Capitulo I

Protección de Sistemas de Potencia

Desarrollo del Curso

Tópicos a Desarrollar

- **Filosofía de los sistemas de protección**
- **Principios de operación de los reles de protección**
- **Protección de sistemas de distribución (fusibles, reles de sobrecorriente, seccionalizadores)**
- **Protección de líneas de transmisión (Distancia)**
- **Esquemas de Teleprotección**
- **Protección de transformadores de potencia**
- **Protección de generadores**

Capitulo 1

Introducción y filosofía de los sistemas de protección

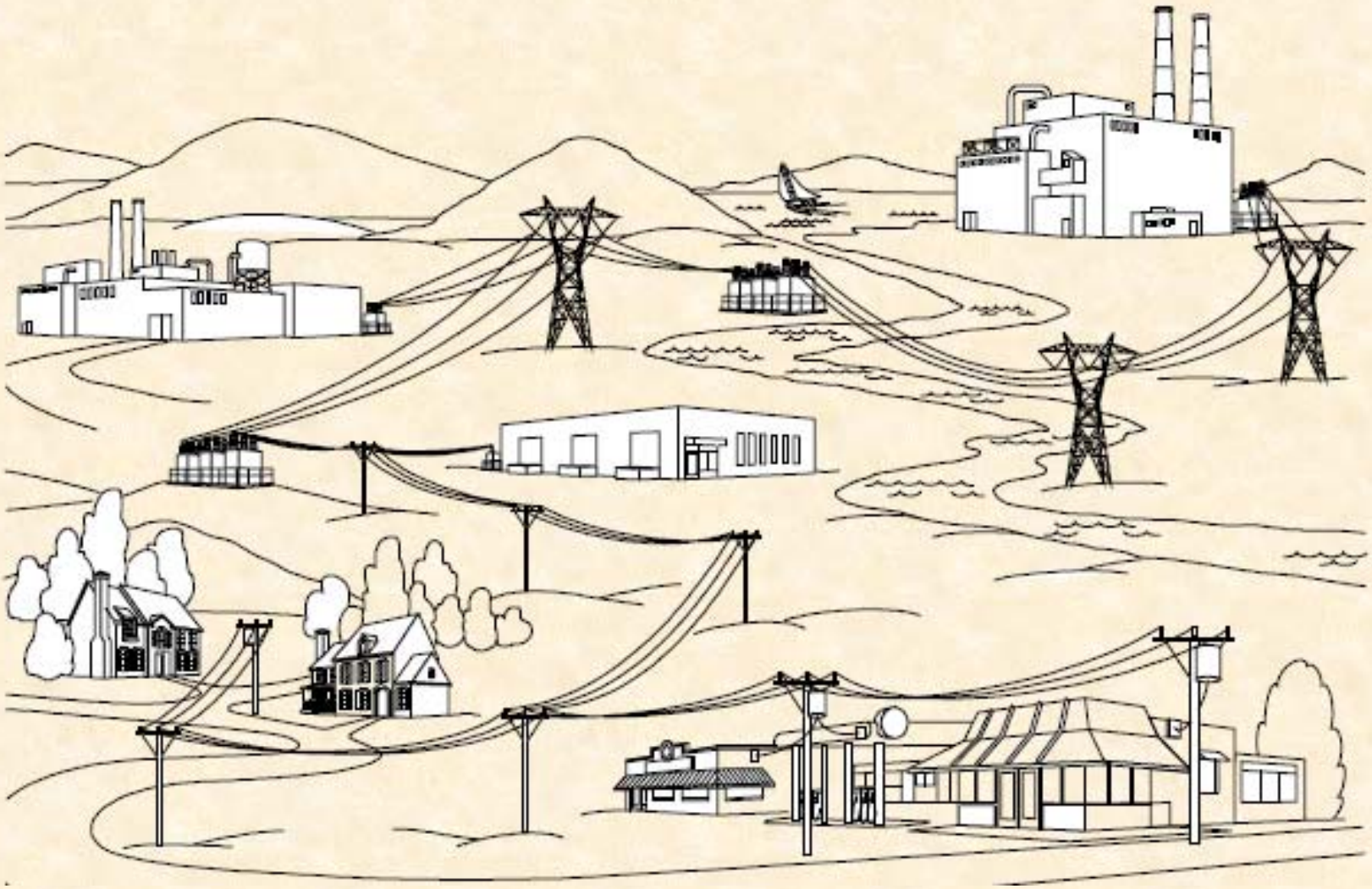
Contenido

1. Revisión de sistemas de potencia
2. ¿Porque Proteger?
3. ¿Causas y tipos de fallas?
4. Factores que influencian el diseño del sistema de protección
5. Aspectos generales del sistema de protección
6. Zonas de Protección
7. Clases y Tipos de Protección
8. Consideraciones al aplicar protección
9. Códigos ANSI

Contenido

1. Revisión de sistemas de potencia
2. ¿Porque Proteger?
3. ¿Causas y tipos de fallas?
4. Factores que influencian el diseño del sistema de protección
5. Aspectos generales del sistema de protección
6. Zonas de Protección
7. Clases y Tipos de Protección
8. Consideraciones al aplicar protección
9. Códigos ANSI

Revisión de sistemas de potencia



Revisión de sistemas de potencia

Sistema eléctrico interconectado Nacional
-Predominantemente Radial

-Esta dividido en tres regiones
  Área Norte
  Área Centro
  Área Sur

Revisión de sistemas de potencia

Sistema eléctrico interconectado Nacional
- Máxima demanda (4079 MW)
-Generación Hidráulica, gas, diesel, carbón

Por su característica:
-Congestión
-Oscilaciones de potencia
-Sobretensiones
-Resonancia a frecuencia industrial
-Etc

Contenido

1. Revisión de sistemas de potencia
2. ¿Porque Proteger?
3. ¿Causas y tipos de fallas?
4. Factores que influencian el diseño del sistema de protección
5. Aspectos generales del sistema de protección
6. Zonas de Protección
7. Clases y Tipos de Protección
8. Consideraciones al aplicar protección
9. Códigos ANSI

¿Porque Proteger?

“Todos los sistemas de potencia experimentan fallas”

LA PROTECCION ES INSTALADA PARA:
Detectar la ocurrencia de una falla y aislar el equipo fallado

Por lo que:

- Se limita el daño al equipo fallado
- La interrupción de cargas adyacentes es minimizada, los daños en los equipos no fallados es minimizado

PROTECCION = SEGURO CONTRA DAÑOS DE FUTURAS FALLAS

¿Porque Proteger?

RIESGOS

DAÑO DEL EQUIPO FALLADO

- **Excesivo flujo de corriente (rotura de conductores, etc)**
- **Daños en bobinados**
- **Arcos que deterioran el aislamiento**
- **Riesgo de explosión**

DAÑO AL EQUIPOS ADYACENTES

- **Perdida de carga (Cargas Mineras)**
- **Deterioro de equipos**

¿Porque Proteger?

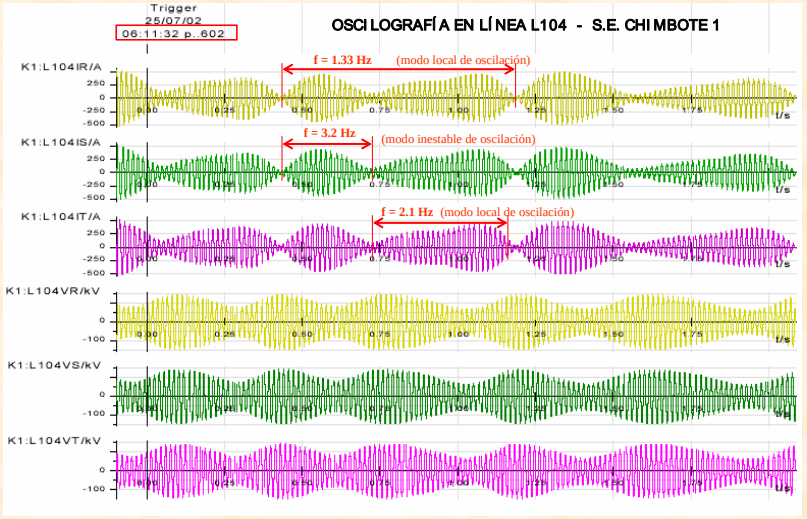
RIESGOS

DAÑO A LAS PERSONAS

- -Corrientes de Toque y Paso
- -Humos tóxicos generados por quemadura de aislantes
- -Contacto eléctrico directo
- -Quemaduras, etc

DAÑO AL SISTEMA

- -Perdidas de sincronismo
- -BlackOuts (Apagones)



¿Porque Proteger?

EN RESUMEN

LA PROTECCION DEBE

- **Detectar fallas y condiciones de operación anormales**
- **Aislar el equipo fallado**

Además

- **Limitar el daño causado por la energía de la falla**
- **Limitar el efecto en el resto del sistema**

Contenido

1. Revisión de sistemas de potencia
2. ¿Porque Proteger?
3. ¿Causas y tipos de fallas?
4. Factores que influencian el diseño del sistema de protección
5. Aspectos generales del sistema de protección
6. Zonas de Protección
7. Clases y Tipos de Protección
8. Consideraciones al aplicar protección
9. Códigos ANSI

Causas y tipos de fallas

- **Descargas atmosféricas**
- **Vientos (Paracas)**
- **Hielo y nieve**
- **Objetos voladores (Cometas, instaladores de cable)**
- **Contaminación de aisladores**
- **Animales (Aves, ratas, etc)**
- **Error Humano**
- **Árboles**
- **Edad de aislamiento**
- **“Los dueños de lo ajeno”**

Causas y tipos de fallas

Fallas en cables de potencia

- **“Los dueños de lo ajeno”**
- **Excavaciones**
- **Sobrecarga**
- **Deterioro del aislante**
- **Edad**

Causas y tipos de fallas

Líneas de transmisión

- **“Los dueños de lo ajeno”**
- **Descargas Atmosféricas**
- **Árboles**
- **Contaminación**

Causas y tipos de fallas

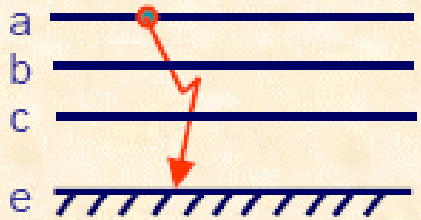
Generadores y Motores

- **Daño mecánico**
- **Cargas desbalanceadas**
- **etc**

Causas y tipos de fallas

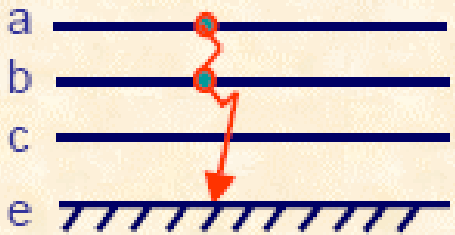
TIPOS DE FALLAS

Ø/E



Falla Monofásica

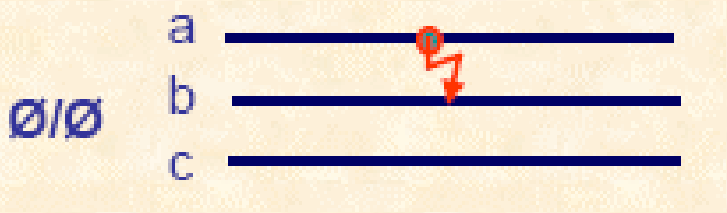
Ø/Ø/E



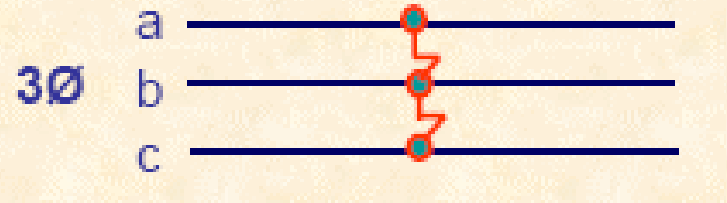
Falla Bifásica a tierra

Causas y tipos de fallas

TIPOS DE FALLAS



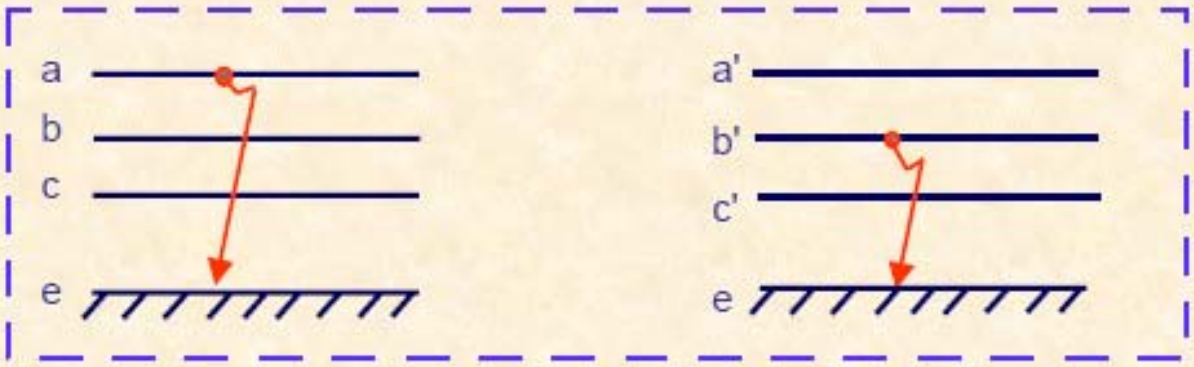
Falla Bifásica



Falla Trifásica

Causas y tipos de fallas

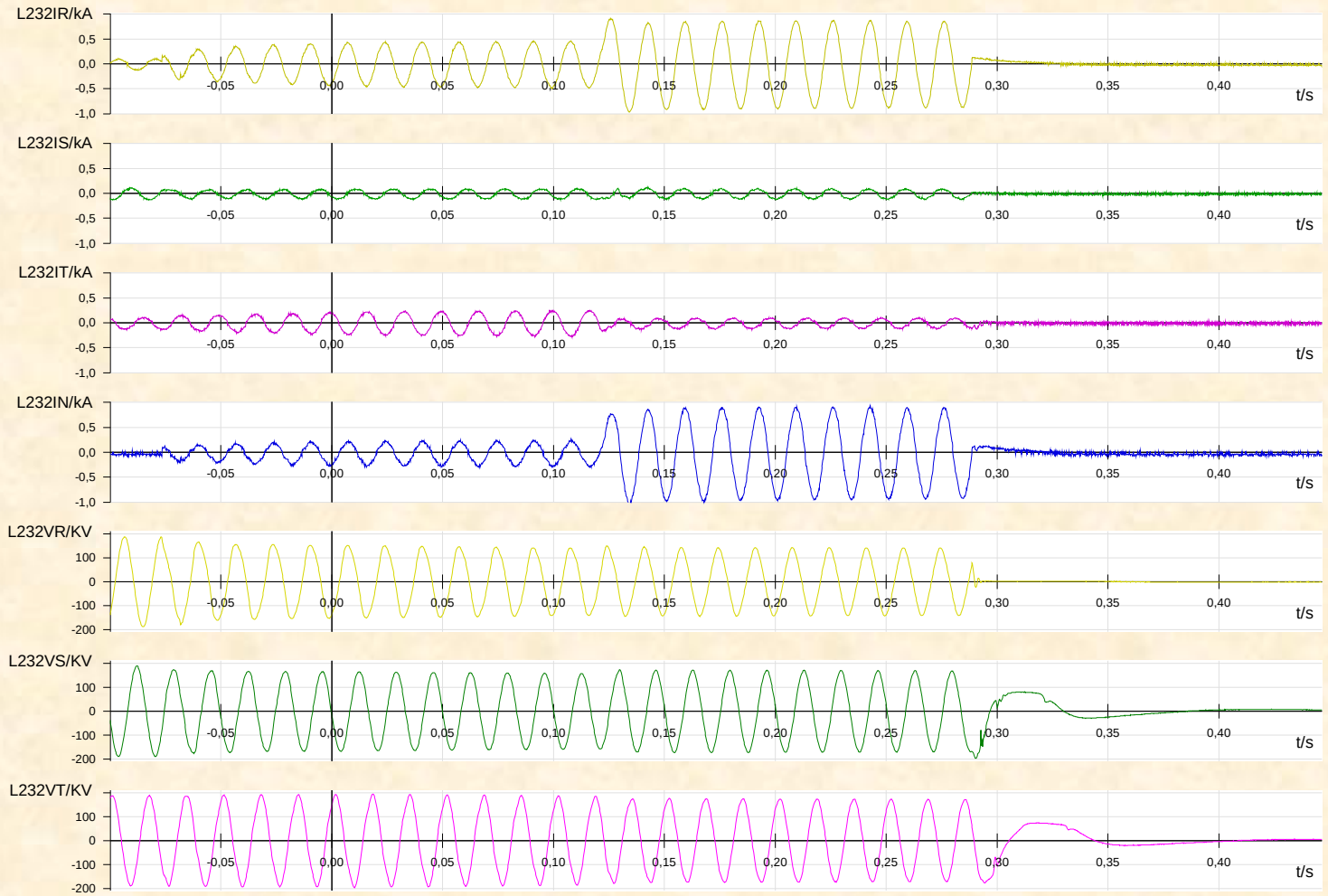
TIPOS DE FALLAS



Cross Country fault

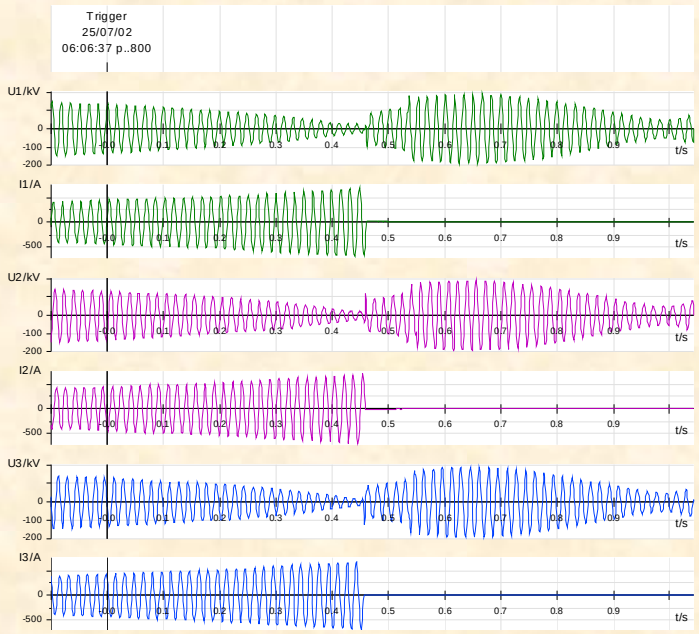
Causas y tipos de fallas

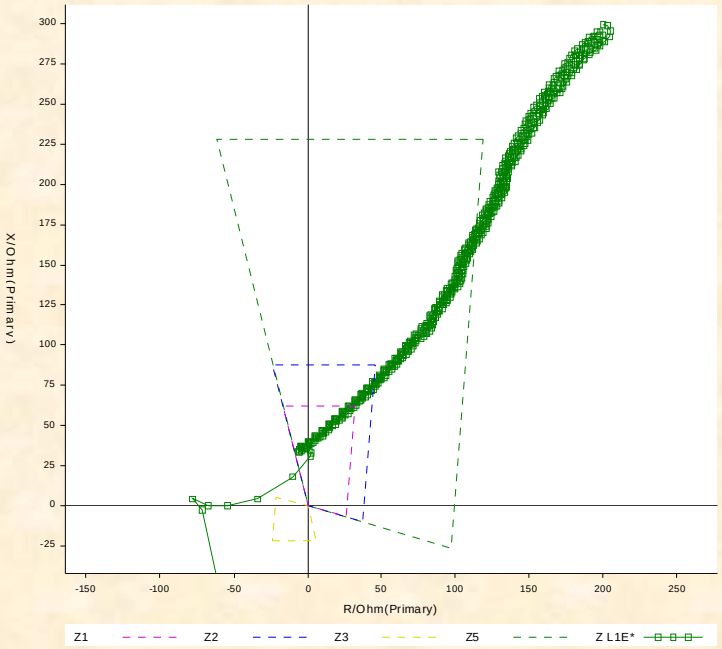
Tensiones y corriente durante la falla



Causas y tipos de fallas

Tensiones y corriente durante la falla





Contenido

1. Revisión de sistemas de potencia
2. ¿Porque Proteger?
3. ¿Causas y tipos de fallas?
4. Factores que influencian el diseño del sistema de protección
5. Aspectos generales del sistema de protección
6. Zonas de Protección
7. Clases y Tipos de Protección
8. Consideraciones al aplicar protección
9. Códigos ANSI

Factores de diseño

- **EL TIPO DE FALLA, O TIPO DE CONDICION ANORMAL**
- **LAS CANTIDADES MEDIBLES (tensión, corriente, frec, etc)**
- **EL TIPO DE PROTECCIÓN DISPONIBLE**
- **VELOCIDAD**
- **LA DISCRIMINACION DE LA UBICACIÓN DE FALLA**
- **LA DEPENDABILIDAD (DEPENDABILITY)**
- **LA SEGURIDAD**
- **TRASLAPO**
- **LA DISCRIMINACION DE FASES Y SELECTIVIDAD**
- **TRANSFORMADORES DE CORRIENTE Y TENSION**
- **LOS SERVICIOS AUXILIARES**
- **LA PROTECCION DE RESPALDO (REMOTO Ó LOCAL)**
- **COSTO**
- **DUPLICACION DE EQUIPOS DE PROTECCION**

Factores de diseño

- **Tecnología de los reles de protección**

ELECTRO-
MECANICO

ELECTRONICO
DIGITAL

NUMERICO

Contenido

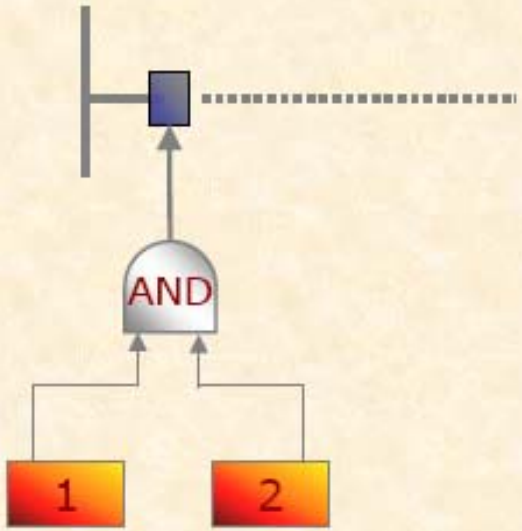
1. Revisión de sistemas de potencia
2. ¿Porque Proteger?
3. ¿Causas y tipos de fallas?
4. Factores que influencian el diseño del sistema de protección
5. Aspectos generales del sistema de protección
6. Zonas de Protección
7. Clases y Tipos de Protección
8. Consideraciones al aplicar protección
9. Códigos ANSI

Aspectos del sistema de protección

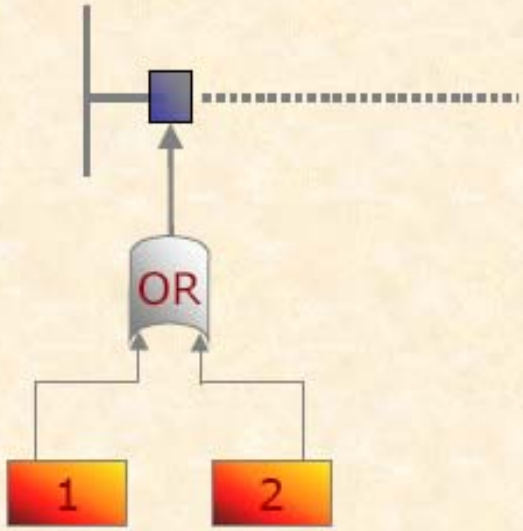
- **CONFIABILIDAD**
- **VELOCIDAD**
- **SELECTIVIDAD**
- **SIMPLICIDAD**

Aspectos del sistema de protección

- **CONFIABILIDAD**
  - **Seguridad**



Dependabilidad



Aspectos del sistema de protección

- **CONFIABILIDAD**
  - **Seguridad** **Dependabilidad**

Aspectos del sistema de protección

- **CONFIABILIDAD**

Dependabilidad

- ***La protección debe operar cuando sea requerida de operar***
- ***Si no opera la falla puede ser extremadamente dañina***
- ***Si las fallas son raras: La protección debe operar aún después de años de inactividad***
- ***Se mejora con el uso de respaldos ó duplicación de protecciones***

Aspectos del sistema de protección

- **CONFIABILIDAD**

  Seguridad

  - ***La protección no debe operar cuando no sea requerida ejm:***

    -***Fallas en otras partes del sistema***
    -***Oscilaciones estables***

Aspectos del sistema de protección

- **VELOCIDAD**

“Cada milisegundo importa”

Aspectos del sistema de protección

- **VELOCIDAD**

PROTECCION RAPIDA (> 100ms)

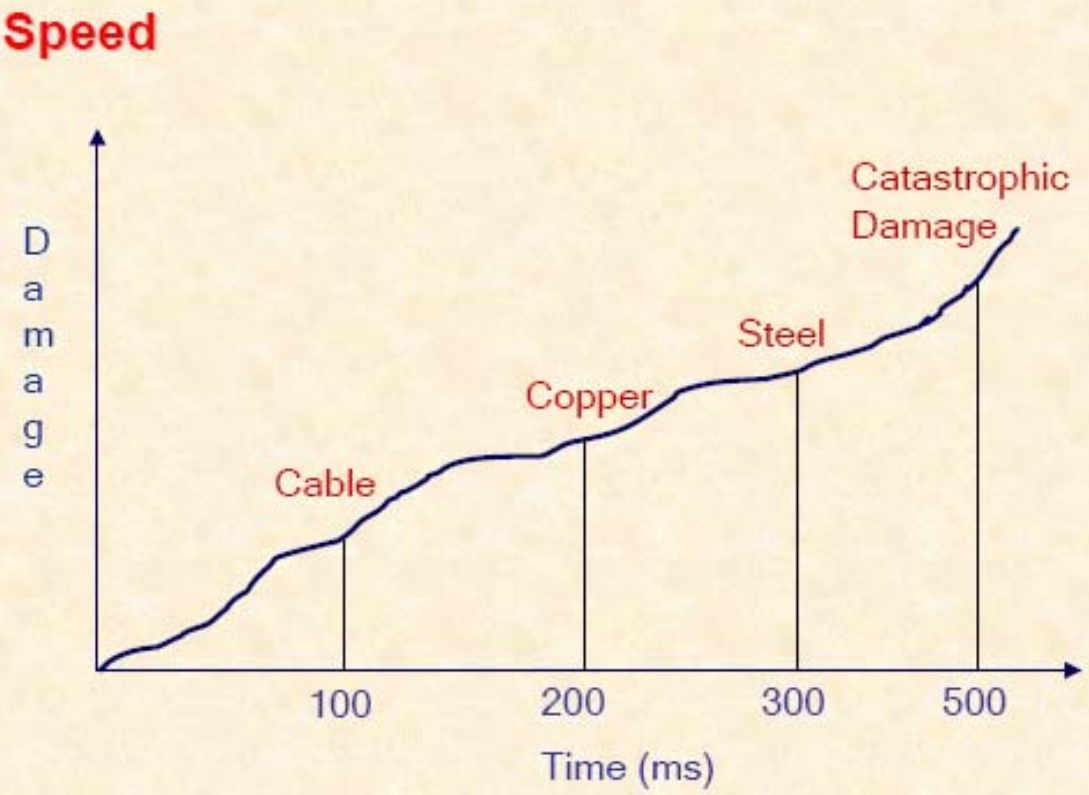
- **Minimiza el daño ó Peligro**

PROTECCION ULTRA RAPIDA (< 100ms)

- **Minimiza la inestabilidad del sistema**
- **Es contraria a la selectividad y confiabilidad**

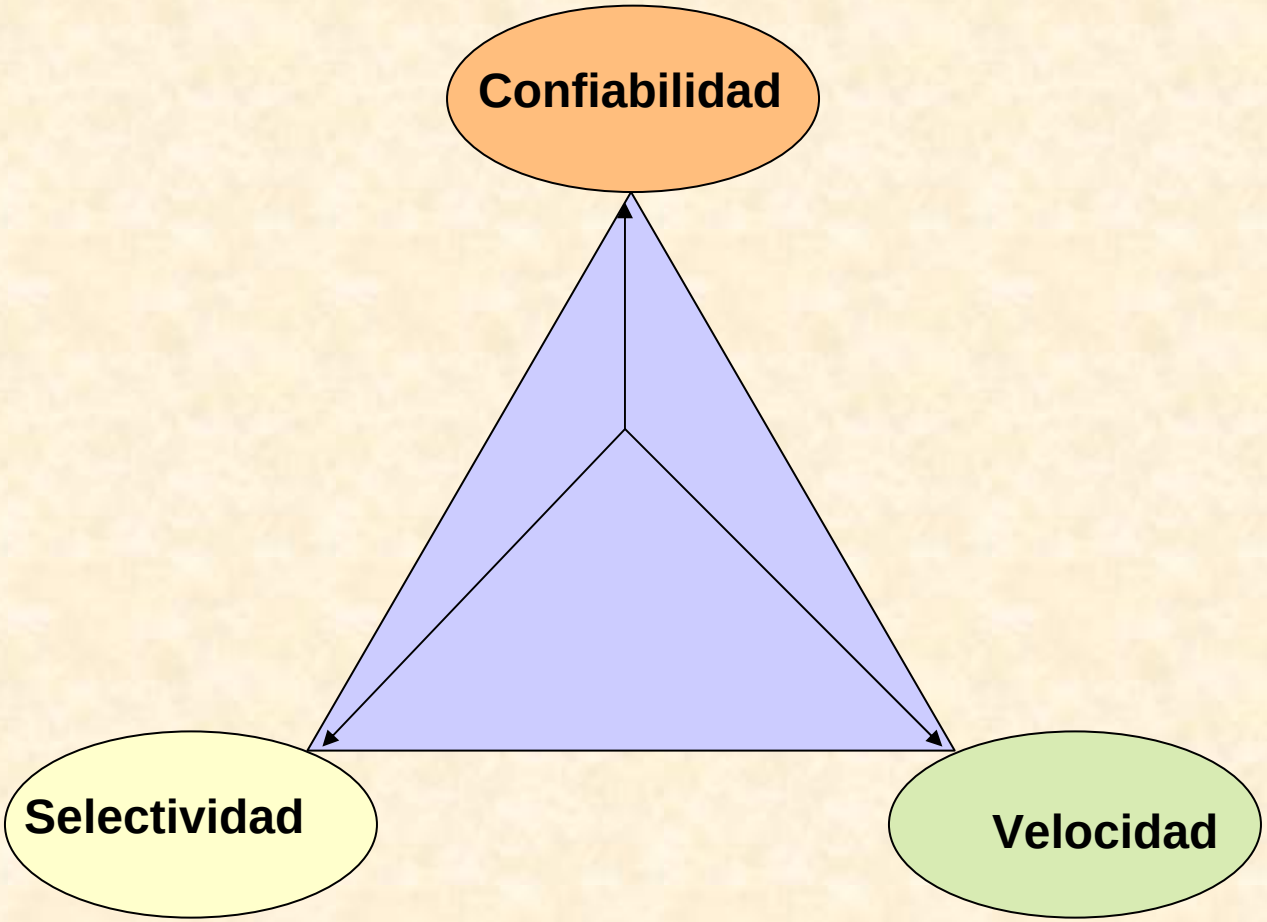
Aspectos del sistema de protección

- **VELOCIDAD**



Aspectos del sistema de protección

“La protección es arte y ciencia”



Contenido

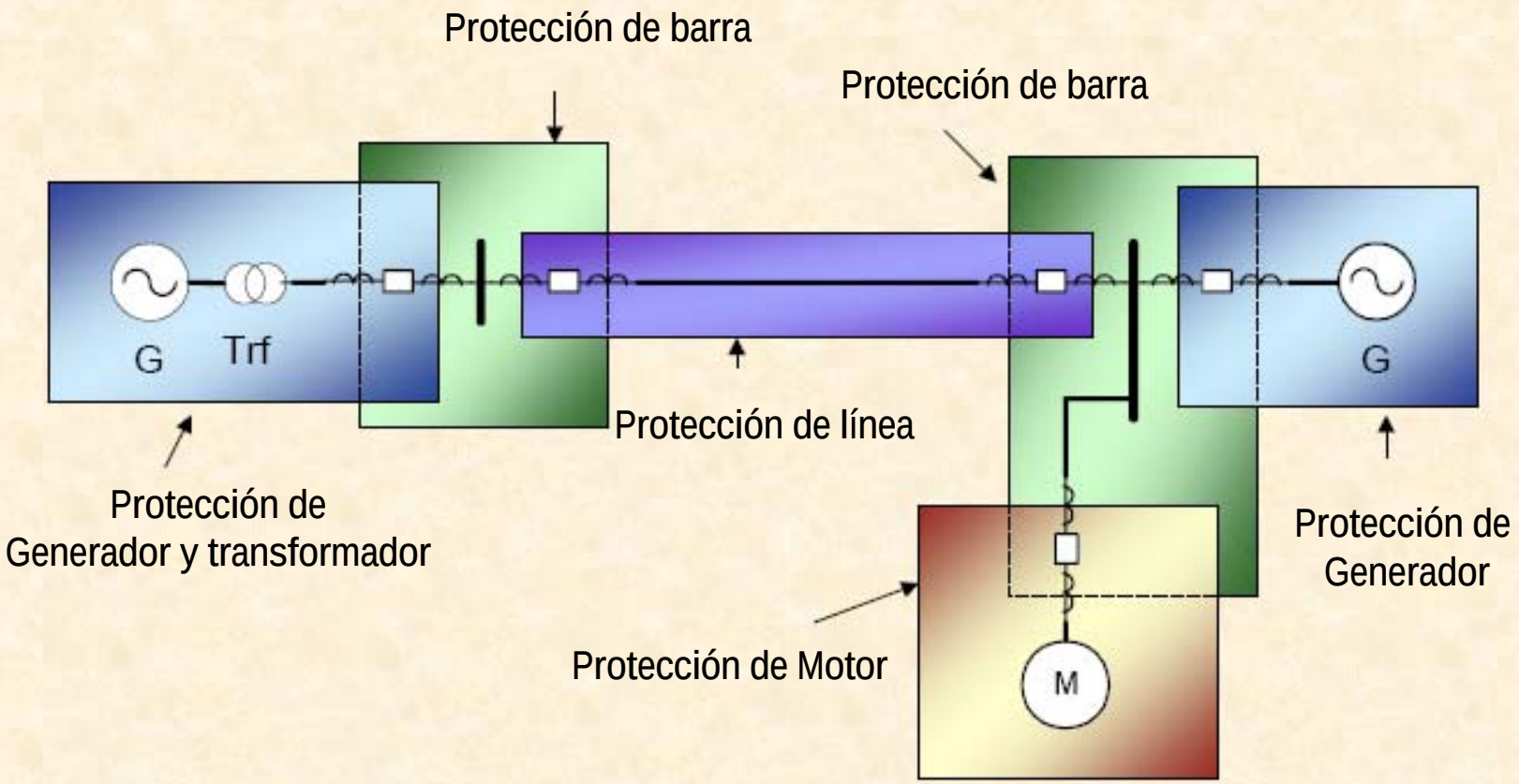
1. Revisión de sistemas de potencia
2. ¿Porque Proteger?
3. ¿Causas y tipos de fallas?
4. Factores que influencian el diseño del sistema de protección
5. Aspectos generales del sistema de protección
6. Zonas de Protección
7. Clases y Tipos de Protección
8. Consideraciones al aplicar protección
9. Códigos ANSI

Zonas de Protección ¿Dónde es la falla?

