

INTRODUCCION AL CALCULO DE CORTOCIRCUITO

FALLAS EN INSTALACIONES Y SISTEMAS ELÉCTRICOS

El pasaje de estado de operación normal a estado de falla de los distintos componentes de un sistema eléctrico es de carácter *aleatorio*, esto significa, se estima que puede suceder una falla pero no se sabe con certeza cuando ocurrirá.

FALLAS EN ELEMENTOS

Si se piensa en la frecuencia de fallas, es decir, la cantidad de veces que un componente falla durante un período de tiempo de observación, se puede suponer que durante la vida útil de un componente esta frecuencia se mantiene constante, suponiendo la operación del componente en o por debajo de sus valores nominales (esta observación no incluye el período de “enfermedades infantiles” ni de la operación al fin de su vida útil).

TIPOS DE ESFUERZOS MECANICOS A LOS QUE ESTAN SOMETIDOS LOS ELEMENTOS DE LA RED

Sobre Esfuerzos eléctricos (fallas en la aislación de componentes como consecuencia de los campos eléctricos actuantes). Ejemplos típicos de esto son perforación de aisladores, contacto a tierra de espira de transformadores o generadores luego de la perforación de la cobertura aisladora, etc., es decir, elementos que están sometidos en forma permanente a diferencias de tensión (una cadena de aisladores está sometido en forma permanente a la tensión de fase-tierra, es decir, conductor-torre). La falla se produce cuando se supera la capacidad de aislación del componente

SOBRESFUERZO ELECTRICO

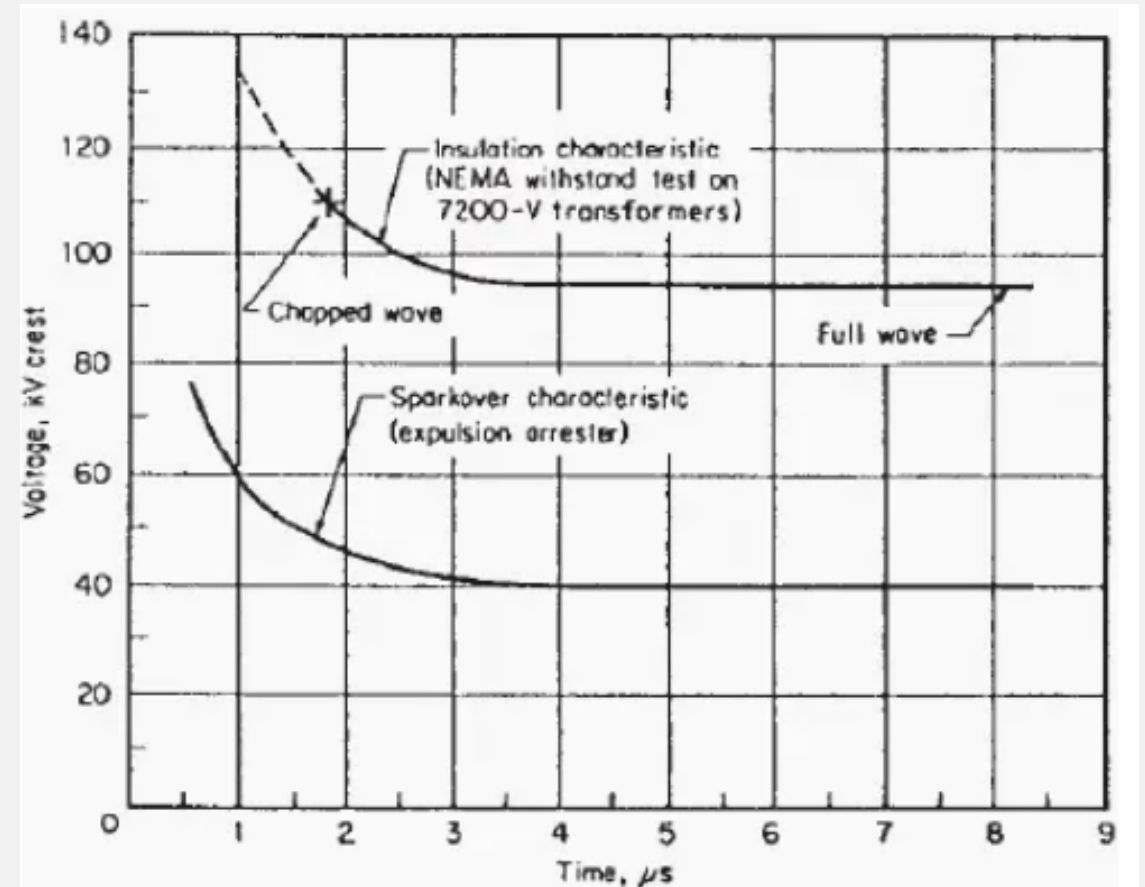
Las sobreesfuerzos eléctricos se pueden clasificar como de origen externo, por ej., sobretensiones originadas por fenómenos atmosféricos (descarga atmosférica), o internas del sistema como consecuencia de maniobras efectuadas en la red. Es entonces importante identificar aquellos casos de fallas que conducen a elevaciones de la tensión que pongan en peligro la aislación de componentes. Sobre la base del cálculo de las mismas se puede diseñar la aislación y seleccionar y ajustar las protecciones correspondientes (descargadores, relés de sobretensión, etc..)

BIL (BASIC ISULATION LEVEL)

Es el nivel básico de aislamiento y este dependerá del nivel de voltaje del elemento, es por eso que viene dado en voltios. Lo que el fabricante hace es someter al aislador al voltaje de impulso tipo rayo, esto de acuerdo a las normativas vigentes; y el valor del voltaje que soporta el aislador antes de que exista disrupción por el, es el voltaje que esta en la placa de los datos del equipo, es decir el kV BIL.

BIL (BASIC ISULATION LEVEL)

Los niveles de aislamiento están diseñados para soportar sobretensiones, en lugar de solo tensiones normales de funcionamiento. Dado que las líneas y equipos de aislamiento están protegidos por pararrayos que drenen las oleadas rápidamente antes de que el aislamiento este dañado, el descargador debe operar por debajo del nivel de aislamiento mínimo que debe soportar las sobretensiones.



BIL (BASIC ISULATION LEVEL)

Los valores de aislamiento por encima de este nivel para las líneas y equipos en el sistema deberán estar coordinados que los dispositivos de protección específicos operan satisfactoriamente por debajo de este nivel mínimo.

En el diseño de líneas y equipos teniendo en cuenta el nivel mínimo de aislamiento requerido, es necesario definir de picos de tensión en términos de su valor máximo y volver a los valores mas bajos en términos de tiempo o duración. Aunque la tensión pico puede ser considerablemente al alto que el voltaje normal, la tensión en el aislamiento puede existir sólo durante un periodo muy corto de tiempo.

SOBRESFUERZO TERMICO

Cada elemento tiene una determinada capacidad máxima de disipar calor como energía térmica dada normalmente por la relación $I_{\max}^2 * R$ siendo R la resistencia del elemento e $I_{\max}$ la corriente máxima admisible del elemento; hasta este valor de corriente transportada, el elemento es capaz de mantener el equilibrio térmico. Si se sobrepasa tal corriente, el elemento no es capaz de liberar la energía sobrante y comienza a elevar su temperatura; si se sigue aumentando la corriente se romperá la constitución química del elemento hasta su destrucción.

