

# **SISTEMAS DE PROTECCION**

**DISEÑO Y COORDINACION DE SISTEMAS DE  
PROTECCIONES EN REDES ELECTRICAS  
DE POTENCIA, DISTRIBUCION E INDUSTRIALES**

**INTRODUCCION**

**ABRIL - JULIO 2002**



# SISTEMAS DE PROTECCION

## FINALIDAD DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION

Tres objetivos básicos:

- Proteger la vida de las personas en general cuando puedan estar expuestas a riesgos eléctricos;
- Proteger las costosas inversiones que componen el sistema eléctrico de potencia
- Limitar la duración y extensión de la condición de falla

Se logran los objetivos mediante la desconexión o interrupción de la alimentación del equipo o sistema expuesto a condiciones de falla



# SISTEMAS DE PROTECCION

## FINALIDAD DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION

El sistema de protección debe ser diseñado para garantizar la **Selectividad** y la desconexión de los equipos o partes del sistema expuestos a condición de falla en el menor tiempo posible.

La Selectividad esta asociada al hecho de que el sistema de protección solo debe desconectar las partes del sistemas afectadas por la condición de falla, dejando las no expuestas a la falla, en condiciones de operación.

Para lograr Selectividad se requiere hacer el **Ajuste** y la **Coordinación** adecuada de los dispositivos de protección



# SISTEMAS DE PROTECCION

## FINALIDAD DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION

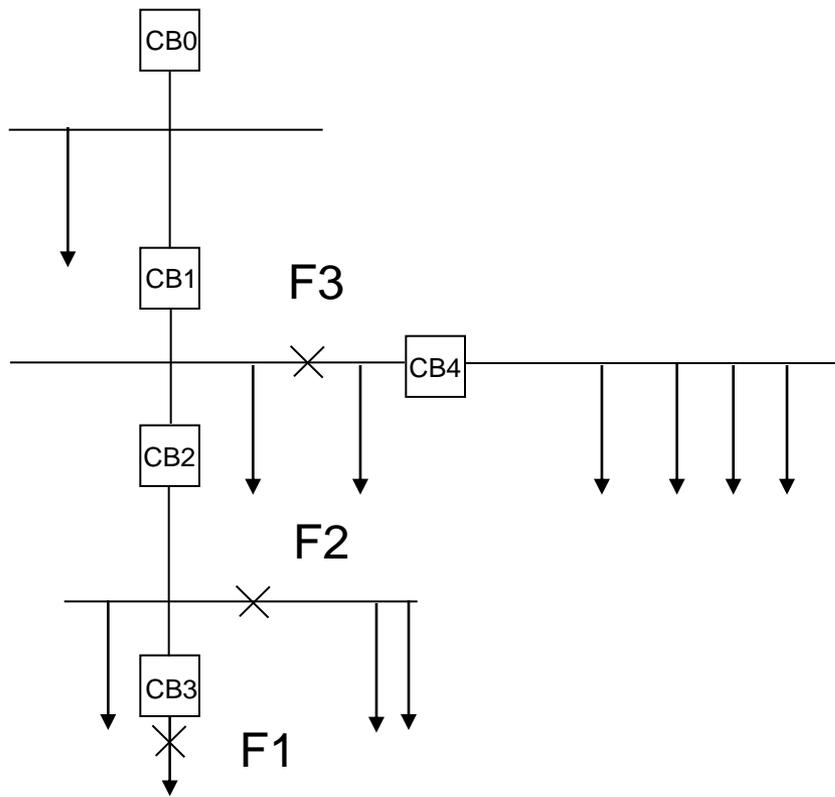
El Ajuste se refiere a la determinación de los valores de actuación del dispositivo. Los valores de actuación estarán relacionados con la corriente de falla a la que deben operar y el Tiempo en que se debe abrir el circuito fallado desde que se detecto la condición de falla en el sistema.

La Coordinación se refiere a la determinación de los retardos de tiempo que permitiría el disparo de la protección mas cerca a la falla, antes que el disparo de la protección mas alejada de la falla.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## FINALIDAD DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION



Para la falla F1 debe actuar en el menor tiempo posible CB 3 y no CB2;

Para la falla F2 debe actuar CB2 y no CB1

Para una falla F3 debe actuar CB1 y no CB0

# SISTEMAS DE PROTECCION

## DISPOSITIVOS DE PROTECCION

Los dispositivos de protección son los componentes del sistema eléctrico, encargados de detectar las condiciones de falla y ejecutar el despeje de la falla (aislar la parte afectada del sistema de la fuente de alimentación)

Las características de los dispositivos van a depender de la aplicación de los mismos en la red eléctrica y esto a su vez la forma como se realizará la coordinación de los mismos.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## DISPOSITIVOS DE PROTECCION

En general se tienen como elementos de detección y aislamiento de fallas en sistemas eléctricos los siguientes dispositivos:

- Relés;
- Interruptores de potencia para alta y media tensión;
- Fusibles para alta, media y baja tensión;
- Interruptores para baja tensión;
- Reconectores



# SISTEMAS DE PROTECCION

## DISPOSITIVOS DE PROTECCION

De los dispositivos mencionados solo los fusibles, interruptores en baja tensión y los reconectores tiene la capacidad de detectar y asilar las corrientes de falla sin requerir de elementos auxiliares.

En el caso de los Interruptores de potencia para alta y media tensión estos son solo el elemento de desconexión por lo que la acción de detección de falla debe ser dada por un elemento auxiliar que en este caso la otorga el Rele.

Los relés debido a su característica de detección y a través de los medios adecuado pueden utilizar indistintamente del nivel de tensión del sistema



# SISTEMAS DE PROTECCION

## DISPOSITIVOS DE PROTECCION

De los dispositivos mencionados solo los fusibles, interruptores en baja tensión y los reconectadores tiene la capacidad de detectar y asilar las corrientes de falla sin requerir de elementos auxiliares.

En el caso de los Interruptores de potencia para alta y media tensión estos son solo el elemento de desconexión por lo que la acción de detección de falla debe ser dada por un elemento auxiliar que en este caso la otorga el Rele.

Los relés debido a su característica de detección y a través de los medios adecuados pueden utilizarse indistintamente del nivel de tensión del sistema



# SISTEMAS DE PROTECCION

## DISPOSITIVOS DE REDUCCION

La función de los relés debe ser apoyada por dispositivos de reducción que son diseñados para ser conectados directamente al sistema eléctrico y transformar las magnitudes de voltaje y corriente a valores significativamente inferiores que son los que sirven de referencia a los relés para ejercer su función.

Los dispositivos reductores son los Transformadores de Corriente (TC) y los Transformadores de Potencial (TP). Cuando van a ser utilizados para los sistemas de protección, estos son diseñando con características de comportamiento especialmente orientadas a su aplicación



# SISTEMAS DE PROTECCION

## FALLAS EN EL SISTEMA ELECTRICO

La falla es una condición no deseada en el sistema eléctrico que generalmente esta relacionada a la perdida de aislamiento de las partes energizadas.

Las consecuencias de una falla eléctrica pueden ser diversas según su naturaleza. Las fallas pueden ir desde afectar la operación normal de un equipo producto de una sobrecarga hasta la destrucción total del equipo.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## FALLAS EN EL SISTEMA ELECTRICO

- Entra las posibles condiciones de operación anormal que se pueden presentar en un sistema eléctrico, las **sobrecargas** y los **cortocircuitos** son las mas comunes en condiciones de operación.
- La sobrecarga define una condición de operación para la cual un equipo o el sistema es utilizado mas allá de su capacidad máxima de consumo o transporte de electricidad. Los danos producidos por la sobrecarga no son instantáneos y son función del tiempo que dura la condición. Los danos variaran según la magnitud y tiempo de aplicación de la sobrecarga. Estos pueden ir desde el simple recalentamiento del equipo disminuyendo su capacidad operativa hasta el dano de aislamiento y deterioro del equipo.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## FALLAS EN EL SISTEMA ELECTRICO

- El cortocircuito es la condición de falla de mayor severidad en el sistema eléctrico ya que las magnitud de las corrientes que pasan por el equipo o el sistema son del orden de los cientos o miles de veces la capacidad nominal del equipo o sistema.
- Durante la presencia del cortocircuito se libera una gran cantidad de energía manifestada en forma de calor, capaz de causar la destrucción parcial o total de los componentes afectados.
- Por la gravedad involucrada con la presencia de corrientes de cortocircuito, especial interés se pone en el calculo de los niveles de corriente de falla en los sistemas eléctricos para de esta manera especificar las protecciones mas idóneas



# SISTEMAS DE PROTECCION

## FALLAS EN EL SISTEMA ELECTRICO

- Un dato crucial para el ingeniero de protecciones es el nivel de cortocircuito en el punto del sistema donde se desea instalar la protección, así como las corrientes de falla que pasan por el sistema.
- Para obtener estos valores se requiere realizar el “Estudio de cortocircuito del sistema de potencia”. Este estudio se hace con base a métodos de solución matemáticos que dependiendo de los tipos de falla y las características del sistema pueden ser sencillos o mas complejos de aplicar.
- Están disponibles programas computacionales que calculan los niveles de cortocircuito para sistemas grandes (mas de 200 barras) en pocos segundos.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## FALLAS EN EL SISTEMA ELECTRICO METODOS DE SOLUCION

- El método de solución mas difundido para resolver el estudio de cortocircuito es el de “Componentes simétricas”;
- El método de componente simétricas permite analizar un sistema desbalanceado de corrientes y voltaje mediante la representación equivalente del sistema bajo análisis evaluando el efecto conjunto de tres sistemas balanceados.
- Los sistemas balanceados son conocidos como redes de secuencia y sus nombres son Positiva, cero y negativa



# SISTEMAS DE PROTECCION

## TIPOS DE FALLAS EN EL SISTEMA ELECTRICO

Las fallas que representan cortocircuitos se pueden clasificar en:

- Falla Trifasica:
- Falla Monofasica:
- Falla bifásica;
- Falla bifásica a tierra.

De todas ellas la Trifasica es generalmente la de mayor severidad. Esta se caracteriza por ser “balanceada” lo que da ciertas ventajas al momento de realizar el estudio de cortocircuito.