- **El sistema de potencia se divide en zonas de protección**

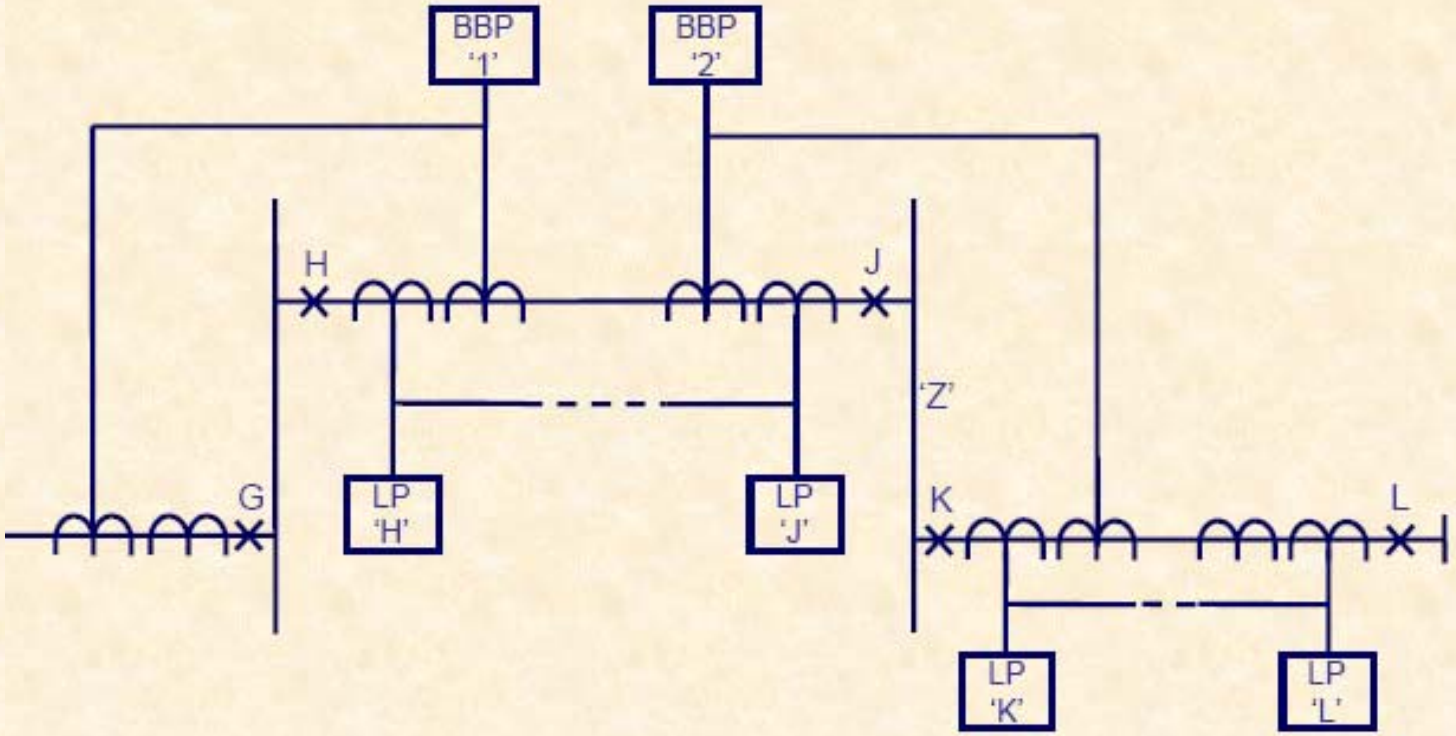
- **La protección debe aislar la zona fallada ó el equipo fallado (selectividad)**

Zonas de Protección ¿Dónde es la falla?



Zonas de Protección ¿Dónde es la falla?

Traslapes de Zonas de protección



Zonas de Protección ¿Dónde es la falla?

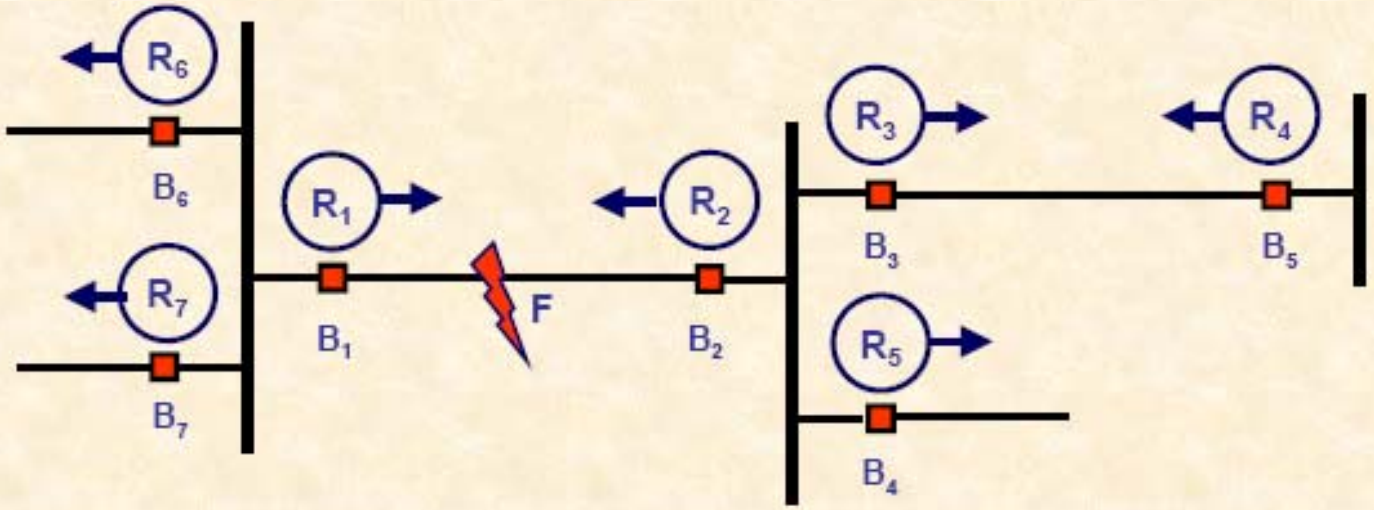
¿En que fase fue la falla?- Discriminación de fase

- **La protección debe detectar la fase fallada correctamente**

- **Importante para aplicaciones de disparo monofásico y recierre monofásico**

Para que no se duerman

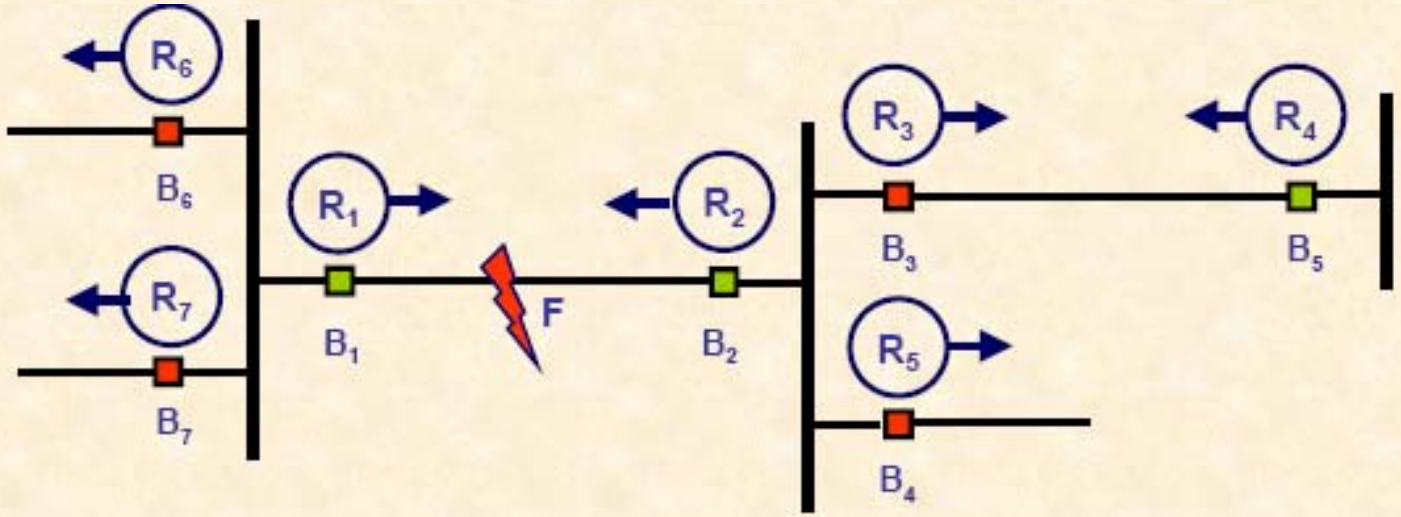
Ejemplo 1: Seguridad/Dependabilidad



- En el sistema se tiene relés direccionales Rx
- Los interruptores están marcados como Bx
- Ocurre una falla F

Para que no se duerman

Ejemplo 1: Seguridad/Dependabilidad



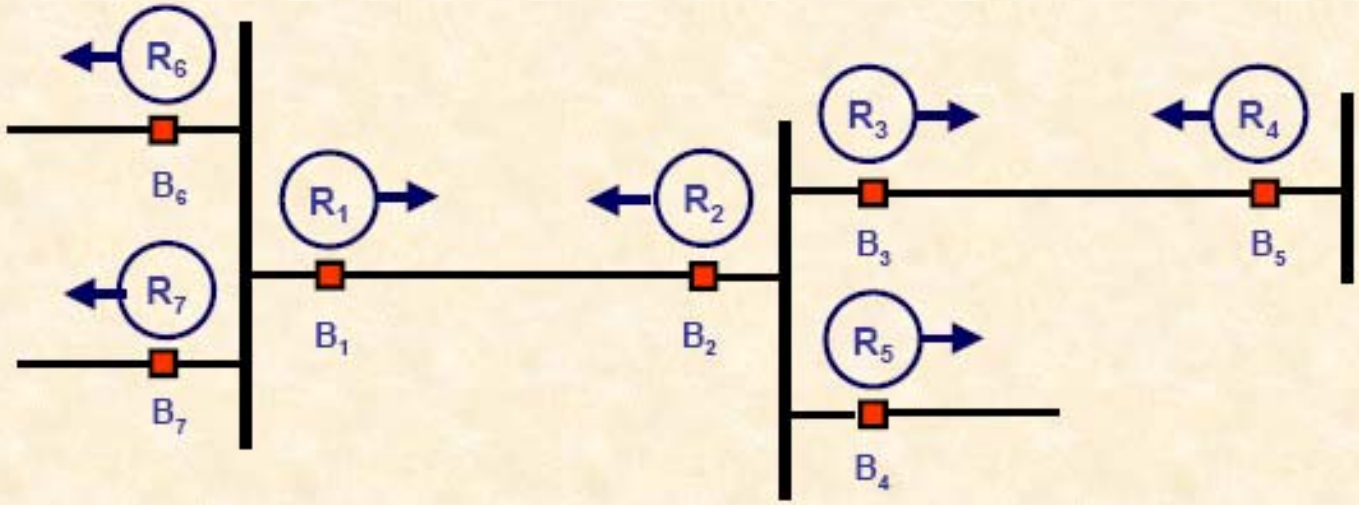
- Como resultado operan los relés R1, R2 y R4

¿Qué perdió el relé R4? Seguridad? Ó Dependabilidad?

El relé R4 perdio "Seguridad", actuo cuando no debia

Para que no se duerman

Ejemplo 2: Selectividad

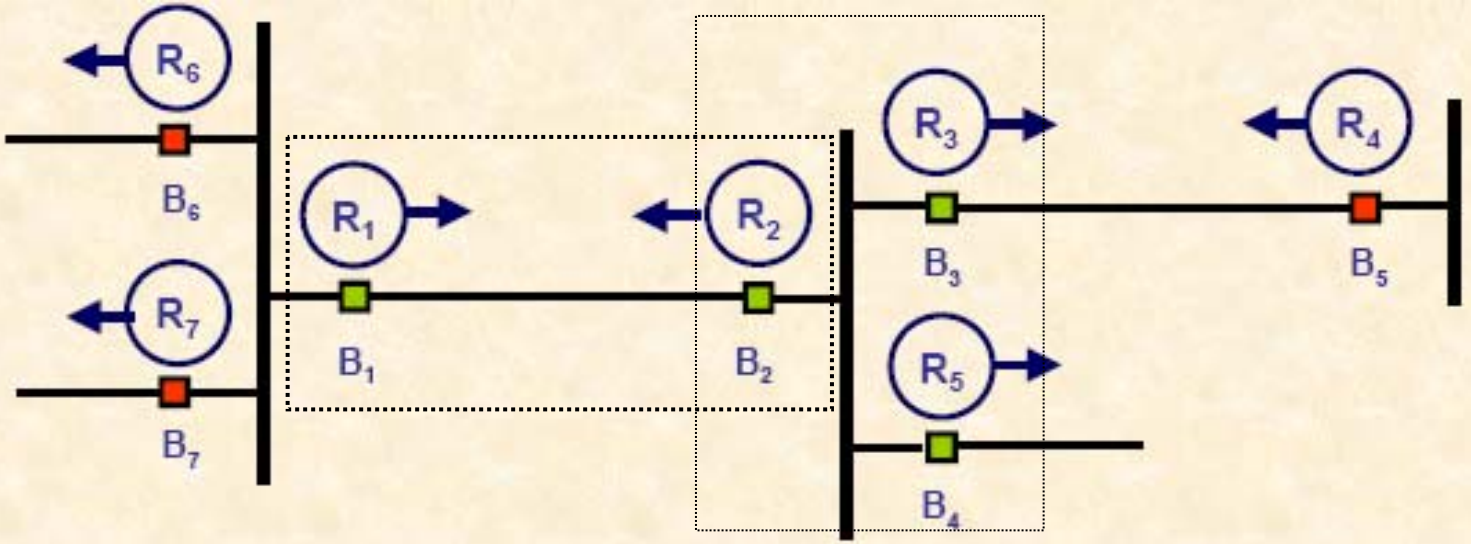


- En el sistema mostrado ocurre una falla
- Como resultado operan los interruptores B3, B2, B4, B1
- No hubo perdida de Seguridad ni dependabilidad

¿Dónde fue la falla?

Para que no se duerman

Ejemplo 2: Selectividad



La falla fue en la zona de traslapo, probablemente en el interruptor B2

Costo

- **El costo del sistema de protección es equivalente a una poliza de seguro contra daños a los equipos, perdida de suministro y calidad del suministro.**
- **Un costo aceptable se basa en un balance entre la economía y factores técnicos. El costo debe ser balanceado contra el costo de potenciales daños**
- **Siempre hay un limite económico**

MINIMO COSTO: debe asegurar la falla en el equipos debe ser aislado por su protección

Costo

¿Qué costos se debe tomar en cuenta?

- **relés, paneles, cableado**
- **Estudios de coordinación**
- **Pruebas y puesta en servicio**
- **TCs y TTs**
- **Costos de Mantenimiento y reparación**
- **Costos de reparación (si falla durante su funcionamiento)**

Costo

SISTEMAS DE DISTRIBUCION

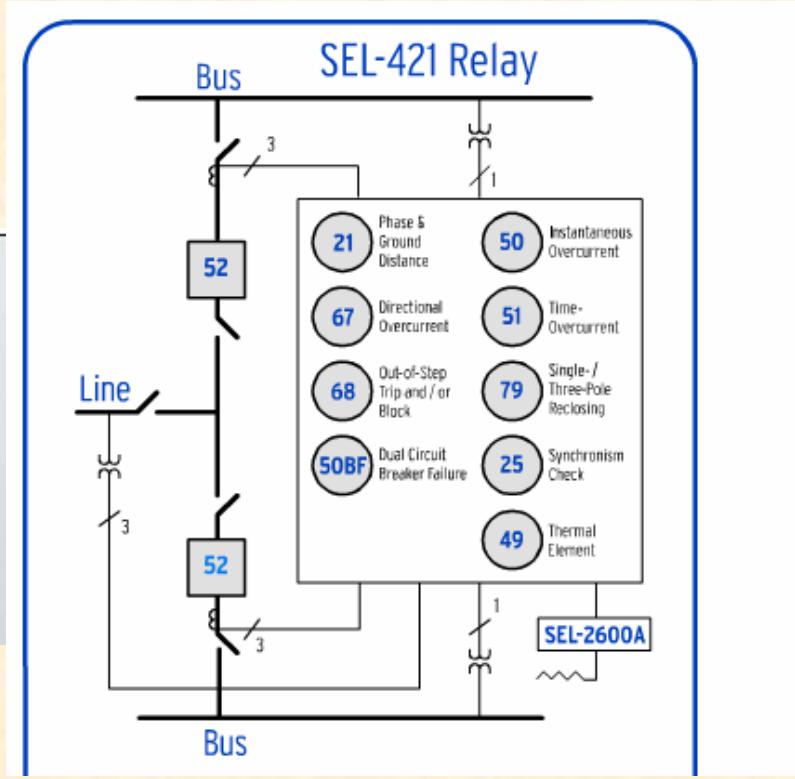
- **Gran numero de puntos de distribución, transformadores, alimentadores**
- **Economía > Aspectos técnicos**
- **Protecciones mínimas**
- **Menos veloces que en sistemas de transmisión**
- **Protección de respaldo simple**
- **Aunque es importante, las consecuencias de una mala operación o falla de operación es menos seria que en un sistema de transmisión**

Costo

SISTEMAS DE TRANSMISION Y GENERACION

- **Consideraciones técnicas > Económicas**
- **La economía no puede ser ignorada es de importancia secundaria**
- **Altos costos de la protección se justifica por altos costos de equipamiento**
- **Se deben considerar la calidad de suministro**
- **Se deben usar respaldo para mayor confiabilidad**
- **Se debe usar disparos monofásicos y recierres para mantener la estabilidad del sistema**

COSTO: Reles numericos



Contenido

1. Revisión de sistemas de potencia
2. ¿Porque Proteger?
3. ¿Causas y tipos de fallas?
4. Factores que influencian el diseño del sistema de protección
5. Aspectos generales del sistema de protección
6. Zonas de Protección
7. Clases y Tipos de Protección
8. Consideraciones al aplicar protección
9. Códigos ANSI

TIPOS DE PROTECCION

FUSIBLES

Usados en redes de bajo voltaje, alimetadores y transformadores de distrbución, TTs, servicios auxiliares.

EQUIPOS DE ACTUACION DIRECTA

Reclosers, etc.

SOBRECORRIENTE DE FASES Y TIERRA

Usado en todos los sistemas de potencia
Pueden ser direcionales ó no direccionales
Puede depender de la tensión

TIPOS DE PROTECCION

DIFERENCIAL

Líneas de transmisión, barras, transformadores de potencia, generadores, etc.

- **Alta impedancia**
- **Baja impedancia**
- **Por hilo piloto**
- **Digitales, etc**

DISTANCIA

Líneas de Transmisión y subtransmisión, alimentadores
Como respaldo de transformadores y generadores

COMPARACION DE FASE Y COMPARACION DIRECCIONAL

Líneas de transmisión

TIPOS DE PROTECCION

OTROS

Mínima frecuencia,
Sobrefrecuencia
Mínima tensión
Sobretensión
Sobrecarga
Relé de recierre
Control de tomas bajo carga
Relés de disparo (86) y relés auxiliares
Etc

CLASES DE PROTECCION

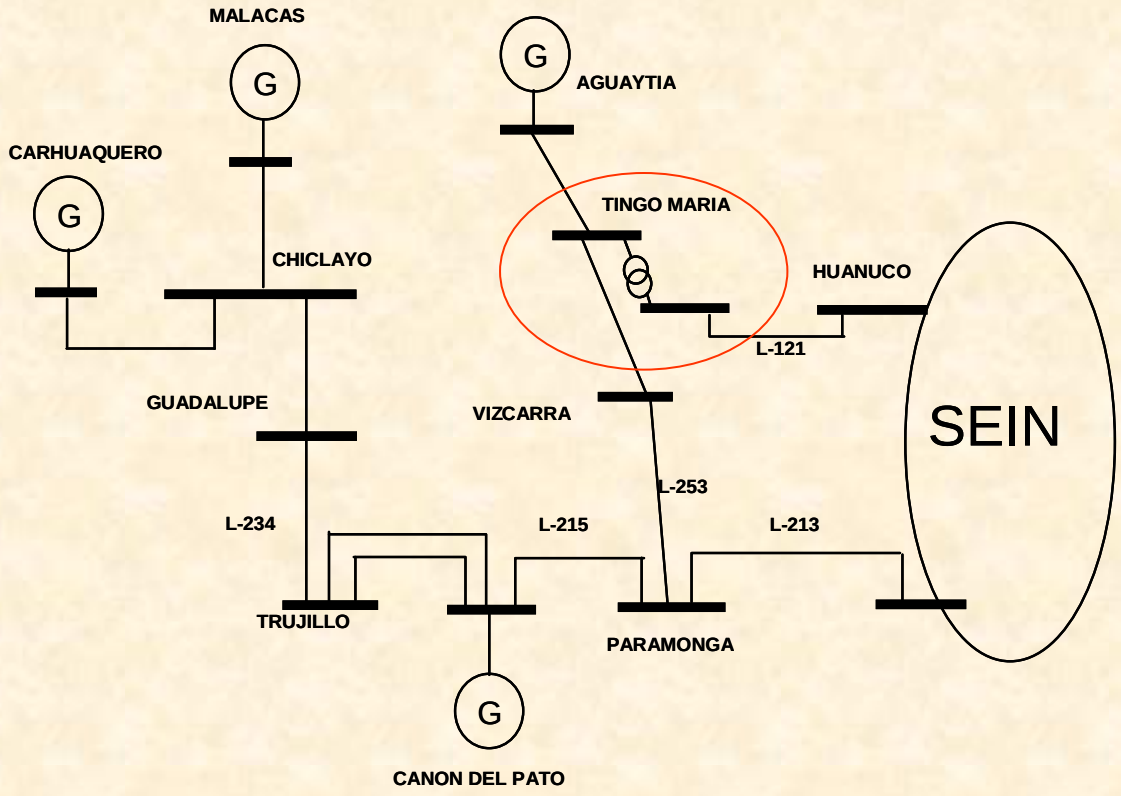
PROTECCIONES SISTEMICAS

- **Esquemas de rechazo de Carga**
- **Esquemas de rechazo de generación**
- **Fasores sincronizados**

CLASES DE PROTECCION

PROTECCIONES SISTEMICAS

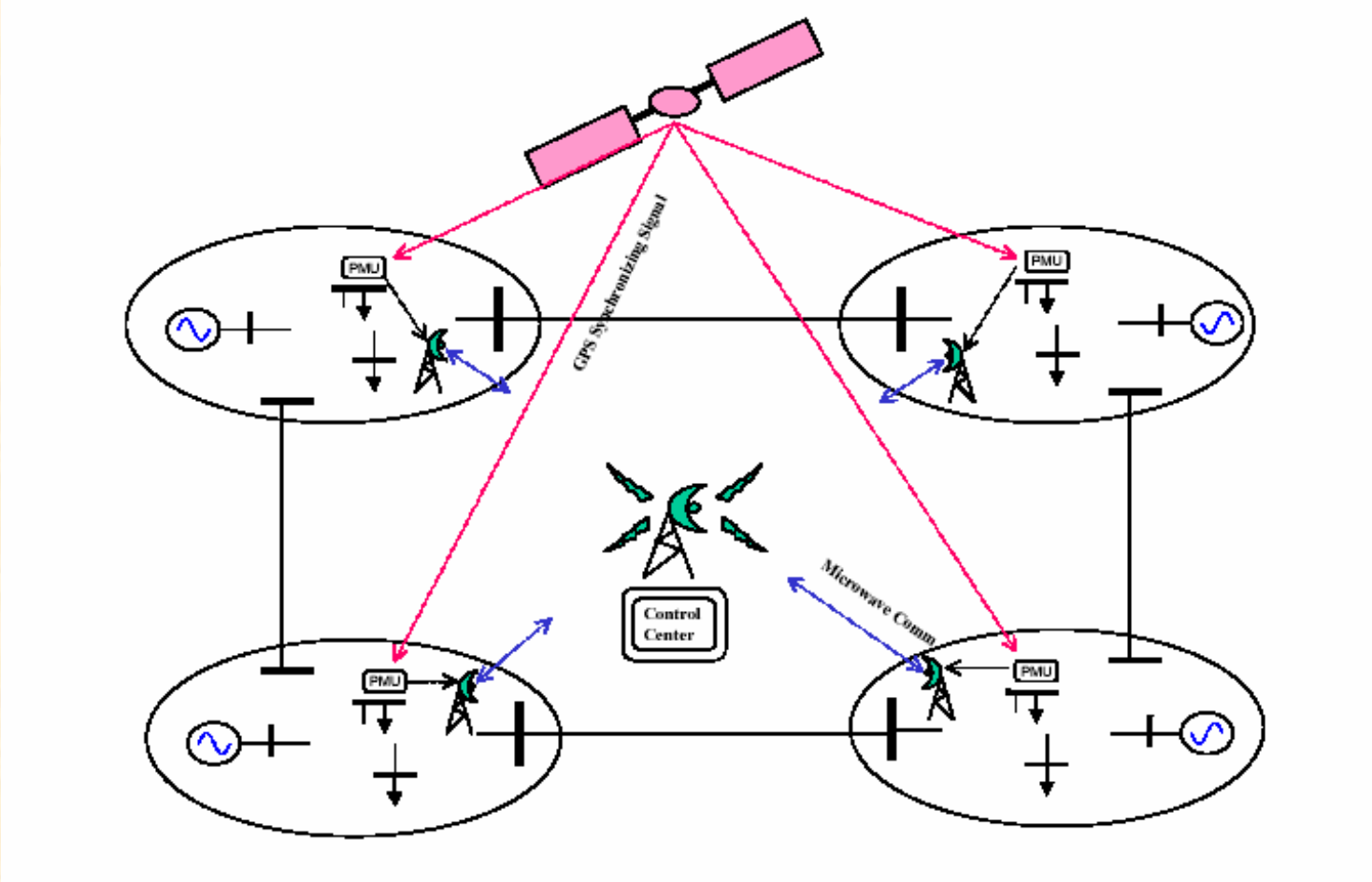
- AGR (Esquema de rechazo de generación)



CLASES DE PROTECCION

PROTECCIONES SISTEMICAS

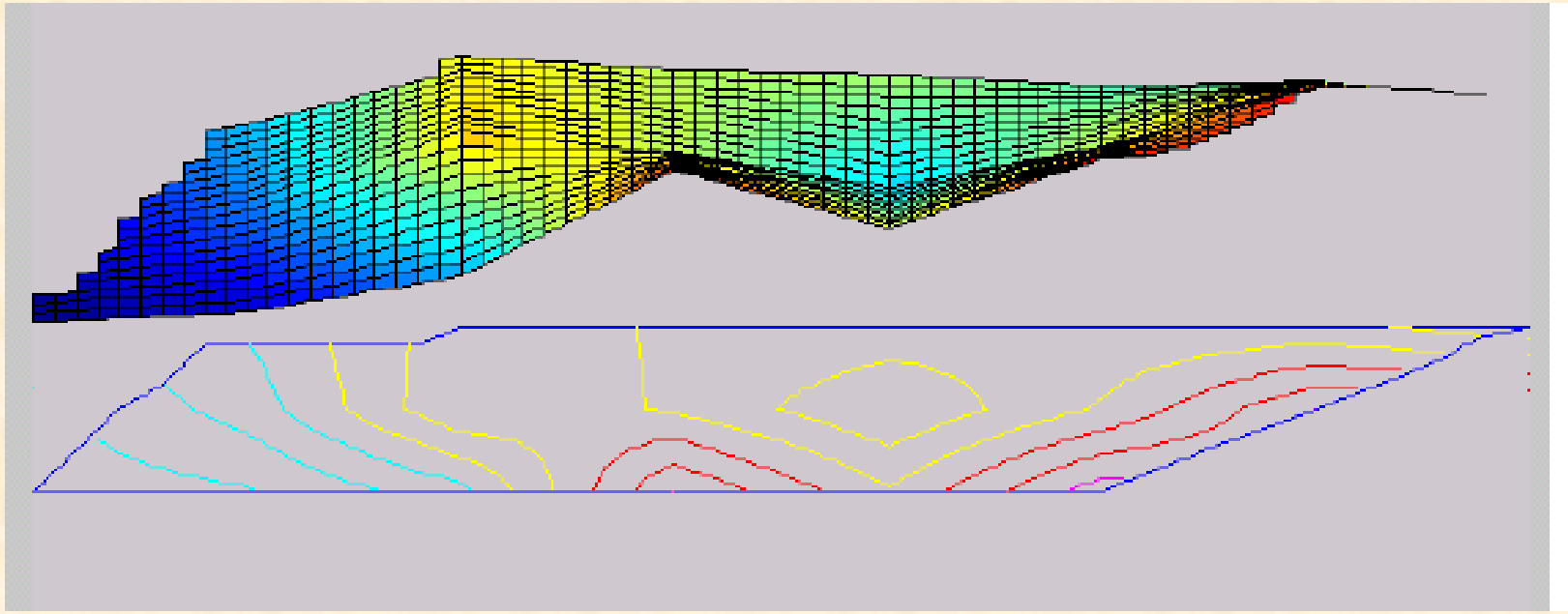
- **FASORES SINCRONIZADOS**



CLASES DE PROTECCION

PROTECCIONES SISTEMICAS

- **FASORES SINCRONIZADOS**



Contenido

1. Revisión de sistemas de potencia
2. ¿Porque Proteger?
3. ¿Causas y tipos de fallas?
4. Factores que influencian el diseño del sistema de protección
5. Aspectos generales del sistema de protección
6. Zonas de Protección
7. Clases y Tipos de Protección
8. Consideraciones al aplicar protección
9. Códigos ANSI

Consideraciones importantes

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE Y TENSION

- **Son parte esencial del esquema de protección, reducen las corrientes y voltios primarios a nivels bajos adecuados para los relés de protección.**
- **Estos deben ser especificados para amntener los requerimiento de los equipos de protección**
- **La correcta conexión de los TCs y TTs es importante para los relés de protección (direccional, distancia, comparasión, diferencial)**
- **Los transformadores de tensión pueden ser capacitivos ó inductivos**
- **En Alta tensión se necesita TTs en las barras (sincronimos, etc)**

Consideraciones importantes

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE Y TENSION

- **Nunca abrir un circuito secundario de un TC, por lo que nunca se deben usar fusibles en los circuitos de corriente**
- **Los secundarios de los transformadores de tensión deben protegerse con fusibles ó MCB**
- **Se deben usar borneras de pruebas (para ambos TC y TT), permite realizar pruebas a los relés**
- **Aterrar los circuitos secundarios de los TTs y CTs**

Consideraciones importantes

SERVICIOS AUXILIARES

- **Son requeridos para los circuitos de apertura y cierre de los interruptores**
- **En Baja tensión y media tensión existen servicios auxiliares de CA.**
- **En alta tensión los servicios auxiliares son en CC.**
- **La corriente continua en Servicios auxiliares es mas confiable que la alterna (2 bancos de Baterías, 2 rectificadores).**
- **Los circuitos de CC son inmunes a los efectos en alta tensión**

Consideraciones importantes

CONTACTOS DE SALIDA

NO: Normalmente abiertos (cerrados cuando están energizados)
NC: Normalmente cerrados (cerrados cuando están desenergizados)

Contenido

1. Revisión de sistemas de potencia
2. ¿Porque Proteger?
3. ¿Causas y tipos de fallas?
4. Factores que influencian el diseño del sistema de protección
5. Aspectos generales del sistema de protección
6. Zonas de Protección
7. Clases y Tipos de Protección
8. Consideraciones al aplicar protección
9. Códigos ANSI

CODIGOS ANSI

21: Relé de distancia
25: Relé de sincronismo
27: Relé de mínima tensión
30: anunciador
32: Relé direccional de potencia
37: Mínima potencia y mínima corriente
46: relé de secuencia negativa
49: relé térmico
50: Relé de sobrecorriente instantaneo
51: Relé de sobrecorriente temporizado
50/51N : Relé de sobrecorriente de tierra (inst, temp)
50BF: Relé de falla interruptor
52: Interruptor
59: Sobretensión
60: relé de balance de tensión y corriente

CODIGOS ANSI

64: Relé de falla a tierra (Tensión homopolar)
67/67N: Relé direccional de fases/tierra
79: Relé de recierre
81: Relé de frecuencia
85: Relé de envío y recepción
86: Relé de bloqueo y disparo
87: Relé diferencial
87T: Diferencial de transformador
87B: Diferencial de barra
87G: Diferencial de generador
87L: Diferencial de línea

Capitulo II

Protección de Sistemas de Potencia

Desarrollo del Curso

Tópicos a Desarrollar

- **Filosofía de los sistemas de protección**
- **Principios de operación de los reles de protección**
- **Protección de sistemas de distribución (fusibles, reles de sobrecorriente, seccionalizadores)**
- **Protección de líneas de transmisión (Distancia)**
- **Esquemas de Teleprotección**
- **Protección de transformadores de potencia**
- **Protección de generadores**