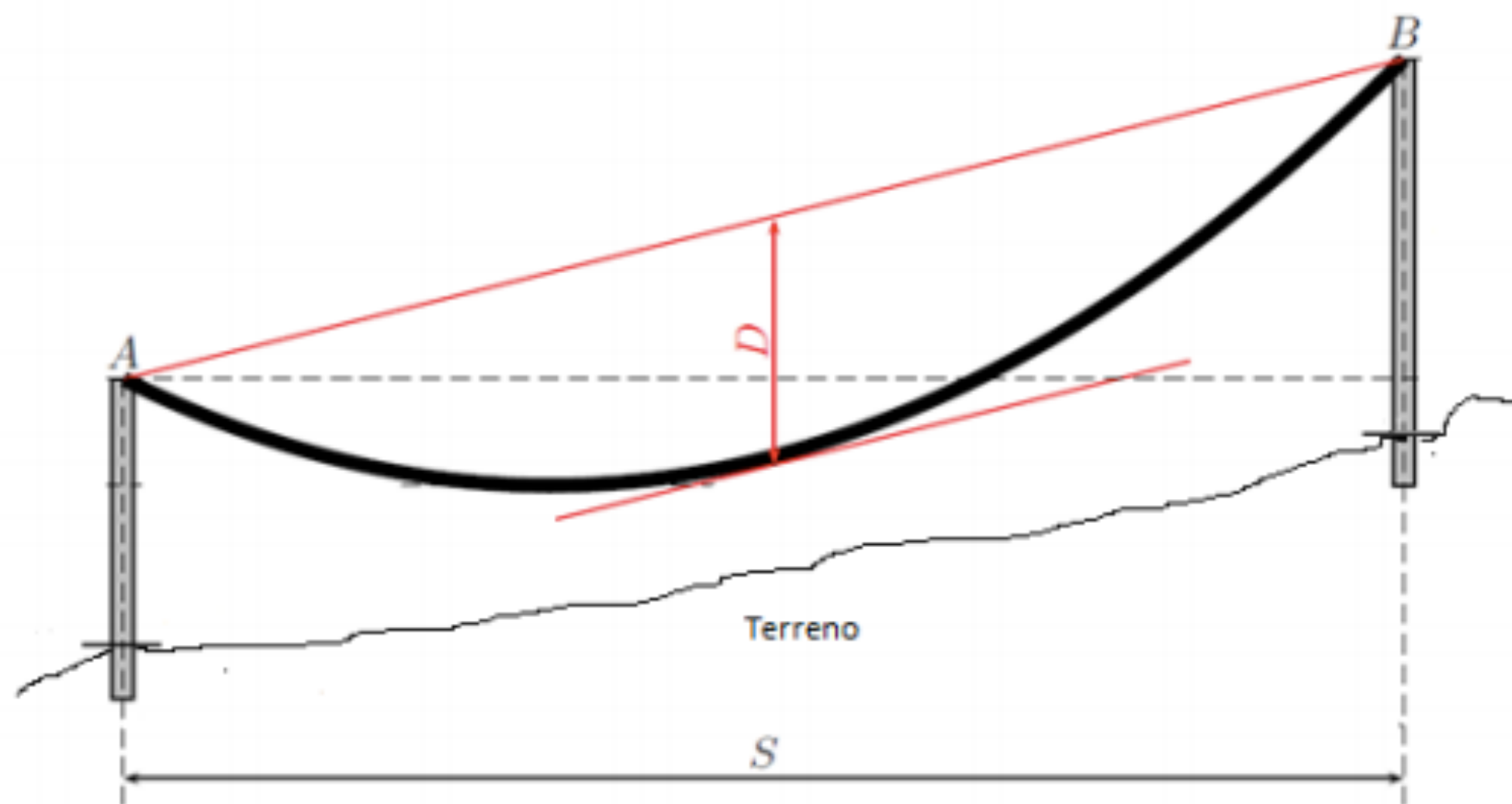
SOBRESFUERZO TERMICO

Los ciclos térmicos producen dos consecuencias importantes sobre el conductor de una línea de transmisión:

- Cuando aumenta la temperatura del conductor que está soportado en dos apoyos, en él se presenta un alargamiento de su longitud que implica un aumento en el desplazamiento vertical (Flecha D) y que puede ocasionar el no cumplimiento de las distancias mínimas de seguridad; las tensiones mecánicas a la que se ve sometido el conductor también influyen en la forma que tomará el conductor.

SOBRESFUERZO TERMICO

- La relación entre temperatura y flecha se ejemplifica en la Figura, en donde se aprecia que a menor temperatura del conductor éste presenta una elongación menor, pero a medida que va aumentando la temperatura la flecha del conductor también aumenta. Para el caso en el que el conductor se encuentra a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, la distancia mínima de seguridad no se cumple en todos los puntos del vano.

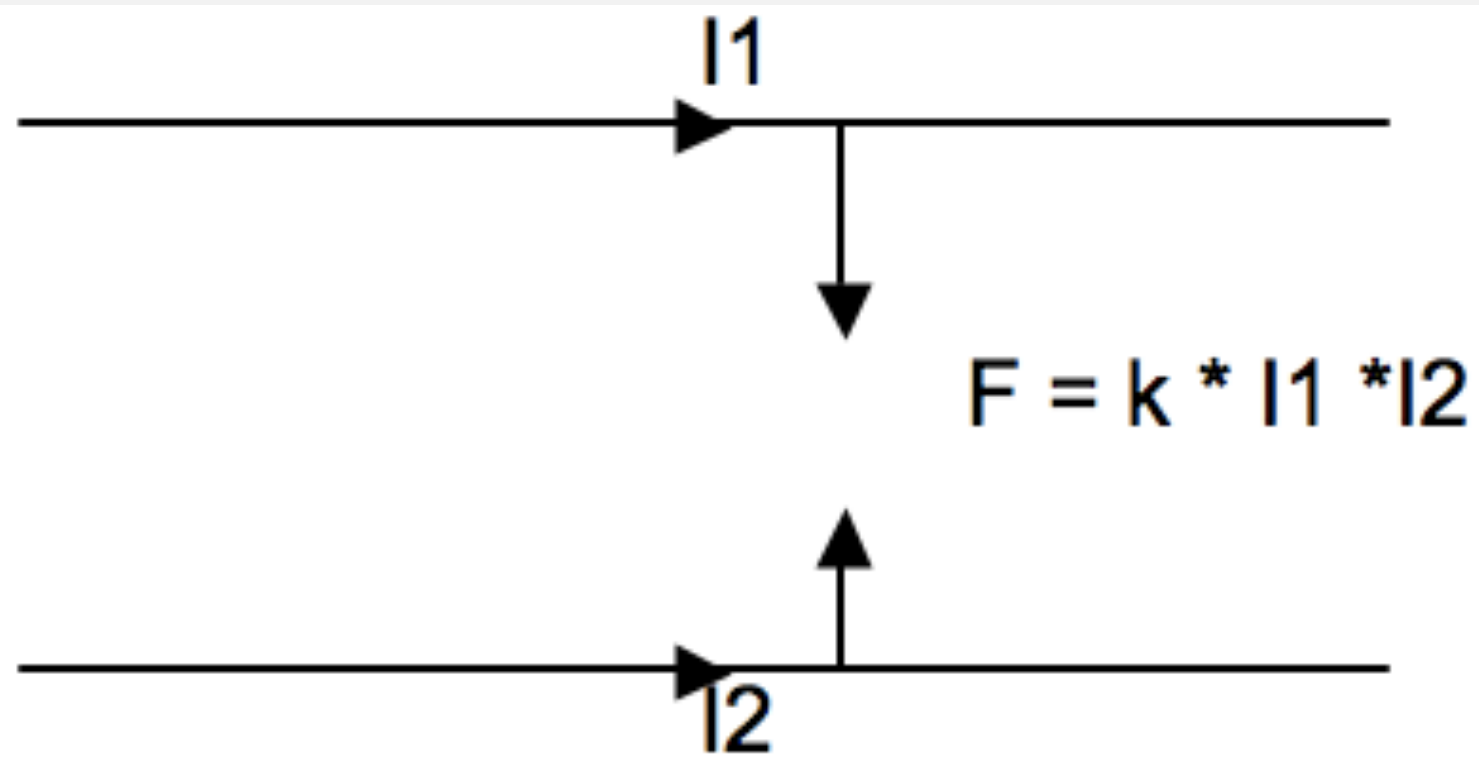


SOBRESFUERZO MECANICO

Es la tracción, compresión, impacto como consecuencia de fuerzas que se originan en condiciones normales y anormales de operación:

Origen externo. En operación normal, son ejemplos la tensión de tendido de líneas aéreas, peso de conductores que solicitan a las cadenas de aisladores, etc..