Los otros tipos de falla son desbalanceadas.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## HERRAMIENTAS DE CALCULO SISTEMA EN POR UNIDAD

La representación del sistema de potencia de manera unifilar y con todas sus impedancias referidas a una base común y representadas en un sistema unitario ofrece varias ventajas:

- Simplificación del análisis y calculo al tener todas las impedancias referidas a una base común, permitiendo el análisis de la red independientemente de los voltajes en el sistema;
- Elimina el uso del operador  $\sqrt{3}$  de las redes trifasicas;
- Permite expresar las impedancias de los equipos de potencia en base de sus valores nominales;
- Facilita la implementacion y calculo en programas de computación.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## HERRAMIENTAS DE CALCULO SISTEMA EN POR UNIDAD

**DEFINICION:** El valor por unidad de cualquier cantidad física es la relación entre la cantidad física y una base seleccionada siguiendo algún criterio:

$$\text{Cantidad pu} = \text{Cantidad física} / \text{Cantidad base}$$

A veces se expresa en % simplemente al multiplicar Cantidad pu x 100%

En la modelación de sistemas de potencia se suele escoger valores múltiplos de 10 para la base, por ejemplo 10, 100 o 1000 para la potencia base (MVA). Por lo general en el caso de sistemas de potencia se define el Voltaje Base ( $V_b$ ) y la potencia base ( $S_b$ ) ya que a partir de estos se puede calcular la corriente base  $I_b$  y la impedancia base  $Z_b$ . En Venezuela se utiliza las base de 100 MVA para referir los parámetros eléctricos del sistema de potencia nacional.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## HERRAMIENTAS DE CALCULO SISTEMA EN POR UNIDAD

REPRESENTACION EN PU PARA SISTEMAS MONOFASICOS:

Sean  $V_b$  y  $S_b$  el voltaje y la potencia aparente base respectivamente de un sistema monofásico, entonces:

$$I_b = S_b/V_b = \text{MVA}/\text{kV}; \quad Z_b = V_b/I_b = V_b^2/S_b = \text{kV}^2/\text{MVA}$$

$$\text{Si } Z = R + jX, \quad Z_{pu} = Z/Z_b = R/Z_b + j X/Z_b$$



# SISTEMAS DE PROTECCION

## HERRAMIENTAS DE CALCULO SISTEMA EN POR UNIDAD

REPRESENTACION EN PU PARA SISTEMAS TRIFASICOS:

Se  $V_{ll}$  el voltaje base de línea,  $V_{ln}$  el voltaje base de línea neutro =  $V_{ll}/\sqrt{3}$ . Por otro lado  $S_b$  monofásica =  $S_b$  trifásica / 3. Se tiene entonces:

$$I_b = S_b \text{ trifásica} / (\sqrt{3} \times V_{ll})$$

$$Z_b = (V_{ln}) / S_b \text{ monofásica} = (V_{ll})^2 / S_b \text{ trifásica}$$



# SISTEMAS DE PROTECCION

## HERRAMIENTAS DE CALCULO SISTEMA EN POR UNIDAD

### CAMBIO DE BASE

Dado que los fabricantes de equipos dan los datos de impedancia en la base de Voltaje y Potencia del equipo, cuando se desea resolver una red donde la base seleccionada es distinta a la del equipo, se hace necesario convertir la impedancia del equipo a la nueva base. Para ello se usa la siguiente expresión:

$$Z_{pu}(n) = Z_{pu}(v) \times \left( \frac{S_b(n)}{S_b(v)} \right) \times \left( \frac{V_n(v)}{V_n(n)} \right)^2$$

Donde n = nueva base y v = base vieja (original)



# SISTEMAS DE PROTECCION

## HERRAMIENTAS DE CALCULO SISTEMA EN POR UNIDAD

Cuando las relaciones de transformación de los transformadores corresponde con los voltajes de la red la ecuación se simplifica:

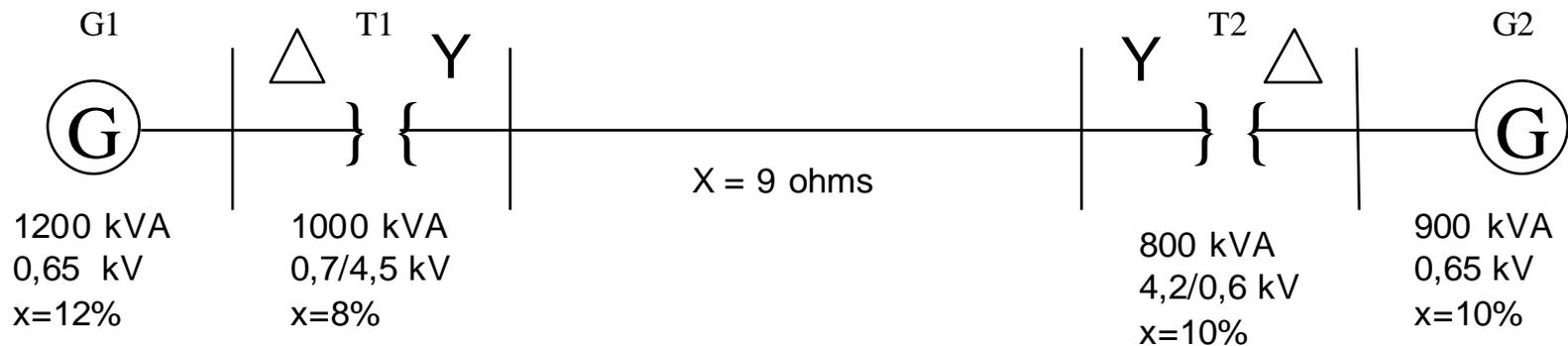
$$Z_{pu}(n) = Z_{pu}(v) \times \left( \frac{S_b(n)}{S_b(v)} \right)$$

*La impedancia en pu de un transformador es la misma sin importar donde es convertida (lado de alta o lado de baja) y sin importar la conexión del transformador.*



# SISTEMAS DE PROTECCION

## HERRAMIENTAS DE CALCULO SISTEMA EN POR UNIDAD



Se desea representar el sistema en  $S_b = 1000$  kVA y  $V_b = 650$  V



# SISTEMAS DE PROTECCION

## HERRAMIENTAS DE CALCULO SISTEMA EN POR UNIDAD

Para G1  $Z_{pu(n)} = 0.12 \times (1000/1200) \times (0.65/0.65)^2 = 0.12$

Para T1  $Z_{pu(n)} = 0.08 \times (1000/1000) \times (0.7/0.65)^2 = 0.09278$

El Voltaje base en el lado de alta del transformador es  $V_b = 0.65 \times 4.5/0.7 = 4.18$

La  $Z_b$  en el lado de alta del transformador es  $Z_b = (V_b)^2/S_b = (4.18)^2/1 \text{ MVA} = 17.45$

La  $Z_{pu}$  de la línea es  $Z_{pu} = 9/17.45 = 0.5154$

Para T2  $Z_{pu(n)} = 0.1 \times (1000/800) \times (4.2/4.18)^2 = 0.12628$

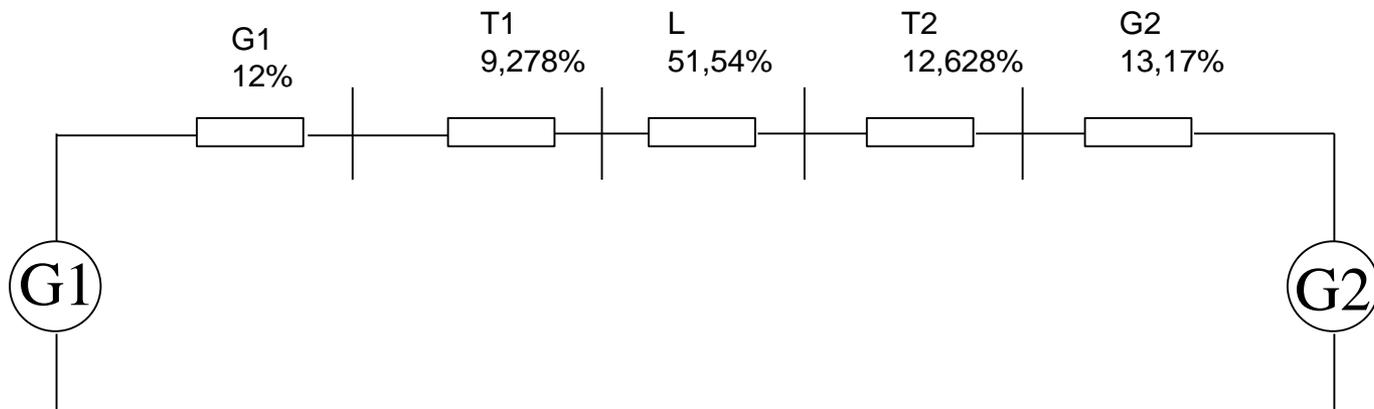
El Voltaje en el lado de baja de T2 =  $4.18 \times 0.6 / 4.2 = 596.94$

Para G2  $Z_{pu(n)} = 0.1 \times (1000/900) \times (0.6/0.59694)^2 = 0.1317$



# SISTEMAS DE PROTECCION

## HERRAMIENTAS DE CALCULO SISTEMA EN POR UNIDAD



# SISTEMAS DE PROTECCION

## HERRAMIENTAS DE CALCULO COMPONENTES SIMETRICAS

**El análisis de Sistemas de potencia en condiciones desbalanceadas de operación se hace mas sencillo cuando se llevan a una representación equivalente de redes balanceadas. Esto es muy util en el análisis de fallas desbalanceadas**

Cualquier sistema trifásico desbalanceado puede representares mediante tres sistemas balanceados de fasores conocidos como *Componentes Simétricas* (El método fue formalmente desarrollado y presentado por el Dr. Fortescue en su trabajo "Method of Symetrical Coordinates Applied to the Solution of Plyphase Networks"Trans AIEE Vol 37, pp 1027-1140, del ano 1918). Estos sistemas balanceados son el de *Secuencia Positiva*, El de *Secuencia Negativa* y el de *Secuencia Cero*.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## HERRAMIENTAS DE CALCULO COMPONENTES SIMETRICAS

### SISTEMA DE SECUENCIA POSITIVA:

Sistema balanceado de fasores con la misma secuencia de fase del sistema original. Los fasores son de igual magnitud y desfasados 120 grados entre si. Los valores de secuencia positiva se denotan con el subíndice (1).

### SISTEMA DE SECUENCIA NEGATIVA:

Sistema balanceado de fasores con la secuencia de fase opuesta a la del sistema original. Los fasores son de igual magnitud y desfasados 120 grados entre si. Los valores de secuencia negativa se denotan con el subíndice (2).