Capitulo 2

Principios de operación de los reles de protección

Contenido

1. Herramientas para los ingenieros de Protección I
2. Elementos de un sistema de protección
3. Herramientas para los ingenieros de Protección II
4. Principios de operación de los reles de protección

Contenido

1. Herramientas para los ingenieros de Protección I
2. Elementos de un sistema de protección
3. Herramientas para los ingenieros de Protección II
4. Principios de operación de los reles de protección

Herramientas para los Ingenieros de Protección I

*Valores en por unidad en sistemas **monofásicos***

$$S_B = Potencia\ Base$$

$$V_B = Tension\ Base$$

A partir de estos valores podemos calcular la corriente base y la impedancia base

$$Corriente\ Base\ I_B = \frac{S_B}{V_B} A$$

$$\text{Im}\ pedancia\ Base\ Z_B = \frac{V_B}{I_B} = \frac{V_B^{\ 2}}{S_B} \Omega$$

Herramientas para los Ingenieros de Protección I

Valores en por unidad en sistemas ***monofásicos***

$$s_{pu} = \frac{S}{S_B} = \frac{P + jQ}{S_B} = \frac{P}{S_B} + j\frac{Q}{S_B} = p_{pu} + jq_{pu}$$

$$z_{pu} = \frac{Z}{Z_B} = \frac{R + jX}{Z_B} = \frac{R}{Z_B} + j\frac{X}{Z_B} = r_{pu} + jx_{pu}$$

Para Cambiar de` base

$$Z_n = Z_a \left(\frac{V_{Ba}}{V_{Bn}}\right)^2 \left(\frac{S_{Bn}}{S_{Ba}}\right) pu$$

Herramientas para los Ingenieros de Protección I

*Valores en por unidad en sistemas **trifásicos***

$$S_{B-3\Phi} = 3\,S_{B-1\Phi}; \quad V_{B-LL} = \sqrt{3}\,V_{B-LN}$$

A partir de estos valores podemos calcular la impedancia de base, y la corriente de base

$$Z_{B-3\Phi} = \frac{V_{B-LL}^{\ 2}}{S_{B-3\Phi}}; \quad I_{B-3\Phi} = \frac{S_{B-3\Phi}}{\sqrt{3}\,V_{B-3\Phi}}$$

Herramientas para los Ingenieros de Protección I

*Valores en por unidad en sistemas **trifásicos***

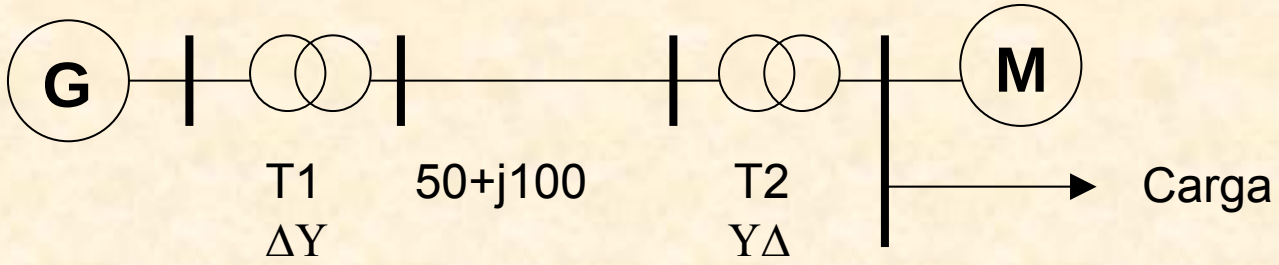
$$s_{pu} = \frac{S_{3\Phi}}{S_{B-3\Phi}} = \frac{P_{3\Phi}}{S_{B-3\Phi}} + j\frac{Q_{3\Phi}}{S_{B-3\Phi}} = p_{pu} + jq_{pu}$$

$$z_{pu} = \frac{Z}{Z_{B-3\Phi}} = \frac{R}{Z_{B-3\Phi}} + j\frac{X}{Z_{B-3\Phi}} = r_{pu} + jx_{pu}$$

Para convertir los valores de pu a valores de sistema
(I pu) (I base) = I A
(V pu)(V base) = V V
(P pu)(S base) = P W
(Q pu)(S base) = Q var

Herramientas para los Ingenieros de Protección I

*Valores en por unidad en sistemas **trifásicos: Ejm***

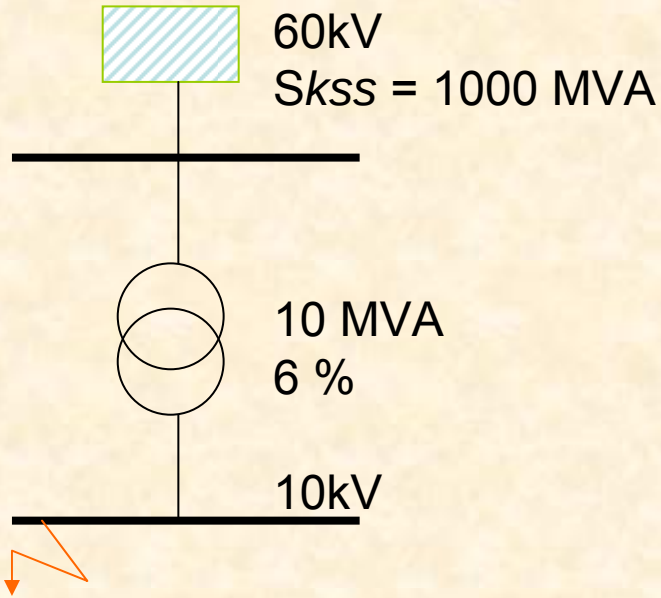


Generador : 15MVA, 13.8kV, X = 0.15 pu
Motor : 10MVA, 13.2kV, X = 0.15 pu
T1 : 25MVA, 13.2-161kV, X = 0.10 pu
T2 : 15MVA, 13.8-161kV, X = 0.10 pu
Carga : 4MVA, Cosφ = 0.8 ind

Encuentre los valores en pu para Vbase = 161kV, Sbase=20MVA

Herramientas para los Ingenieros de Protección I

*Calculo de fallas **simétricas** en sistemas de potencia. Ejm 1*



¿Calcular la corriente de falla?

Paso 1: Calculo de los valores Base

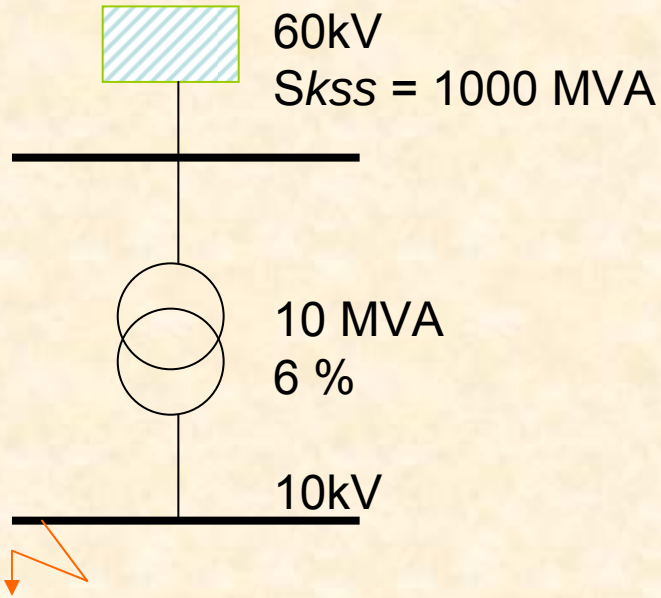
Sbase = 100 MVA
Vbase = 60kV

Zbase = $Vbase^2/Sbase$
= $60kV^2/100$ MVA = 36 Ω

Ibase = Sbase / (√3 Vbase)
= 100 MVA / (√3 60kV)
= 0.96 kA = 960 A

Herramientas para los Ingenieros de Protección I

*Calculo de fallas **simétricas** en sistemas de potencia. Ejm 1*



Paso 2: Calculo de las Z en pu

$$ZTpu = Zt \times \frac{Sbase_n}{Sbase_a}$$

$$= 0.06 \times 100/10 = 0.6 \text{ pu}$$

$$Zspu = \frac{Sbase_n}{Sbase_a} \times \frac{Vbase_a}{Vbase_n}$$

$$Zspu = (100 * 60)/(1000 * 60)$$

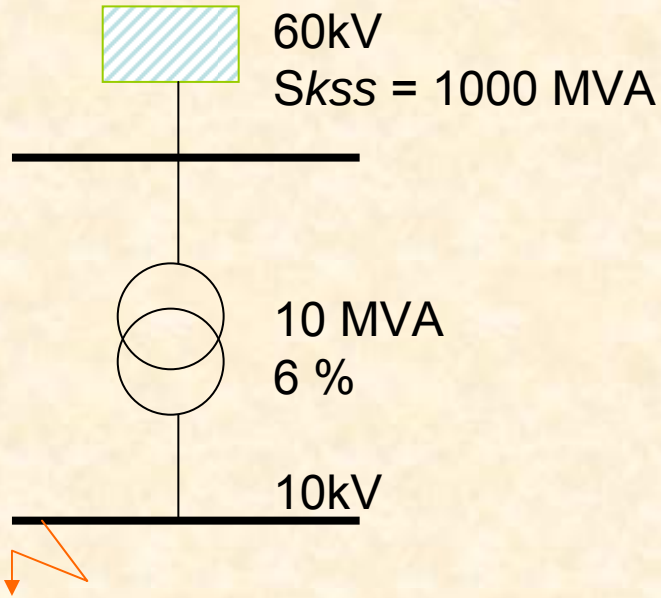
$$= 0.1 \text{ pu}$$

$$Zpu_total = 0.6 \text{ pu} + 0.1 \text{ pu}$$

$$= 0.7 \text{ pu}$$

Herramientas para los Ingenieros de Protección I

*Calculo de fallas **simétricas** en sistemas de potencia. Ejm 1*



Paso 3: Calculo de la I de falla en pu

$$Ifpu = \frac{Vpu}{Zpu_total}$$

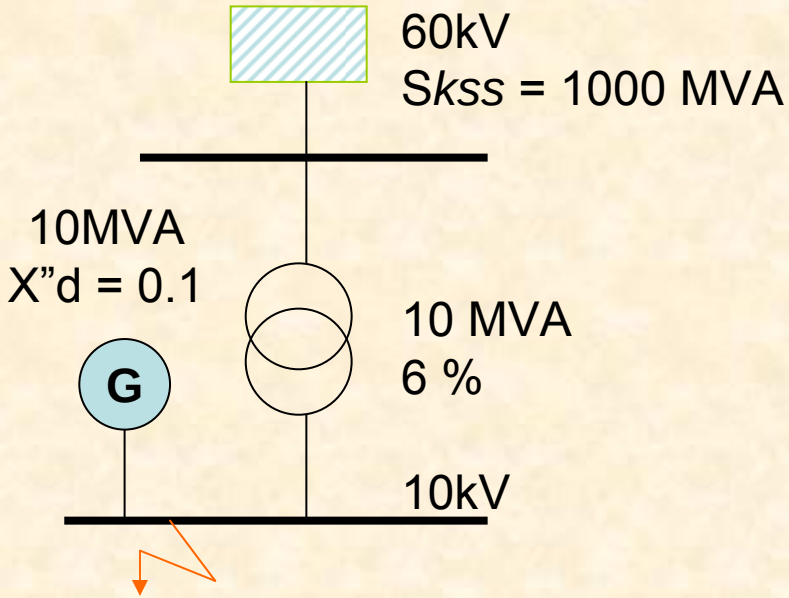
$$= 1.0 / 0.7 = 1.43 \text{ pu}$$

Ifalla HV = Ifpu x Ibase
= 1.43 x 960 A
= 1372 A

Ifalla LV = Ifalla HV x 60kV/10kV
Ifalla LV = 8232 A

Herramientas para los Ingenieros de Protección I

*Calculo de fallas **simétricas** en sistemas de potencia. Ejm 2*



¿Calcular la corriente de falla?

Paso 1: Calculo de los valores Base

Sbase = 100 MVA

Lado 60kV

ZTpu = 0.6 pu

Zspu = 0.1 pu

Lado 10kV

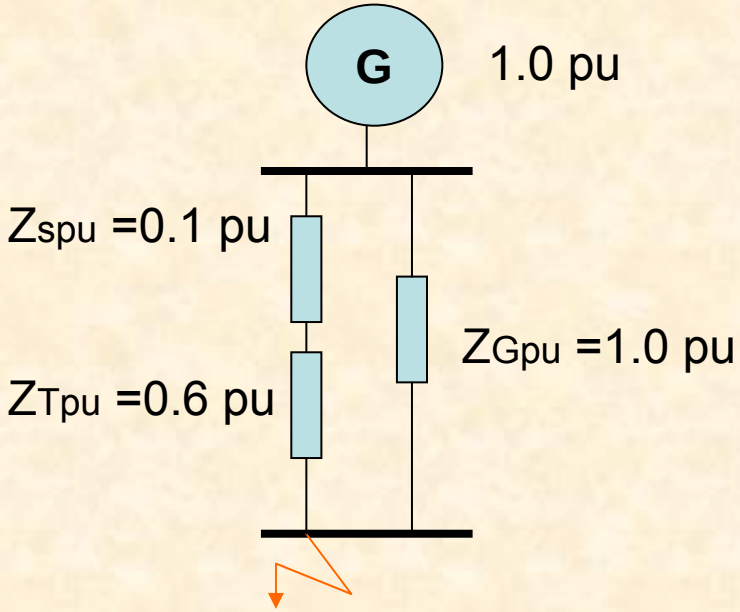
$Z_{gpu_n} = Z_{gpu_a} \times \frac{S_{base_n}}{S_{base_a}}$

$= 0.1 \text{ pu} \times (100/10)$

$= 1 \text{ pu}$

Herramientas para los Ingenieros de Protección I

*Calculo de fallas **simétricas** en sistemas de potencia. Ejm 2*



¿Calcular la corriente de falla?

Paso 2: Calculo de impedancias equivalente

Z_{eq_pu} = (0.7 x 1.0) / (0.7 + 1)
= 0.41

$$Ifpu = \frac{Vpu}{Zpu_total} = 1.0 / 0.41 = 2.43 \text{ pu}$$

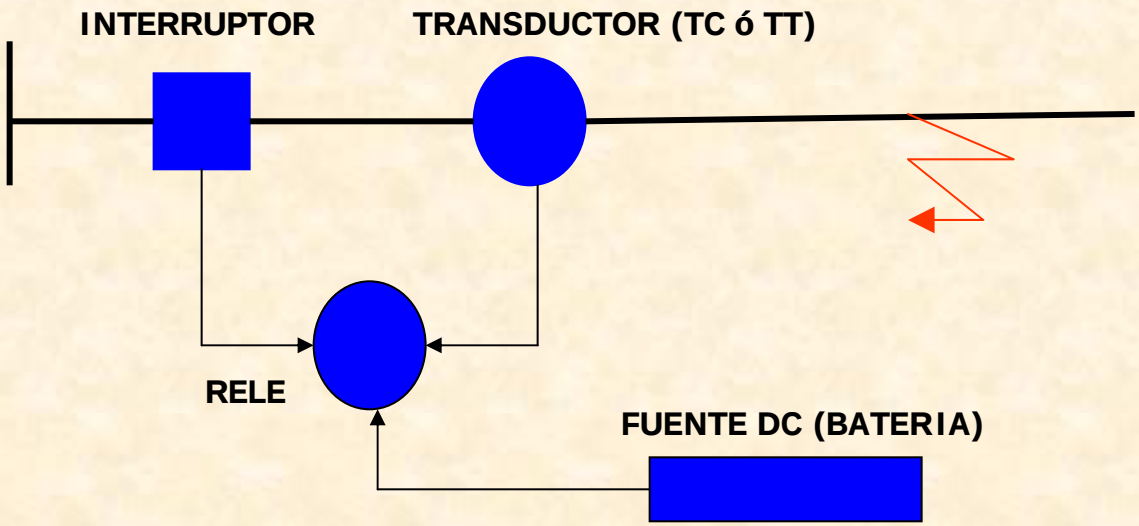
Ifalla HV = Ifpu x Ibase
= 2.43 x 960 A
= 2332.8 A

Ifalla LV = Ifalla HV x 60kV/10kV
Ifalla LV = 13996.8 A

Contenido

1. Herramientas para los ingenieros de Protección I
2. Elementos de un sistema de protección
3. Herramientas para los ingenieros de Protección II
4. Principios de operación de los reles de protección

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION



Transductor : Transforma la corriente ó tensión de niveles valores primarios a secundarios.
Relé : Encargado de procesar la información del tranductor y determinar una condición de falla ó anormal
Interruptor : Encargado de aislar el circuito fallado
Fuente DC: Alimentación del relé y circuitos de mando del interruptor

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

LOS INTERRUPTORES:
definición

Un Interruptor es definido en estándar ANSI como un equipo de maniobra mecánico, capaz de conducir é interrumpir corrientes bajo condiciones normales. También capaz de conducir é interrumpir corrientes bajo condiciones anormales especificas como cortocircuitos.

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

LOS INTERRUPTORES:
Requerimientos Generales

-Debe ser un conductor perfecto cuando esta cerrado
-Debe ser un aislante perfecto cuando esta abierto
-Debe ser rápido al cierre
-Debe ser rápido a la apertura

Requerimientos desde el punto de vista de protección

-Debe se capaz de interrumpir grandes corrientes.

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

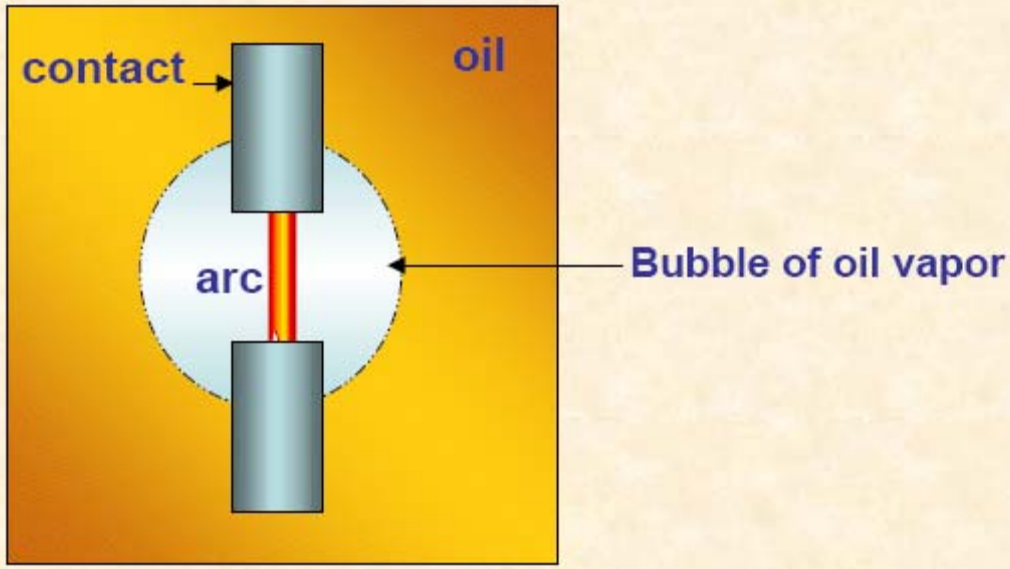
LOS INTERRUPTORES:
Clasificación (por el medio de extinción del arco)

-**Aire**
-Aceite
-SF6
-Vacío

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

LOS INTERRUPTORES:
Clasificación (por el medio de extinción del arco)

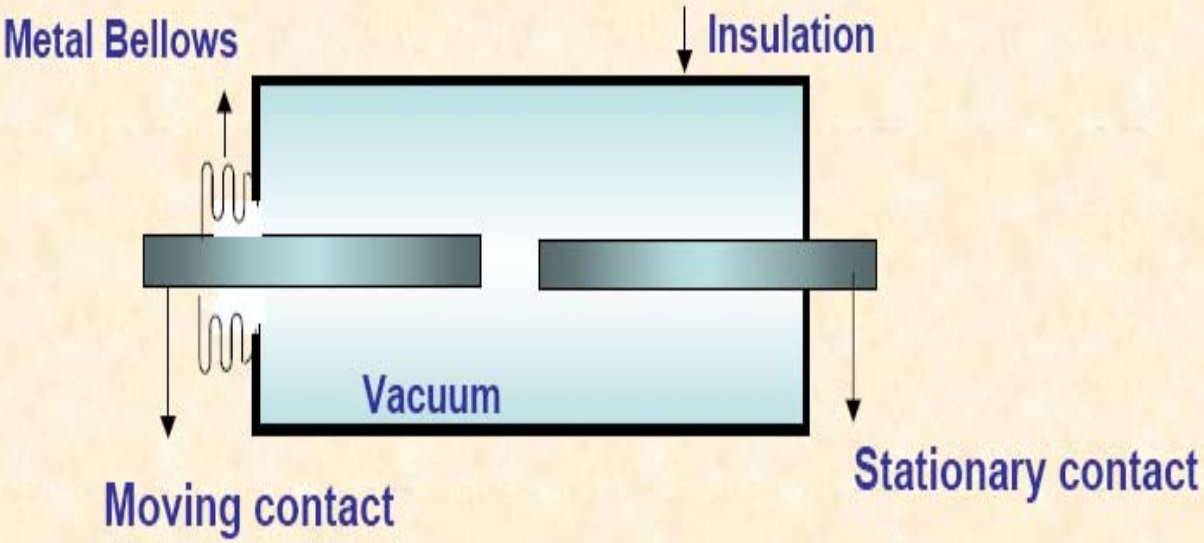
-Aire
-**Aceite**
-SF6
-Vacío



ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

LOS INTERRUPTORES:
Clasificación (por el medio de extinción del arco)

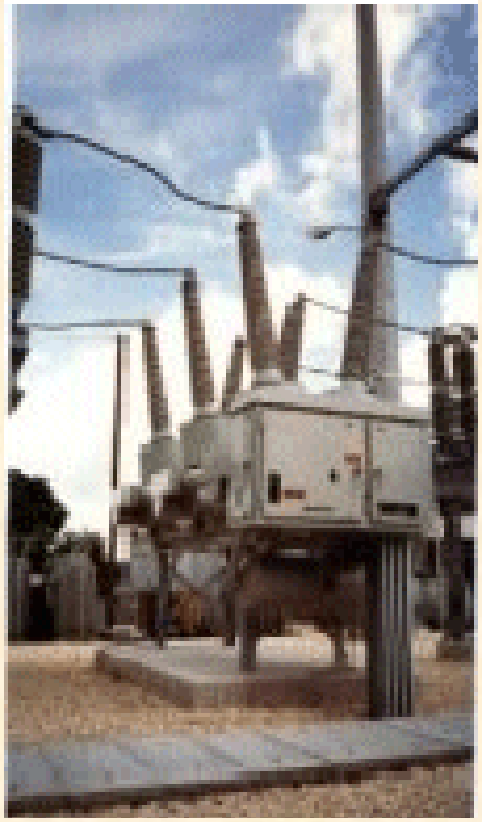
-Aire
-Aceite
-SF6
-**Vacío**



ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

LOS INTERRUPTORES:
Clasificación de los interruptores de HV

TANQUE VIVO



TANQUE MUERTO

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE Y TENSION

La función de los transformadores de tensión y corriente es llevar los valores de alta tensión (PRIMARIOS) a niveles bajos por razones de seguridad (SECUNDARIOS)

- Por el tamaño de los equipos de protección y medida (1A, 100V)

- Estandarizados para fácil intercambio de los mismo

CTs (5 y 1 Amperio)
VTs (100 V, 110V, 120V fase-fase)

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

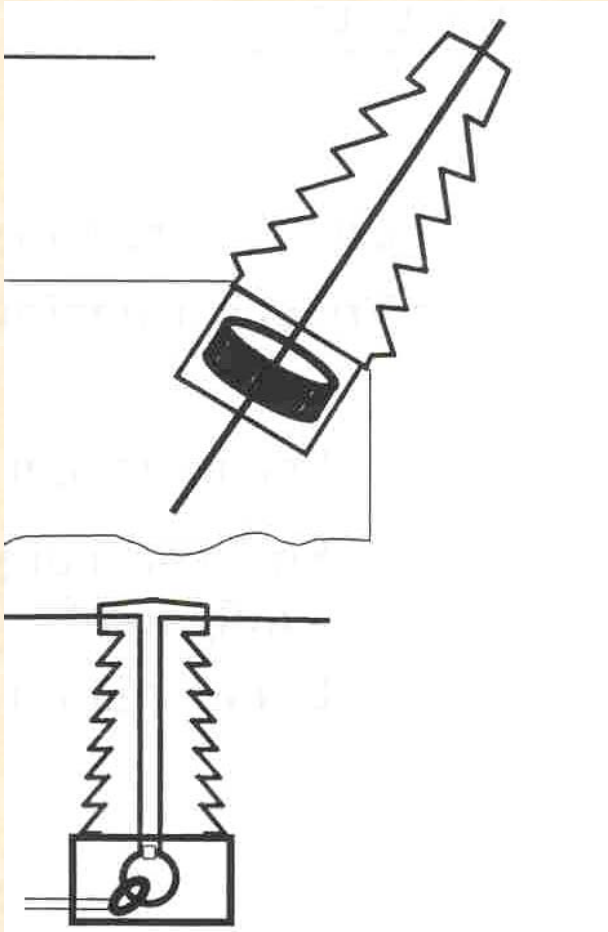
TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

Tipo Bushing (BUJE)

- Baratos
- Deben ser construidos en el bushing
- No es posible en Interruptores de tanque vivo
- Tienen menos precisión por su tamaño

Stand-Alone
- Es mas caro
- Es mas preciso



ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

CLASE DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

- *Comportamiento en estado estacionario IEC44-1*

  De acuerdo al estandar IEC44-1, la designación de los CT's para propositos de protección empiezan con el maximo errór combinado (5 ó 10%) a la corriente de cortocircuito limite, luego la letra "P" (Para protección) y finalmente el factor limite de precisión (FLP).

Dos clases de precisión son definidas

Clase de Presición	Error de corriente a la corriente IN	Error de angulo δ a la corriente IN	Error combinado FLP*IN
5P	$\pm$1%	$\pm$60 minutos	5%
10P	$\pm$3%		10%

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

En general un transformador de corriente para protección es determinado por la siguiente información

Relación de transformación: $I_{primario}/I_{secundario}$ Ejm. 600/1, 400/1, 600/5

Potencia PN: Potencia definida por el CT en el lado secundario a una corriente definida y carga definida(burden) Ejm: 30VA

Clase de Presición: 5P ó 10P

Factor limite de precisión: Es un multiplo del ratio de corriente, sin componente DC, que puede ser transformada por el CT con la clase de precisión definida, si la carga conectada es la carga definida (burden)
Con grandes corrientes el CT se satura y distorsiona la corriente secundaria.

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

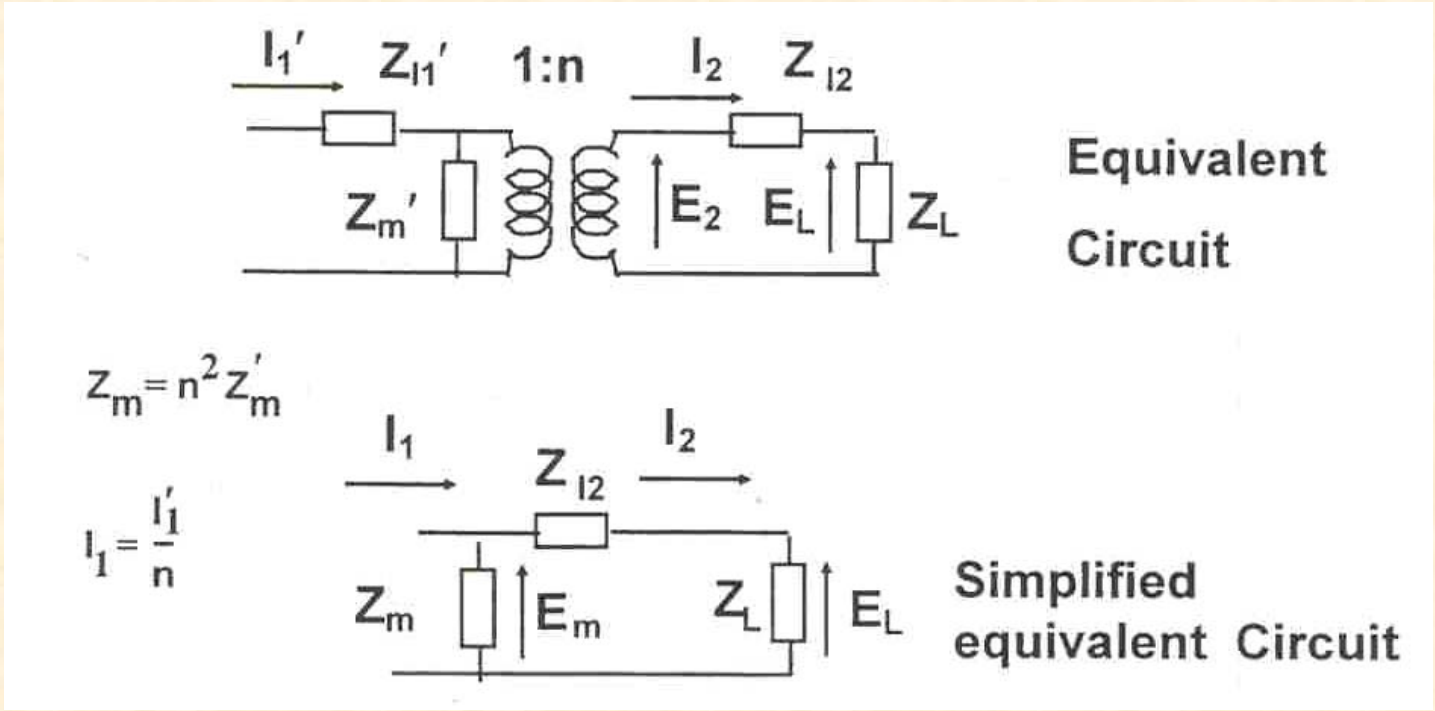
"El factor limite de precisión(FLP ó AFL) del CT solo aplica cuando la carga nominal del CT es conectada "

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

Desempeño de un Transformador de Corriente (En Estado Estacionario)

Reflejando al secundario

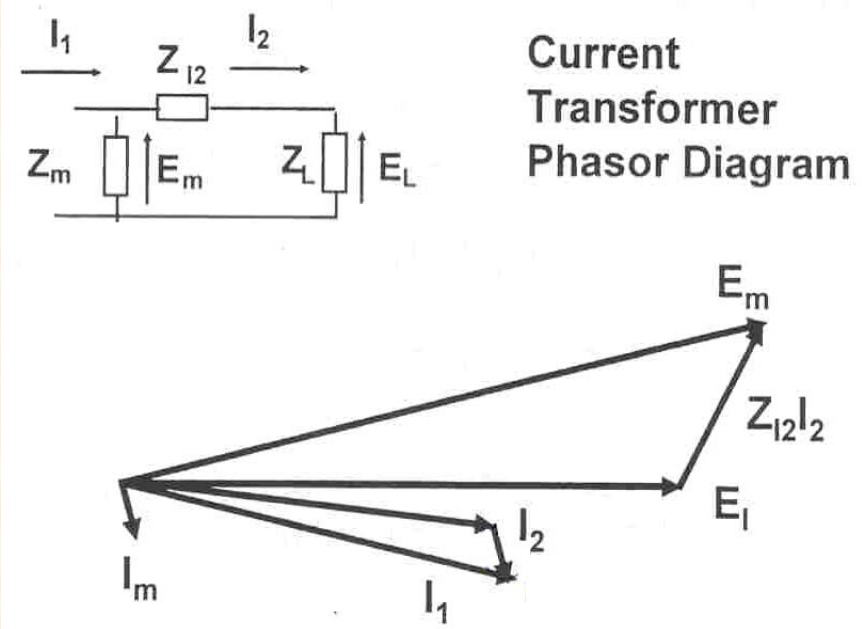


ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

Desempeño de un Transformador de Corriente (En Estado Estacionario)

DIAGRAMA FASORIAL DE UN TRANSFORMADOR DE CORRIENTE



Zm es mayor si la bobina es mayor ==> Im es pequeña y el error es pequeño

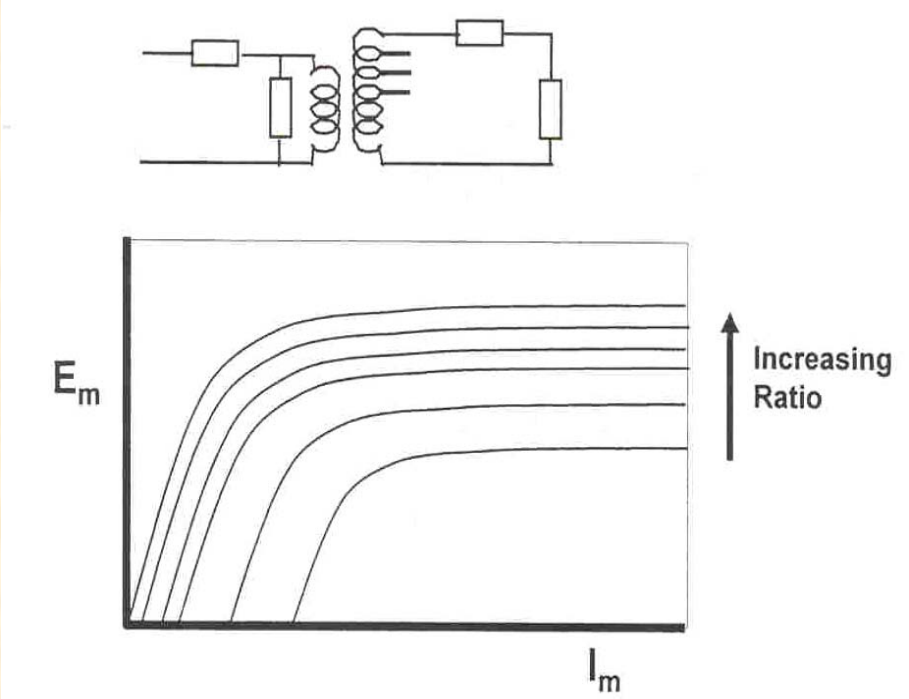
Zm es pequeña si la bobina es pequeña ==> Im aumenta y el error aumenta

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

Desempeño de un Transformador de Corriente (En Estado Estacionario)

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE MULTI-RATIO



Zm = Em/Im => No lineal

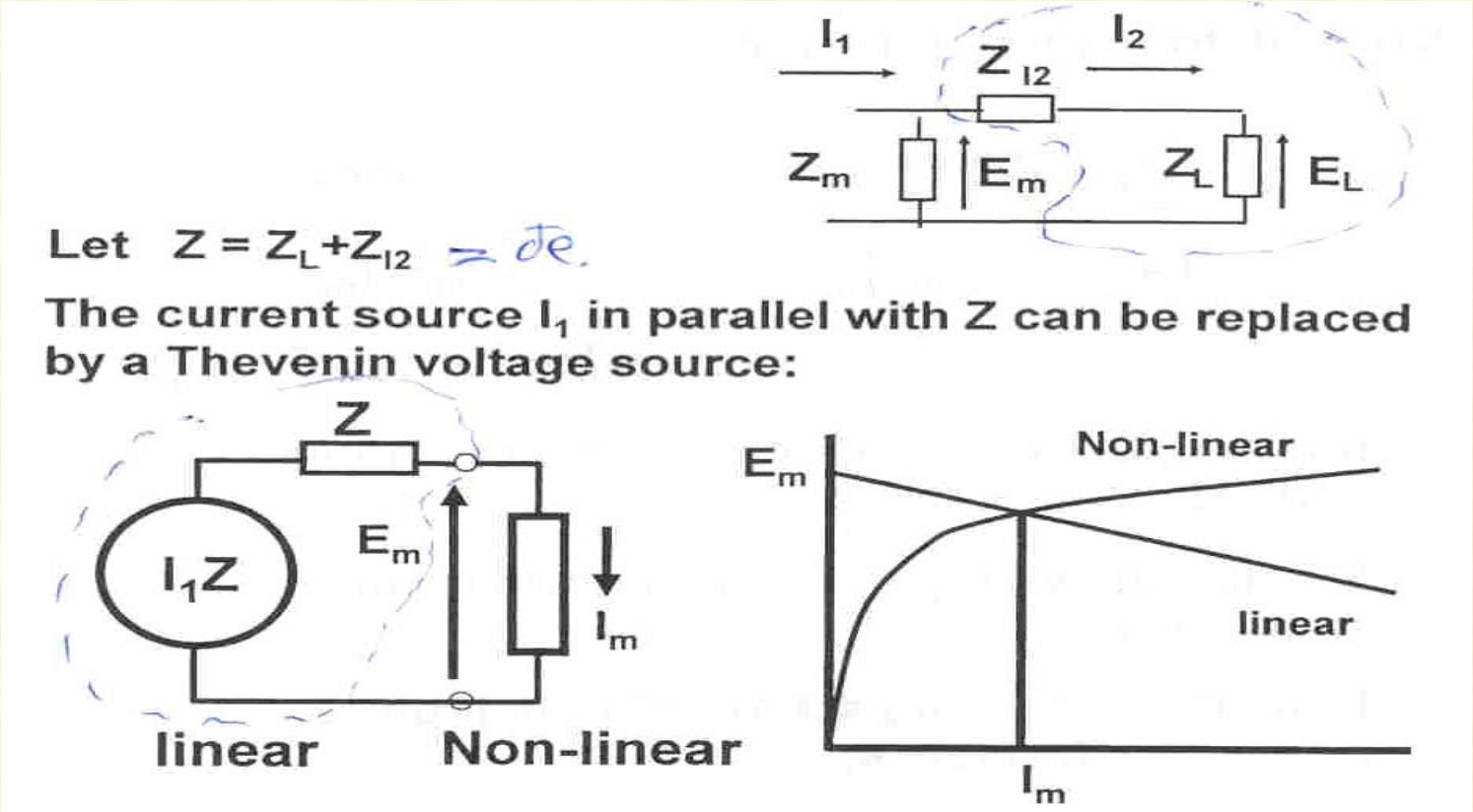
Es mejor cuando se usa el Tap mayor.