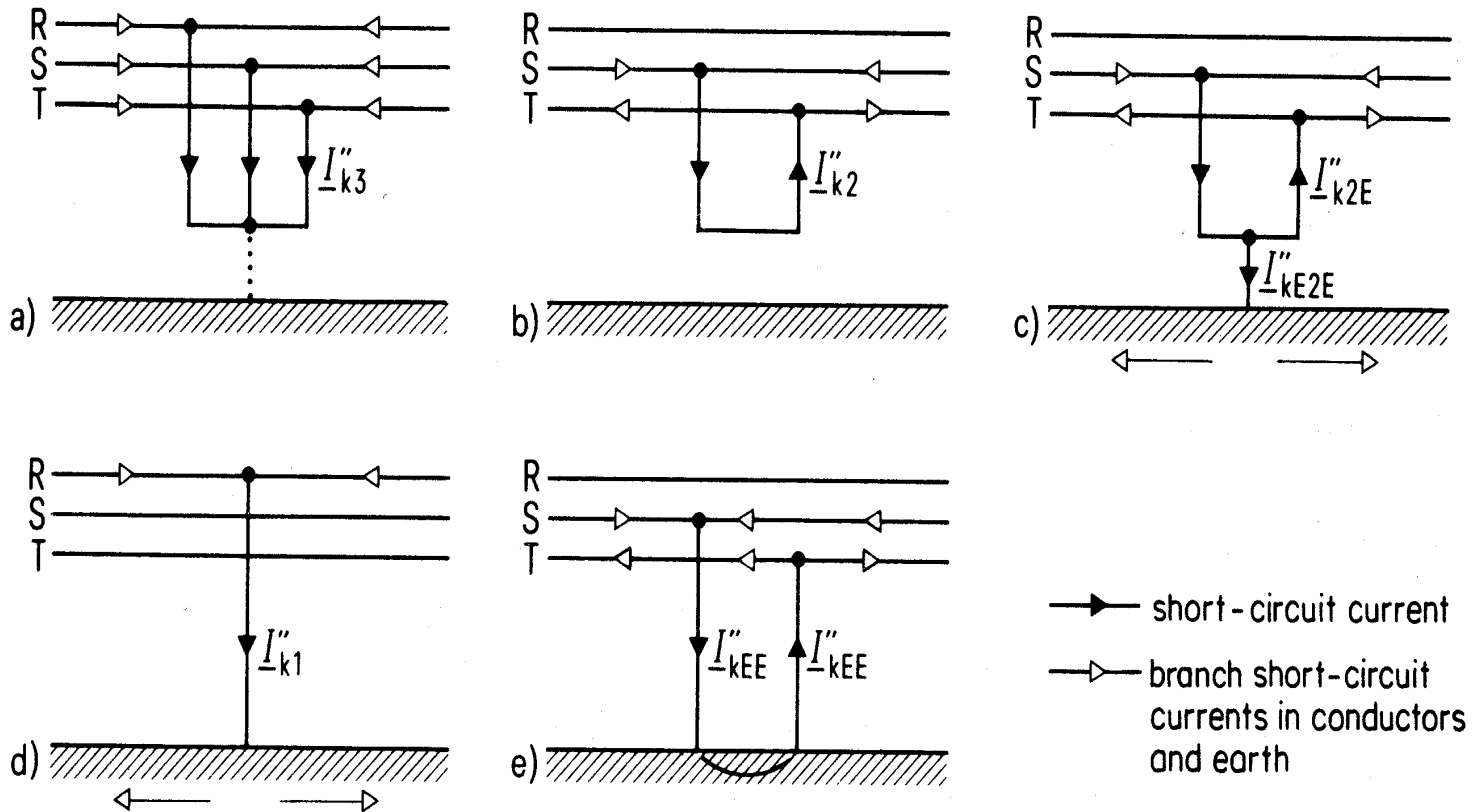
Origen interno. Entre dos conductores cercanos que transportan corriente se establece una fuerza de atracción o de repulsión (dependiendo del sentido de las corrientes) como se muestra en la figura:





Si suponemos que cada conductor transporta su corriente nominal I_n , la fuerza será $F = k \cdot I_n^2$; luego todos los soportes de sujeción deben estar calculados para soportar estas fuerzas de operación normal. Cuando se producen cortocircuitos en el sistema (estado anormal), las corrientes de falla son normalmente muy elevadas (caso típico $10 I_n$ o más); por lo tanto la fuerza entre conductores crecerá a valores proporcionales a $100 I_n$ o más. (crecen en proporción al cuadrado de la corriente). Ejemplo típico de este fenómeno se ve en la deformación que sufren las espiras de un transformador mal calculado mecánicamente luego de un cortocircuito. Luego resulta indispensable calcular en cada caso la máxima corriente de cortocircuito que tendrá lugar en caso de falla.

TIPOS DE CORTOCIRCUITO



- a) Cortocircuito trifásico
- b) Cortocircuito bifásico sin contacto a tierra
- c) Cortocircuito bifásico con contacto a tierra
- d) Cortocircuito monofásico Falla doble a tierra

CORTOCIRCUITO TRIFASICO

Puede ser con o sin contacto a tierra. Las tres fases tienen potencial cero en el punto de falla y los tres conductores están simétricamente cargados por corrientes equilibradas. La frecuencia de ocurrencia de este tipo de falla es de muy baja ocurrencia (alrededor de 4% del total de fallas) y se deben normalmente a:

- a) Conexión de una línea que ha estado en mantenimiento y a la cual no se le ha retirado las cadenas de seguridad.
- b) Caída de torres de sujeción debido a tormentas que provocan el contacto entre las tres fases.
- c) Encadenamiento intencional de las tres fases (redes de menor tensión).

CORTOCIRCUITO BIPOLAR SIN Y CON CONTACTO A TIERRA

Las corrientes de cortocircuito para estos tipos de falla son en general menores que las correspondientes trifásicas excepto cuando la falla se produce en las cercanías de máquinas sincrónicas y asíncronas de potencia significativa. Su frecuencia de ocurrencia oscila entre 8% a 10% del total de fallas.

CORTOCIRCUITO BIPOLAR SIN Y CON CONTACTO A TIERRA

Las fallas bifásicas aisladas se deben en general a:

- a) Desprendimiento de una fase de la torre de sujeción
- b) Caída accidental de herramientas de trabajo en tareas de mantenimiento o reparación en centrales o estaciones.
- c) Encadenamiento intencional de dos fases (redes de menor tensión).

CORTOCIRCUITO BIPOLAR SIN Y CON CONTACTO A TIERRA

Las fallas bifásicas con contacto a tierra se deben en general a:

- a) Caída de torres de sujeción.
- b) Como evolución de una falla monofásica. Esta última provoca por lo general una elevación de la tensión en las fases sin falla y como consecuencia de ello podría haber una perforación de un aislador de las mismas.

CORTOCIRCUITO MONOFÁSICO

Es el de mayor frecuencia de ocurrencia (85% a 90% del total de fallas). La corriente de falla a tierra en sistemas con baja impedancia del neutro respecto de tierra puede exceder significativamente a las correspondientes trifásicas.

Las fallas monofásicas se deben en general a:

- a) Fallas en la aislación de componentes y contacto del conductor con las partes metálicas (cadena de aisladores de líneas, aislación de espiras de transformadores y generadores, etc..).