### SISTEMA DE SECUENCIA CERO:

Sistema balanceado de fasores de igual magnitud y desfasados 0 grados entre si. Los valores de secuencia cero se denotan con el subíndice (0).



# SISTEMAS DE PROTECCION

## HERRAMIENTAS DE CALCULO COMPONENTES SIMETRICAS

La suma de los fasores de secuencia para cada fase corresponderá exactamente al valor de la cantidad de fase, en otras palabras cualquier cantidad de fase se puede descomponer en las tres cantidades respectivas de secuencia.

Para facilitar la representación y los cálculos con los valores de secuencia se suele utilizar el Operador “a” que no es mas que un fasor unitario con 120 grados de fase:  $a = 1 \angle 120 \text{ grados}$ .



# SISTEMAS DE PROTECCION

## HERRAMIENTAS DE CALCULO COMPONENTES SIMETRICAS

### APLICACIÓN

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0}$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0}$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0}$$

En la secuencia positiva se cumple que  $V_{b1} = a^2 V_{a1}$  y  $V_{c1} = a V_{a1}$

En la secuencia negativa se cumple que  $V_{b2} = a V_{a2}$  y  $V_{c2} = a^2 V_{a2}$

En la secuencia cero se cumple que  $V_{a0} = V_{b0} = V_{c0}$



# SISTEMAS DE PROTECCION

## HERRAMIENTAS DE CALCULO COMPONENTES SIMETRICAS

Con estas propiedades entonces:

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0}$$

$$V_b = a^2 V_{a1} + a V_{a2} + V_{a0}$$

$$V_c = a V_{a1} + a^2 V_{a2} + V_{a0}$$

El sistema se puede expresar en forma matricial:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix}$$

Que equivale a representar el sistema de ecuaciones como  $[V] = [A] \times [V_{0,1,2}]$



# SISTEMAS DE PROTECCION

## HERRAMIENTAS DE CALCULO COMPONENTES SIMETRICAS

Para obtener los valores de secuencia a partir de los valores de fase se utiliza la siguiente relación:

$$\begin{bmatrix} Va0 \\ Va1 \\ Va2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Va \\ Vb \\ Vc \end{bmatrix}$$

Estas expresiones son igualmente validas para las corrientes



# SISTEMAS DE PROTECCION

## HERRAMIENTAS DE CALCULO COMPONENTES SIMETRICAS

Ejemplo:

$$V_{a0} = 1.47 \angle 45.1; V_{a1} = 3.97 \angle 20.5; V_{a2} = 2.52 \angle -19.7$$

Los voltajes de fase:

$$V_a = 1.47 \angle 45.1 + 3.97 \angle 20.5 + 2.52 \angle -19.7 = 7.3 \angle 12.5$$

$$V_b = 1.47 \angle 45.1 + 3.97 \angle 20.5 \times 1 \angle 240 + 2.52 \angle -19.7 \times 1 \angle 120 = 0.4 \angle -100$$

$$V_c = 1.47 \angle 45.1 + 3.97 \angle 20.5 \times 1 \angle 120 + 2.52 \angle -19.7 \times 1 \angle 240 = 4.4 \angle -154$$



# SISTEMAS DE PROTECCION

## HERRAMIENTAS DE CALCULO COMPONENTES SIMETRICAS

### IMPEDANCIAS DE SECUENCIA

Cuando un voltaje de determinada secuencia es aplicado a un equipo, supongamos un motor o un generador, se induce una corriente finita de la misma secuencia en el equipo. Esto debido a que existe una característica del aparato que reacciona a esta voltaje, esta es la impedancia de secuencia. Es lógico pensar entonces que existirán impedancias de secuencia positiva, negativa y cero en cada equipo de sistema de potencia que no son más que la reacción de estos equipos a la aplicación de determinado voltaje de secuencia.

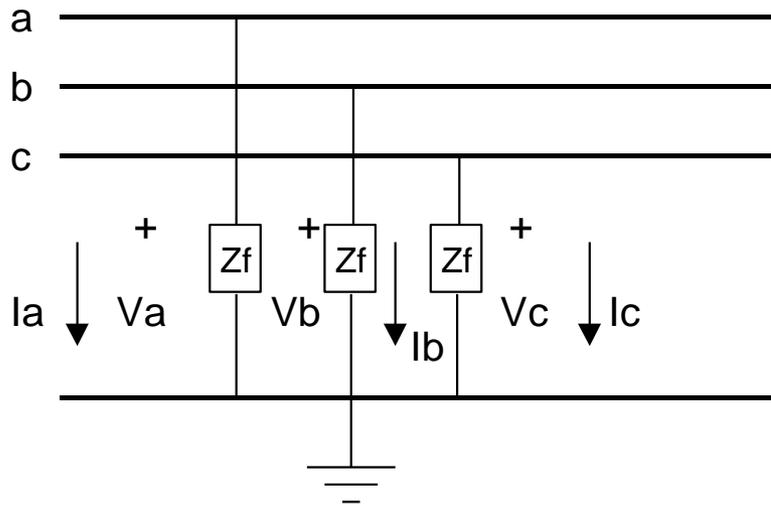
Las impedancias de secuencia de equipos estáticos como transformadores o líneas de transmisión se caracterizan por tener impedancias de secuencia positiva y negativa iguales, pero pueden tener una impedancia de secuencia cero de distinto valor a las otras. Para las máquinas rotativas las impedancias generalmente serán todas distintas.



# SISTEMAS DE PROTECCION

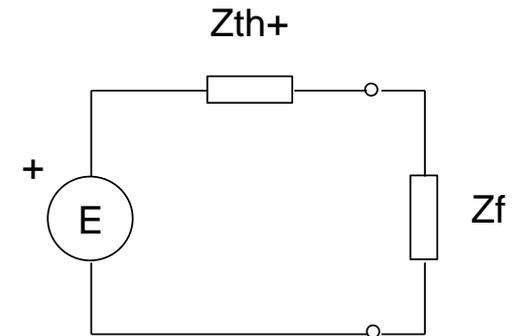
## CALCULO DE FALLAS

### Fallas Simétricas (Trifasicas)



Se tiene que:

$$\begin{aligned} V_a &= I_a Z_f \\ V_b &= I_b Z_f \\ V_c &= I_c Z_f \end{aligned}$$



La corriente de falla es  $I = E/(Z_{th+} + Z_f)$ . Si la falla es franca a tierra ( $Z_f=0$ ) la corriente de falla es  $I = E/Z_{th}$ . Por lo general  $E = 1$  pu. La impedancia  $Z_{th+}$  es la impedancia de Thevenin de secuencia positiva, en el punto de falla.

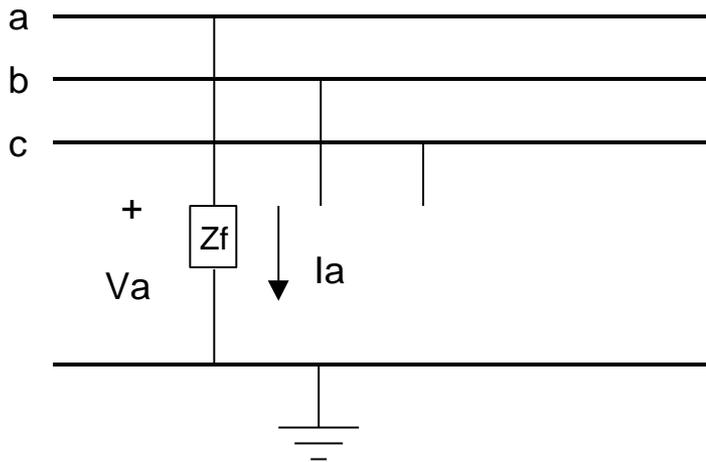


# SISTEMAS DE PROTECCION

## Fallas desbalanceadas

## CALCULO DE FALLAS

### FALLA MONOFASICA A TIERRA



Como  $I_b$  e  $I_c = 0$  y  $I_1 = I_2$ , podemos escribir por ejemplo  $I_b = 0 = I_0 + a^2 I_1 + a I_2 \Rightarrow I_0 = -(a^2 + a)I_1$   
De las propiedades del operador  $a$  se tiene que  $-(a^2 + a) = 1$  por lo que  $I_0 = I_1 = I_2$

Como  $V_a = I Z_f = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2}$  podemos escribir

$$V_a = Z_f (I_0 + I_1 + I_2) = 3Z_f I_1 \quad (I_0 = I_1 = I_2)$$

Para este caso las corrientes de falla  $I_b = I_c = 0$ . El voltaje de falla es  $V_a = I_a Z_f$ .

$$I_b = I_0 + a^2 I_1 + a I_2$$

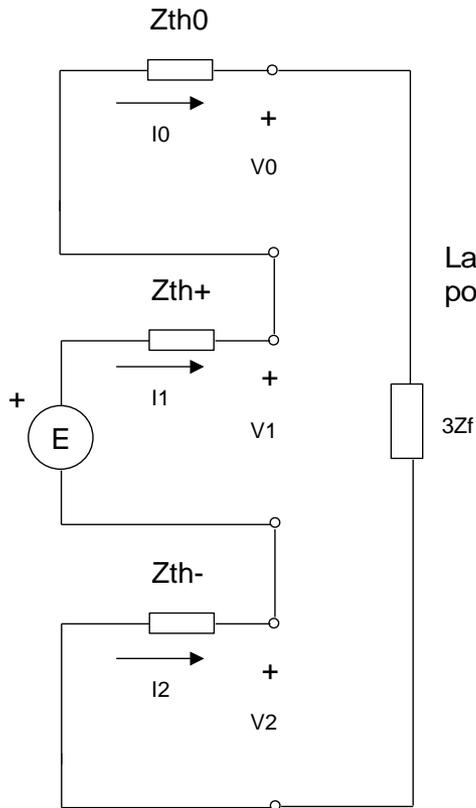
$$I_c = I_0 + a I_1 + a^2 I_2$$

$$I_b = I_c \Rightarrow I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = I_0 + a I_1 + a^2 I_2 \Rightarrow (a^2 - a) I_1 = (a^2 - a) I_2 \Rightarrow I_1 = I_2.$$