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

Desempeño de un Transformador de Corriente (En Estado Estacionario)

RESOLVIENDO UN PROBLEMA NO-LINEAL

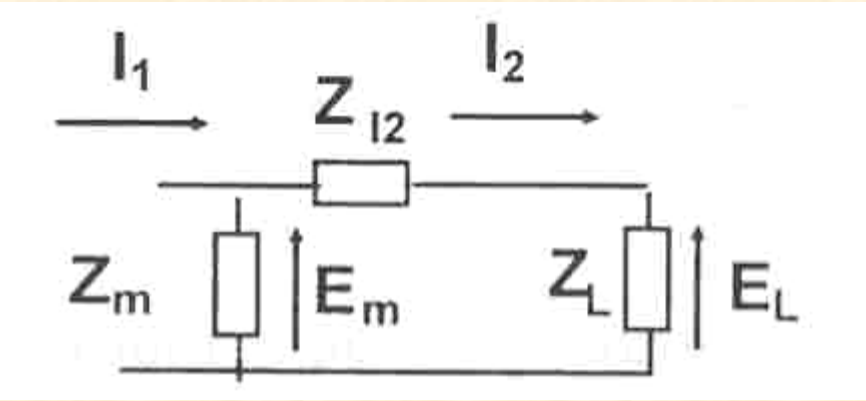


ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

Desempeño de un Transformador de Corriente (En Estado Estacionario)

RESOLVIENDO UN PROBLEMA NO-LINEAL



Asumiendo Zm líneal

I2 = I1 - Im

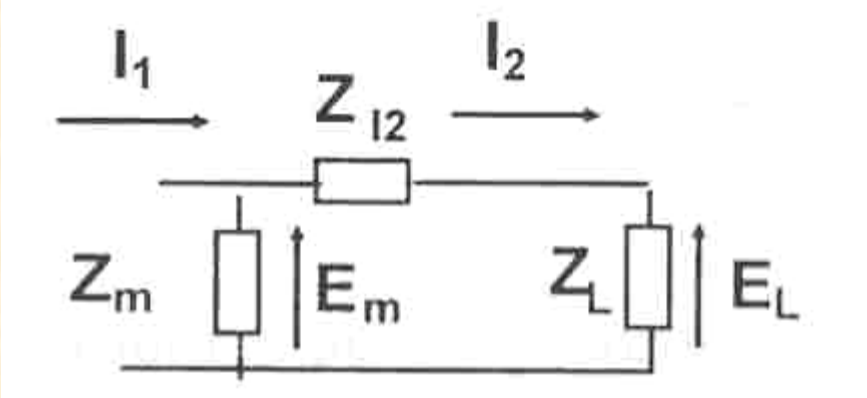
Donde Im = Em/Zm

- Si Im es “0”, no hay error de transformación, y el TC es perfecto
- Cuanto mas pequeño sea el valor de Em, menor será el error de corriente
- Si el CT trabaja en un corto circuito, este brinda su mejor desempeño.

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

Desempeño de un Transformador de Corriente (En Estado Estacionario)
RESOLVIENDO UN PROBLEMA NO-LINEAL



El factor de corrección de relación "R" es definido como

R = I1/I2

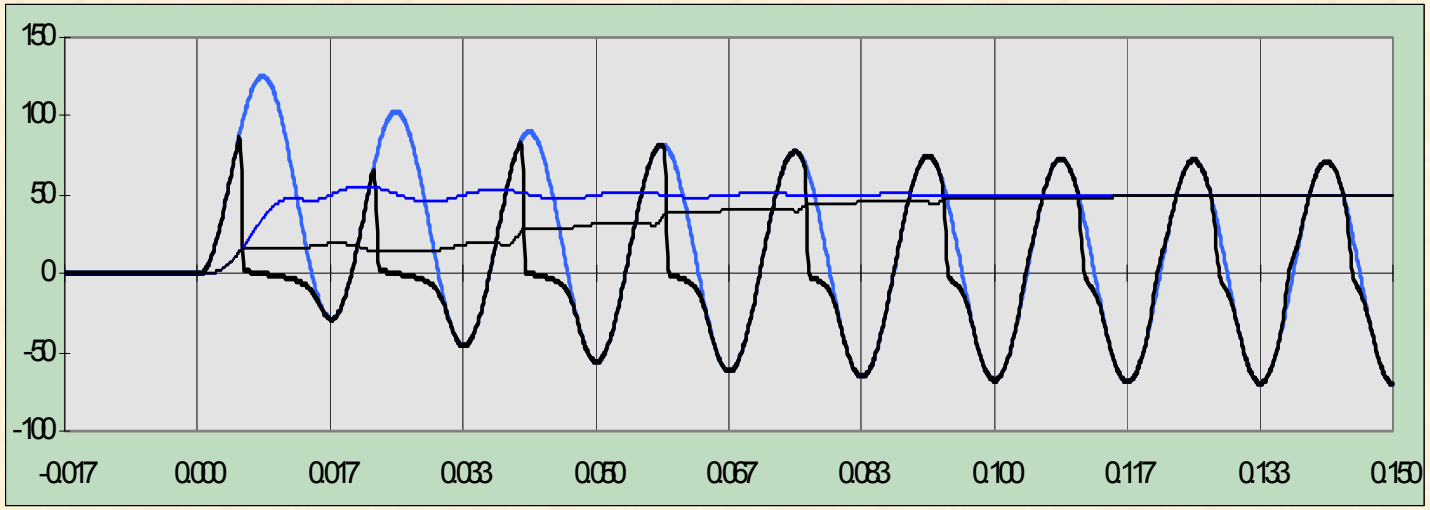
- La relación de transformación de placa del CT debe ser multiplicado por "R" para obtener la relación del transformación efectiva.

- Aunque "R" puede ser compleja, es generalmente asumida como real, y es siempre mayor que 1.

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

¿Qué pasa si selecciono mal el transformador de corriente?



ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

TRANSFORMADOR DE TENSION

TRANSFORMADORES INDUCTIVOS

- Son mas precisos
- Son mas caros
- Son similares a un transformador de potencia

TRANSFORMADORES CAPACITIVOS

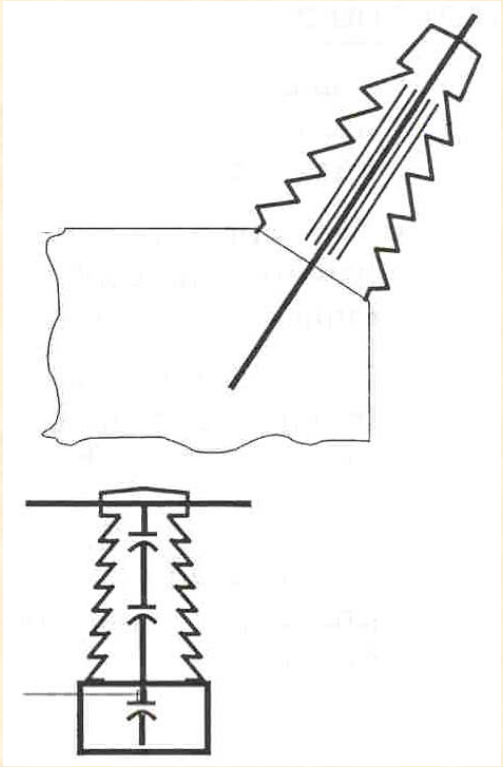
- Son mas comunes en HV
- Son menos precisos

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

TRANSFORMADOR DE TENSION

Tipo Bushing

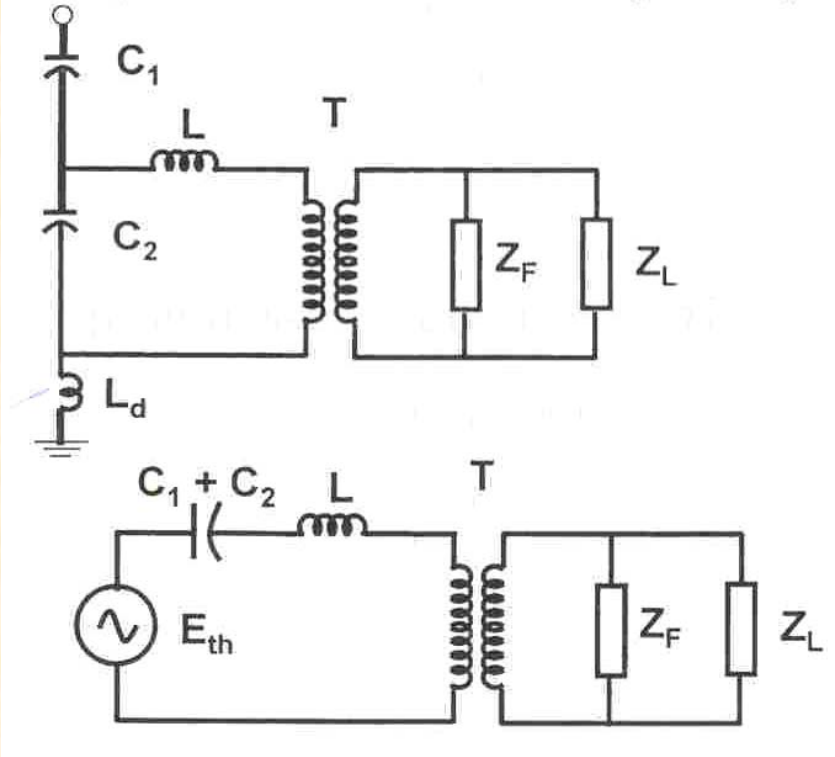
Stand-Alone



ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

TRANSFORMADOR DE TENSION

Circuito Equivalente y Desempeño en Estado Estacionario



Ld es una bobina que se usa para bloquear la señal de onda portadora (PLC)

L y (C1 + C2) resuenan a la frecuencia industrial

$$2\pi f = \frac{1}{\sqrt{L(C_1 + C_2)}}$$

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

TRANSFORMADOR DE TENSION

El transformador de tensión inductivo no tiene errores significativos en estado estacionario o transitorio

- El transformador de tensión capacitivo no tiene errores significativos en estado estacionario cuando la inductancia es sintonizada con (C1 + C2)

- Sin embargo la sintonia no puede ser mantenida bajo condiciones transitorias, y los errores transitorios del CVT tienen que ser considerados en protección

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

EL RELE

ELECTRO-
MECANICO

ELECTRONICO
DIGITAL

NUMERICO

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

NATURALEZA DE LOS RELES DE PROTECCION

- Detecta condiciones anormales en el Sistema de Potencia
- Inicia acciones correctivas
- El tiempo de Respuesta es en milisegundos
- No requiere intervención de un operador

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

DISEÑO DE RELES

El propósito de los relés de protección es detectar fallas ó condiciones de operación anormales

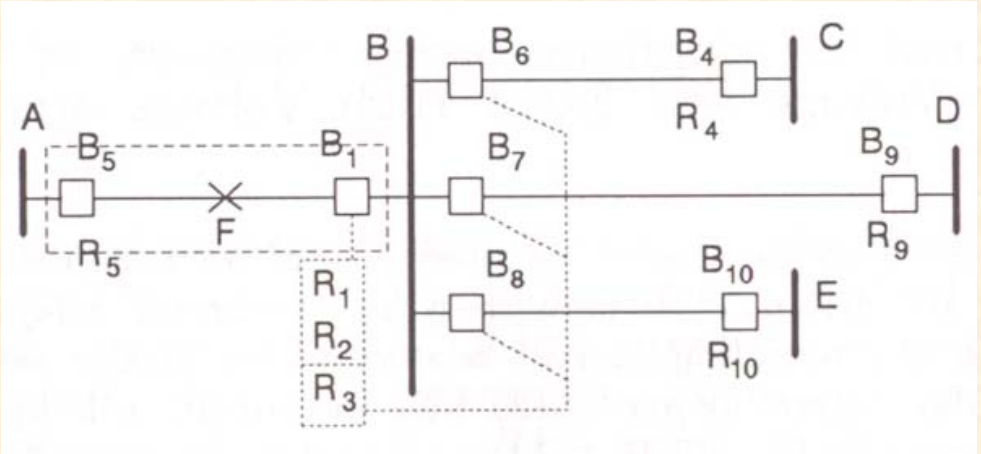
- **Nivel**
- **Magnitud**
- **Diferencial**
- **Angulo de Fase**
- **Impedancia (Distancia)**
- **Hilo Piloto**
- **Armónicos y Frecuencia**

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION

CONSIDERACIONES DE RELES

Protección Primaria y de Respaldo:

Protección Primaria Duplicada
Respaldo Remoto y Local



Para una falla "F" en la línea AB
R1, R5 : Relés primarios
R2 : Relé Primario Duplicado
R3 : Relé de Respaldo Local
R4, R9, R10 : Relés de Respaldo Remoto

Contenido

1. Herramientas para los ingenieros de Protección I
2. Elementos de un sistema de protección
3. Herramientas para los ingenieros de Protección II
4. Principios de operación de los reles de protección

Herramientas para los Ingenieros de Protección II

Componentes Simétricas

Charles Fortescue (1918) ➔ Componentes Simétricas

Definición
Conjunto de fasores que tienen igual magnitud, pero están desfasados 120°

Objetivo
Descomponer un conjunto de tres fasores asimétricos en:
-Un conjunto asimétrico de 3 fasores pero iguales en magnitud
-Dos Conjuntos simétricos de 3 fasores

Luego se puede analizar cada conjunto individualmente y usando el método de superposición obtener el resultado

Herramientas para los Ingenieros de Protección II

Componentes Simétricas

Secuencia cero

$Va0 = Vb0 = Vc0$

Fasores en fase

Secuencia Positiva

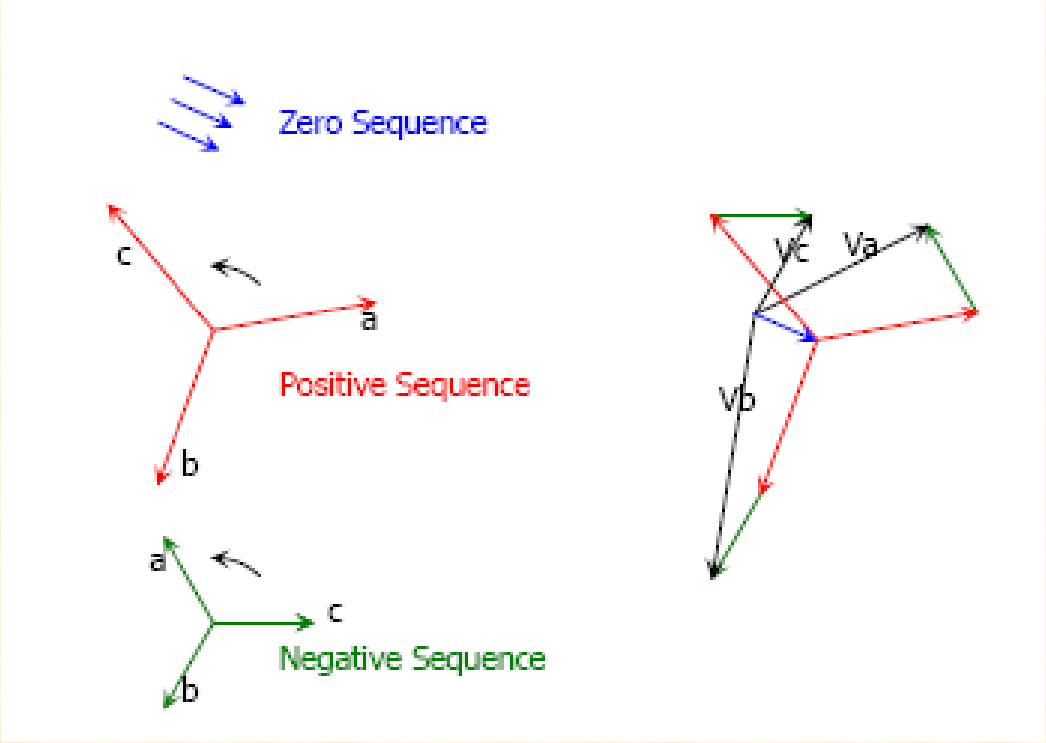
$Va1 = Vb1 = Vc1$

Fasores desfasados $120°$ *(abc)*

Secuencia Negativa

$Va2 = Vb2 = Vc2$

Fasores desfasados $120°$ *(acb)*



Herramientas para los Ingenieros de Protección II

Componentes Simétricas

Va = Va0 + Va1 + Va2
Vb = Vb0 + Vb1 + Vb2
Vc = Vc0 + Vc1 + Vc2

Definimos el operador
$\alpha = 1\angle 120^\circ$
$\alpha^2 = 1\angle -120^\circ$

Como
Va0 = Vb0 = Vc0

Va1 = Va1; Vb1 = α^2 Va1; Vc1 = α Va1
Va2 = Va2; Vb2 = α Va2; Vc2 = α^2 Va2

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

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix}$$

Herramientas para los Ingenieros de Protección II

Componentes Simétricas

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \underline{A} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \qquad \underline{A} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix}$$

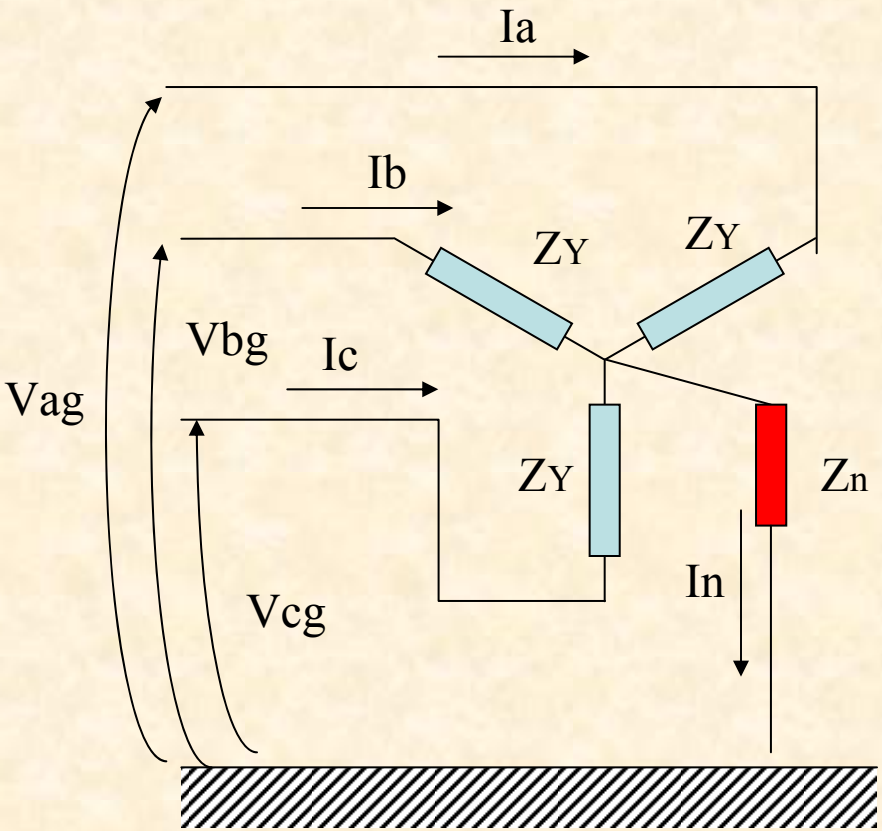
Calculando la inversa de **A**

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \underline{A}^{-1} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \qquad \underline{A}^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix}$$

Herramientas para los Ingenieros de Protección II

La impedancias de secuencia: Un poco de Gimnasia Matemática

Consideremos una carga balanceada que esta aterrada a través de una impedancia Zn



$$V_{ag} = Z_Y I_a + Z_n I_n$$

$$V_{bg} = Z_Y I_b + Z_n I_n$$

$$V_{cg} = Z_Y I_c + Z_n I_n$$

Además

$$I_n = I_a + I_b + I_c$$

Herramientas para los Ingenieros de Protección II

La impedancias de secuencia: Un poco de Gimnasia Matemática

Reemplazando In

$$V_{ag} = Z_Y I_a + Z_n\left(I_a + I_b + I_c\right)$$
$$V_{bg} = Z_Y I_b + Z_n\left(I_a + I_b + I_c\right)$$
$$V_{cg} = Z_Y I_c + Z_n\left(I_a + I_b + I_c\right)$$

➔

$$V_{ag} = \left(Z_Y + Z_n\right)I_a + Z_n I_a + Z_n I_b$$
$$V_{bg} = Z_n I_a + \left(Z_Y + Z_n\right)I_b + Z_n I_c$$
$$V_{cg} = Z_n I_a + Z_n I_b + \left(Z_Y + Z_n\right)I_c$$

Escribiendo en forma matricial

$$\begin{bmatrix} V_{ag} \\ V_{bg} \\ V_{cg} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_Y + Z_n & Z_n & Z_n \\ Z_n & Z_Y + Z_n & Z_n \\ Z_n & Z_n & Z_Y + Z_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

➔ $\underline{V}_{abc} = \underline{Z}_{abc}\,\underline{I}_{abc}$

Herramientas para los Ingenieros de Protección II

La impedancias de secuencia: Un poco de Gimnasia Matemática

Sabemos la ecuación de fase es:

$$\underline{V}_{abc} = \underline{Z}_{abc}\,\underline{I}_{abc} \qquad \text{.....}(i)$$

De igual forma tenemos

$$\underline{V}_{S} = \underline{Z}_{S}\,\underline{I}_{S} \qquad \text{.....}(ii)$$

Podemos obtener la ecuacion (***ii***) a partir de la ecuación (***i***)

$\underline{V}_{abc}=\underline{A}\,\underline{V}_{S}$ y $\underline{I}_{abc} = \underline{A}\,\underline{I}_{S}$

➔ $\underline{V}_{abc} = \underline{Z}_{abc}\,\underline{I}_{abc}$

Herramientas para los Ingenieros de Protección II

La impedancias de secuencia: Un poco de Gimnasia Matemática

Entonces obtenemos:

$$\underline{A}\underline{V}_S = \underline{Z}_{abc}\underline{A}\underline{I}_S$$

➔ multiplicamos por $\underline{A}^{-1}$

$$\underline{A}^{-1}\underline{A}\underline{V}_S = \underline{A}^{-1}\underline{Z}_{abc}\underline{A}\underline{I}_S$$

Luego obtenemos

$$\underline{V}_S = \underline{A}^{-1}\underline{Z}_{abc}\underline{A}\underline{I}_S$$

De donde obtenemos la matriz impedancia de secuencias

$$\underline{Z}_S = \underline{A}^{-1}\underline{Z}_{abc}\underline{A}$$

Herramientas para los Ingenieros de Protección II

La impedancias de secuencia: Un poco de Gimnasia Matemática

Desarrollando la Matriz Zs

$$\underline{Z}_S = \underline{A}^{-1}\underline{Z}_{abc}\underline{A}$$

$$= \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix}\begin{bmatrix} Z_Y + Z_n & Z_n & Z_n \\ Z_n & Z_Y + Z_n & Z_n \\ Z_n & Z_n & Z_Y + Z_n \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix}$$

Multiplicando las dos matrices de la derecha

$$\underline{Z}_S = \begin{bmatrix} Z_{S0} \\ Z_{S1} \\ Z_{S2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix}\begin{bmatrix} Z_Y + 3Z_n & Z_Y & Z_Y \\ Z_Y + 3Z_n & \alpha^2 Z_Y & \alpha Z_Y \\ Z_Y + 3Z_n & \alpha Z_Y & \alpha^2 Z_Y \end{bmatrix}$$

Herramientas para los Ingenieros de Protección II

La impedancias de secuencia: Un poco de Gimnasia Matemática

La matriz de impedancia de secuencias será:

$$\underline{Z}_S = \begin{bmatrix} Z_{S0} \\ Z_{S1} \\ Z_{S2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 3Z_Y + 9Z_n & 0 & 0 \\ 0 & 3Z_Y & 0 \\ 0 & 0 & 3Z_Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_Y + 3Z_n & 0 & 0 \\ 0 & Z_Y & 0 \\ 0 & 0 & Z_Y \end{bmatrix}$$

Finalmente obtenemos

$$\underline{V}_S = \underline{A}^{-1}\underline{Z}_{abc}\underline{A}\underline{I}_S = \underline{Z}_S\underline{I}_S$$

Herramientas para los Ingenieros de Protección II

La impedancias de secuencia: Un poco de Gimnasia Matemática

Analizando un poco los resultados

$$\begin{bmatrix} V_{ag0} \\ V_{ag1} \\ V_{ag2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_Y + 3Z_n & 0 & 0 \\ 0 & Z_Y & 0 \\ 0 & 0 & Z_Y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix}$$

OJO: Todos los términos fuera de la diagonal son *"cero"*

¿Qué Significa?

1) **La corriente que determina el voltaje de secuencia cero es la corriente de secuencia cero**
2) **La corriente que determina el voltaje de secuencia positiva es la corriente de secuencia positiva**
3) **La corriente que determina el voltaje de secuencia negativa es la corriente de secuencia negativa**

Herramientas para los Ingenieros de Protección II

La impedancias de secuencia: Un poco de Gimnasia Matemática

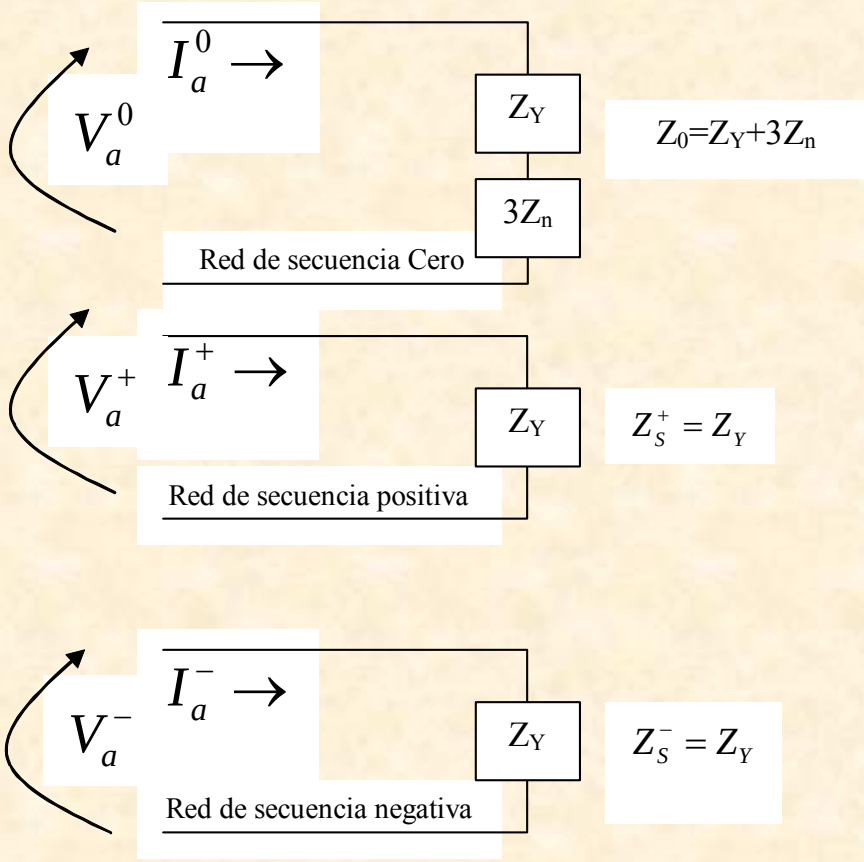
Podemos llamar a las secuencias ***0, 1, 2*** como ***0, +, -*** respectivamente

$$V_{ag}^{0} = \left(Z_Y + 3Z_n\right) I_a^{0}$$

$$V_{ag}^{+} = Z_Y I_a^{+}$$

$$V_{ag}^{-} = Z_Y I_a^{-}$$

Lo mas importante de estas 3 ecuaciones es que ellas representan 3 ecuaciones de circuito monofásicos (Circuitos I)



Herramientas para los Ingenieros de Protección II

La impedancias de secuencia: Preguntas Interesantes

1) ¿Porque la impedancia de secuencia 0, no aparece en la red de secuencia positiva y negativa?

2) ¿Porque tenemos 3Zn como impedancia de secuencia cero, en vez de Zn?

3) ¿Como se compararían esta redes el neutro esta solidamente aterrado Zn =0?

4) ¿Cómo son las tres redes de secuencia si el neutro no esta aterrado?

Herramientas para los Ingenieros de Protección II

La impedancias de secuencia: Preguntas Interesantes

6) ¿Qué pasa si la carga, ó Carga-Linea no es simétrica?

Toda carga trifásica puede ser representada por la matriz

$$\underline{Z}_{abc} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ab} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ac} & Z_{bc} & Z_{cc} \end{bmatrix}$$

Sabemos:

$$\underline{Z}_S = \underline{A}^{-1}\,\underline{Z}_{abc}\,\underline{A}$$

$$\underline{Z}_S = \underline{A}^{-1}\,\underline{Z}_{abc}\,\underline{A} = \begin{bmatrix} Z_S^{0} & Z_S^{0+} & Z_S^{0-} \\ Z_S^{+0} & Z_S^{+} & Z_S^{+-} \\ Z_S^{-0} & Z_S^{-+} & Z_S^{-} \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix}\begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ab} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ac} & Z_{bc} & Z_{cc} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix}$$

Herramientas para los Ingenieros de Protección II

La impedancias de secuencia: Preguntas Interesantes

6) ¿Qué pasa si la carga, ó Carga-Linea no es simétrica?