CORTOCIRCUITO MONOFÁSICO

- a) Desprendimiento de una fase a tierra en líneas aéreas.
- b) Descarga de contorno entre una fase y la torre de sujeción a través de un aislador provocado por su suciedad y/o humedad debida a lluvias.
- c) Descargas atmosféricas que provocan una pronunciada elevación de la tensión y por como consecuencia una perforación de la aislación.
- d) Descargas accidentales a través de operadores que cumplen tareas de reparación o mantenimiento.

CALCULO DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO

Las magnitudes que interesa calcular en los estudios de cortocircuito teniendo en cuenta la Norma VDE 0102 son:

I''_k : Corriente alterna inicial de cortocircuito

I_k : Corriente permanente de cortocircuito

I_s : Corriente de choque

I_a : Corriente de apertura o desconexión

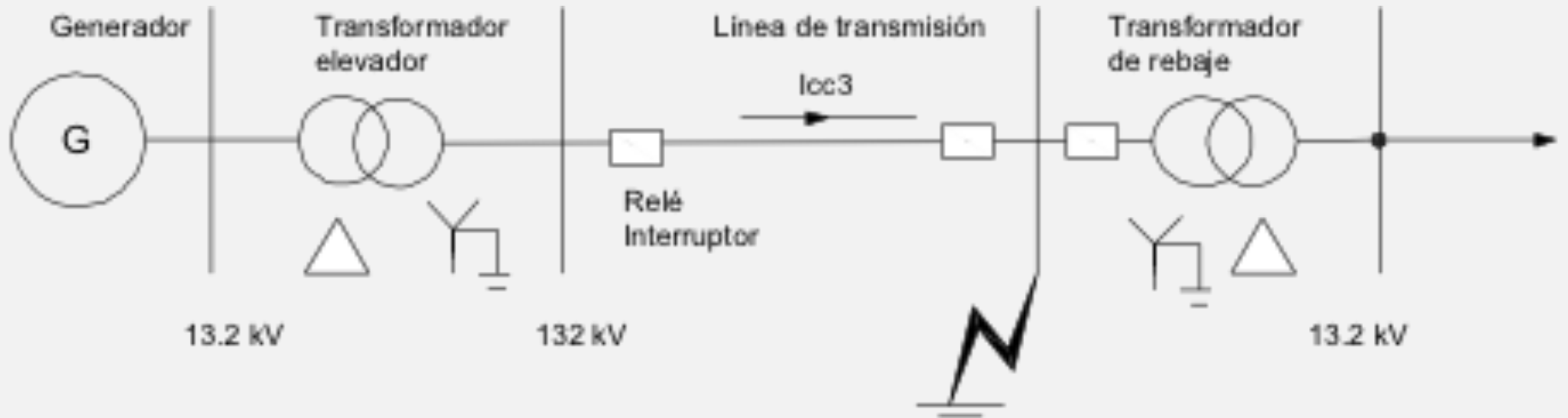
Los conceptos referidos a la definición de estas corrientes, se ven en el próximo punto. Como se observará, los tipos de falla más importantes a tener en cuenta son las fallas trifásicas y las monofásicas; por lo tanto, los dos puntos siguientes serán dedicados a analizar estos dos tipos de cortocircuitos.

CONCEPTOS DEL CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO

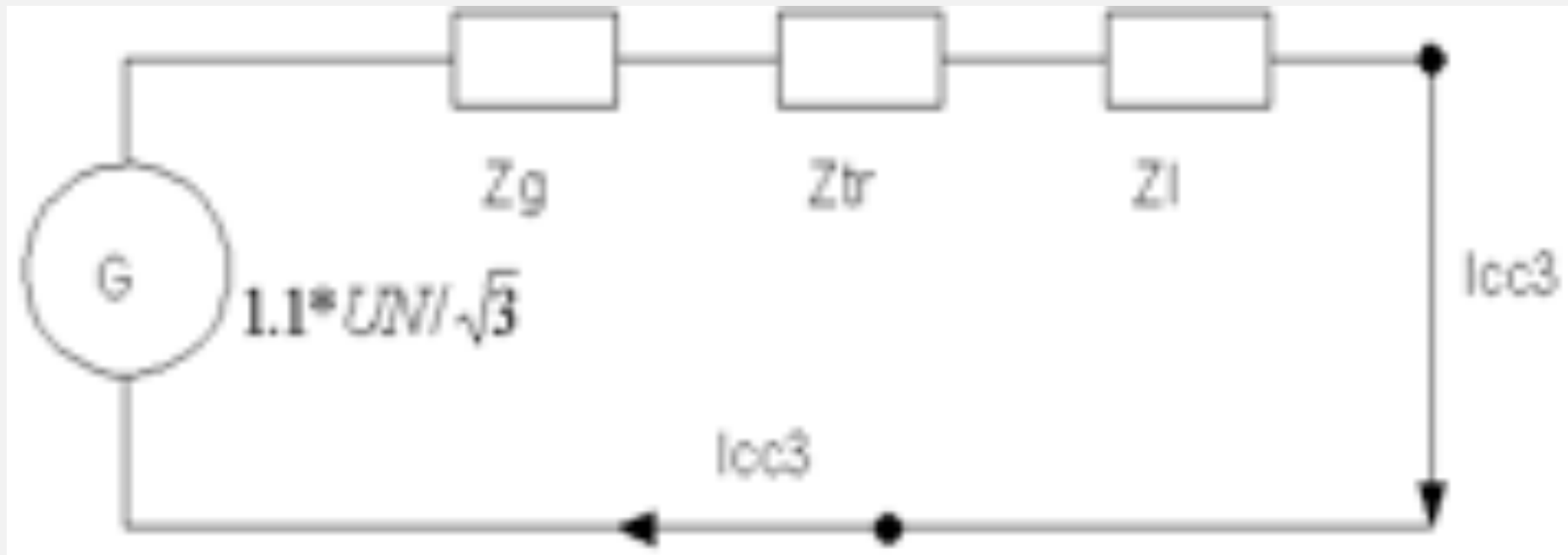
Como se acotó anteriormente, el cortocircuito trifásico es el único cortocircuito simétrico, y por tratarse de una red equilibrada su análisis se puede realizar utilizando un esquema unifilar, tomando cualquiera de las fases A,B O C

Este tipo de falla es normalmente la más grave que se puede esperar; solo bajo ciertas condiciones que se verán posteriormente, las corrientes de falla monofásica pueden superar a las trifásicas.

CONCEPTOS DEL CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO



CONCEPTOS DEL CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO



CONCEPTOS DEL CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO

La impedancia total Z_{total} , por ser un circuito en serie, será la suma de las impedancias (normalmente las resistencias de los generadores y transformadores son despreciadas en los cálculos, no así las de las líneas):

$$Z_{total} = Z_g + Z_{tr} + Z_l = (R_g + R_{tr} + R_l) + j (X_g + X_{tr} + X_l)$$

CONCEPTOS DEL CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO

El cálculo exacto del estado post-falla (posterior a la falla) del sistema implica la superposición de dos estados:

Estado post-falla = Estado pre-falla (calculado por un flujo de carga normal) + **Cambios en las corrientes y tensiones** producidas por la falla

CONCEPTOS DEL CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO

Para evitar calcular el estado pre-falla, el mismo se tiene en cuenta en forma indirecta considerando al sistema en vacío en el estado pre-falla y la tensión en todas las barras del sistema igual a 1.1 p.u. o 110% de la tensión de fase y se calcula directamente con el circuito mostrado en la fig. 1.5; esta es una de las hipótesis simplificativas que realiza la Norma VDE 0102 para el cálculo, demostrando que los resultados obtenidos son muy parecidos a los exactos y del lado seguro; con esto se evita el cálculo de los flujos de carga por el sistema. Luego, aplicando la ley de Ohm $I = U/Z$ se puede obtener la corriente de cortocircuito en forma sencilla como sigue:

$$I_{cc3} = \frac{1.1 * U_N}{\sqrt{3} * Z_{total}}$$

CONCEPTOS DEL CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO

Tanto las resistencias como las reactancias de los componentes utilizadas para el cálculo son las respectivas de *secuencia positiva* (consultar capítulo 1.3.2.1) datos que son brindados por los fabricantes. Por lo tanto, el Z_{total} equivalente de la barra fallada es el equivalente de secuencia positiva Z_1 . Cabe acotar que todas las impedancias que intervienen en el cálculo deben ser referidas al nivel de tensión del punto donde se produce la falla, en este caso a $U_N = 13.2 \text{ kV}$.