# SISTEMAS DE PROTECCION

## CALCULO DE FALLAS



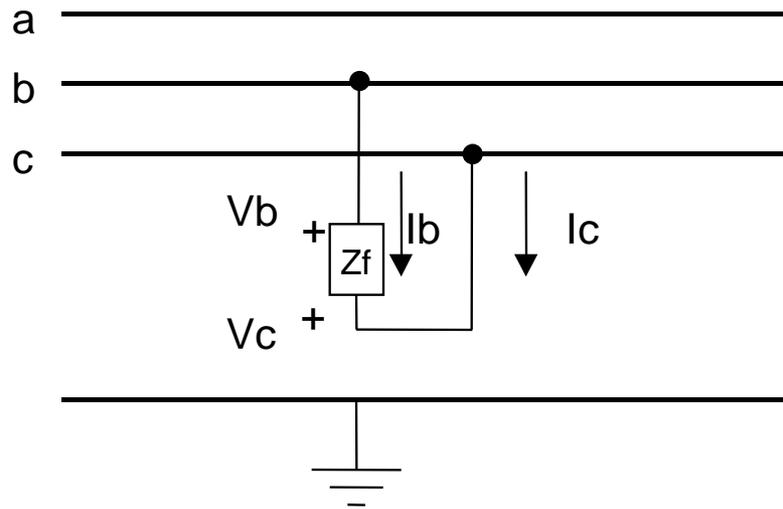
Las Impedancias  $Z_{th-}$ ,  $Z_{th+}$  y  $Z_{th0}$  son las impedancias de Thevenin de secuencia negativa, positiva y cero en el punto de falla.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## CALCULO DE FALLAS

### FALLA LINEA A LINEA



Para este caso  $I_a = 0$  ,  $I_b = - I_c$  y  $V_b = V_c + Z_f I_b$

$$I_a = I_0 + I_1 + I_2 = 0 \Rightarrow I_1 + I_2 = - I_0$$

$$I_b = I_0 + a^2 I_1 + a I_2$$

$$I_c = I_0 + a I_1 + a^2 I_2$$

# SISTEMAS DE PROTECCION

## CALCULO DE FALLAS

$$I_b = -I_c \Rightarrow 2 I_0 + (a^2 + a)I_1 + (a^2 + a)I_2 = 0 \Rightarrow 2 I_0 (a^2 + a)(I_1 + I_2) = 0$$

De las propiedades del operador  $a$  se tiene que  $(a^2 + a) = -1$

$$2 I_0 - (-I_0) = 0 \Rightarrow I_0 = 0 \text{ No hay corriente de secuencia cero.}$$

Como  $I_0 = 0$  entonces  $I_1 = -I_2$

Trabajando con los voltajes tenemos:

$$V_b = V_0 + a^2 V_1 + a V_2$$

$$V_c = V_0 + a V_1 + a^2 V_2$$

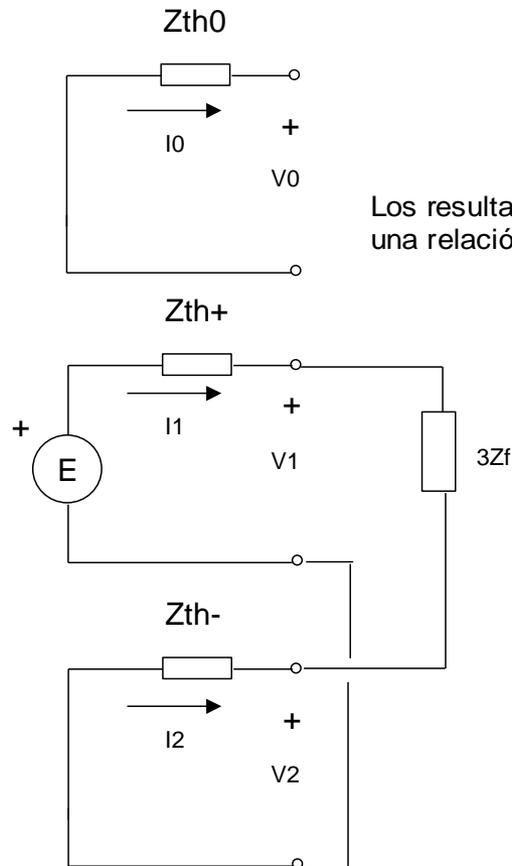
Como  $V_b = V_c + Z_f I_b$  reemplazando  $V_b$ ,  $V_c$  e  $I_b$  por sus expresiones en componentes simétricas

$$(a^2 - a)V_1 = (a^2 - a)I_1 Z_f + (a^2 - a)V_2 \Rightarrow V_1 = Z_f I_1 + V_2$$



# SISTEMAS DE PROTECCION

## CALCULO DE FALLAS

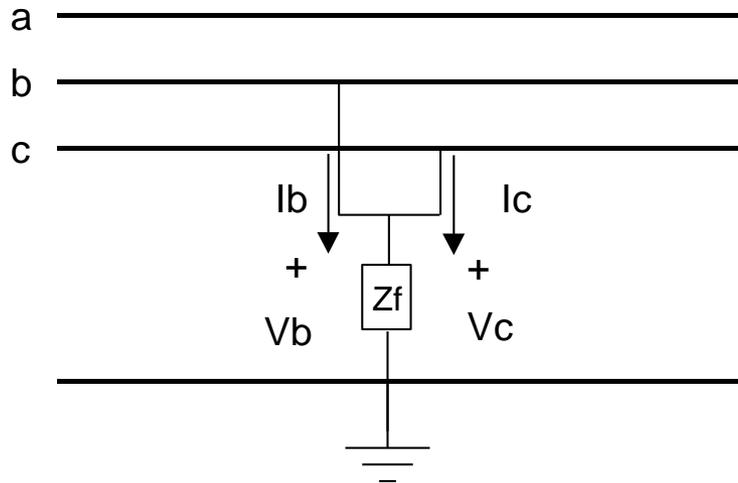


Los resultados nos indica que la red de secuencia cero no participa del modelo mientras que existe una relación entre la red de secuencia positiva y negativa dada por la ecuación del voltaje  $V_1$ .

# SISTEMAS DE PROTECCION

## CALCULO DE FALLAS

### FALLA BIFASICA A TIERRA



Para este caso  $I_a = 0$ ,  $V_b = V_c$  y  $V_b = (I_b + I_c)Z_f$



# SISTEMAS DE PROTECCION

## CALCULO DE FALLAS

En componentes simétricas:

$$I_a = I_0 + I_1 + I_2 = 0$$

$$V_b = V_c \Rightarrow V_0 + a^2 V_1 + a V_2 = V_0 + a V_1 + a^2 V_2 \Rightarrow (a^2 - a) V_1 = (a^2 - a) V_2 \Rightarrow V_1 = V_2.$$

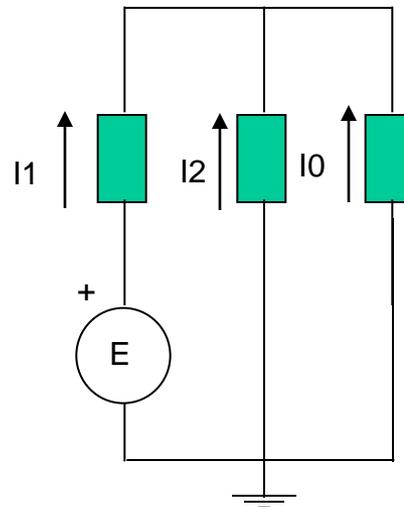
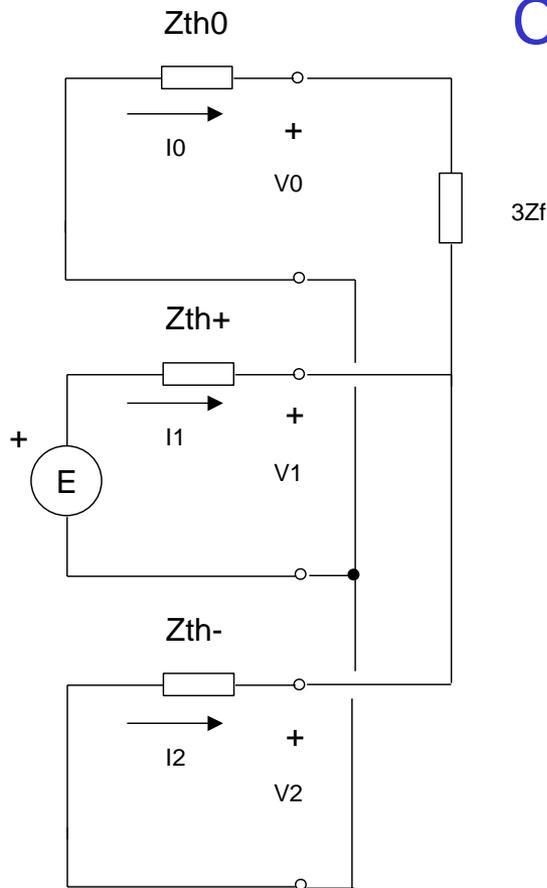
$$V_b = V_0 + a^2 V_1 + a V_2 = (I_0 + a^2 I_1 + a I_2 + I_0 + a I_1 + a^2 I_2) Z_f \Rightarrow V_0 - V_1 = 3 Z_f I_0$$



# SISTEMAS DE PROTECCION

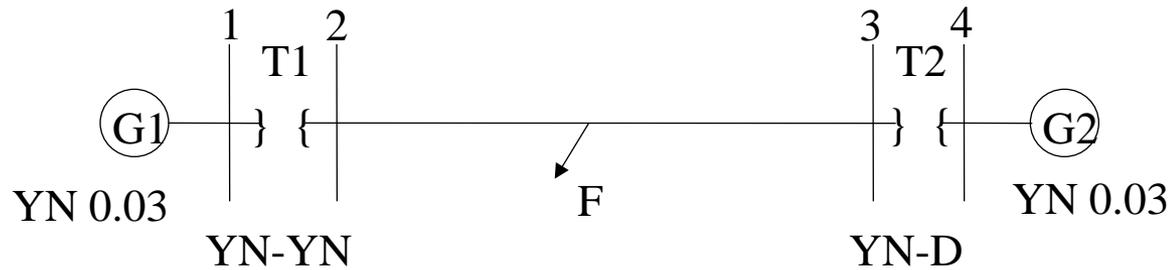
## CALCULO DE FALLAS

El modelo para falla bifásica a tierra es la conexión en paralelo de las redes de impedancia