Toda carga trifásica puede ser representada por la matriz

$$\underline{Z}_{abc} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ab} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ac} & Z_{bc} & Z_{cc} \end{bmatrix}$$

Sabemos:

$$\underline{Z}_S = \underline{A}^{-1}\,\underline{Z}_{abc}\,\underline{A}$$

$$\underline{Z}_S = \underline{A}^{-1}\,\underline{Z}_{abc}\,\underline{A} = \begin{bmatrix} Z_S^{0} & Z_S^{0+} & Z_S^{0-} \\ Z_S^{+0} & Z_S^{+} & Z_S^{+-} \\ Z_S^{-0} & Z_S^{-+} & Z_S^{-} \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix}\begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ab} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ac} & Z_{bc} & Z_{cc} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix}$$

Herramientas para los Ingenieros de Protección II

La impedancias de secuencia: Preguntas Interesantes

6) ¿Qué pasa si la carga, ó Carga-Linea no es simétrica?

$$Z_S^0 = \frac{1}{3}\left(Z_{aa} + Z_{bb} + Z_{cc} + 2Z_{ab} + 2Z_{ac} + 2Z_{bc}\right)$$

$$Z_S^+ = Z_S^- = \frac{1}{3}\left(Z_{aa} + Z_{bb} + Z_{cc} - Z_{ab} - Z_{ac} - Z_{bc}\right)$$

$$Z_S^{0+} = Z_S^{-0} = \frac{1}{3}\left(Z_{aa} + \alpha^2 Z_{bb} + \alpha Z_{cc} - \alpha Z_{ab} - \alpha^2 Z_{ac} - Z_{bc}\right)$$

$$Z_S^{0-} = Z_S^{+0} = \frac{1}{3}\left(Z_{aa} + \alpha Z_{bb} + \alpha^2 Z_{cc} - \alpha^2 Z_{ab} - \alpha Z_{ac} - Z_{bc}\right)$$

$$Z_S^{+-} = \frac{1}{3}\left(Z_{aa} + \alpha^2 Z_{bb} + \alpha Z_{cc} + 2\alpha Z_{ab} + 2\alpha^2 Z_{ac} + 2Z_{bc}\right)$$

$$Z_S^{-+} = \frac{1}{3}\left(Z_{aa} + \alpha Z_{bb} + \alpha^2 Z_{cc} + 2\alpha^2 Z_{ab} + 2\alpha Z_{ac} + 2Z_{bc}\right)$$

Pero para que las tres redes de secuencia se desacoplen los elementos fuera de la diagonal deben ser 0

Herramientas para los Ingenieros de Protección II

La impedancias de secuencia: Preguntas Interesantes

6) ¿Qué pasa si la carga, ó Carga-Linea no es simétrica?

Para que se cumpla la condición que todos los elementos fuera de la diagonal son "0", resolviendo se obtiene:

➔ $Z_{aa} = Z_{bb} = Z_{cc}$

$Z_{ab} = Z_{ac} = Z_{bc}$

Finalmente obtenemos lo siguiente

$$Z_S^{0+} = Z_S^{+0} = Z_S^{0-} = Z^{-0}_S = Z_S^{+-} = Z_S^{-+} = 0$$

$$Z_S^0 = Z_{aa} + 2Z_{ab}$$

$$Z_S^+ = Z_S^- = Z_{aa} - Z_{ab}$$

Herramientas para los Ingenieros de Protección II

Análisis de fallas desbalanceadas Usando CS

Fallas en sistemas trifásicos simétricos (excepto falla 3Φ) son sistemas no simétricos.

¿Podremos aplicar los aprendido en la clase anterior para fallas ΦN, Φ Φ , Φ Φ N?

Rpta: SI

Reemplazamos la falla con una fuente desbalanceada (teorema de la sustitucion), entonces la red se vuelve simetrica.
Obtenemos las componentes de secuencia de la fuente (ficticia) desbalanceada en el punto de falla, y se realiza un análisis por fase para cada circuito.

Herramientas para los Ingenieros de Protección II

Análisis de fallas desbalanceadas Usando CS
Obtención de las redes de secuencia

Para obtener las redes de secuencia, y analizar una condición de falla seguimos la siguiente secuencia:

1) Para la secuencia +, -, 0

1.a)Desarrollar la red de secuencia para el sistema en análisis

1.b)Obtener los thevenin equivalentes mirando hacia la red desde el punto de falla

2) Conecte las redes de acuerdo al tipo de falla

3) Calcule las corrientes de falla del circuito resultante de (2)

4) Del paso (3) se puede obtener tambien las corrientes de todas las secuencias +,-,0, lo cual nos permite calcular Ia, Ib, Ic

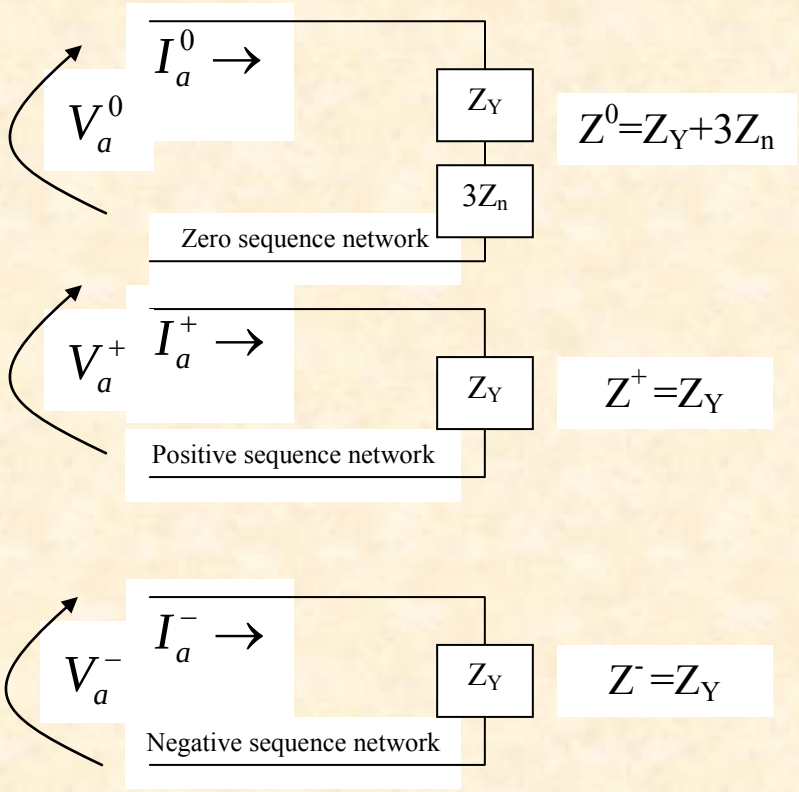
Herramientas para los Ingenieros de Protección II

Análisis de fallas desbalanceadas Usando CS
Redes de secuencia de cargas

Z0 =ZY+3Zn
Z+ =ZY
Z- =ZY

Si la carga esta conectada
en delta

Z0 =∞
Z+ = ZΔ/3
Z- = ZΔ/3



Herramientas para los Ingenieros de Protección II

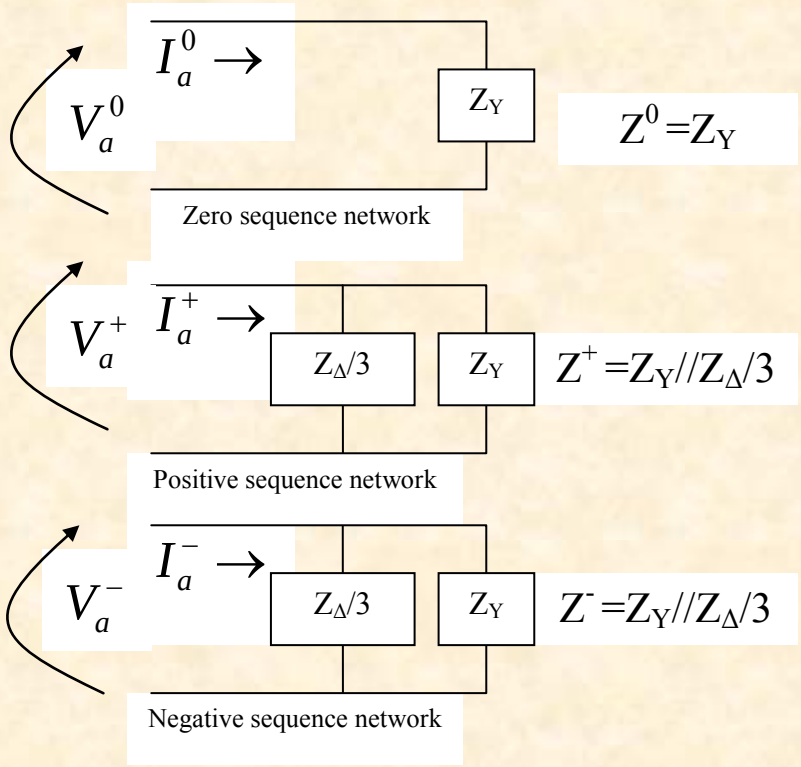
Análisis de fallas desbalanceadas Usando CS
Redes de secuencia de cargas (Carga D y Yn) en paralelo

Carga Y

Z0 =ZY
Z+ =ZY
Z- =ZY

Carga D

Z0 =∞
Z+ = ZΔ/3
Z- = ZΔ/3



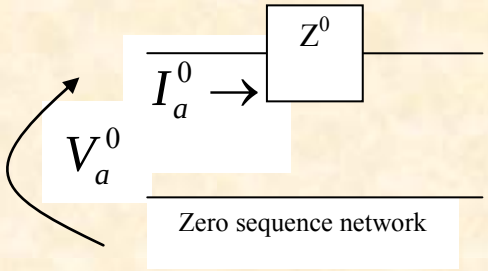
Herramientas para los Ingenieros de Protección II

Análisis de fallas desbalanceadas Usando CS
Redes de secuencia de Lineas de transmisión

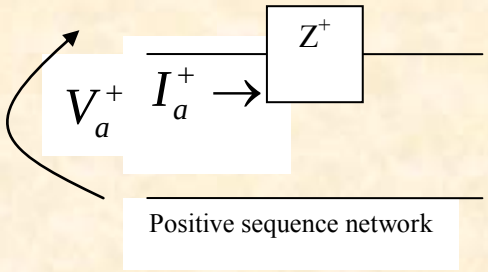
$$Z_S^{0+} = Z_S^{+0} = Z_S^{0-} = Z_S^{-0} = Z_S^{+-} = Z_S^{-+} = 0$$

$$Z_S^0 = Z_{aa} + 2Z_{ab}$$

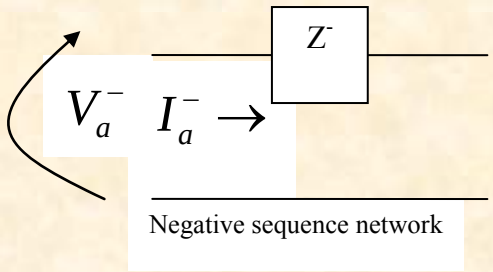
$$Z_S^+ = Z_S^- = Z_{aa} - Z_{ab}$$



$Z^0 = Z_{aa} + 2Z_{ab}$



$Z^+ = Z_{aa} - Z_{ab}$



$Z^- = Z_{aa} - Z_{ab}$

En una línea de transmisión generalmente Zab≈(2/5)Zaa.

Entonces : **Z0=3Z+.**

Herramientas para los Ingenieros de Protección II

Análisis de fallas desbalanceadas Usando CS
Redes de secuencia de Transformadores de potencia

Analizaremos los siguientes casos:

a) Y aterrado a Y aterrado : YnYn
b) Y aterrado a Y : YnY ó Y a Y aterrado : YYn
c) Δ a Δ
d) Y aterrado a Δ ó Δ a Y aterrado
e) Y a Δ ó Δ a Y

Importante: En un transformador de potencia

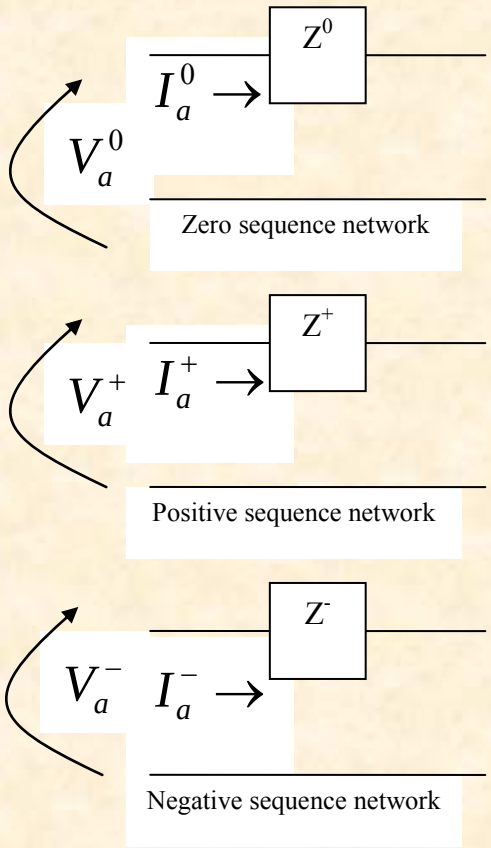
Z+ = Z-

Zo = Z+ (En algunos casos puede ser Zo = 0.8 Z+)

Herramientas para los Ingenieros de Protección II

Análisis de fallas desbalanceadas Usando CS
Redes de secuencia de Transformadores de potencia

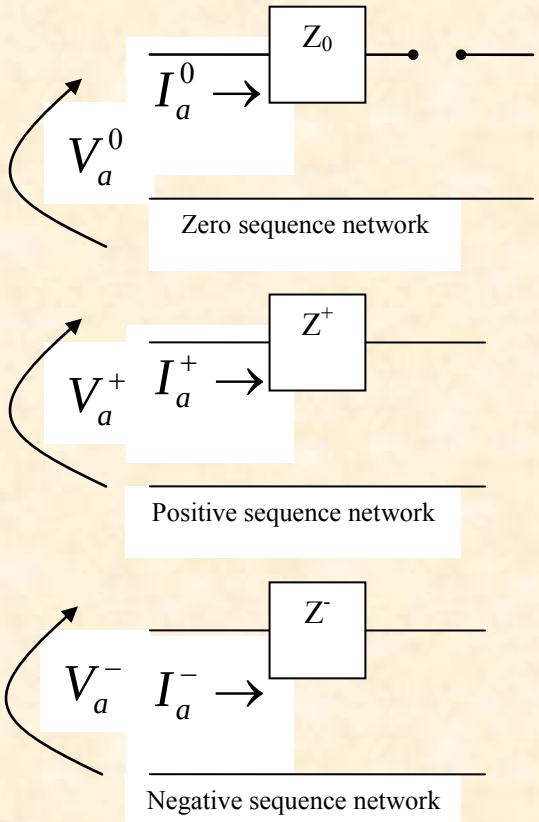
Y aterrado a Y aterrado : YnYn



Herramientas para los Ingenieros de Protección II

Análisis de fallas desbalanceadas Usando CS
Redes de secuencia de Transformadores de potencia

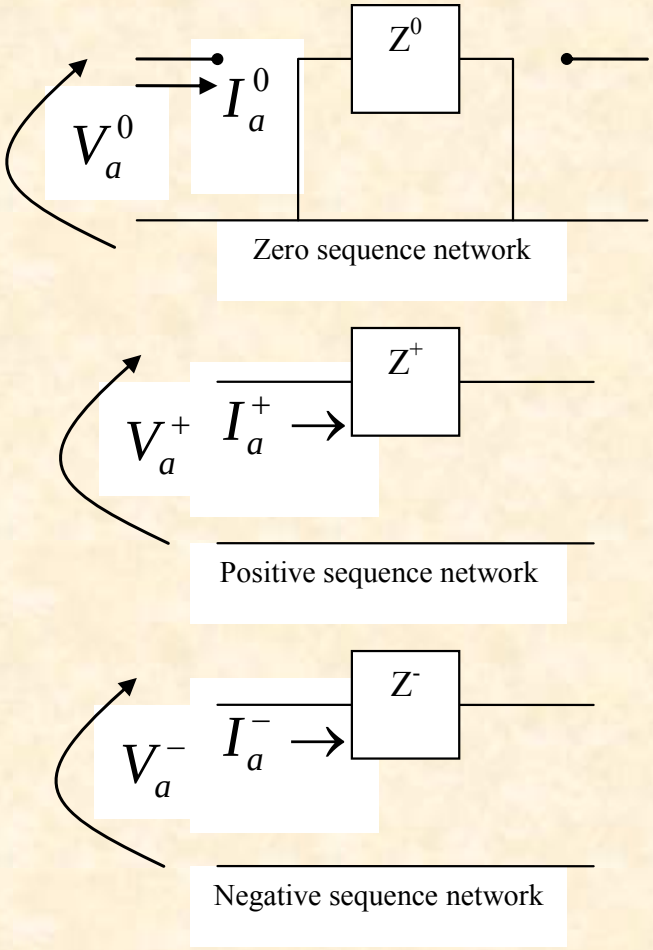
Y aterrado a Y : YnY ó Y a Y aterrado : YYn



Herramientas para los Ingenieros de Protección II

Análisis de fallas desbalanceadas Usando CS
Redes de secuencia de Transformadores de potencia

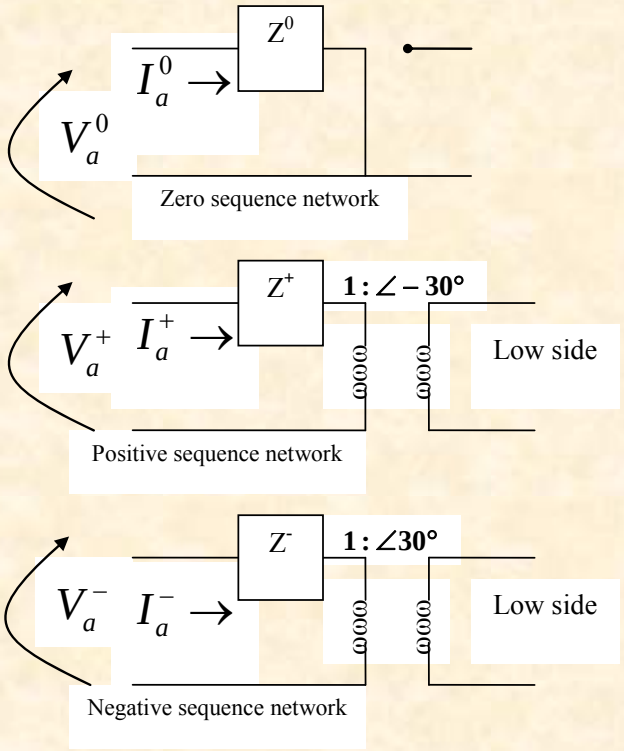
Δ a Δ



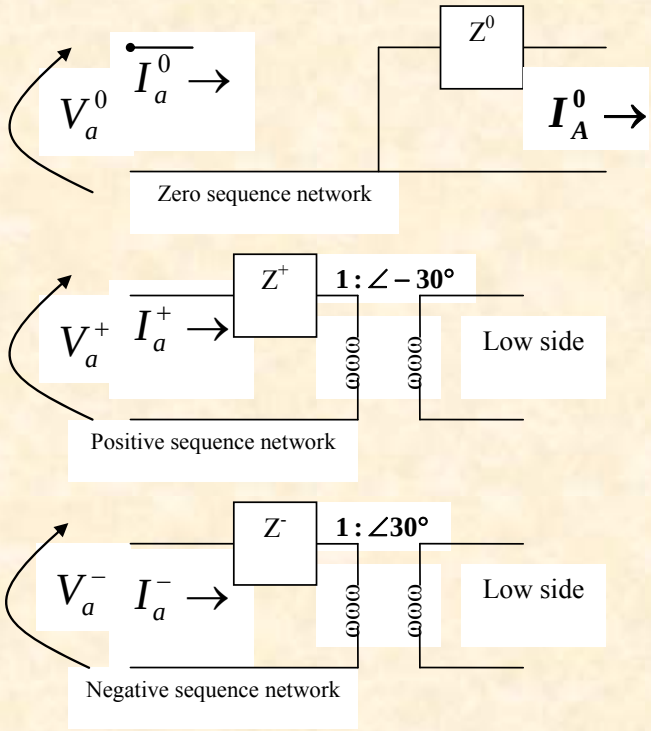
Herramientas para los Ingenieros de Protección II

Análisis de fallas desbalanceadas Usando CS
Redes de secuencia de Transformadores de potencia

YnΔ



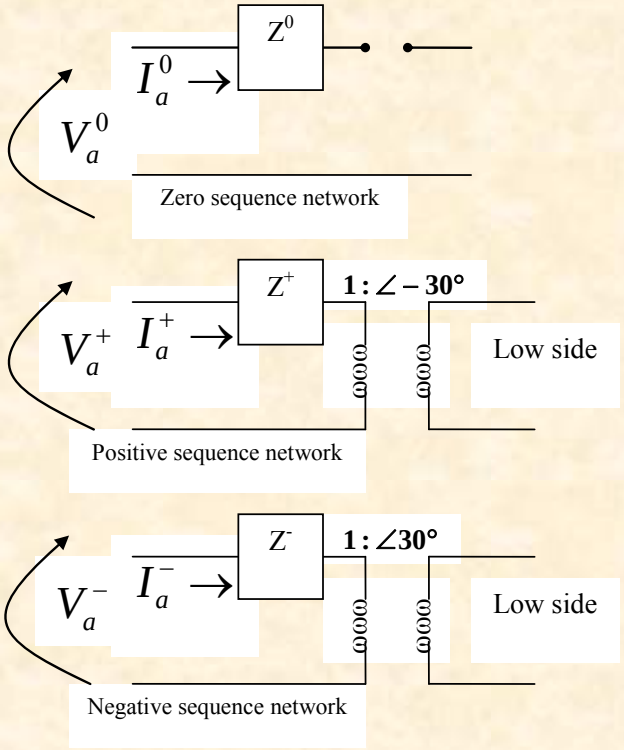
ΔYn



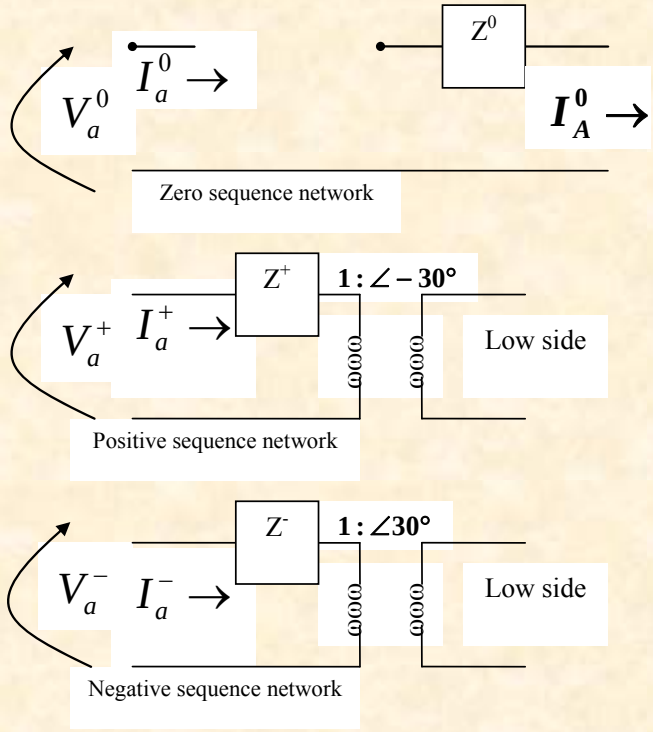
Herramientas para los Ingenieros de Protección II

Análisis de fallas desbalanceadas Usando CS
Redes de secuencia de Transformadores de potencia

YΔ



ΔY



Herramientas para los Ingenieros de Protección II

Análisis de fallas desbalanceadas Usando CS
Redes de secuencia de Maquinas Rotativas

Reactancia de secuencia positiva: En fallas se usa X”d, X’d ó Xd; dependiendo en que tiempo calculemos el cortocircuito.

Reactancia de secuencia negativa:
Las corrientes de secuencia negativa originan un flujo en el entrehierro que rotan opuestas al rotor, las corriente inducidas pueden originar sobrecalentamientos ya que se oponen al flujo original.
En nuestro caso la reactancia de secuencia negativa es igual a X”d

Reactancia de secuencia cero:
La reactancia de secuencia cero de una maquina es pequeña.
La razón es que las corrientes de secuencia cero en los bobinados a,b,c estan en fase. Su flujo individual en el entrehierro suma cero y por lo tanto no induce voltaje. A esta reactancia la llamaremos Zg0

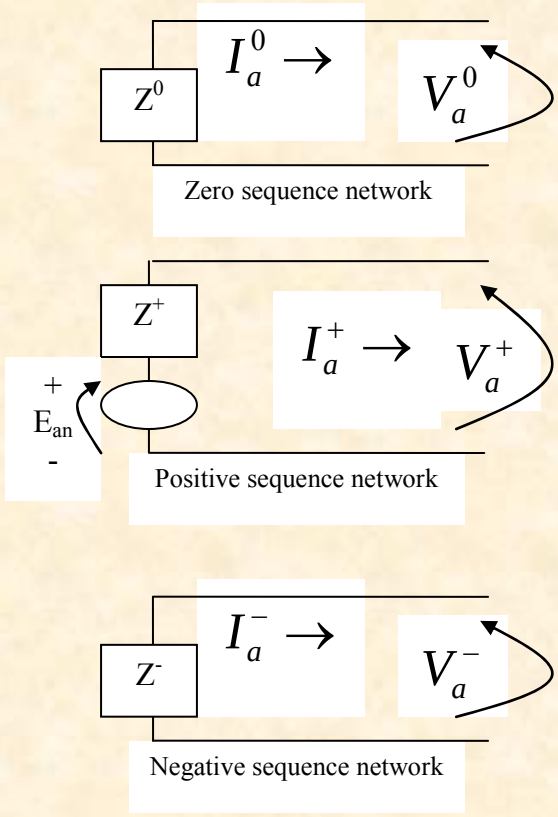
Como en la cargas, si el neutro esta aterrado a través de una impedancia Zn, esta se modelara como 3Zn en la red de secuencia cero.

Herramientas para los Ingenieros de Protección II

Análisis de fallas desbalanceadas Usando CS
Redes de secuencia de Maquinas Rotativas

Fuente de Voltaje: Los generadores producen voltajes balanceados, solo producen voltaje en la secuencia positiva. Si trabajamos en por unidad este será 1.0<0°

		Polo Lisos	Polos Salientes	Compensador Sincrono	Motor
X^+	X_d	1.1	1.15	1.8	1.2
	X'_d	0.23	0.37	0.4	0.35
	X''_d	0.12	0.24	0.25	0.30
X^-		0.13	0.29	0.27	0.35
X^0		0.05	0.11	0.09	0.16



Herramientas para los Ingenieros de Protección II

Análisis de fallas desbalanceadas Usando CS
Fallas y conexiones de las redes de secuencia

Herramientas para los Ingenieros de Protección II

Componentes simétricas y protección

En las fallas a tierra siempre están presentes las componentes de secuencia Cero (3V0) y (3Io). Estas pueden ser medidas:

-Sumando las corrientes de fase (Comentario en Pizarra)

-Sumando las tensiones (delta Abierto) (comentario en pizarra)

Las corrientes y tensiones de secuencia negativa pueden obtenerse a través de filtros que veremos mas adelante.

Herramientas para los Ingenieros de Protección II

Componentes simétricas y protección

Equipo	Aplicación	Cantidades de secuencia q usa
50N/51N	Sobrecorriente a tierra	3Io
59N	Sobretensión de tierra	3Vo
67N	Direccional a tierra	Io & Io, Vo &Io ó V2I2
21N	Distancia	Io, Vo, V1, V2
87L	Diferencial de línea	K1 I1 + K2 I2 + Ko Io

etc

Contenido

1. Herramientas para los ingenieros de Protección I
2. Elementos de un sistema de protección
3. Herramientas para los ingenieros de Protección II
4. Principios de operación de los reles de protección

Principios de operación de los reles de protección

El principio de operación de los relés de protección se basa en:

- **Nivel**

- **Magnitud**

-**Diferencia de corrientes**

-**Angulo de Fase**

-**Impedancia (Distancia)**

-**Hilo Piloto**

- **Armónicos y Frecuencia**

Principios de operación de los reles de protección

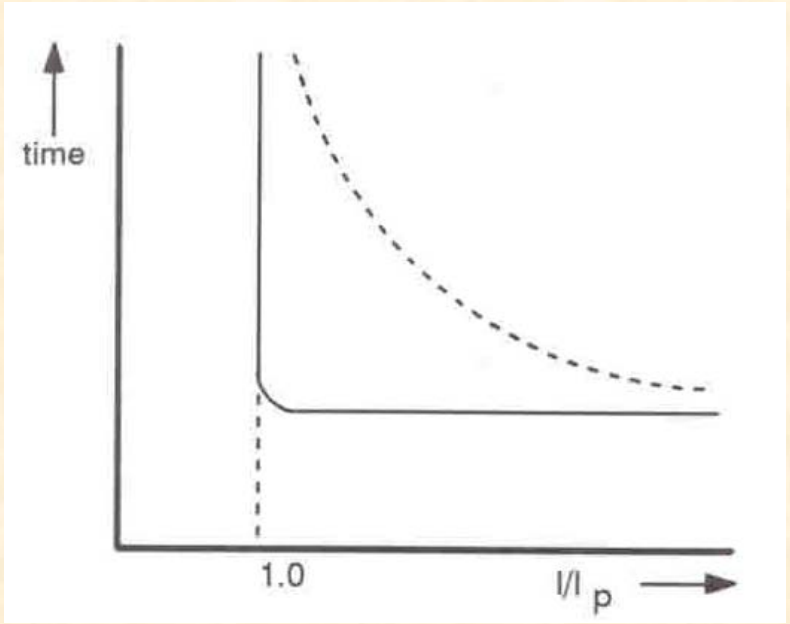
DETECCION DE FALLAS

1.- Detección de Niveles

Este es el principio de operación mas simple que existe.

El nivel por encima del cual el relé Opera es conocido como el Pickup

La característica de operación de un relé puede ser representado como una curva del tiempo de operación del relé & el valor medido sobre el arranque (Pickup)



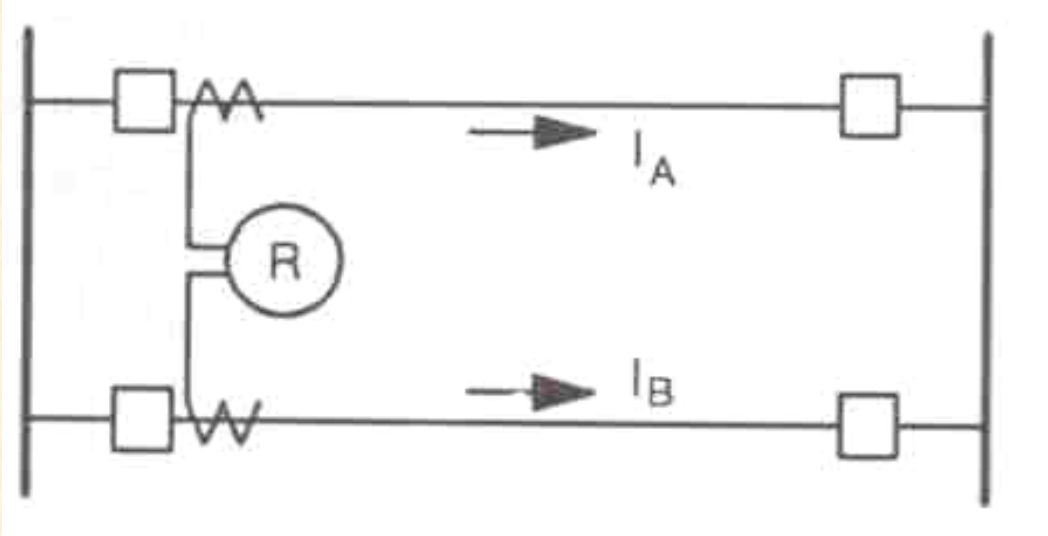
Principios de operación de los reles de protección

DETECCION DE FALLAS

2.- Por Comparación de Magnitudes

Este es el principio de operación es basado en la comparación de una ó mas cantidades de operación.

Este principio es usado en unidades de Generación ó líneas paralelas de transmisión.



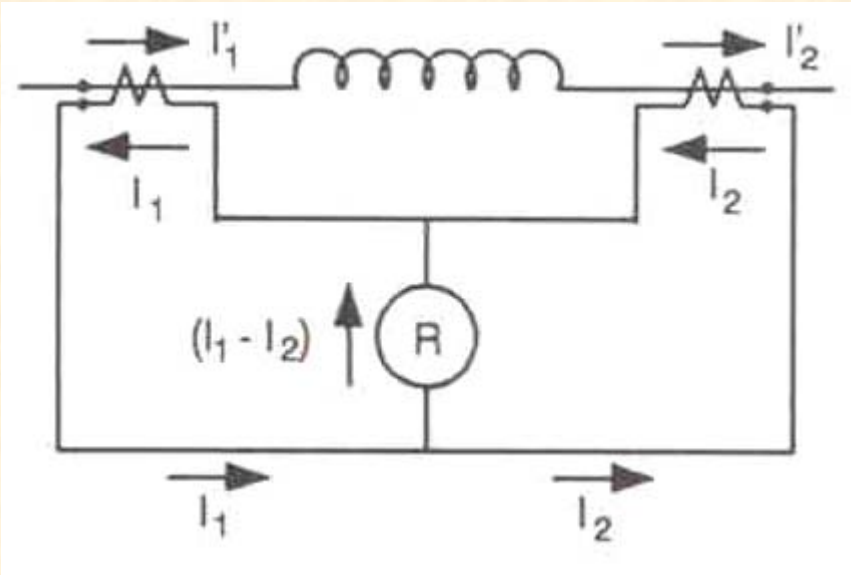
Principios de operación de los reles de protección

DETECCION DE FALLAS

3.- Diferencial

Este principio de operación se basa en la comparación de dos o mas cantidades.

Es mas sensible y no requiere mucha coordinación

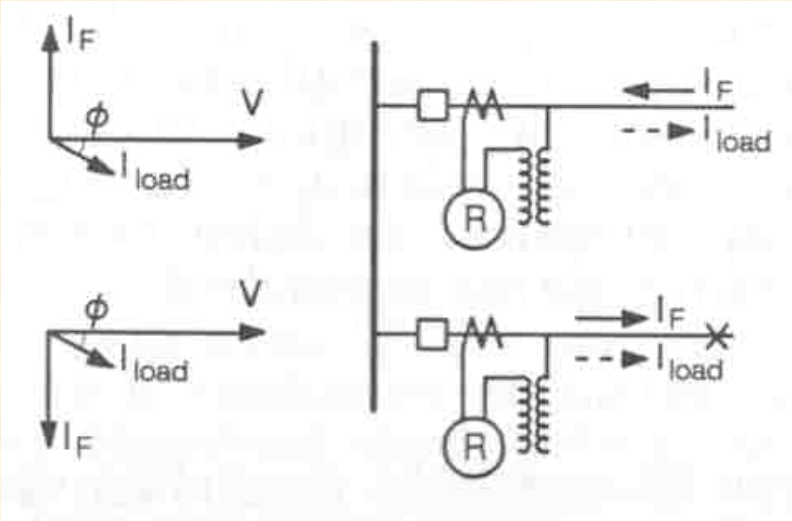


Principios de operación de los reles de protección

DETECCION DE FALLAS

4.- Comparación de Angulo de Fase

Este tipo de protección compara el ángulo de fase entre dos cantidades AC. El ángulo de fase es usada para determinar la direccionalidad de una corriente con respecto a una cantidad de referencia.