CORRIENTE INICIAL DE CORTOCIRCUITO I''_K

La corriente inicial de cortocircuito se define como el valor eficaz inicial que toma la corriente de cortocircuito en el momento que se produce la falla (fig. 1.6a). La misma se puede calcular, para el caso de cortocircuito trifásico, reemplazando en Z_{total} de la fórmula (1.2) a X_g por X'' la cual se denomina reactancia subtransitoria del generador, y es la reactancia interna que presenta el mismo en el instante que se produce la falla.

CORRIENTE INICIAL DE CORTOCIRCUITO I''_K

El valor de esta es bastante menor que la reactancia de la máquina en operación normal. El valor de X'' es suministrado por el fabricante del generador. Luego se define como potencia inicial de cortocircuito:

$$S''_K = \sqrt{3} * I''_K * U_N$$

CORRIENTE INICIAL DE CORTOCIRCUITO I''_K

Aclaración: Las máquinas rotantes del sistema eléctrico, generadores, motores sincrónicos o asíncrónicos, etc., presentan, ante la ocurrencia de un cortocircuito una reactancia variable en el tiempo. Debido a fenómenos transitorios electromagnéticos dentro de la máquina, al inicio de la falla la máquina presenta la reactancia subtransitoria X'' (aprox. 15% de la reactancia en operación normal) y su presencia se debe exclusivamente a la jaula de amortiguamiento instalada en el rotor

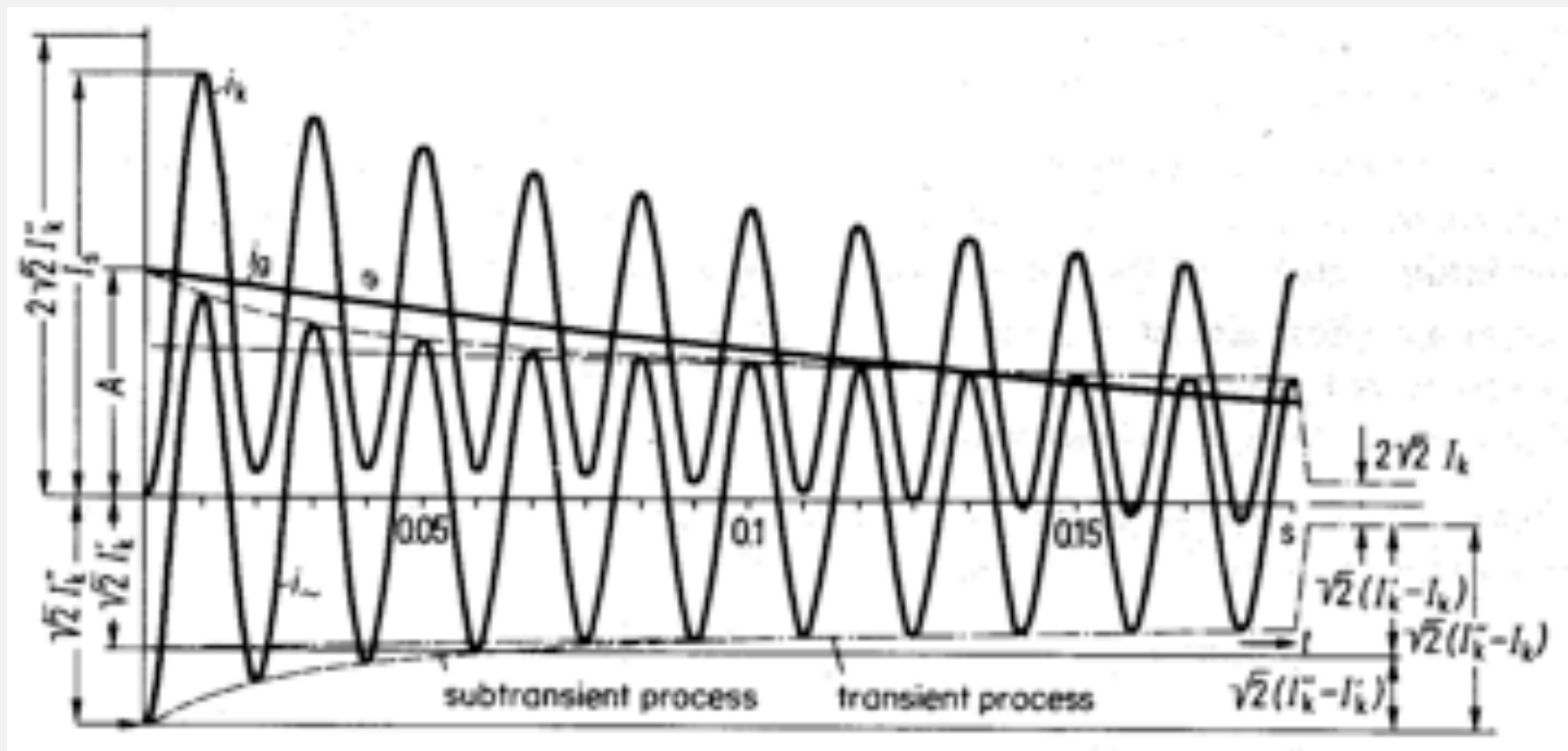
CORRIENTE INICIAL DE CORTOCIRCUITO I''_K

Luego de uno o dos ciclos y medio (aprox. 50 ms) presenta la reactancia transitoria X' (aprox. entre el 40% y 50% de la reactancia en operación normal), cuya presencia y duración se debe exclusivamente a los arrollamientos de excitación, y finalmente, luego de aprox. 10 ciclos (200 ms) la máquina presenta nuevamente su reactancia de operación normal X_d . Los componentes estáticos (no tienen elementos rotantes) de la red, trafos, líneas, reactores, etc., no presentan estas variaciones de la impedancia durante los fenómenos transitorios.

CORRIENTE DE CHOQUE I_s

La corriente de choque es el valor instantáneo del primer máximo que alcanza la corriente de cortocircuito luego de que se produce la falla (fig. 1.6a). Como se trata del máximo valor posible instantáneo que alcanzará la corriente de cortocircuito luego de producirse la falla, en ese instante estarán presentes los *máximos esfuerzos mecánicos*, proporcionales al cuadrado de esta corriente según se vio en el punto 1.1.