# SISTEMAS DE PROTECCION

## CALCULO DE FALLAS



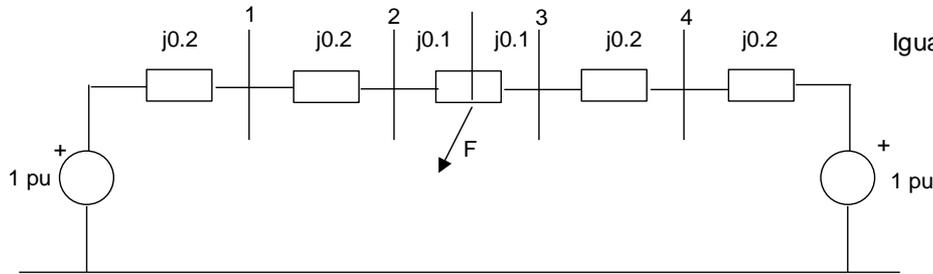
Datos en pu

EQUIPO	X1	X2	X0
G1	0.2	0.2	0.05
G2	0.2	0.2	0.05
T1	0.2	0.2	0.2
T2	0.2	0.2	0.2
L23	0.2	0.2	0.6

# SISTEMAS DE PROTECCION

## CALCULO DE FALLAS

SECUENCIA POSITIVA



SECUENCIA NEGATIVA

Igual a la secuencia positiva pero con las Fuentes de Voltaje = 0

SECUENCIA POSITIVA

$$Z_{th} = j 0.25$$

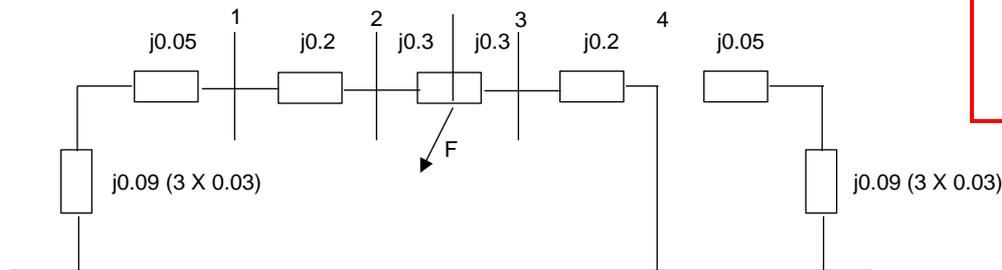
SECUENCIA NEGATIVA

$$Z_{th} = j 0.25$$

SECUENCIA CERO

$$Z_{th} = (0.64)(0.5) / (1.14) = 0.2807$$

SECUENCIA CERO



# SISTEMAS DE PROTECCION

## CALCULO DE FALLAS

FALLA TRIFASICA:

$I_1 = E / Z_{th}$  con  $E = 1$  se tiene que  $I_1 = 1/0.25 = 4$ .

Las corrientes de falla por fase se obtienen de las componente simétricas:

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 4 \\ 0 \end{bmatrix}$$

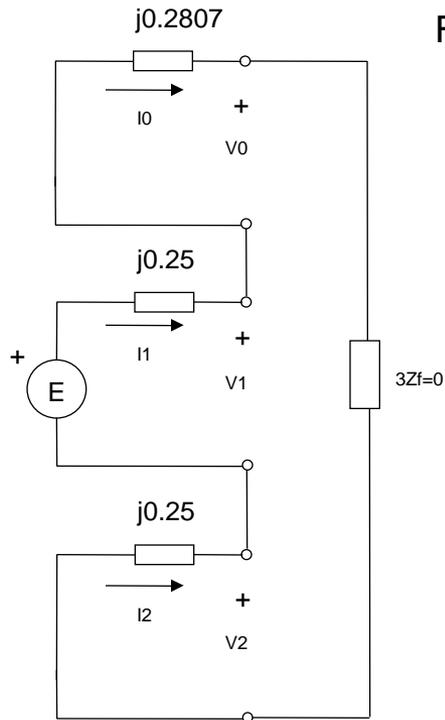
$$I_a = 4; I_b = 4 a^2 ; I_c = 4 a$$



# SISTEMAS DE PROTECCION

## CALCULO DE FALLAS

### FALLA MONOFASICA A TIERRA



$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -j1.2809 \\ -j1.2809 \\ -j1.2809 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} I_a &= -j 3.8427 \\ I_b &= I_c = 0 \end{aligned}$$

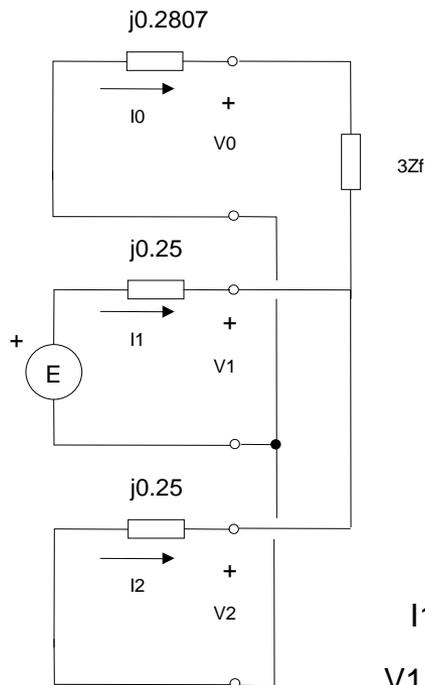
$$I_0 = I_1 = I_2 = 1/j(0.25+0.25+0.2807) = j 1,2809$$



# SISTEMAS DE PROTECCION

## CALCULO DE FALLAS

### FALLA BIFASICA A TIERRA



$$I1 \cong j 2.6162$$

$$V1 = 1 - j0.25 \times (j2.6162) = 0.346$$

$$I0 \cong 0.346 / j0.2807 = j 1.2326$$

$$I2 \cong 0.346 / j 0.25 = j 1.384$$

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} j1.2326 \\ -j2.6162 \\ j1.384 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} I_a &= j 1.2326 - j2.6162 + j 1.384 && \approx 0 \\ I_b &= j 1.2326 - j2.6162 a^2 + j1.384 a && = \\ I_c &= j 1.2326 - j2.6162 a + j1.384 a^2 && = \end{aligned}$$

# SISTEMAS DE PROTECCION

## Composicion de la corriente de CC

La corriente de falla es el resultado de todas las contribuciones y limitaciones a su flujo que existen en el sistema:

Contribuyen a la corriente de falla:

- La red de suministro;
- Los generadores;
- Los motores sincronicos;
- Los motores de induccion;

Limitan la corriente de falla:

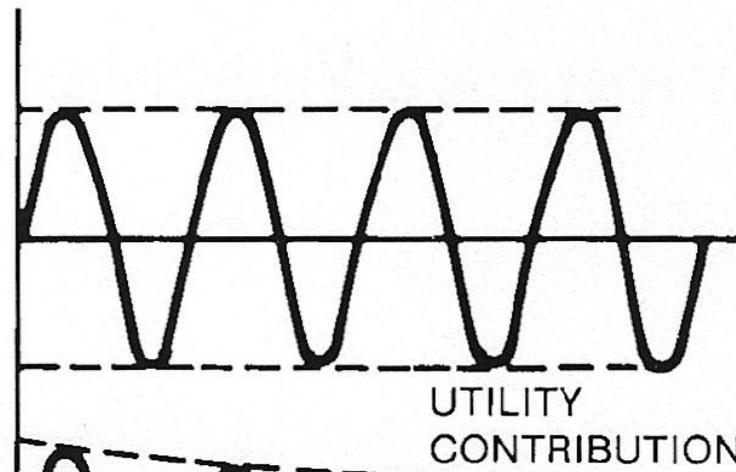
Las impedancias de los cables, líneas, transformadores, reactores.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## Composicion de la corriente de CC

LA RED DE SUMINISTRO: La red de suministro eléctrico es una fuente de corriente de cortocircuito simétrica sostenida cuando en el sistema alimentado ocurre una falla. La magnitud de esta corriente depende de la impedancia de cortocircuito en el punto de interconexión.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## Composicion de la corriente de CC

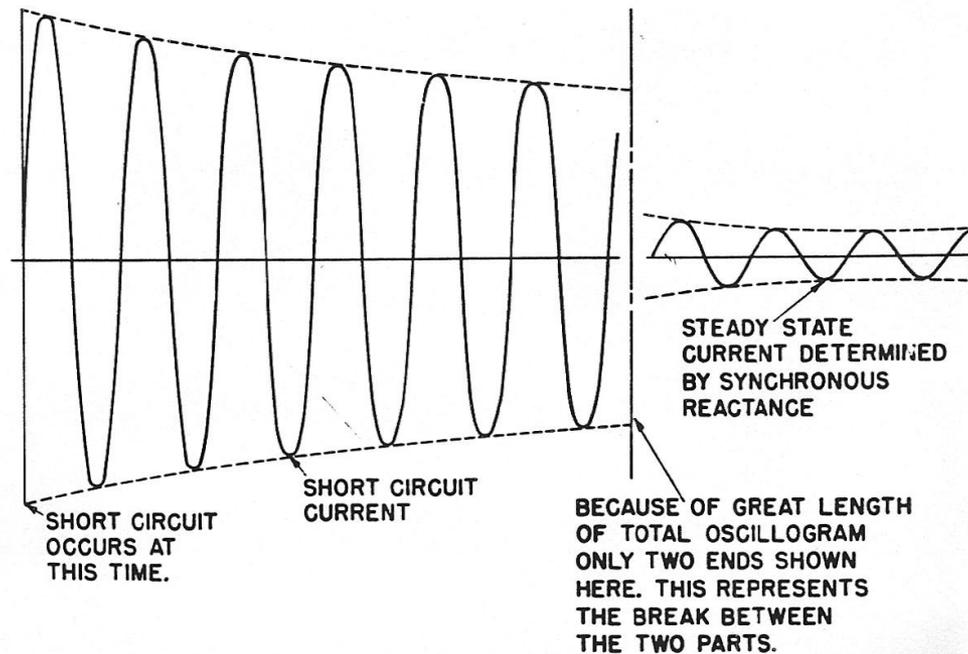
GENERADORES: son la fuente principal de contribución a la corriente de falla durante la presencia del cortocircuito. Dado que la fuente primaria de energía del generador es no eléctrica y que el voltaje en terminales del generador depende de la excitación, el generador sigue entregando potencia al sistema y en este caso tratara de suministrar la corriente de cortocircuito, la cual estar limitada tan solo por la impedancia del generador y la impedancia vista desde los terminales del generador hasta el punto de falla. Desde que aparece la falla, la reactancia del generador cambia en el tiempo, pasando de un valor bajo a un valor mayor. Los valores de reactancia son:

- La reactancia subtransitoria  $X''_d$  es la reactancia aparente de los arrollados del estator en el instante que ocurre el cortocircuito, la cual determina la corriente de cortocircuito inmediatamente en ese momento. Este valor dura por algunos ciclos y en unos 0,1 segundos cambia totalmente su valor para dar paso a
- La reactancia transitoria  $X'_d$  es la reactancia aparente inicial de los arrollados del estator que tiene efecto entre medio segundo y dos segundos, dependiendo del diseño de la maquina, para pasar finalmente al valor de
- La reactancia sincrónica  $X_d$  es la reactancia aparente del estator que determina el flujo de corriente de régimen permanente. No aparece sino varios segundos después de que aparece la falla.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## Composicion de la corriente de CC

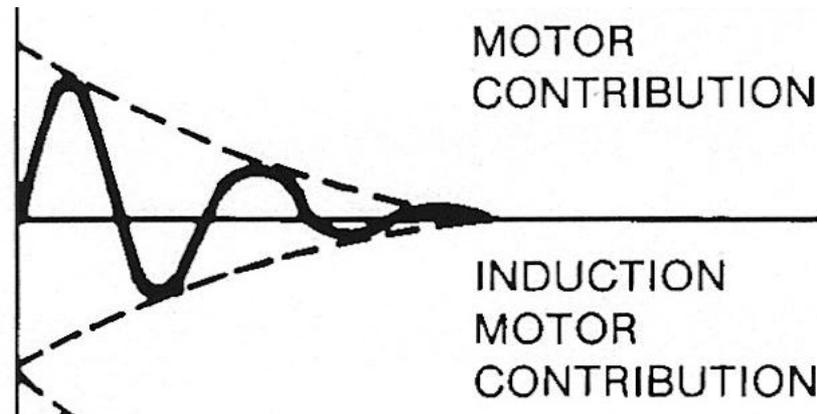


# SISTEMAS DE PROTECCION

## Composicion de la corriente de CC

**MOTORES SINCRONICOS:** Su comportamiento es similar al del generador sincrónico. Cuando ocurre la falla la tensión en terminales del motor disminuye, sin embargo la excitación del motor sigue activa y mientras el rotor del motor no se define este se comporta como un generador aportando corriente a la falla.

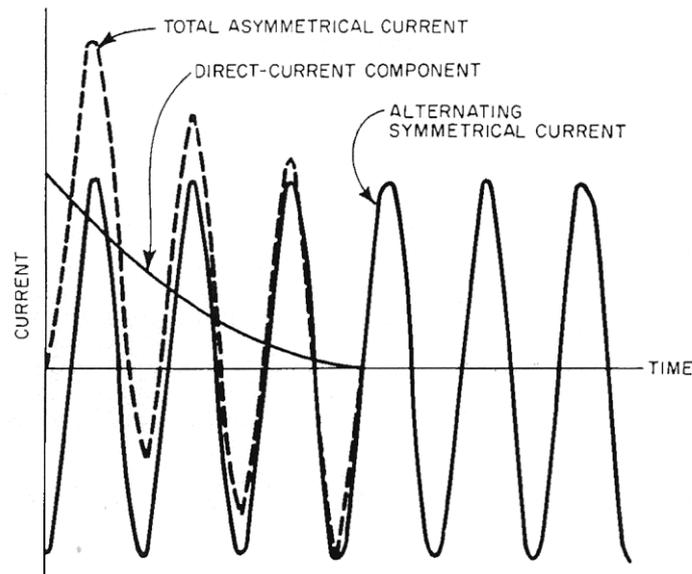
**MOTORES DE INDUCCION:** Los motores de inducción aportan corriente de cortocircuito desde el momento que ocurre la falla y hasta el momento en que se detiene el motor totalmente. Sin embargo dado que el motor de inducción no tiene excitación que mantenga el campo, la contribución del motor de inducción desaparece rápidamente en cuestión de unos pocos ciclos. La única impedancia presente en el motor de inducción es la  $X''_d$ .



# SISTEMAS DE PROTECCION

## Composicion de la corriente de CC

La corriente total simétrica de cortocircuito es la combinación de todas las fuentes de corriente de falla descritas. Sin embargo existen componentes en el sistema de potencia que limitan la magnitud de dicha corriente y por lo tanto de las diferentes contribuciones. Aquí participan las impedancias de los transformadores, los cables, líneas, reactores, fusibles limitadores de corriente y cualquier otra impedancias estática presente en la red. Finalmente la corriente de cortocircuito del sistema tiene el comportamiento de la figura:



# SISTEMAS DE PROTECCION

## La Relación X/R

Es la relación entre la reactancia equivalente y la resistencia equivalente del circuito. El tiempo de caída o desaparición de la componente DC que aparece cuando ocurre la falla se debe justamente al valor de la relación X/R. Si la relación es muy grande o infinita (R muy pequeña o cero) la componente DC nunca desaparece. Si la relación es muy pequeña y cero ( $X=0$ ) la componente DC desaparece prácticamente de forma instantánea. Para valores distintos a los extremos la componente DC desaparece en un tiempo determinado por esta relación.

Entonces lo importante es tener presente que en toda red existe una relación X/R de la cual depende la duración de la asimetría de la corriente de cortocircuito y que determina el tiempo de establecimiento de la corriente de falla en régimen permanente.

*La relación X/R se mide desde la fuente hasta el punto donde ocurre la falla.*



# SISTEMAS DE PROTECCION

## Calculo del pico asimétrico de la CC

En el calculo de la corriente de cortocircuito es importante estimar adecuadamente el valor del valor máximo de la componente asimétrica de la corriente de cortocircuito ya que los dispositivos e protección deben ser dimensionadas para soportare esta corriente. Generalmente el valor de asimetría se calcula de manera simplificada mediante el uso de Factores Multiplicadores que permiten, una vez calculada la corriente de cortocircuito, calcular la corriente asimetría partir de la primera. Entonces los factores de multiplicación permiten incluir el efecto de la componente DC en el calculo de la corriente de falla. Los valores de los factores depende de la relación X/R del sistema y de hecho existen curvas que permite determinar el factor multiplicador para diferentes relaciones de X/R y tiempos de presencia de falla.

Para interruptores por arriba de 600 V el factor es de 1.6 veces el valor de la corriente simétrica rms de falla. En sistemas por debajo de 600 V el factor suele ser 1.25. Estos factores aplican para determinar la corriente de falla asimétrica durante le primer semiciclo.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## CONCEPTOS SOBRE INTERRUPTORES Y FUSIBLES

Desde que se inicia una falla y hasta que los contactos de interruptor se abren para despejar la misma, el interruptor debe soportar varios valores de corriente de falla, desde el valor pico asimétrico del primer ciclo hasta el valor de corriente de falla en régimen permanente. La corriente que el interruptor debe despejar a los cuatro, cinco u ocho ciclos (según el tipo de interruptor) desde que se origino la falla, es menor al valor máximo del primer ciclo. Dado que la corriente de falla varia en el tiempo, se deben evaluar en la selección del interruptor dos magnitudes de corriente de falla una es la llamada *capacidad momentánea* y la otra la *capacidad de interrupción*



# SISTEMAS DE PROTECCION

## CONCEPTOS SOBRE INTERRUPTORES Y FUSIBLES

**Capacidades nominales de los interruptores de potencia:** Se especifican y diseñan según las normas. Hay cuatro valores máximos que nunca deben excederse al seleccionar el interruptor: el voltaje de operación, la corriente momentánea, los MVA de interrupción y la capacidad máxima de interrupción. Para seleccionar el interruptor para abrir cuando la contribución de los motores es despreciable solo es necesario verificar el esfuerzo de interrupción. Si la corriente de falla no excede el valor del interruptor, entonces la corriente asimétrica que considera la componente DC estará seguramente dentro de la capacidad momentánea del interruptor. Si la contribución de motores es importante se deben verificar tanto la capacidad momentánea como la de interrupción. El esfuerzo máximo momentánea se obtiene de calcular la corriente de cortocircuito simétrica en el primer medio ciclo y multiplicarla por un factor que permite incluir el efecto de la componente DC.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## CONCEPTOS SOBRE INTERRUPTORES Y FUSIBLES

**El esfuerzo de interrupción:** se verifica determinando la corriente de cortocircuito en el momento en que los contactos del interruptor se separan. A menor número de ciclos para la apertura del interruptor, mayor será la corriente a interrumpir. Los interruptores de potencia se agrupan entonces de acuerdo al tiempo de operación de los mismos. Los hay de tiempo de operación de 2,3,5 y 8 ciclos. Los interruptores de 5 y 8 ciclos son utilizados en plantas industriales y centrales eléctricas. En estos casos para el momento de apertura las contribuciones de los motores de inducción han desaparecido y las reactancias de los generadores y motores de inducción ya están en el orden de los valores transitorios. En el instante en que el interruptor abre los contactos prácticamente toda la componente DC ha desaparecido.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## CONCEPTOS SOBRE INTERRUPTORES Y FUSIBLES

### **Interruptores de baja tensión:**

Son los aplicados por debajo de 1kV. Estos operan prácticamente sin retardo de tiempo cuando aparece la falla. Los contactos se abren durante el primer ciclo de la corriente de falla y debido a que no exista casi retardo de tiempo, el esfuerzo momentáneo y el de interrupción son prácticamente el mismo. Para calcular las capacidad de interrupción se utilizan las reactancias subtransitorias de todos los generadores, motores de inducción, sincrónicos, fuentes externa y considerar la componente DC. Estos interruptores se diseñan bajo condiciones de asimetría máxima con un circuito de prueba con relación X/R menor a 6.6 lo que equivale a multiplicar IA corriente simétrica por un factor de 1.17



# SISTEMAS DE PROTECCION

## CONCEPTOS SOBRE INTERRUPTORES Y FUSIBLES

### Fusibles de media y alta tensión:

Se les encuentra de dos tipos: *limitadores de corriente* y *no limitadores de corriente*. Los primeros de ellos efectúan la interrupción de la falla antes del primer valor pico de la corriente. En el segundo caso la falla se abre uno o dos ciclos después de corrida la falla. Para calcular la capacidad de interrupción de los fusibles se utilizan las reactancias subtransitorias de todos los generadores, motores de inducción, sincrónicos, fuentes externas. En general la capacidad de interrupción de los fusibles se calcula de la misma manera que se calcula la capacidad momentánea de los interruptores de potencia.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## CALCULO SIMPLIFICADO DE LA CC

El dimensionamiento de los dispositivos de protección que estarán a cargo de interrumpir directamente la corriente de falla (interruptores y fusibles) es de vital importancia ya que estos deberán soportar las corrientes de falla asimétricas e interrumpir la corriente de falla simétrica. Según la norma ANSI, se pueden calcular tres tipo de esfuerzos:

- Esfuerzos del primer ciclo para fusibles e interruptores;
- Esfuerzos de apertura de contactos (esfuerzos de interrupción) para interruptores de alto voltaje;
- Corriente de cortocircuito para dispositivos con retardo de tiempo.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## CALCULO SIMPLIFICADO DE LA CC

- **Esfuerzos del primer ciclo para fusibles e interruptores:** se utilizan las reactancias subtransitorias para representar todas las maquinas rotativas. Los valores se pueden obtener de los estándares o datos del fabricante.

