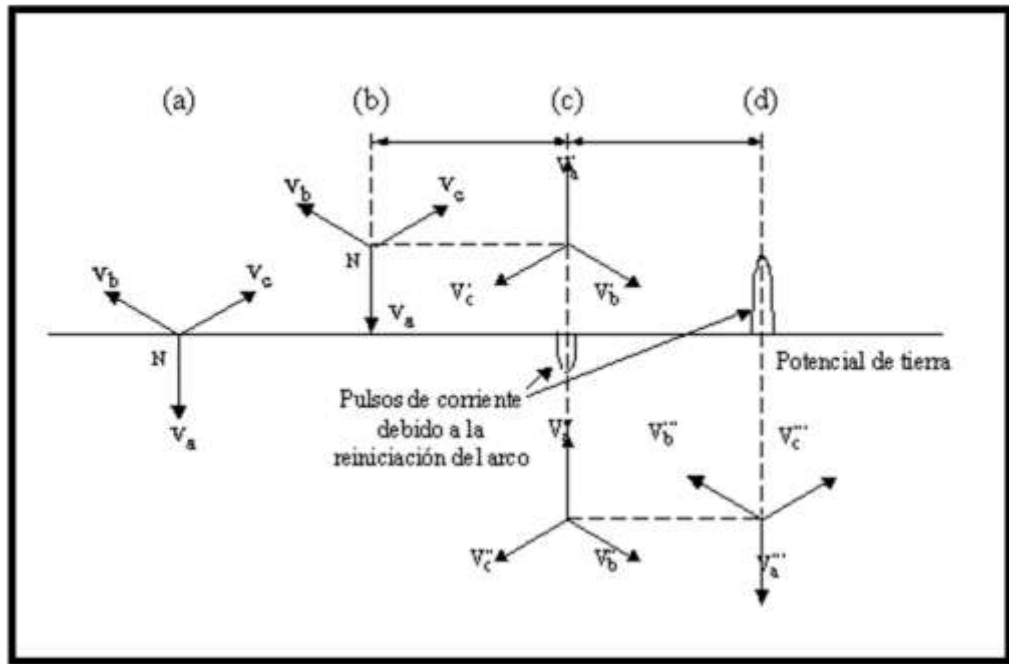


Figura #14. Falla intermitente a tierra presente en un sistema aislado.

Ferorresonancia

La ferorresonancia es un fenómeno de resonancia no lineal, es decir cuando se tiene por ejemplo una inductancia variable lo cual ocasionará que se puedan presentar varios puntos de resonancia y por ende una mayor probabilidad de ocurrencia. Este tipo de fenómeno puede afectar a las redes eléctricas puesto que provoca la presencia de armónicos anormales y sobretensiones transitorias o permanentes que ponen el peligro al material eléctrico.

La ferorresonancia puede ser iniciada por sobretensiones de origen atmosférico, conexión o desconexión de transformadores o de cargas, aparición o eliminación de defectos, trabajos bajo tensión, etc. Existe la posibilidad de transición brusca de un estado estable normal (sinusoidal a la misma frecuencia que la red) a otro estado estable ferorresonantes caracterizado por fuertes sobretensiones y por importantes tasas de armónicos peligrosas para los equipos.

Para determinar si se reúnen las tres condiciones necesarias, pero no suficientes, para la existencia de la ferorrresonancia:

1. Conexión simultánea de condensadores y bobinas de inductancia no lineal.
2. Existencia dentro de la red de al menos un punto cuyo potencial no es fijo (neutro aislado, fusión de un fusible, maniobra unipolar.
3. Componentes de la red poco cargados (transformadores de potencia o TT en vacío) o fuentes de pequeña potencia de cortocircuito (alternadores).

La ferorrresonancia se manifiesta por varios de los siguientes síntomas:

 Sobretensiones permanentes elevadas de modo diferencial (entre fases) o de modo común (entre fases y tierra)

 Desplazamiento de la tensión del punto neutro

 Calentamiento de los transformadores (en funcionamiento sin carga)

 Destrucción de materiales eléctricos por efectos térmicos o por roturas dieléctricas. Un síntoma característico de la destrucción de los TT por ferorrresonancia es que el enrollamiento primario está destruido y el secundario intacto

 Disparo de protecciones que puede parecer intempestivo

Clasificación de los regímenes ferorrresonantes

Los cuatro tipos de ferorrresonancia que se encuentran son:

1. Régimen fundamental.
2. Régimen subarmónico.

3. Régimen casi-periódico.

4. Régimen caótico.

1. Régimen fundamental

Las tensiones y corrientes son periódicas de tiempo T igual al de la red y pueden contener un variado índice de armónicos. El espectro de las señales es un espectro discontinuo formado por una fundamental f_0 de la red y sus armónicos ($2f_0$, $3f_0...$).

2. Régimen subarmónico

Las señales son periódicas de tiempo nT múltiplo del de la red. Este régimen se llama subarmónico n o armónico $1/n$. Los regímenes ferorresonantes subarmónico son generalmente de rango impar. El espectro presenta una fundamental igual a f_0/n (donde f_0 es la frecuencia de la red y n un número entero) y sus armónicos (la frecuencia fundamental de la red f_0 forma parte pues del espectro).

3. Régimen casi-periódico

Este régimen, también llamado pseudoperiódico, no es periódico. La imagen estroboscópica muestra una curva cerrada.

4. Régimen caótico

El espectro correspondiente es continuo, es decir, que no se anula para ninguna frecuencia. La imagen estroboscópica está constituida por puntos distintos todos ellos que ocupan una superficie dentro del plano v,i denominada «atracción extraña».

Una pequeña variación de alguno de los parámetros de la red o del régimen transitorio puede provocar un salto brusco entre dos regímenes estables muy distintos y desencadenar uno de los cuatro tipos de regímenes permanentes de

ferrorresonancia; los regímenes que se encuentran más a menudo son el régimen fundamental y el régimen subarmónico.

Referencias Textuales o Bibliográficas

- Buenastareas, “ensayos/Sobre-Tensiones-Por-Fallas/2151988”, [en línea], documentación de fuentes electrónicas en internet, esta página fue modificada por última sin fecha de modificación; [consulta: 14 de mayo de 2011]. Disponible en: <<http://www.buenastareas.com/ensayos/Sobre-Tensiones-Por-Fallas/2151988.html>>.
- Buenastareas, “ensayos/Ferorresonancia/986744”, [en línea], documentación de fuentes electrónicas en internet, esta página fue modificada por última sin fecha de modificación; [consulta: 14 de mayo de 2011]. Disponible en: <<http://www.buenastareas.com/ensayos/Ferorresonancia/986744.html>>.
- Compañía Electro Andina S.A.C. Octubre 10 de 2010.
<http://www.trafomix.net/pdf/LA%20FERORRESONANCIA.pdf>
- Ecamec tecnología. Octubre 10 de 2010.
<http://ecamec.com.ar/newsletter/bajarnotaa0310.pdf>
- La ferorresonancia, Cuaderno Técnico nº 190, Scheneider Electric, Philippe FERRACCI
- A Review of Ferroresonance, John Horak (Basler Electric Company), IEEE
- Sobretensiones Internas, Almirall Mesa Juan. Técnicas de alto Voltaje Ediciones EMPES, La Habana, 1984.
- Sobretensiones Externas. Almirall Mesa, Juan. Modelo Físico matemático para el estudio de la transmisión y reflexión de ondas en los sistemas eléctricos