CORRIENTE DE CHOQUE I_s

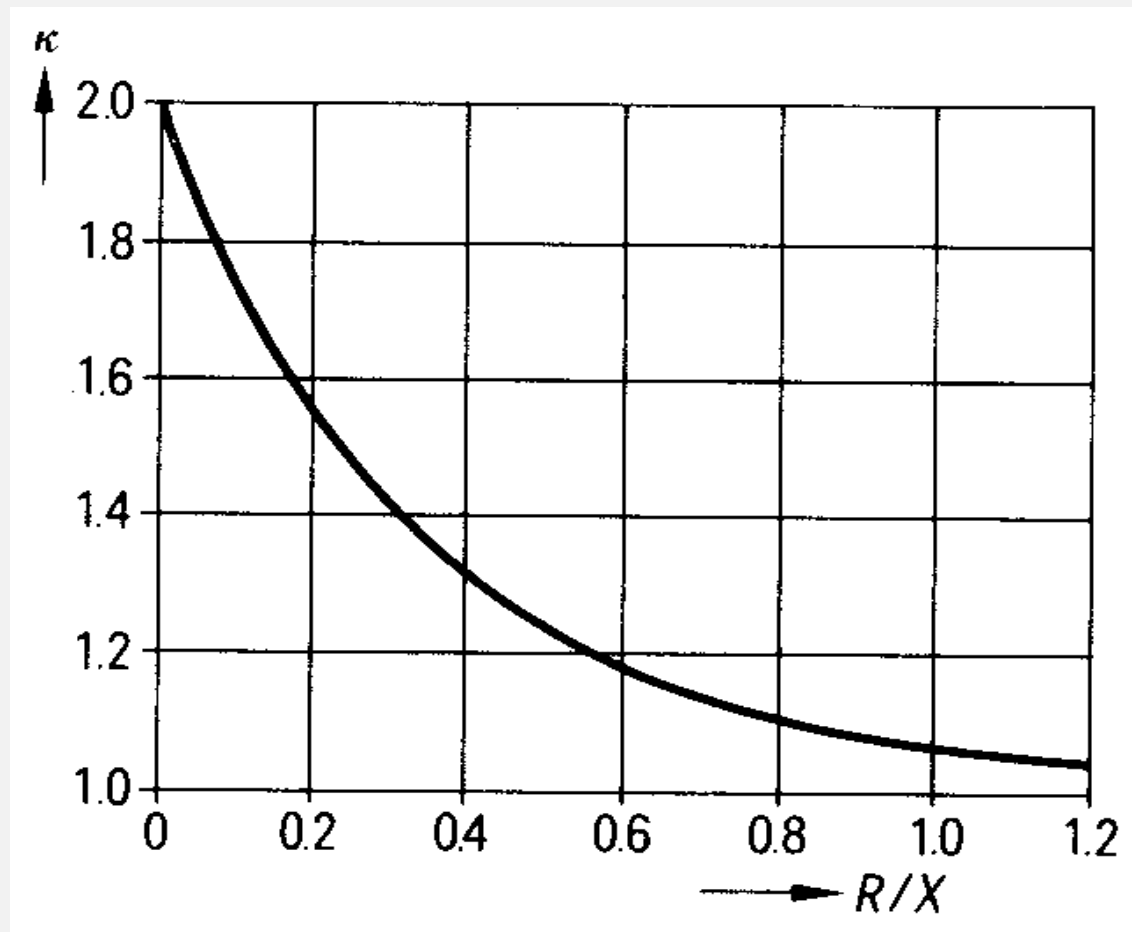


CORRIENTE DE CHOQUE I_s

Por lo tanto, I_s resulta un parámetro fundamental de diseño mecánico de los componentes de un sistema eléctrico. La corriente I_s se calcula a partir de la I''_k como:

$$I_s = \chi * \sqrt{2} * I''_K$$

CORRIENTE DE CHOQUE I_s



Curva para la determinación del factor χ

CORRIENTE DE CHOQUE I_s

Donde χ se denomina factor de choque y es función de la relación R_k / X_k de la impedancia equivalente del sistema desde el punto de falla; cuando no se conoce exactamente la relación R_k / X_k , la norma VDE0102 recomienda tomar como 1.8 para redes de alta tensión y 1.6 para redes de subtransmisión y distribución en media tensión.

CORRIENTE DE APERTURA I_a

La corriente de apertura I_a se define como el valor eficaz de la corriente de falla en el momento que se produce la primera separación de contactos del interruptor de potencia, y se calcula a partir de I''_k como:

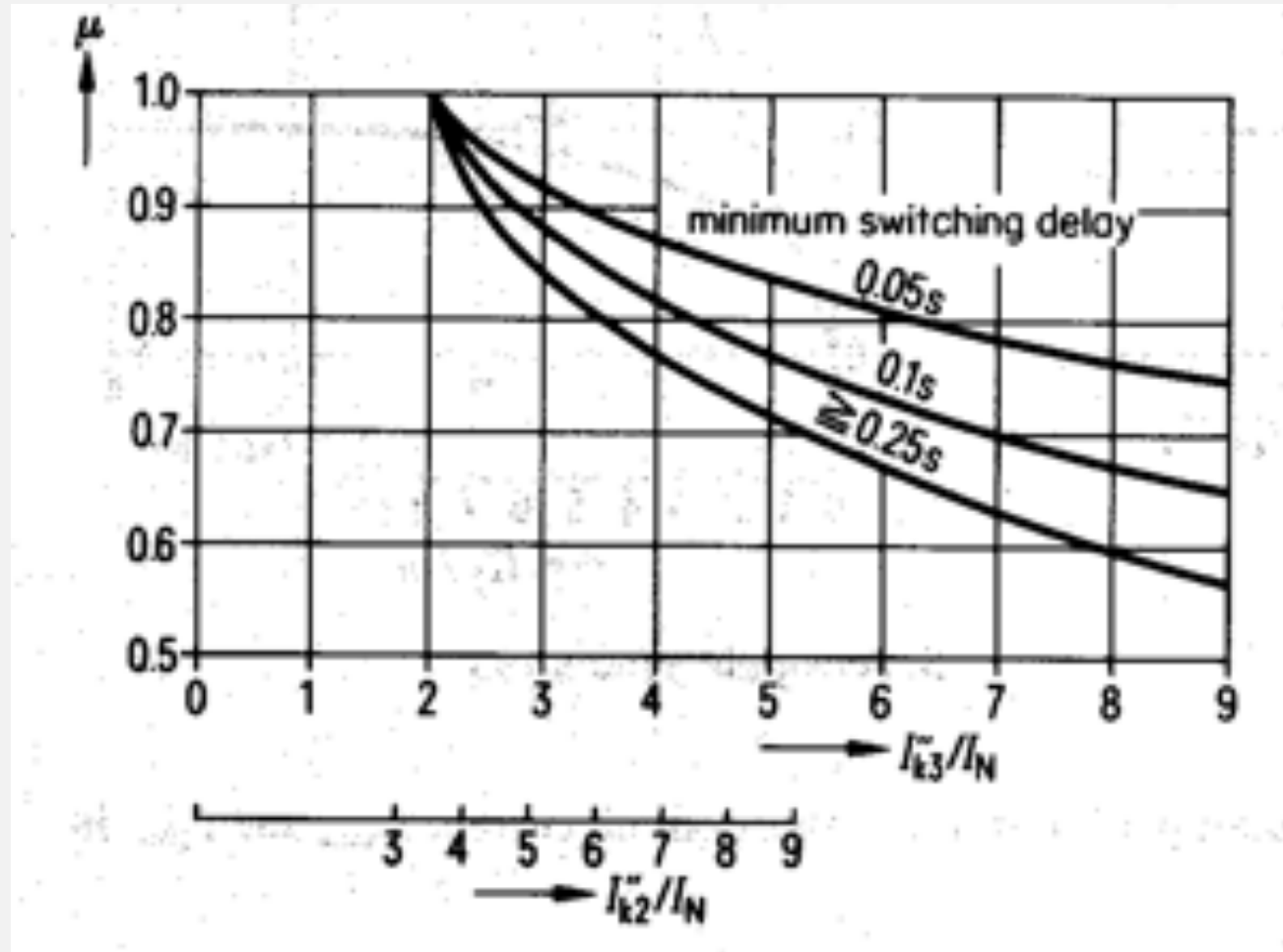
$$I_a = \mu * I''_K$$

CORRIENTE DE APERTURA I_A

Donde el factor de atenuación μ se selecciona según la norma VDE 0102, utilizando las curvas mostradas en la figura, donde debe conocerse:

- la relación I''_{k3}/I_N para cada fuente de generación de la red, donde I''_{k3} es el aporte parcial del generador i a la falla e I_N es la corriente nominal del mismo generador, y
- el retardo de temporal de desconexión de la falla, el cual incluye el tiempo del relé y el tiempo del interruptor.