Para dispositivos de protección en baja tensión los estándares permiten el uso de impedancias equivalentes para representar grupos de motores de inducción y sincrónicos de baja tensión alimentados mediante una subestación de bajo voltaje. Si la capacidad total conectada en motores de 480 V o 600 V es aproximadamente igual o menor a la capacidad del transformador que sirve al grupo de motores, una impedancia equivalente de 0.25 en la base de transformador puede usarse para representar al grupo de motores. Para calcular la contribución del grupo de motores a la falla se puede usar la “regla de dedo” :

$$I_{fm} = 4x(\text{Suma de las corrientes nominales de los motores conectados a la parte fallada})$$



# SISTEMAS DE PROTECCION

## CALCULO SIMPLIFICADO DE LA CC

Para dispositivos de media y alta tensión se utilizan factores multiplicadores a las reactancias de las maquinas rotativas para el calculo de la corriente de cortocircuito del primer ciclo. Estos factores multiplicadores aproximadamente representan el efecto de la desaparición con el tiempo de la componente dc de la corriente de falla. La siguiente tabla muestra los factores multiplicadores según se muestran en la norma IEEE 141-1993.

**Tabla No. 1 Multiplicadores de las impedancias de las maquinas rotativas**

Tipo de maquina rotativa	Primer ciclo(momentáneo)	Interrupción
Todos los generadores con arrollados amortiguadores	1.0 X"d	1.0 X"d
Hidrogeneradores sin arrollados amortiguadores	0.75 X"d	0.75 X"d
Todos los motores sincrónicos	1.0 X"d	1.5 X"d
Motores de Inducción:		
Mayores a 1000 HP 1800 rpm	1.0 X"d	1.5 X"d
Mayores de 250 HP 3600rpm	1.0 X"d	1.5 X"d
Todos los demás de 50 HP o mas	1.2 X"d	3.0 X"d
Todos los motores menores a 50 HP	despreciable	despreciable



# SISTEMAS DE PROTECCION

## CALCULO SIMPLIFICADO DE LA CC

Para simplificar los cálculos de los esfuerzos del primer ciclo en sistemas industriales las normas han convenido en utilizar una red combinada que evita tener que hacer los cálculos sobre dos redes diferentes. La simplificación a una red combinada se justifica bajo ciertos supuestos. Uno de ellos es básicamente el hecho de que la corriente simétrica rms inicial que contribuye a un cortocircuito puede ser 6 veces la corriente nominal para un motor de inducción típico, utilizar un factor de 4.8 veces la corriente nominal para estimar el valor de corriente del primer ciclo para los motores de bajo voltaje de 50 HP o mas es equivalente a multiplicar la impedancia subtransitoria por un factor de 1.2. Para motores de menos de 50 HP donde la contribución se estima en 3.6 y veces la corriente nominal, esto equivale a multiplicar la reactancia subtransitoria por 1.67. Teniendo esto como base las normas recomiendan para tratar los motores de inducción mediante una red combinada se recomienda:

- Representar los motores conectados todos de menos de 50 HP utilizando ya sea un factor multiplicador de 1.67 para la reactancia subtransitoria o modelar a cada motor a través de una reactancia de 0.28 en la base del motor.
- Modelar los motores grandes (mas de 50 HP) utilizar los valores de la tabla.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## CALCULO SIMPLIFICADO DE LA CC

Con esto la Tabla No.1 se convierte para el caso de motores inducción en la siguiente tabla:

Tipo de motor	Primer ciclo	Interrupción
Motores de inducción		
50 HP y mas	1.2X"d	3.0X"d
	1.67X"d	despreciable

Una vez que se han calculado las corrientes de cortocircuito en los puntos de interés haciendo uso de la red adecuada y los multiplicadores adecuados, estos pueden ser utilizados para determinar las características del interruptor de bajo voltaje, el fusible y las capacidades de cortocircuito de otros equipos. Para los interruptores de bajo voltaje las capacidades de diseño considera una capacidad asimétrica (momentánea) suficiente para una red con relación X/R de 6.6 o menos. Un sistema típico alimentado por un transformador de 1000 kVA a 1500 kVA tendrá por lo general tendrá una relación X/R de cortocircuito en este rango. Para sistemas mas grandes se debe verificar siempre el valor X/R.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## CALCULO SIMPLIFICADO DE LA CC

1. Para calcular el esfuerzo de apertura de contactos (interrupción) se utilizan los factores de multiplicación de la columna (Interrupción) de la Tabla No.1 o 2. Para los cálculos de capacidad de interrupción, se hace necesario considerar las resistencias del sistema. Recordemos que en redes de medio y alto voltaje se suele aproxima el valor de  $Z$  al valor de  $X$  despreciándose la  $R$ . Para este caso se construyen dos redes de igual configuración, una red con los valores de  $X$  y una red con los valores de  $R$ . Los factores multiplicadores de la tabla son igualmente aplicables para la red  $R$ . En el punto de falla se reduce la red a una reactancia equivalente  $X_{th}$  y se reduce la red de  $R$  a una resistencia equivalente  $R_{th}$ . Se determina el factor  $X_{th}/R_{th}$ . Se debe calcular el voltaje prefalla en el punto de falla. Se calcula la corriente de falla  $I_f = E/X$ . Conocidas la relación  $X/R$ , el tiempo de apertura del interruptor así como la distancia de los generadores (si los hay) a la falla, se hace uso de una serie de curvas que permiten determinar los factores multiplicadores para determinar la corriente asimétrica y simétrica (interrupción) que deberá soportar el interruptor.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## CALCULO SIMPLIFICADO DE LA CC

Los tiempos mínimos de apertura de contactos típicos son los mostrados en la Tabla No. 3:

**Tabla No.3 Tiempos de apertura de interruptores AC**

Tiempo de Interrupción (ciclos)	Mínimo tiempo de apertura (ciclos)
8	4
5	3
3	2
2	1.5



# SISTEMAS DE PROTECCION

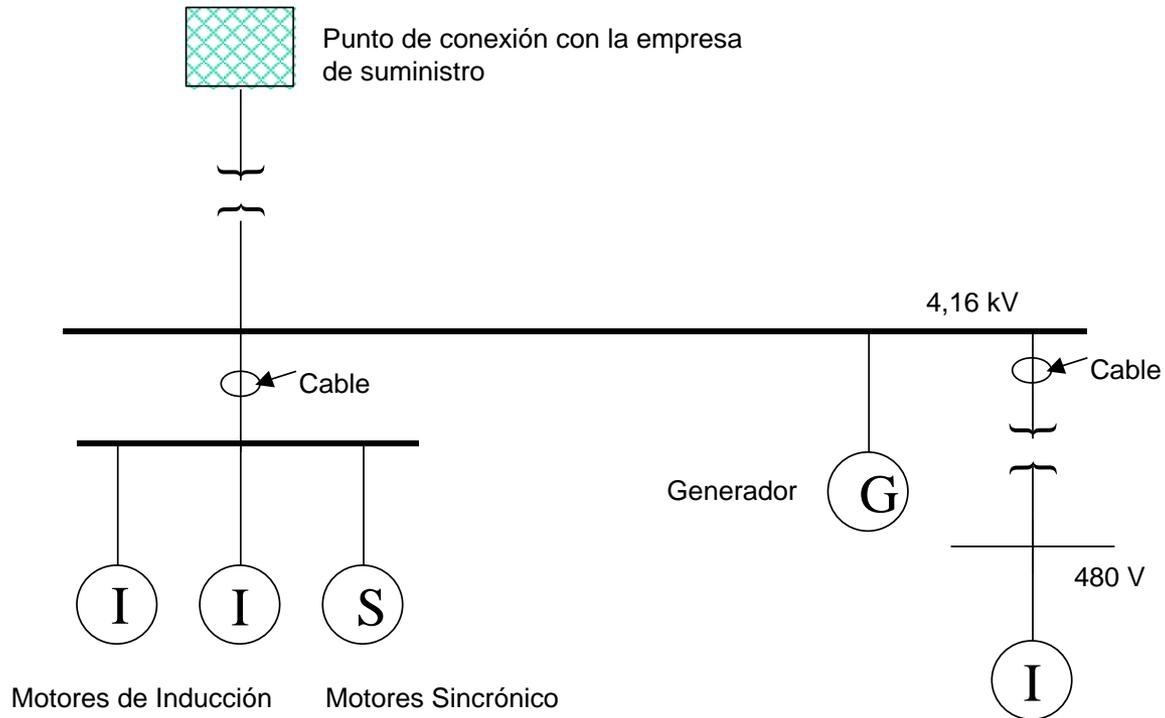
## CALCULO SIMPLIFICADO DE LA CC

1. Corrientes de cortocircuito para dispositivos con relevadores de retardo de tiempo: En este caso para los Relés de disparo instantáneo se utilizan los valores de corriente de cortocircuito mediante la red de primer ciclo. Para el caso de Relés con retardo de tiempo mayores a 6 ciclos la red solo incluye el efecto de los generadores y los elementos pasivos. Los generadores se representan mediante los valores transitorios. Todas las contribuciones de los motores son omitidas.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## EJEMPLO DE CALCULO



# SISTEMAS DE PROTECCION

## EJEMPLO DE CALCULO

### DATOS DEL SISTEMA

- Nivel de cortocircuito en el punto de conexión con la red de suministro = 500 MVA;
- Transformador de conexión con la red de suministro de 3000 kVA y  $X = 6,5\%$ ;
- Motores de inducción de 600 kVA, 4,16 kV con impedancia  $X''d = 16,7\%$ ;
- Motor sincrónico de 500 kV, 4 kV con impedancias de  $X''d = 16\%$ ,
- Cables de 4 kV de 600 metros de 0.0377 ohms/ km para cada motor
- Generador de 3125 kVA con  $X = 8\%$ ,
- Cable para el transformador de 400 metros de 0.0381 ohms/km
- Transformador a 480 V de 1000 kVA  $X=8\%$
- Motor de inducción  $X'd = 25\%$

Se desea calcular la corriente de falla trifásica simétrica y asimétrica en la barra de 4,16 kV para el primer medio ciclo de falla.