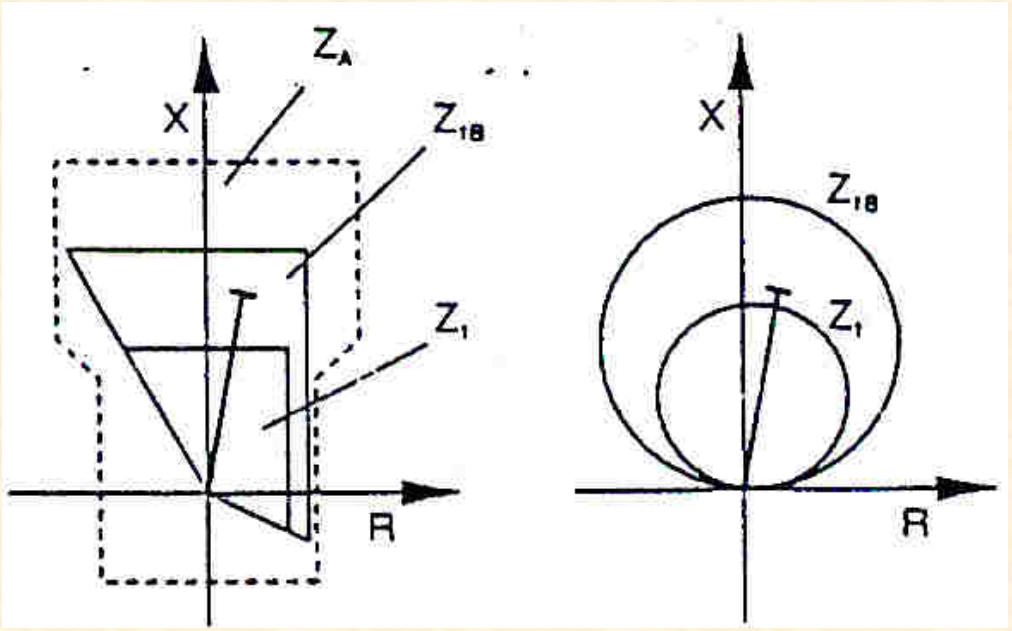


Principios de operación de los reles de protección

DETECCION DE FALLAS

4.- Medición de Impedancia (Distancia)

Este tipo de protección es uno de los principios mas usados, se basa en la comparación de la corriente local y tensión local, esto en efecto es la medición de una impedancia vista por el relé desde su ubicación.



Principios de operación de los reles de protección

DETECCION DE FALLAS

5.- Hilo Piloto (Pilot)

Es basado en la información obtenida por un relé en una ubicación remota. La información es usualmente (No siempre) en forma de contactos. La información es enviada a través de una canal de comunicación usando Power Line Carrier (PLC), microondas ó circuitos telefónicos.

6.- Frecuencia

La frecuencia de operación del Sistema es de 60Hz. Cualquier desviación de este valor indica que existe un problema ó es inminente. La frecuencia puede ser medida circuitos filtro ó muestreos especiales con técnicas digitales. Los relés que miden frecuencia pueden ser usados para tomar acciones correctivas que pueden restablecer la frecuencia en el sistema.

Capitulo III

Protección de Sistemas de Potencia

Desarrollo del Curso

Tópicos a Desarrollar

- Filosofía de los sistemas de protección
- Principios de operación de los reles de protección
- **Protección de sistemas de distribución (fusibles, reles de sobrecorriente, seccionalizadores)**
- **Protección de líneas de transmisión (Distancia)**
- **Esquemas de Teleprotección**
- **Protección de transformadores de potencia**
- **Protección de generadores**

Capitulo 3

Protección de sistemas de distribución (Fusibles y relés de sobrecorriente, seccionalizadores)

Contenido

1. Fusibles
2. Relés de sobrecorriente: Característica ANSI é IEC
3. Seccionalizadores
4. Coordinamiento de una red de distribución
5. Fallas a tierra en redes de distribución con neutro aterrado y aislado

Contenido

1. Fusibles
2. Relés de sobrecorriente: Característica ANSI é IEC
3. Seccionalizadores
4. Coordinamiento de una red de distribución Radial
5. Fallas a tierra en redes de distribución con neutro aterrado y aislado

FUSIBLES

El elemento mas simple de protección

Tipos

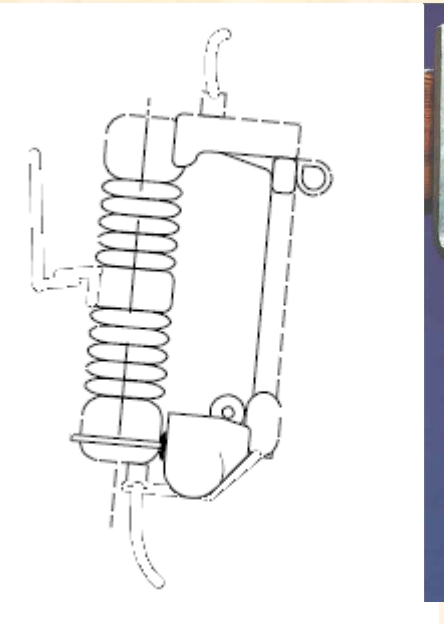
- Fusible de Distribución ó CUTOUTS
- Fusible limitador de corriente
- Fusible de material sólido
- Fusible electrónico

FUSIBLES

Fusible de Distribución ó CutOuts

Es el tipo mas usado

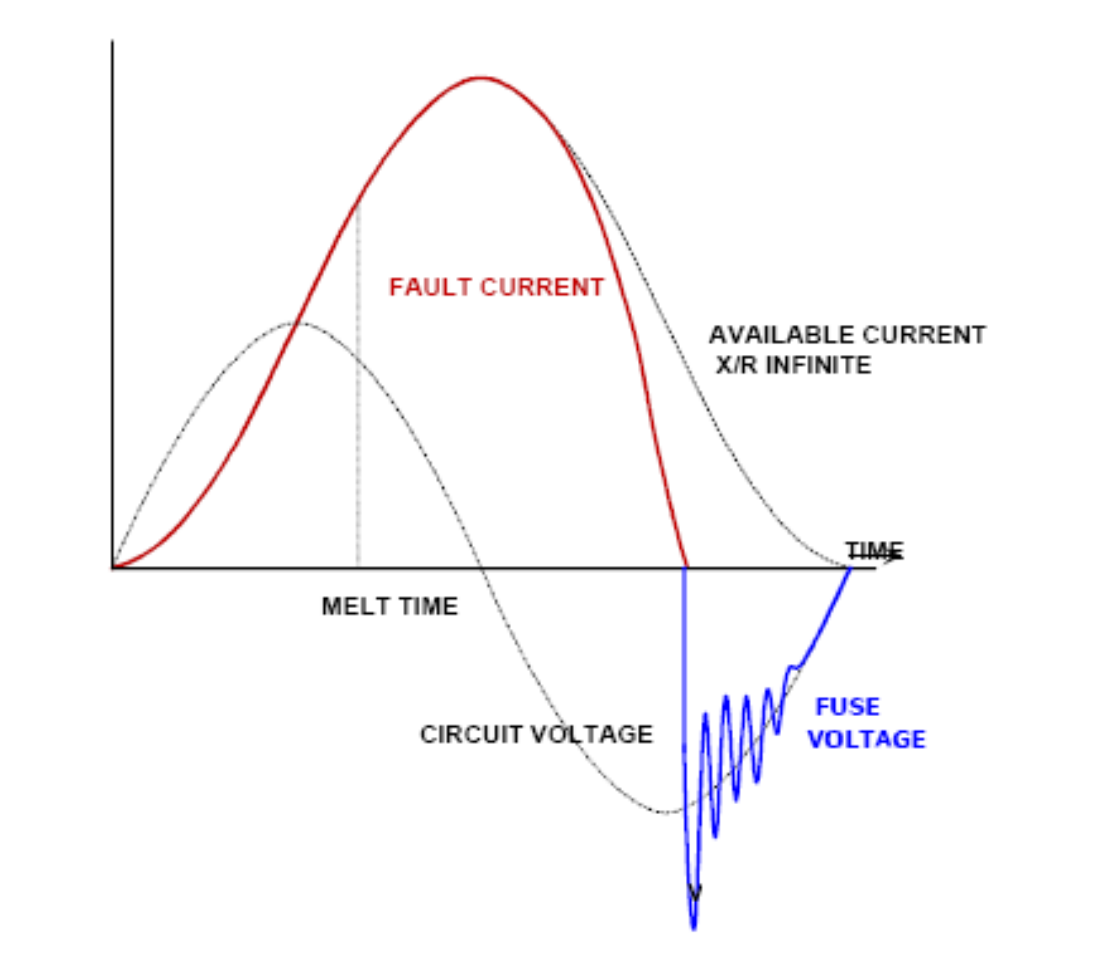
1. Cuando se funde se produce un arco
2. El tubo de expulsión emite gases desionizantes
3. Los gases son expulsados del tubo y ***la corriente es interrumpida por cero***



FUSIBLES

Fusible de Distribución ó CutOuts

Nota importante : ***la corriente es interrumpida por cero. Existe TRV***



FUSIBLES

Fusible limitador de corriente

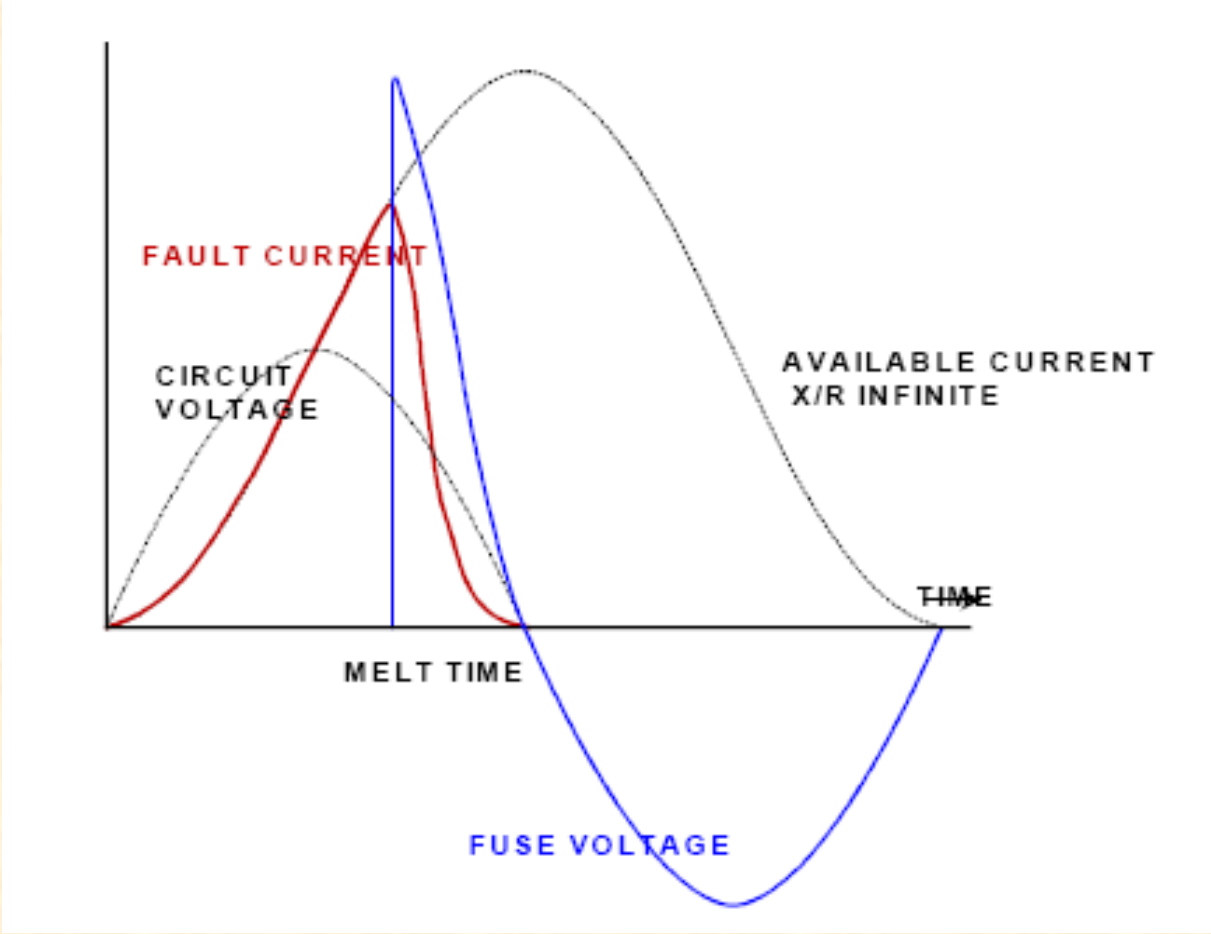
Este tipo de fusible elimina la falla rápido, forzando a la corriente a que sea cero.

1.El elemento fusible esta compactado con un tipo de arena especial
2.La arena confina al arco a una pequeña área
3.Se producen alta presiones y altas resistencias
4.La alta resistencia obliga a la corriente a que disminuya a cero.

El propósito de este fusible es interrumpir altas corrientes, no esta diseñado para interrumpir corrientes de sobrecarga de baja magnitud

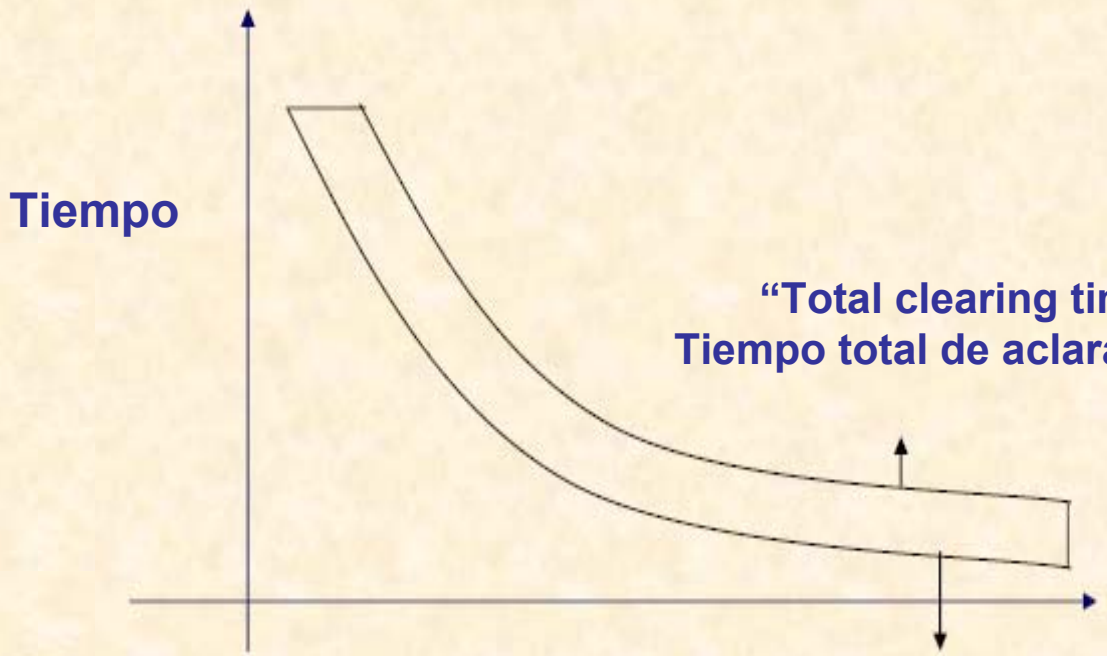
FUSIBLES

Fusible limitador de corriente



FUSIBLES

Características de los fusibles



FUSIBLES

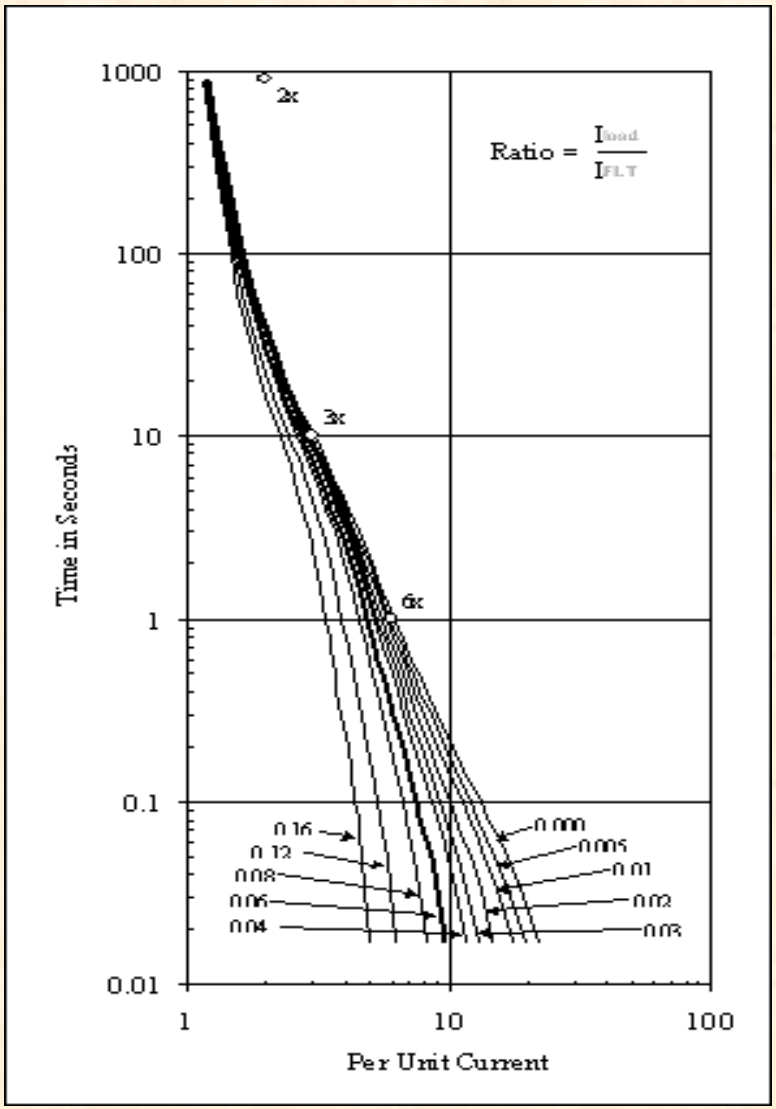
Selección de los fusibles

Para seleccionar un fusible se debe considerar lo siguiente

- **La tensión de operación**
- **Los tiempos de fusión “melt time”**
- **La corriente de carga nominal**
- **Cold load pickup**

FUSIBLES

Selección de los fusibles



La figura muestra un equivalente rms de la corriente de carga fría (Cold load pickup) y la corriente de magnetización de la corriente nominal de una transformador que alimenta cargas residenciales (En USA).
Los puntos 6x 3x 2x corresponden a cargas industriales.
Se muestra también la relación corriente de carga a corriente de falla (fuente). Fuentes de potencia de cortocircuito tendrá menores ratios (Iload/Iflt).

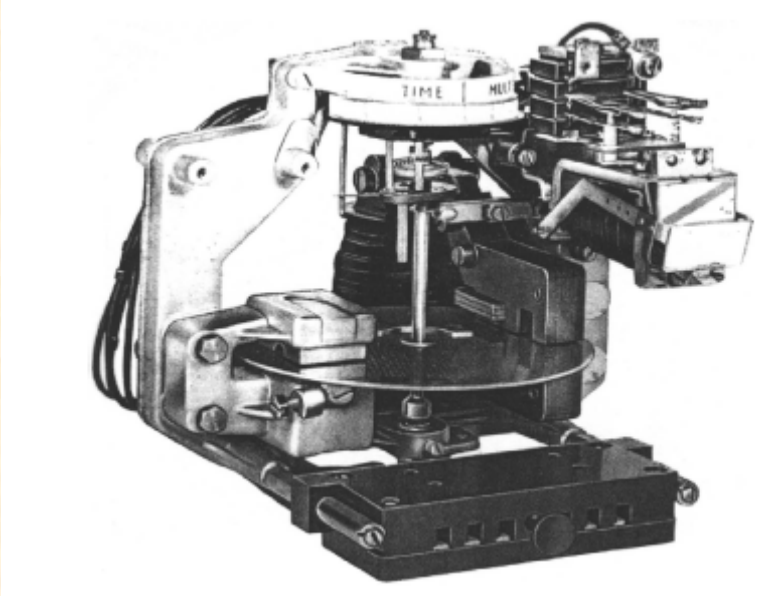
Contenido

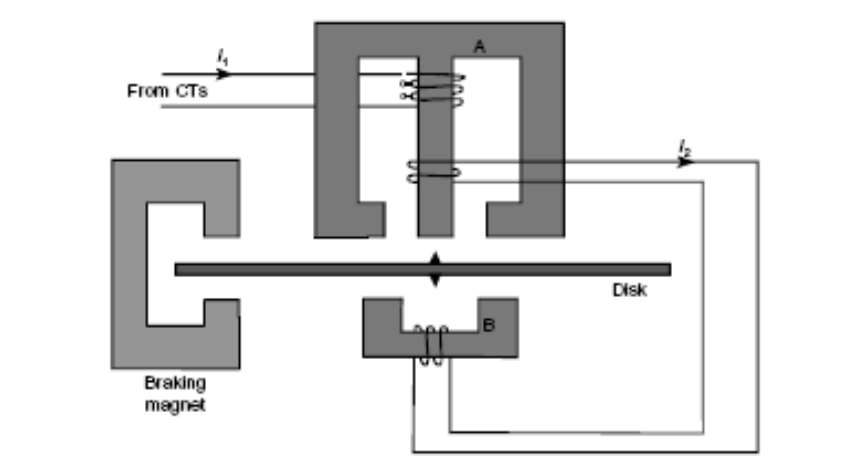
1. Fusibles
2. Relés de sobrecorriente: Característica ANSI é IEC
3. Seccionalizadores
4. Coordinamiento de una red de distribución Radial
5. Fallas a tierra en redes de distribución con neutro aterrado y aislado

Relé de sobrecorriente

Como nació

Relé Electromecánico





Relé de sobrecorriente

Características IEC y ANSI

Normalmente Inversa IEC
Normal Inverse IEC

$$t = \frac{0.14}{(I/I_p)^{0.02} - 1} \cdot T_p \ [s]$$

Muy Inversa IEC
Very Inverse IEC

$$t = \frac{13.5}{(I/I_p) - 1} \cdot T_p \ [s]$$

Extremadamente Inversa IEC
Extremely Inverse IEC

$$t = \frac{80}{(I/I_p)^2 - 1} \cdot T_p \ [s]$$

Inversa de larga duración IEC
Long time Inverse IEC

$$t = \frac{120}{(I/I_p)^1 - 1} \cdot T_p \ [s]$$

Relé de sobrecorriente

Características IEC y ANSI

Inverse

$$t = \left(\frac{8.9341}{(I/I_p)^{2.0938} - 1} + 0.17966 \right) \cdot D$$

Short inverse ("short in")

$$t = \left(\frac{0.2663}{(I/I_p)^{1.2969} - 1} + 0.03393 \right) \cdot D$$

Long inverse ("long inv")

$$t = \left(\frac{5.6143}{(I/I_p) - 1} + 2.18592 \right) \cdot D$$

Moderately inverse ("mode inv")

$$t = \left(\frac{0.0103}{(I/I_p)^{0.02} - 1} + 0.0228 \right) \cdot D$$

Very inverse ("very inv")

$$t = \left(\frac{3.922}{(I/I_p)^{2} - 1} + 0.0982 \right) \cdot D$$

Extremely inverse ("extr inv")

$$t = \left(\frac{5.64}{(I/I_p)^{2} - 1} + 0.02434 \right) \cdot D$$

definite inverse ("def inv")

$$t = \left(\frac{0.4797}{(I/I_p)^{1.5625} - 1} + 0.21359 \right) \cdot D$$

I–squared–t ("IsquaredT")

$$t = \frac{50.7 \cdot D + 10.14}{(I/I_p)^{2}}$$

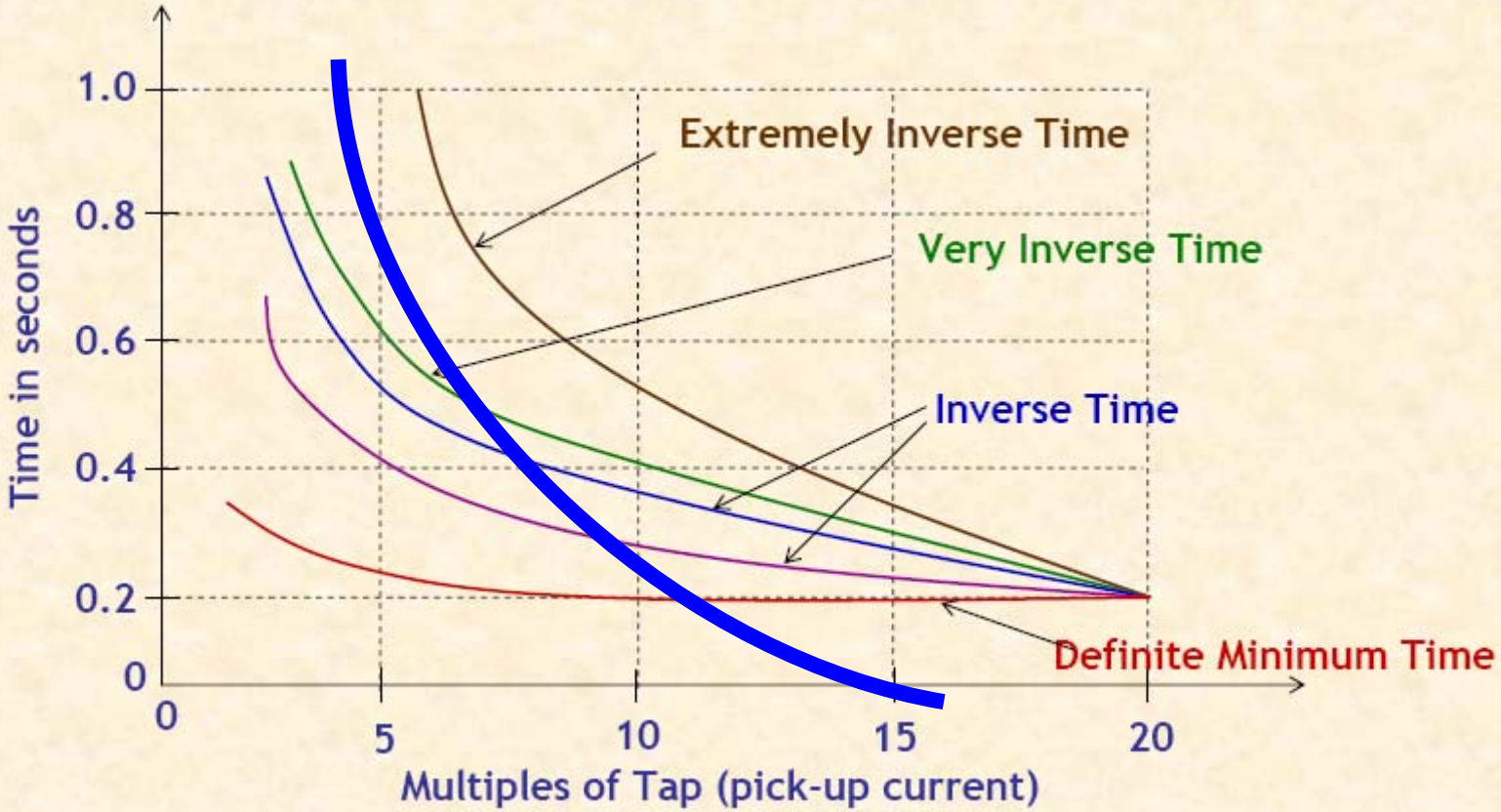
Relé de sobrecorriente

Características IEC y ANSI (USOS)

Característica	Área de aplicación	Característica única de aplicación
Tiempo Definido	Transmisión Subtransmisión Distribución	Se usa si la impedancia de fuente es variable
Normalmente Inverso Inverse	Transmisión Subtransmisión Distribución	Protección de fase y tierra en donde se necesita asegurar la selectividad de la protección
Muy Inverso Very Inverse	Transmisión Subtransmisión Distribución	Excelente característica para uso de sobrecorriente a tierra. Coordina con fusibles
Extremadamente Inverso Extremely Invers	Distribucion	Uso exclusivo en distribución, coordina con fusible, reclosers, etc

Relé de sobrecorriente

Características IEC y ANSI (USOS)



Contenido

1. Fusibles
2. Relés de sobrecorriente: Característica ANSI é IEC
3. Seccionalizadores
4. Coordinamiento de una red de distribución Radial
5. Fallas a tierra en redes de distribución con neutro aterrado y aislado

Seccionalizadores

Los seccionalizadores son dispositivos de protección, que aíslan la zona afectada, no teniendo capacidad de interrupción de las corrientes de falla, quedando esta función delegada en interruptores o reconectadotes asociados al seccionalizador. Dentro de las características generales pueden dividirse dos tipos de sistema de cuenta :

- Pasaje de corriente de falla
- Ausencia de tensión.

Por su principio de funcionamiento, permiten generar un “eslabón” en la cadena de coordinación, sin necesidad de adicionar tiempos de coordinación.