CORRIENTE DE APERTURA IA



Selección del factor μ para el cálculo de la corriente de apertura

CORRIENTE DE APERTURA IA

Procedimiento de cálculo:

- a) Se calcula la corriente inicial de falla I''_k total en el punto de falla, aplicando la ecuación, y se calculan luego los aportes parciales I''_{k3i} de cada fuente de generación, tal que se cumpla que:

$$I''_K = \sum_{1}^{nro-fuentes} I''_{k3i}$$

b) Conociendo las corrientes nominales I_{Ni} de cada fuente de generación, se puede calcular cada relación I''_{k3i} / I_{Ni}

c) Para cada fuente de generación i , se ingresa por el eje de las abscisas con el valor de la relación I''_{k3i} / I_{Ni} hasta cortar la curva seleccionada según el retardo mínimo de desconexión del sistema de protección que debe despejar la falla (los valores disponibles son 50 ms, 150 ms y mayor o igual a 250 ms), y luego se obtiene directamente, en el eje de las ordenadas, el valor del factor de atenuación μ_i de la corriente que aporta tal generador del generador. Si el valor real del retardo mínimo de desconexión cae dentro de algún rango, se elige el valor inmediato inferior; por ej., si el valor real es 75 ms se selecciona 50 ms.

CORRIENTE DE APERTURA I_a

d) Una vez obtenidos los factores μ_i de todas las fuentes de generación se calcula luego la corriente de apertura como:

$$I_a = \sum \mu_i * I''_{k3i}$$

CORRIENTE DE APERTURA I_a

Una vez calculada la corriente I_a se calcula la potencia de apertura como

$$S_a = \sqrt{3} * I_a * U_N$$

Con el valor de S_a calculado se puede verificar si el mismo supera la capacidad de apertura nominal de los interruptores asociados (tarea de verificación) o seleccionar la potencia de corte para un interruptor a instalar (tarea de diseño). En el ejemplo tratado, los interruptores asociados a la barra fallada podrían ser verificados siguiendo los pasos descriptos.

CORRIENTE DE APERTURA I_a

El gráfico de la figura del factor μ es válido para fallas trifásicas y bifásicas aisladas (marcada con otra escala en el eje de las abscisas). Las fallas con contacto a tierra se consideran muy poco atenuadas, y, por lo tanto, en todos los casos los μ_i se consideran igual a 1, lo que implica que $I_a = I''_k$, independiente del retardo de desconexión de la falla. Por otro lado, para cualquier tipo de falla, con o sin contacto a tierra, los aportes de corriente de las redes equivalentes de sistemas vecinos al sistema tratado, se consideran siempre, de igual manera, sin atenuación.

CORRIENTE DE ESTADO PERMANENTE I_K

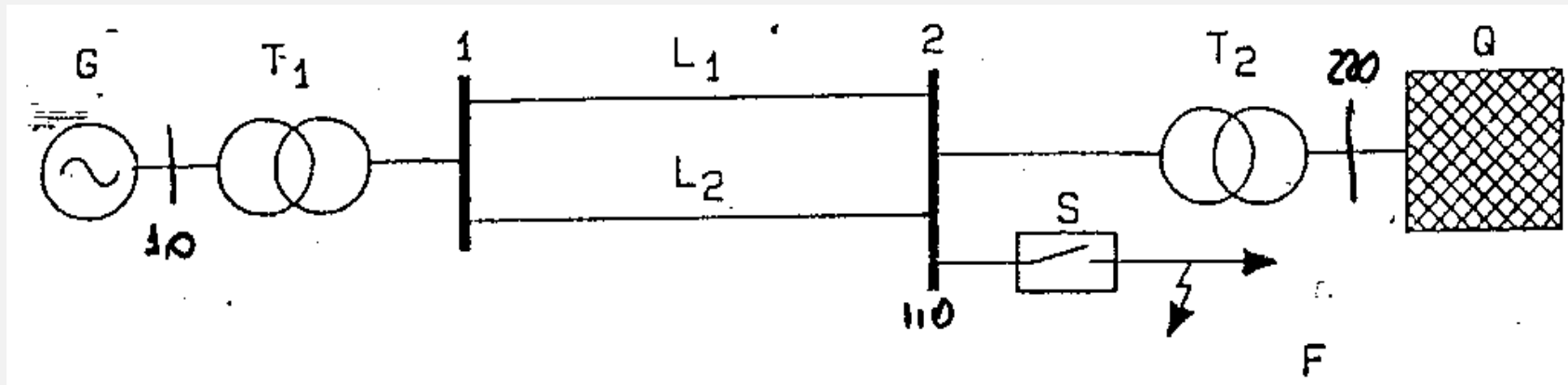
Es el valor eficaz de la corriente de cortocircuito una vez extinguidos los procesos transitorios. Como se acotó anteriormente, luego de transcurridos los procesos transitorios dentro de la máquina, la misma presenta nuevamente su reactancia de operación normal X_d . Luego, I_K puede calcularse reemplazando en Z_{total} X_g por X_d en la fórmula I_K es útil para el diseño térmico de componentes. Durante los procesos transitorios, los cuales son normalmente de muy corta duración, no existen problemas de disipación térmica en los componentes; desde luego se espera que las protecciones actúen en forma inmediata para despejar la falla.

CORRIENTE DE ESTADO PERMANENTE I_k

Si por alguna razón las protecciones no actúan, ya sea por falla del relé y/o del interruptor, el tiempo de despeje de la falla dependerá ahora de las protecciones de respaldo, normalmente temporizadas con un tiempo mayor que las protecciones principales (criterio de selectividad), al cabo del cual ya se estará nuevamente en régimen permanente con la corriente I_k . La cuestión radica en calcular o definir cual es el tiempo máximo que puede estar presente I_k en los componentes que la transportan. Esto dependerá de cada componente; el componente más débil impondrá en este sentido las limitaciones de tiempo y, por lo tanto, el ajuste de la temporización del disparo de los relés de respaldo.

EJEMPLO

Para la red de la siguiente figura calcular las corrientes de cortocircuito considerando una falla trifásica en el punto F, a la salida del interruptor S.



EJEMPLO

Datos del sistema (por razones de simplicidad se desprecian los elementos resistivos)

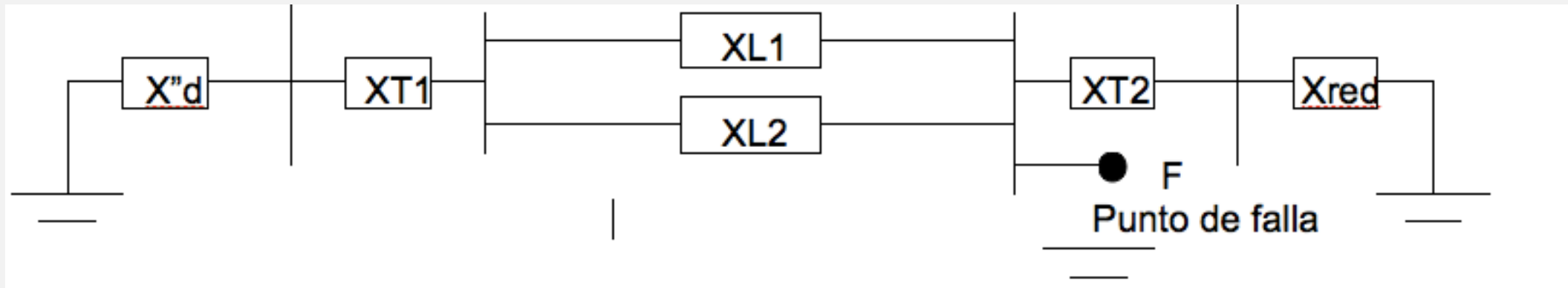
Generador G	Trafo T1	Líneas L1 y L2	Trafo T2	Red Vecina
UN = 10kV	a = 10/110 kV	L = 20kM	a = 110/220 kV	UQN = 220kV
SN = 160 MVA	SN = 160 MVA	R+= despreciable	SN = 100 MVA	Sc3 = 5500 MVA
X''d = 0.16 pu	ux = 12%	X += 0.38 Ω /kM	ux = 16%	

EJEMPLO

- Calcular la corriente I''_k y potencial inicial de cortocircuito S''_k
- Calcular las componentes del generador y de la red, de la corriente inicial I''_k
- Calcular la corriente de choque I_s en el lugar de la falla
- Calcular la corriente de apertura I_a que debe soportar el interruptor S. Suponer aquí el tiempo de desconexión de la falla (tiempo de actuación del relé + tiempo de apertura del interruptor S) es de 100 ms.