Utilizar 10000 MVA como potencia base y 4,16 kV como voltaje base



# SISTEMAS DE PROTECCION

## EJEMPLO DE CALCULO

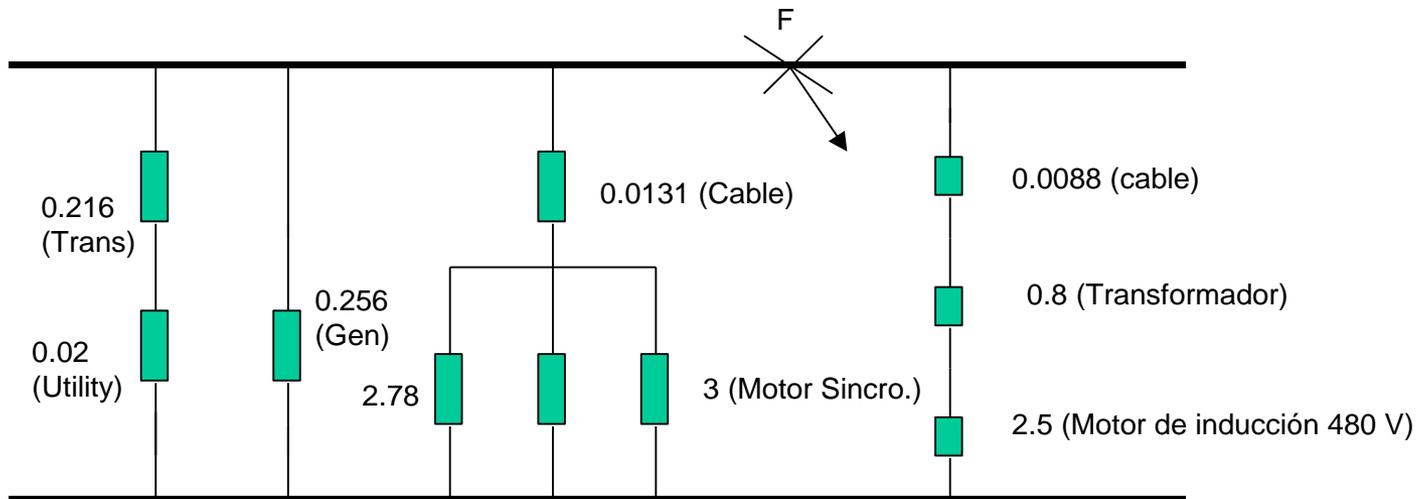
- Calculamos las reactancias en pu:
- La reactancia de la empresa de suministro es  $500/10000 = 0.02$  pu
- Reactancia del transformador = 0.065 pu llevada a la nueva base  $0.065 \times 10000/3000 = 0.2167$
- Reactancia de los cables a los motores de 4 kV 0.6 km  $\times 0.0377$  ohms/km = 0.0226 ohms  
Calculamos  $Z_b = (4.16) \times (4.16) / 10 \text{ MVA} = 1.73$  y ahora el valor en pu =  $0.0226 / 1.73 = 0.0131$
- Reactancias de los motores de inducción en 4 kV de 0.167 pu las llevamos a la nueva base  $0.167 \times (10000/600) = 2.78$   
Reactancia del motor sincronico de 0.16 en la nueva base  $0.16 \times (10000/500) \times (4/4,16)^2 = 3$
- Reactancia del generador = 0.08 pu la llevamos a la nueva base =  $0.08 \times (10000/3125) = 0.256$
- Reactancia del cable al transformador de 0.08 en la nueva base =  $0.08 \times (10000/1000) = 0.8$
- Reactancia del motor de inducción en 480 V 0.25 pu en la nueva base =  $0.25 \times 10000/1000 = 2.5$



# SISTEMAS DE PROTECCION

## EJEMPLO DE CALCULO

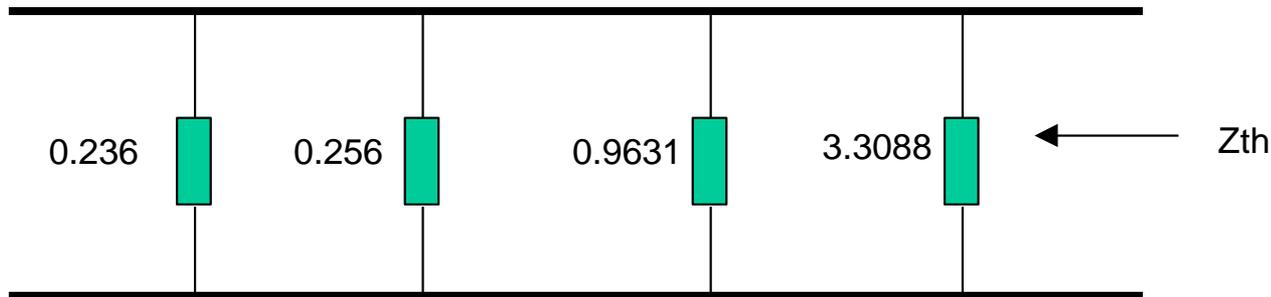
- Conocidas las reactancias se dibuja el diagrama de impedancias:



# SISTEMAS DE PROTECCION

## EJEMPLO DE CALCULO

- Calculamos la impedancia equivalente en el punto de falla



$$Z_{th} = 0.105 \text{ pu}$$

- Se calcula la corriente de falla:

$$I_f = V/Z_{th} = 1 / 0.105 = 9.48 \text{ pu}$$

$$I_f = 9.48 \text{ pu} \times I_{base} = 9.48 \times (1389) = 13172 \text{ A}$$



# SISTEMAS DE PROTECCION

## EJEMPLO DE CALCULO

RESUMIENDO:

En conclusión los pasos a seguir para hacer un estudio de cortocircuito son los siguientes:

- Trazar el diagrama unifilar del sistema,
- Seleccionar una base apropiada para la  $S_{base}$  (1000, 10000, 100000 kVA)
- Obtener las impedancias de los equipos del sistema,
- Calcular las reactancias en pu en la base seleccionada,
- Hacer el diagrama de impedancias
- Calcular al corriente simétrica de falla en el punto de falla
- Determinar la corriente asimétrica de falla usando los factores multiplicadores.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## NORMA IEC 909

La norma IEC es similar a la norma alemana y australiana. Esta norma a diferencia de la norma ANSI establece o reconoce cuatro tipos de esfuerzos que resultan de calcular cuatro corrientes de falla:

- La corriente inicial de falla  $I''_k$ ;
- La corriente pico de cortocircuito  $I_p$ ;
- La corriente de falla de interrupción  $I_b$ ;
- La corriente de falla en régimen permanente  $I_k$ ;

Aunque la  $I_b$  y la  $I_k$  son básicamente los esfuerzos de interrupción y de retardo de tiempo respectivamente de la norma ANSI las corrientes pico son muy diferentes a las corrientes de primer ciclo de la norma ANSI.

Los factores que más influyen en el calculo de las corrientes de falla máximas y mínimas son los voltajes prefalla en el punto de falla.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## NORMA IEC 909

La evolución de la corriente AC de falla desde que comienza hasta que se logra el régimen permanente se aborda considerando la contribución de cada una de las fuentes existentes, dependiendo del voltaje en sus terminales durante la falla. Para el caso de los motores de inducción se modelan mediante un factor que permite representar la rápida desaparición de la contribución a la corriente de falla.

El fenómeno del decremento de la componente DC es abordado aplicando el principio de superposición para las fuentes de contribución a la falla, en conjunto con la topología de la red y al ubicación relativa de las fuentes con relación a la falla. Se detallan diferentes procedimientos de calculo cuando las contribuciones a la falla convergen ya sea vía una red mallada o una radial. Estas consideraciones aplican para el calculo de la corriente pico y asimétrica.

Las corrientes de falla en régimen permanente son calculadas asumiendo que las corrientes de falla no contiene ninguna componente DC y todas las contribuciones de los motores ha desaparecido. Los motores sincrónicos son considerados inclusive al detalle de evaluar el efecto de los diferentes sistemas de excitación.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## DIFERENCIAS ENTRE LA NORMA ANSI Y LA IEC 909

Las diferencias entre las dos normas son muchas y significativas. La representación de los sistemas y los procedimientos de calculo son bastante diferentes en los dos estándares. Estas son razones suficientes para justificar diferencias significativas en el calculo de las corrientes de falla cuando se usa una norma u otra. Quizás una de las diferencias mas importantes es que los cálculos según la norma IEC 909 dan por lo general corrientes de falla mucho mas grandes que las cálculos con la norma ANSI.



# SISTEMAS DE PROTECCION

## DIFERENCIAS ENTRE LA NORMA ANSI Y LA IEC 909

Las diferencias generales entre los dos estándares son:

- El decremento AC en la norma IEC depende de la ubicación del punto de falla en la red y considera la cercanía de las maquinas rotativas a la falla. La norma ANSI es mas general a la hora de considerar el efecto de las maquinas rotativas;
- El decremento DC en la norma IEC no siempre dependen de un solo factor  $X/R$ . En general mas de un factor  $X/R$  deben ser considerados. Mas aun la simplificación en el calculo de  $X$  y  $R$  mediante redes separadas no se acepta en al norma IEC;
- La corriente de régimen permanente en la norma IEC toma en cuenta las características de los sistemas de excitación de las maquinas sincrónicas.

Dadas las diferencias anteriores se concluye que los criterios de calculo de la norma ANSI y su aplicación en programas computacionales no cubren los requerimientos de la norma IEC y viceversa