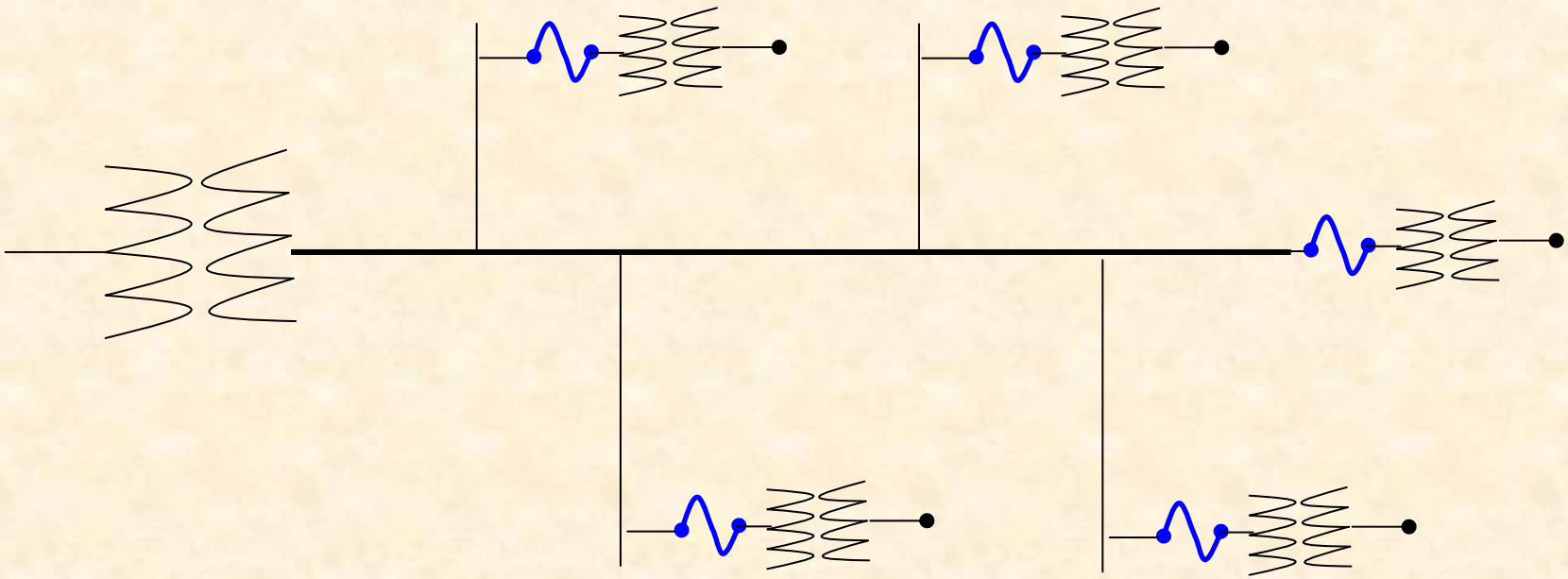
Contenido

1. Fusibles
2. Relés de sobrecorriente: Característica ANSI é IEC
3. Coordinamiento de una red de distribución Radial
4. Fallas a tierra en redes de distribución con neutro aterrado y aislado

Coordinamiento de una red radial

Dada una red de distribución radial como la mostrada

1- Información necesaria para analizar la red



Coordinamiento de una red radial

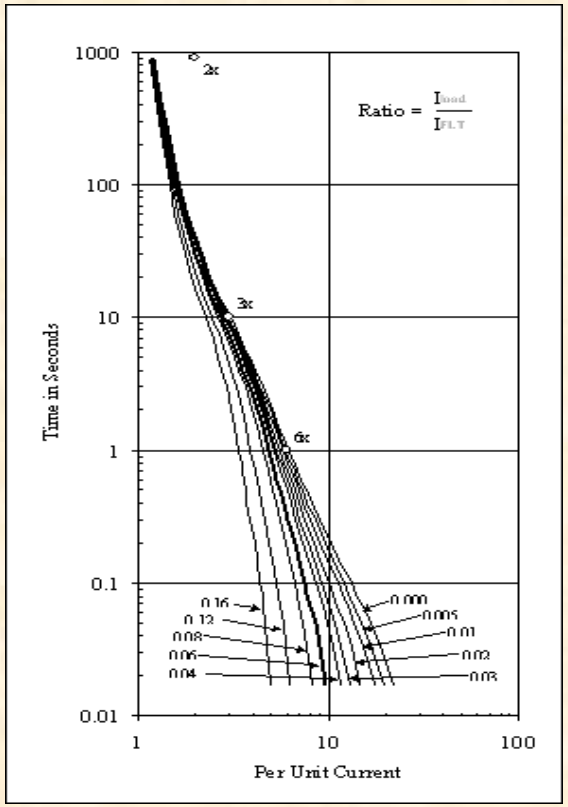
1- Información necesaria para analizar la red

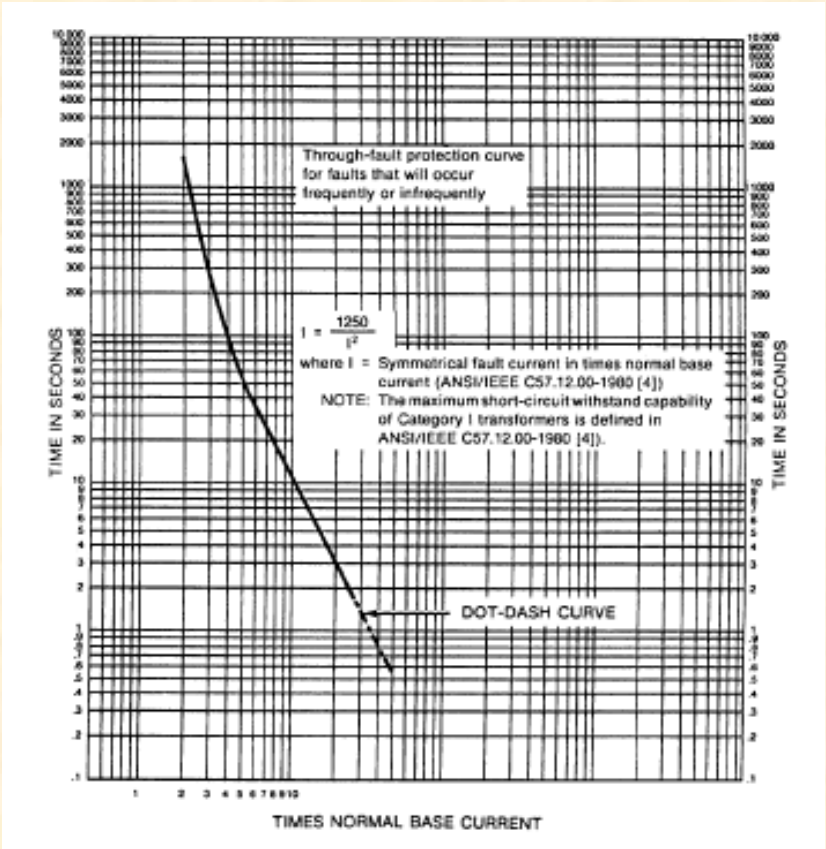
- Tensión nominal del sistema
- Corriente de cortocircuito trifásico y monofásico (máximo y mínimo) en punto de conexión al sistema
- Tipos de fusibles a usarse
- Tiempo de despeja máximo de falla en el punto de conexión a la red

Coordinamiento de una red radial

Selección de un fusible adecuado

- Tensión nominal del sistema
- Corriente de carga
- Curva de Cold load pickup
- Curva de daño del transformador

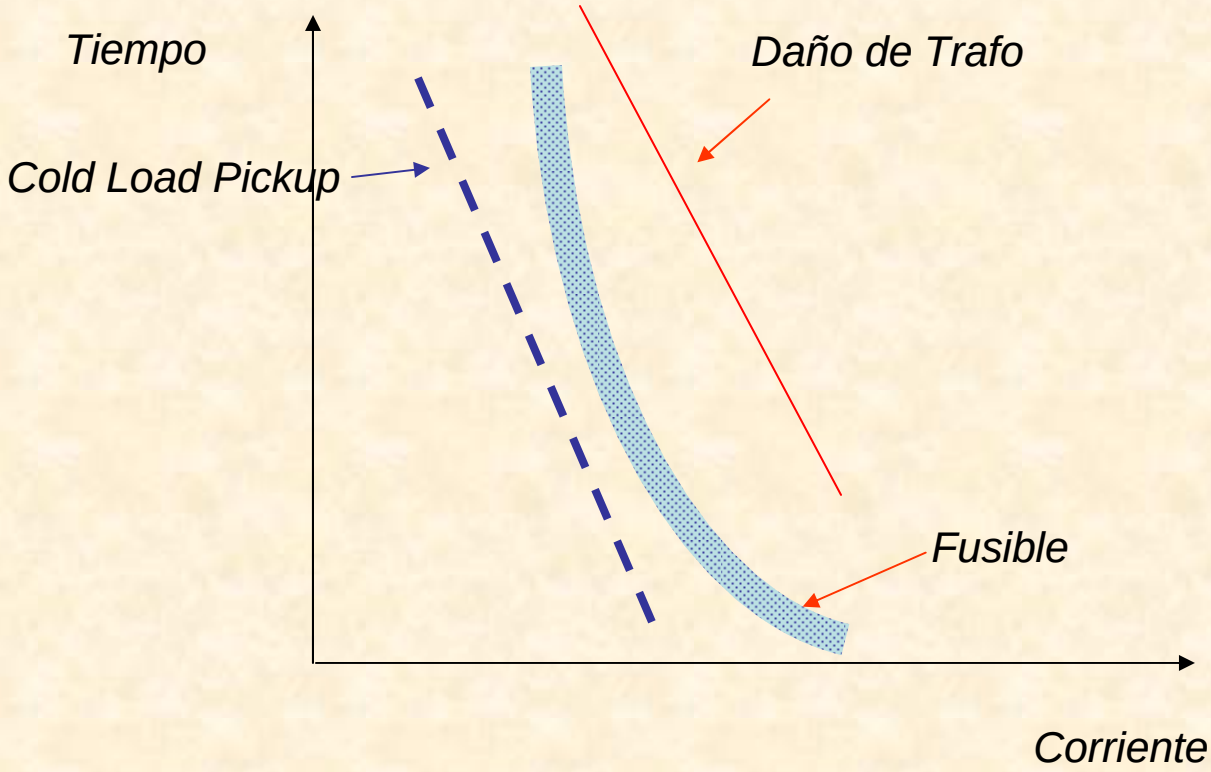




Coordinamiento de una red radial

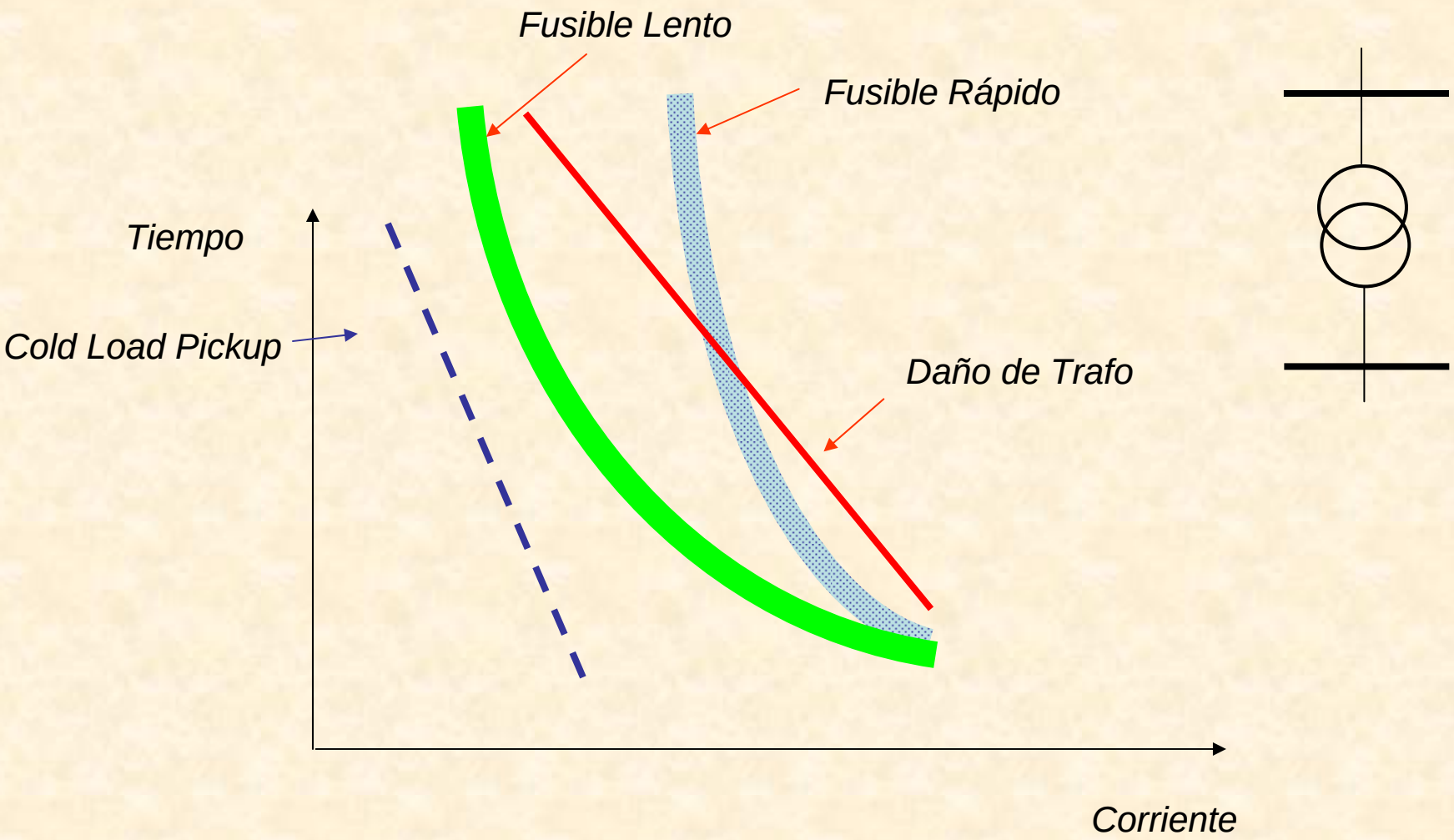
Selección de un fusible adecuado

- Tensión nominal del sistema
- Corriente de carga
- Curva de Cold load pickup
- Curva de daño del transformador



Coordinamiento de una red radial

Coordinamiento de un transformador con Fusibles.



Coordinamiento de una red radial

Ajuste de un recloser ó relé de sobrecorriente

1 Determinar la mínima corriente de operación del relé ó Recloser (pickup ó arranque)

Para fases

- Ajustar al 50% ó menos de la mínima corriente de falla en el extremo remoto del elemento protegido.
- Verificar que sea mayor al 200% de la máxima corriente de carga del elemento protegido.
- Ajustar el elemento instantáneo (100ms) El valor de ajuste tiene que ser menor que la corriente máxima de fallas local pero mayor que 1.25 veces la máxima corriente en la ubicación del primer equipos de protección aguas abajo.

Coordinamiento de una red radial

Ajuste de un recloser ó relé de sobrecorriente

1 Determinar la mínima corriente de operación del relé ó Recloser (pickup ó arranque)

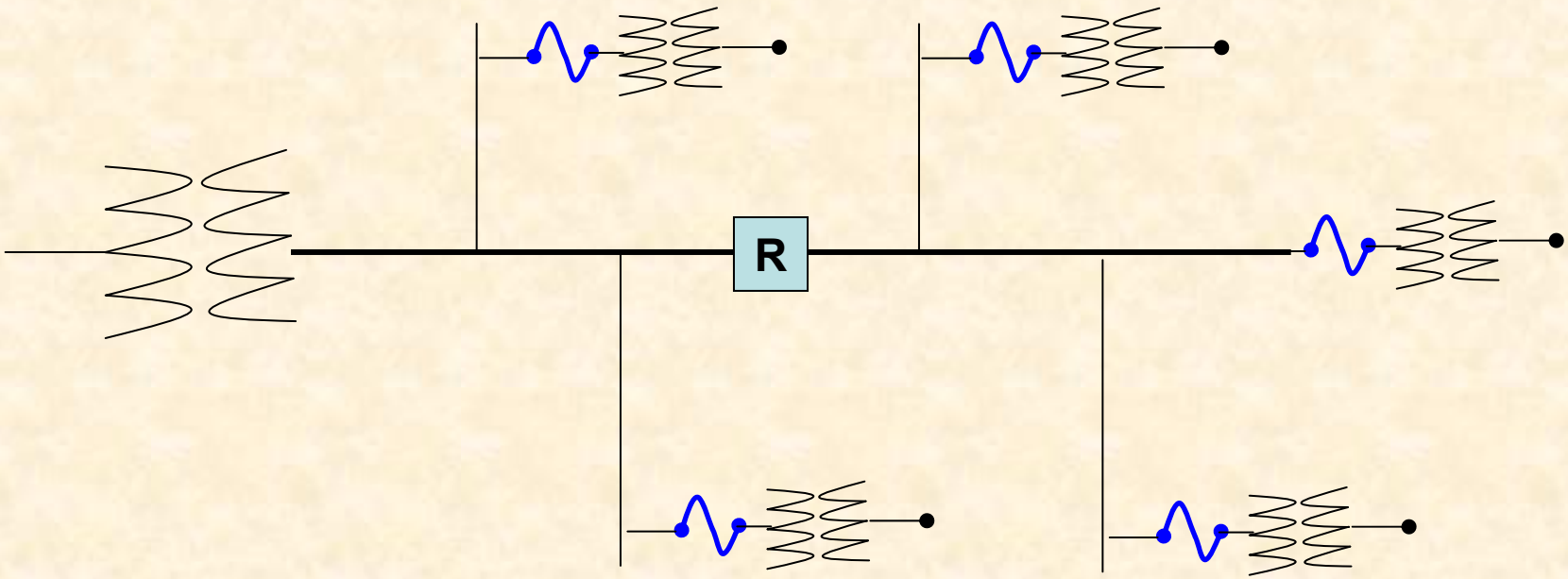
Para tierra

- Ajustar al 50% ó menos de la mínima corriente de falla monofásica en el extremo remoto del elemento protegido.
- Ajustar al 33% o menos de la máxima corriente de carga.
- Ajustar el elemento instantáneo (100ms) El valor de ajuste tiene que ser menor que la corriente máxima de fallas local pero mayor que 1.25 veces la máxima corriente en la ubicación del primer equipos de protección aguas abajo.

Coordinamiento de una red radial

Coordinamiento del Recloser con los fusibles

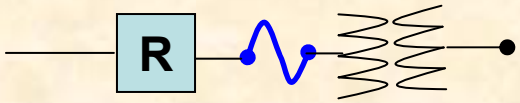
Para mejorar el coordinamiento se usa reclosers

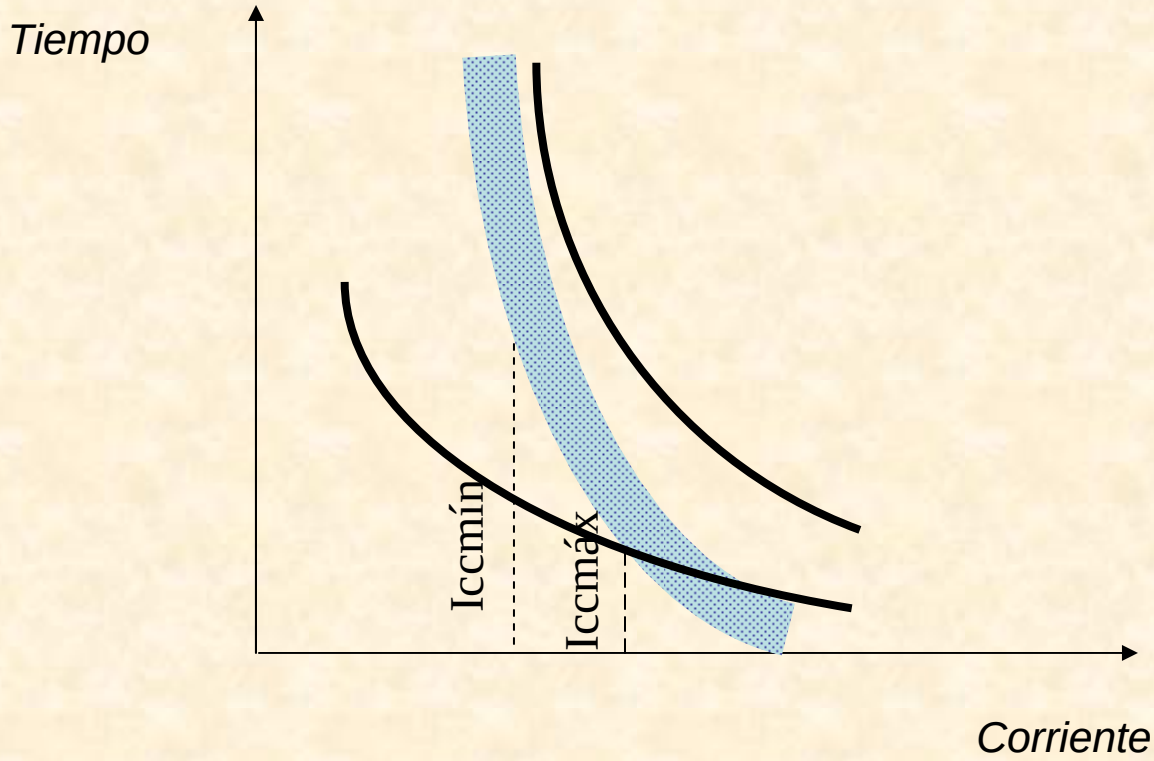


Coordinamiento de una red radial

Coordinamiento entre un fusible y un recloser

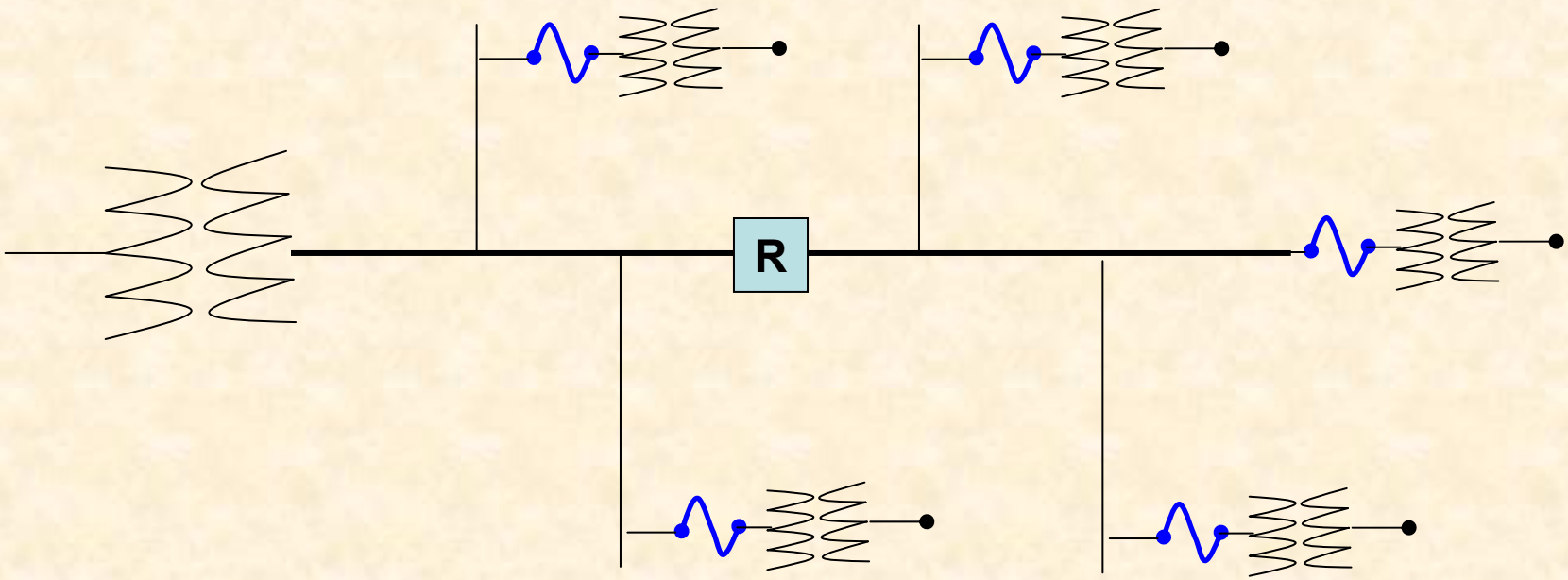
- Falla transitoria (Fuse Saving)
- Falla Permanente





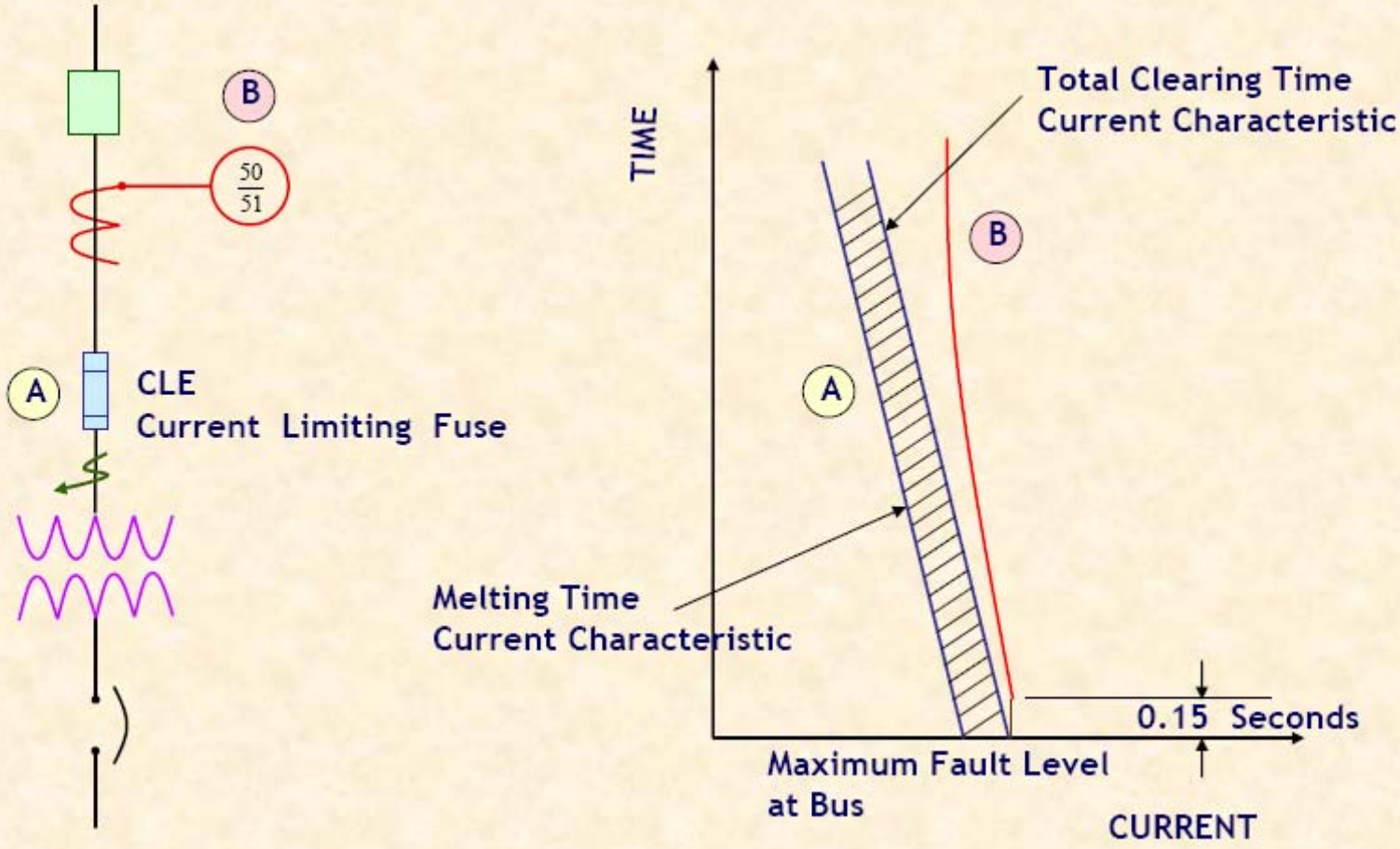
Coordinamiento de una red radial

Coordinamiento del Relé con los Reclosers y fusibles



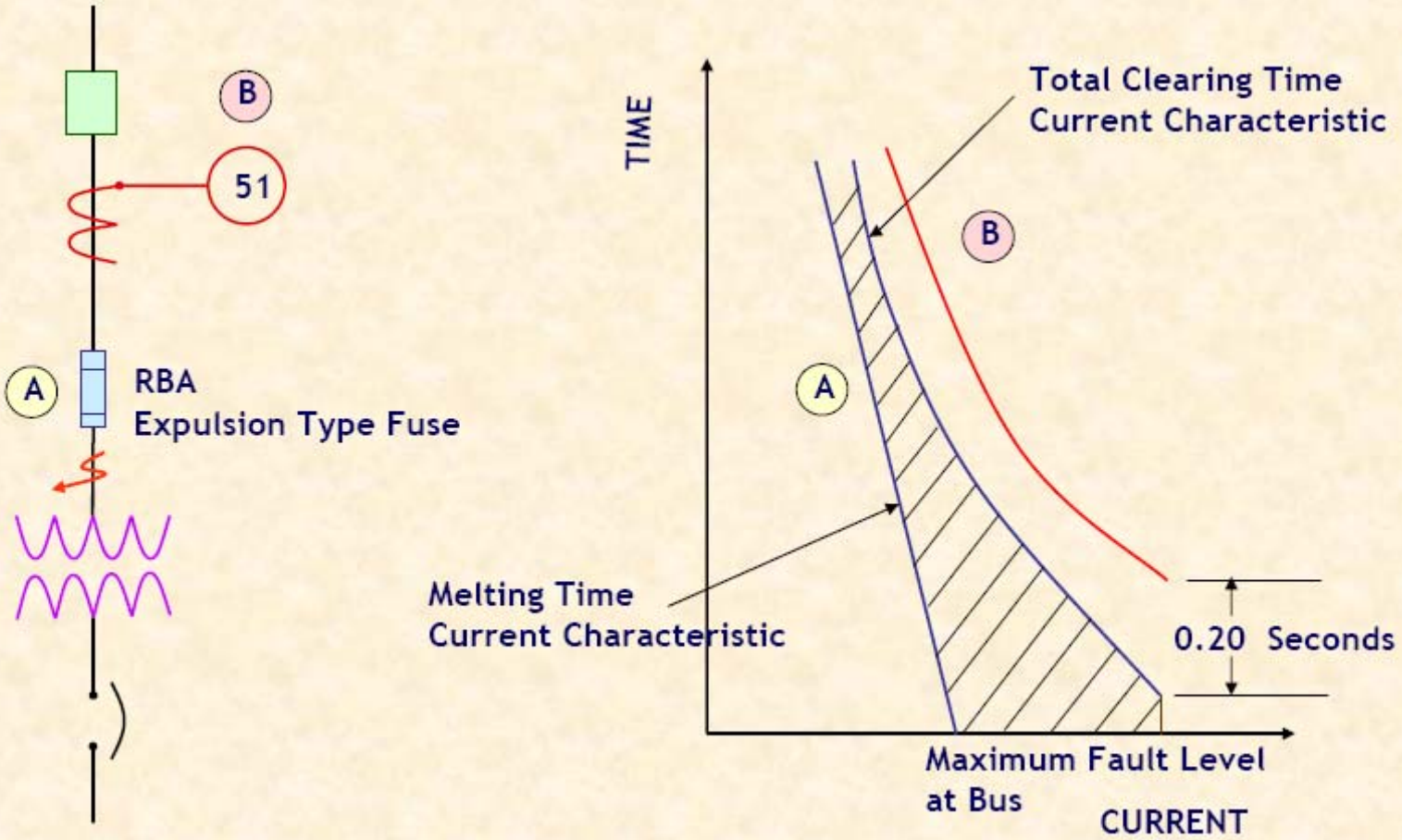
Coordinamiento de una red radial

Coordinamiento entre fusibles, reclosers y Relés



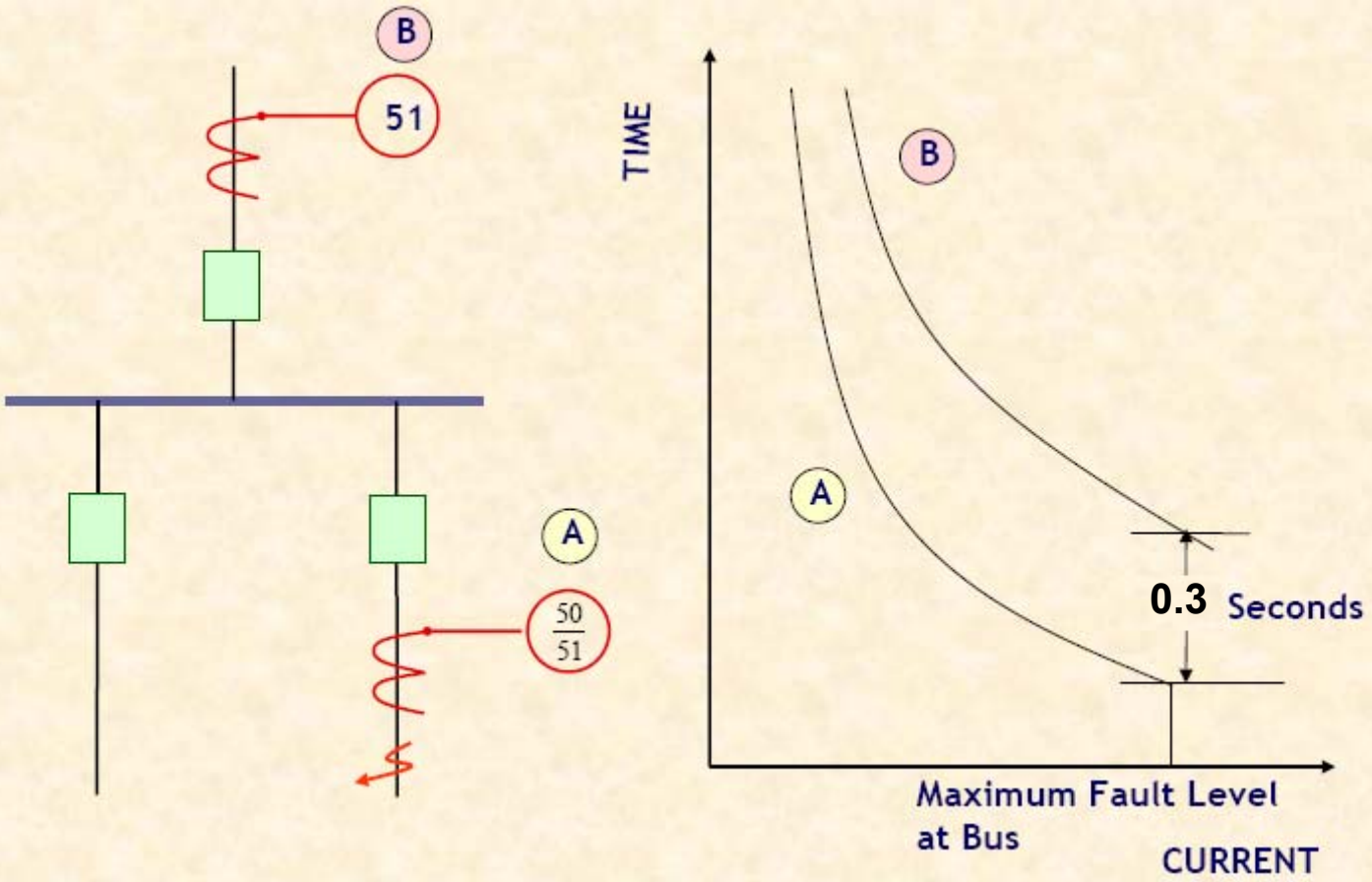
Coordinamiento de una red radial

Coordinamiento entre fusibles, reclosers y Relés



Coordinamiento de una red radial

Coordinamiento entre fusibles, reclosers y Relés



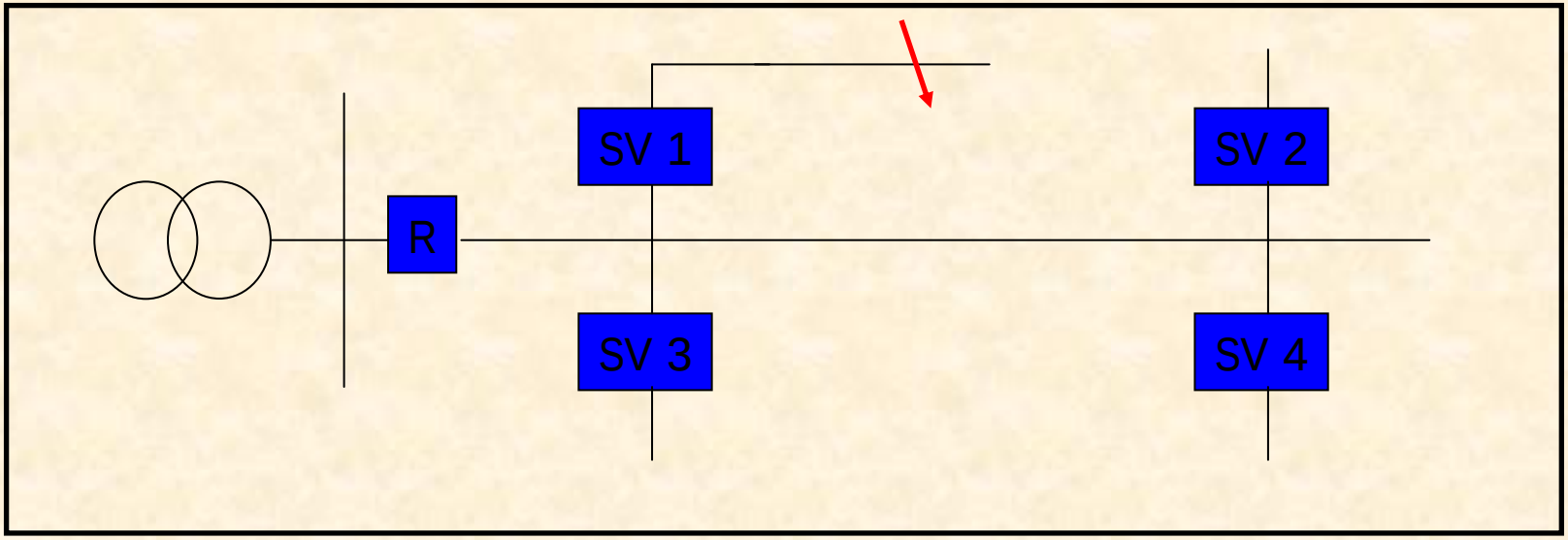
Coordinamiento de una red radial

Coordinamiento Recloser con un Seccionalizador

Coordinamiento Recloser con un Seccionalizador

– Seccionalizador vs Reconectador:

Para los seccionalizadores de tensión, el modo de operación genera una selectividad diferente de la que normalmente es analizada cuando se esta con equipamiento amperométrico.