EJEMPLO

1) Construcción del circuito unifilar pasivo (sin fuentes de tensión) de la red



Tomando como referencia el nivel de tensión 110kV como tensión base V_{base} (tensión en el punto de falla), luego se puede calcular las impedancias en Ω referidos a este nivel y por lo tanto la corriente de falla resultante estará también referido a 110 kV. La fórmula a aplicar es:

$$X[\Omega]_{base\ 110kV} = \frac{X(pu) * U_{base}^2}{S_{nom}}$$

EJEMPLO

Para el generador

$$X''_d [\Omega] = 0.16 * (110)^2 / 160 \text{MVA} = 12.1 [\Omega]$$

- Para el Trafo T1

$$X_{T1} [\Omega] = 9.07 [\Omega]$$

- Para las líneas

$$X_{L1} = X_{L2} = 7.6 [\Omega] \text{ (directamente, los datos de las líneas están en base a 110kV)}$$

- Para el Trafo T2

$$X_{T2} [\Omega] = 19.36 [\Omega]$$

EJEMPLO

- Para la Red equivalente del sistema vecino

Aquí debe aplicarse la siguiente ec. que determina la reactancia equivalente de la red:

$$X_{red}[\Omega] = \frac{1.1 * U_{base}^2}{S_{cc3}}$$

Donde S_{cc3} es la potencia de cortocircuito trifásico que aporta la red vecina para una falla en la barra de interconexión de alta tensión del trafo T2. Con esto se obtiene directamente la reactancia equivalente referida a la V_{base} ; luego:

$$X_{red} [\Omega] = 1.1 (110)^2 / 5500 \text{ MVA} = 2.42 [\Omega]$$

EJERCICIO

2) Determinación de la reactancia equivalente de todo el sistema vista desde el punto F de localización de la falla

Para determinar la reactancia equivalente X_{th} (también denominada equivalente de Thevenin) entre el punto F y la barra de referencia (tierra) del circuito pasivo, se calcula en este caso el paralelo de los caminos desde el punto F hacia la izquierda hasta el generador ($X_{L1} // X_{L2} + X_{T1} + X''_d$) y hacia la derecha ($X_{T2} + X_{red}$) hasta la red vecina:

$$(X_{L1} // X_{L2} + X_{T1} + X''_d) = X_1 = (7.6/2) + 9.07 + 12.1 = 24.97 [\Omega]$$

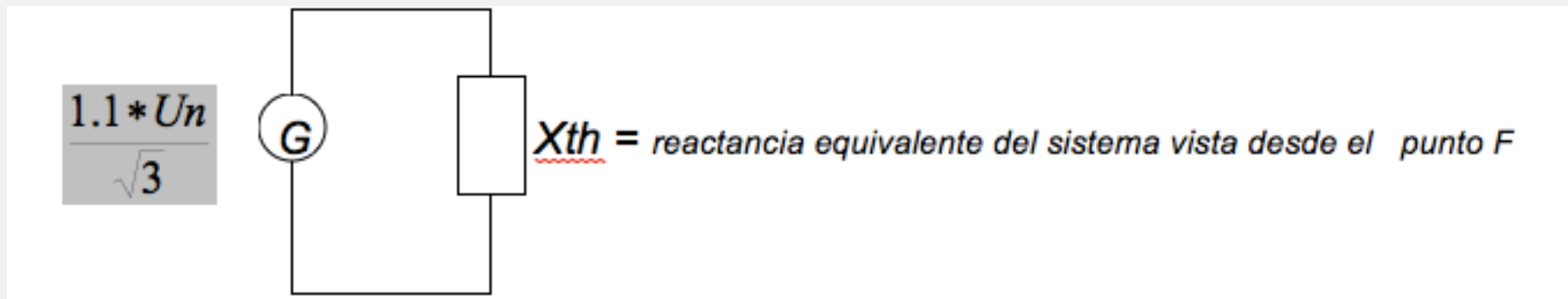
$$(X_{T2} + X_{red}) = X_2 = (19.36 + 2.42) = 21.78 [\Omega]$$

EJERCICIO

finalmente:

$$X_{th} = X1 // X2 = 11.633 \, \Omega$$

3) Circuito de cálculo:



EJEMPLO

4) Cálculo de la corriente y potencia inicial de cortocircuito I''_{kp} y S''_{kp} según el circuito de cálculo del paso anterior

$$I''_{kp} = \frac{1.1 * U_N}{\sqrt{3} * X_{th}}$$

o

$$I''_{kp} = \frac{1.1 * 110kV}{\sqrt{3} * X_{th}} = 6.0kA$$

EJEMPLO

$$S''_{kp} = I''_{kp} * UN * \sqrt{3} = 1143.15 MVA$$

5) Aportes parciales del generador y de la red equivalente vecina

- Aporte del generador

$$I''_{kpG} = \frac{1.1 * Un}{\sqrt{3} * \left(XL1 // XL2 + XT1 + X''d \right)}$$
$$= 2.8 \text{ kA}$$

EJERCICIO

- Aporte de la red vecina

$$I''_{kpQ} = \frac{1.1 * U_n}{\sqrt{3} * (X_{T2} + X_{red})}$$

$$= 3.2kA$$

EJEMPLO

6) Cálculo de la corriente de choque en el punto de falla F

Dado que no se conoce la relación R/X de la impedancia equivalente de la red desde el punto de falla, se adoptó $\chi=1.8$ como recomienda la Norma VDE 0102 para redes de alta tensión.

$$I''_s = \sqrt{2} * \chi * I''_{kp} = 15.44kA$$

EJEMPLO

7) Cálculo de la corriente de apertura que debe soportar el interruptor

Se debe seguir el procedimiento descrito anteriormente para el cálculo de la corriente de apertura.

Aporte de corriente de apertura del generador

Primero se calcula la corriente nominal del generador referida a la tensión base como:

$$I_{nomG} = \frac{S_{nomG}}{\sqrt{3} * U_{base}} = 0.839 \text{ kA}$$

EJEMPLO

Luego se calcula la relación:

$$I''_{kpG} / I_{nomG} = 3.337$$

Ingresando con este valor en el eje de las abscisas en la gráfica de la fig. 1.7 hasta la curva de 100 ms se obtiene un valor de $\mu G = 0.87$ aproximadamente. Por lo tanto la corriente de apertura aportada por el generador será:

$$I_{aG} = \mu G * I''_{kpG} = 0.87 * 2.8 \text{ kA} = 2.436 \text{ kA}$$

EJEMPLO

Aporte de corriente de apertura de la red vecina

Anteriormente se acotó que los aportes de corriente de falla de las redes vecinas se consideraban no atenuadas, por lo tanto $\mu_Q = 1$ y por lo tanto:

$$I_{aQ} = \mu_Q * I''_{kpQ} = 1. * 3.2 = 3.2 \text{ kA}$$

Corriente de apertura total en el punto de falla

$$I_a = I_{aG} + I_{aQ} = 5.636 \text{ kA}$$