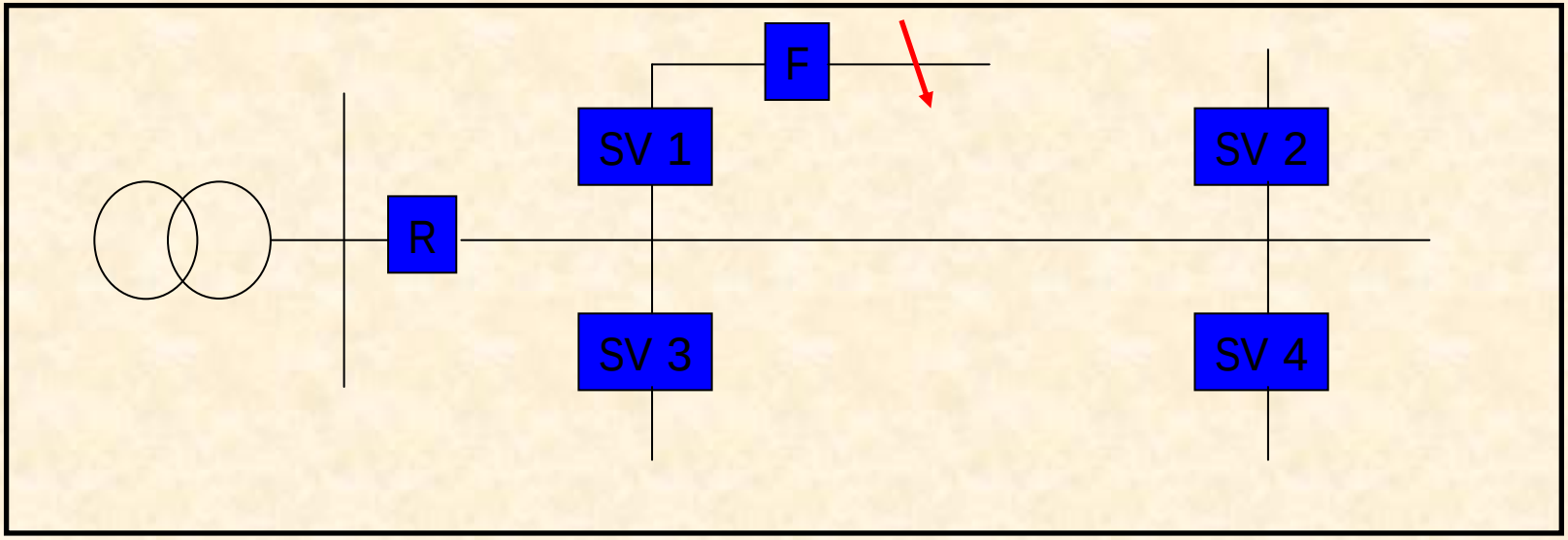


Coordinamiento Recloser con un Seccionalizador

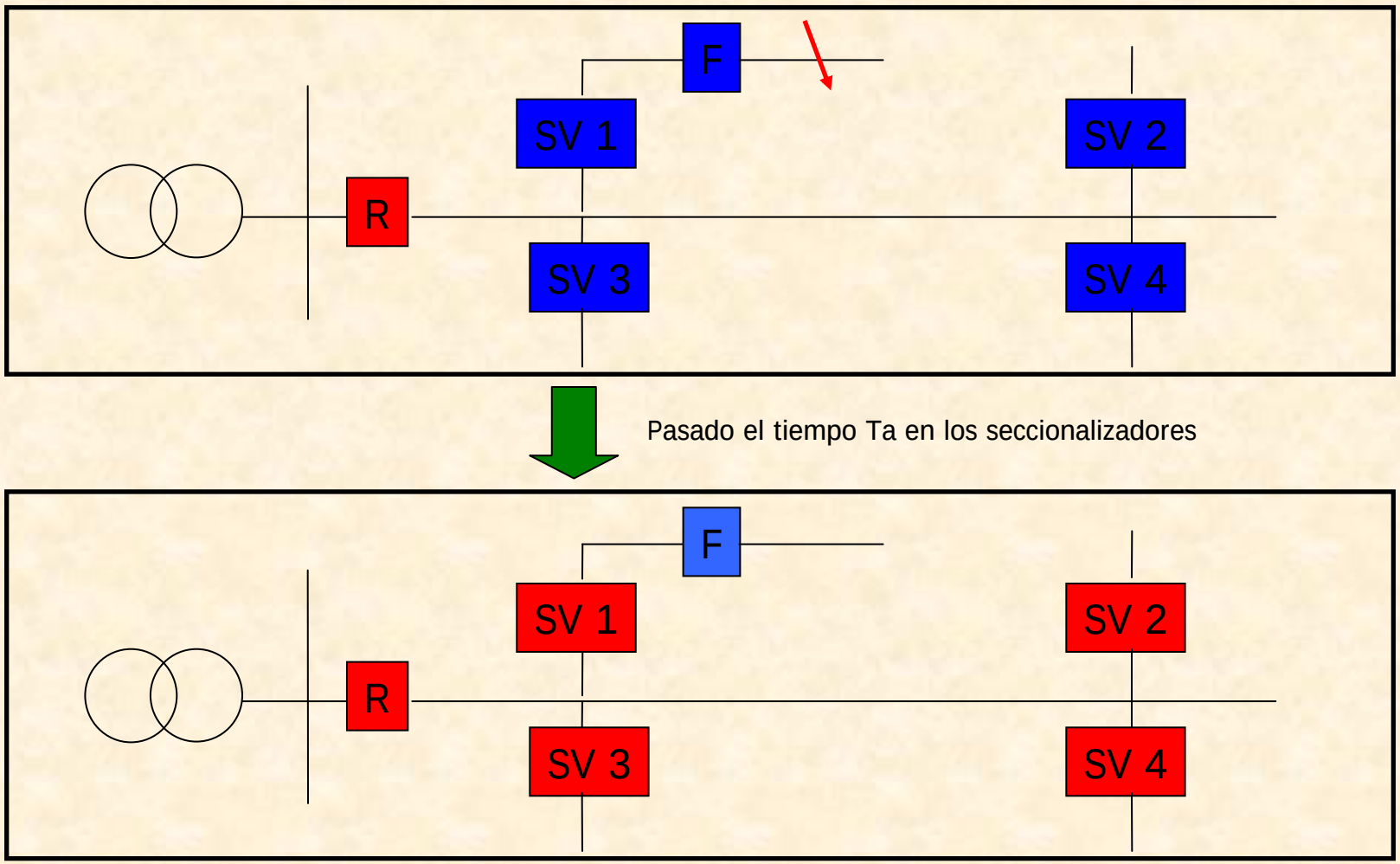
Suponiendo la falla transitoria, la operación del sistema será :

Equipamiento abierto

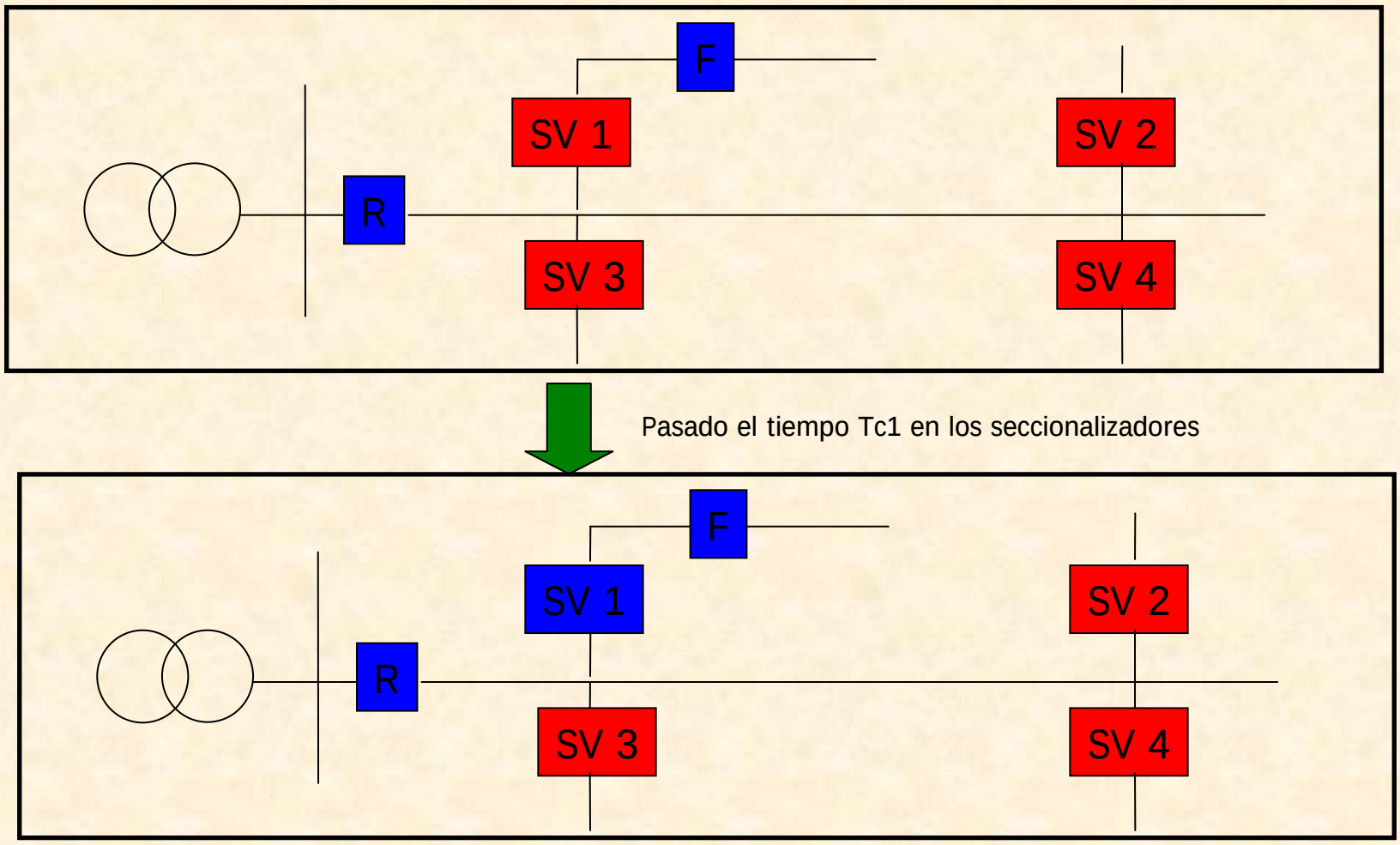
Equipamiento cerrado



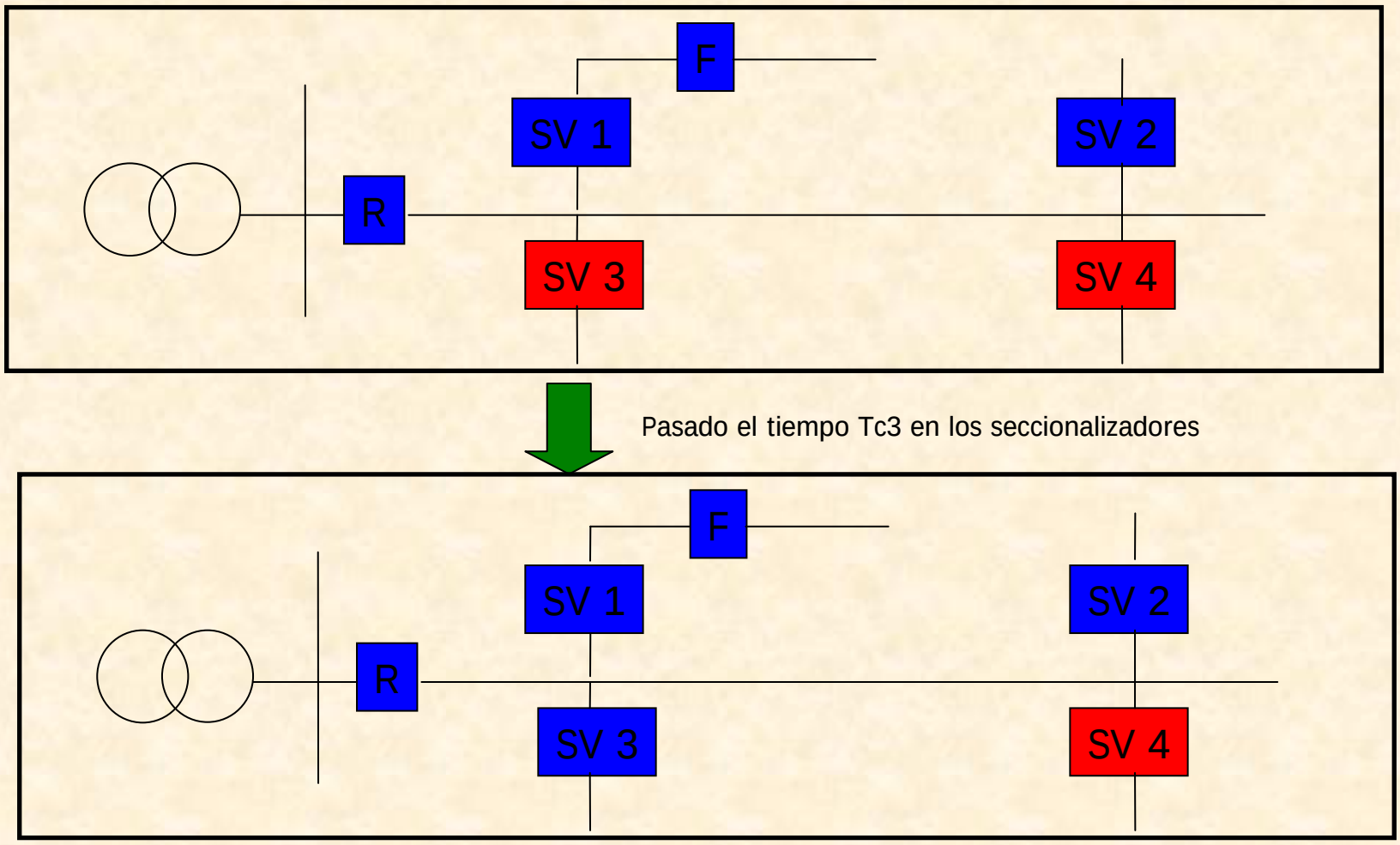
Coordinamiento Recloser con un Seccionalizador



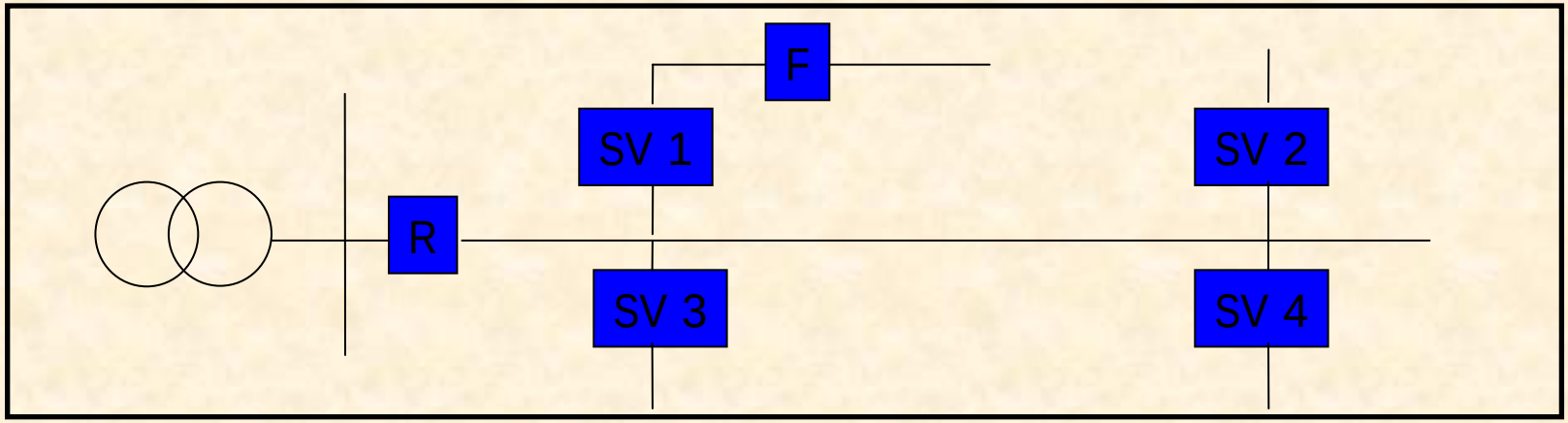
Coordinamiento Recloser con un Seccionalizador



Coordinamiento Recloser con un Seccionalizador



Coordinamiento Recloser con un Seccionalizador

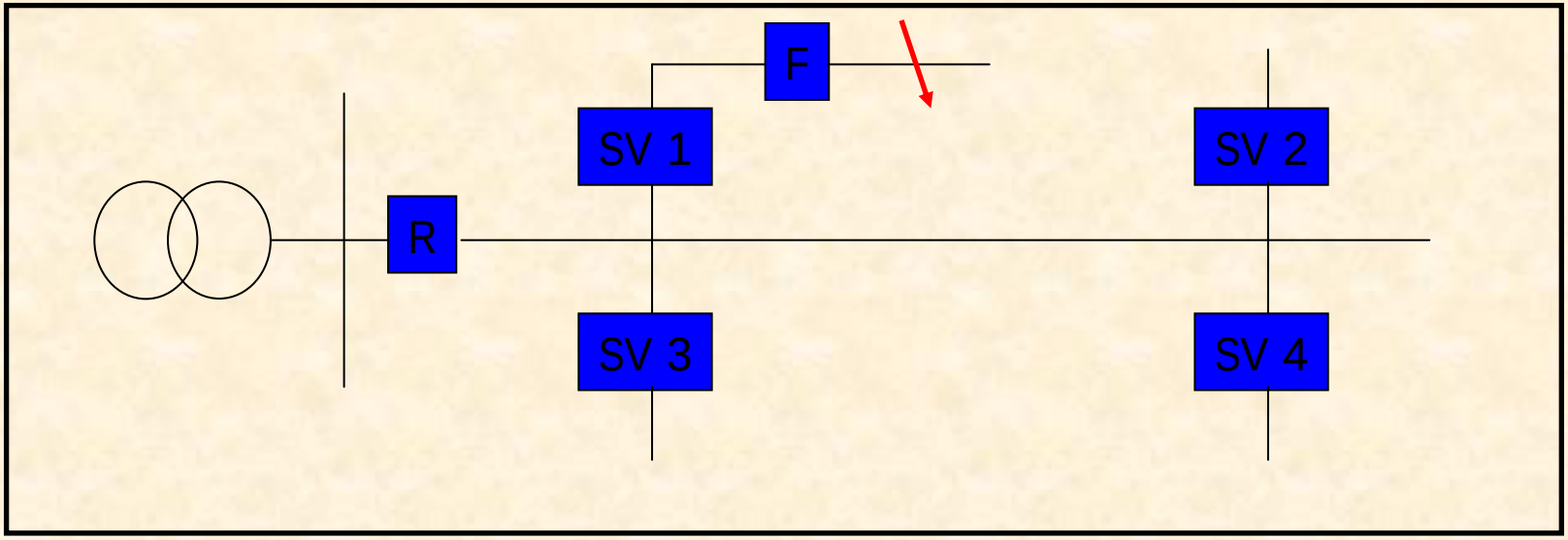


Coordinamiento Recloser con un Seccionalizador

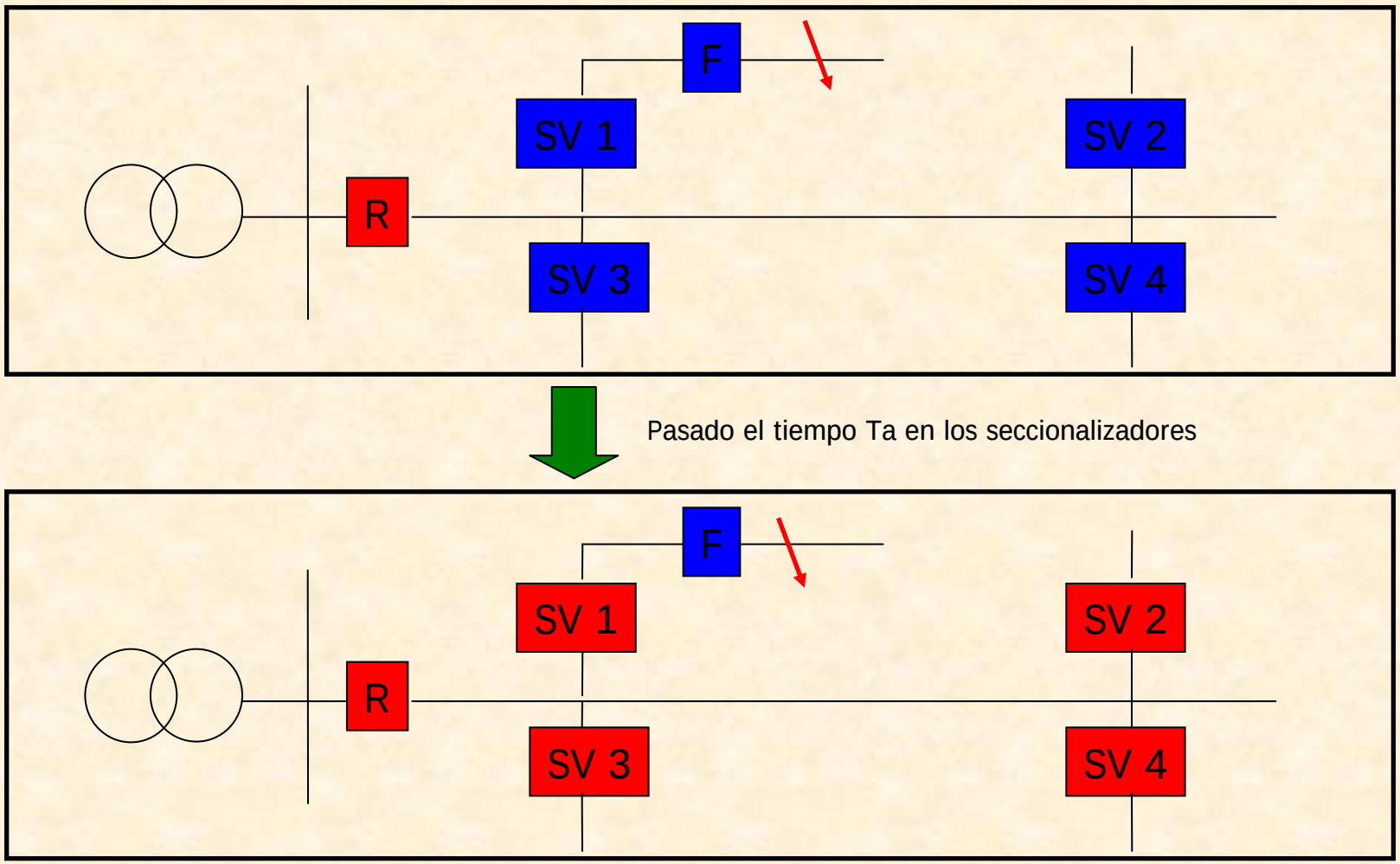
Suponiendo la falla no transitoria, la operación del sistema será (suponiendo 1R+2L):

Equipamiento abierto

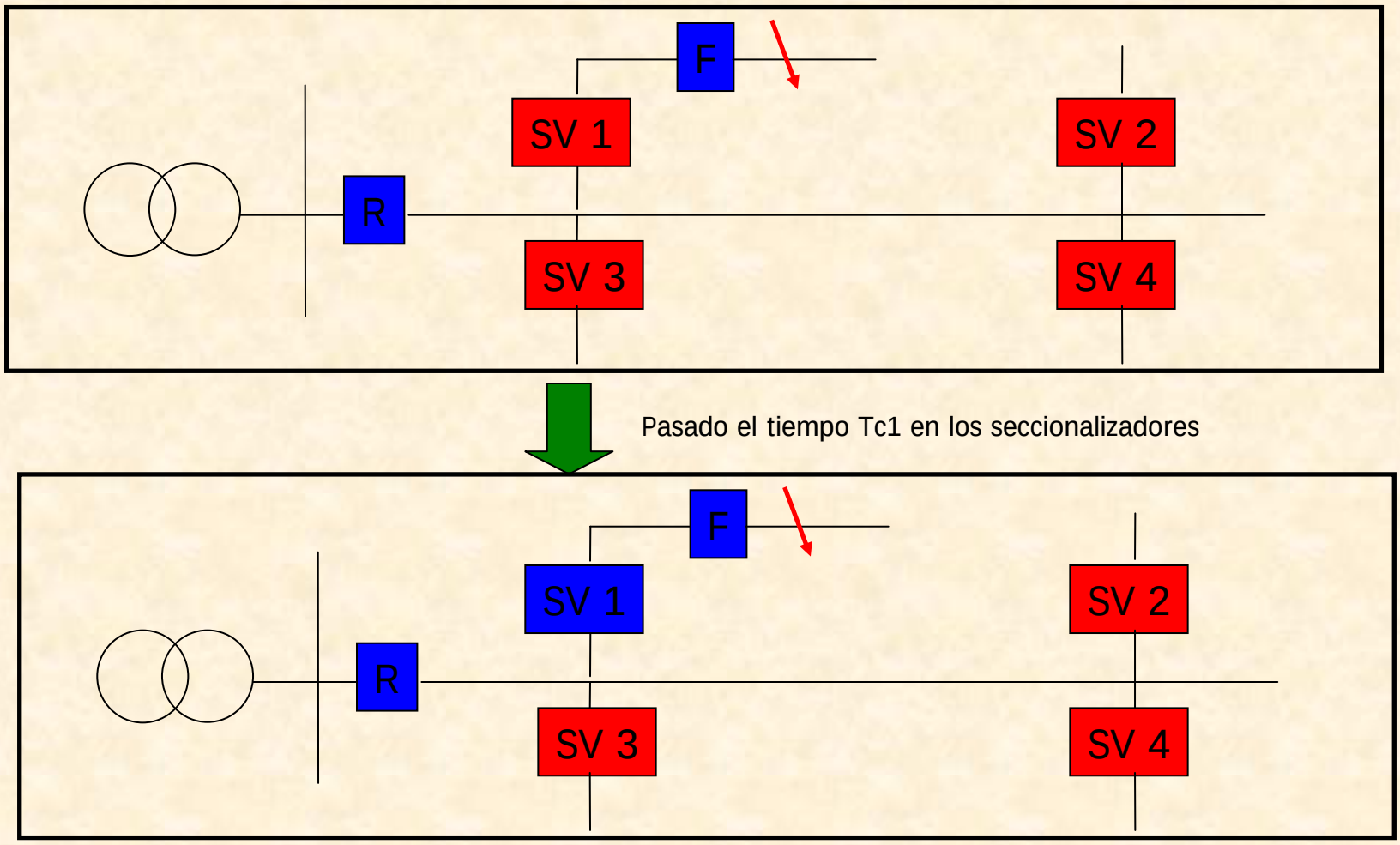
Equipamiento cerrado



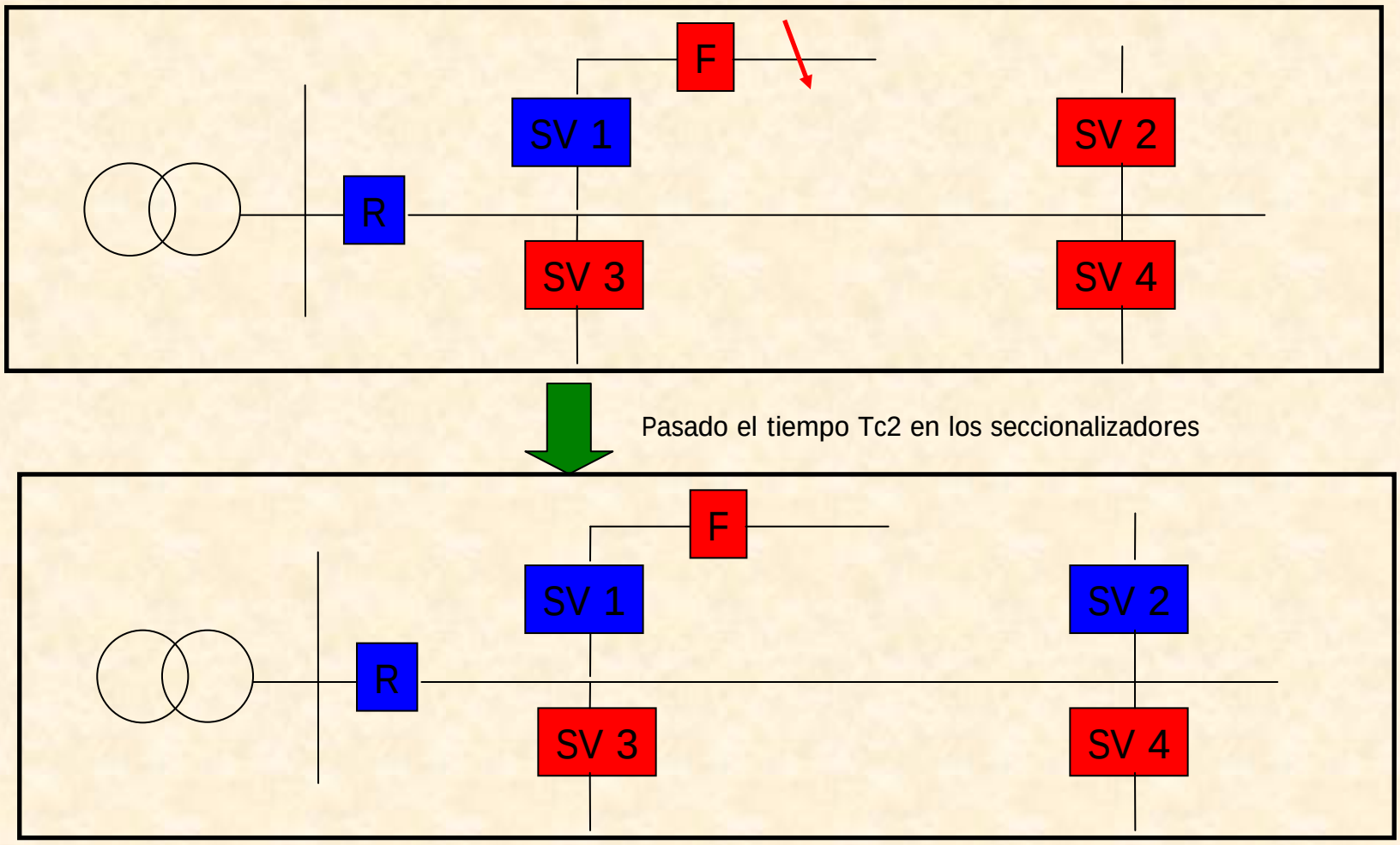
Coordinamiento Recloser con un Seccionalizador



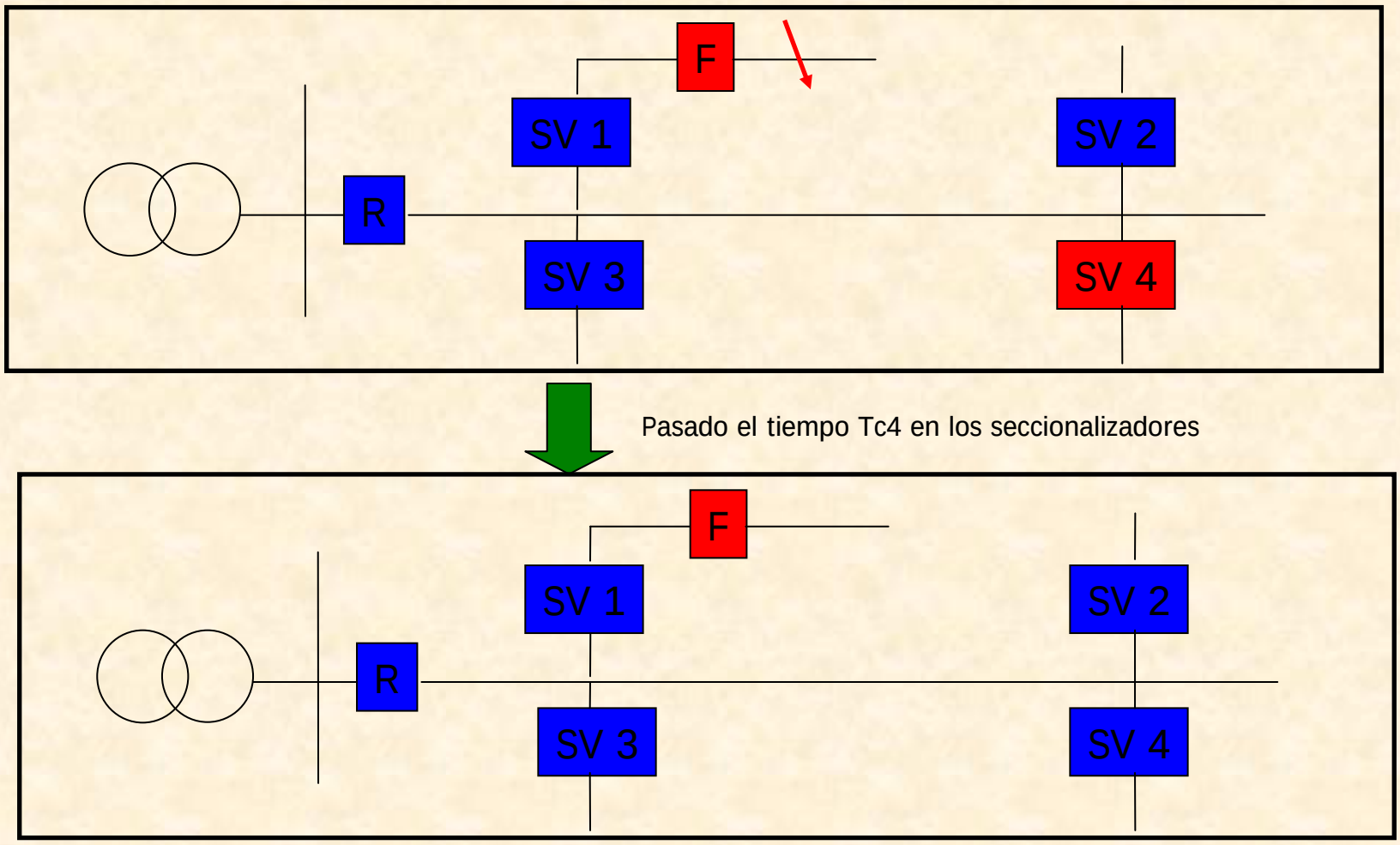
Coordinamiento Recloser con un Seccionalizador



Coordinamiento Recloser con un Seccionalizador



Coordinamiento Recloser con un Seccionalizador



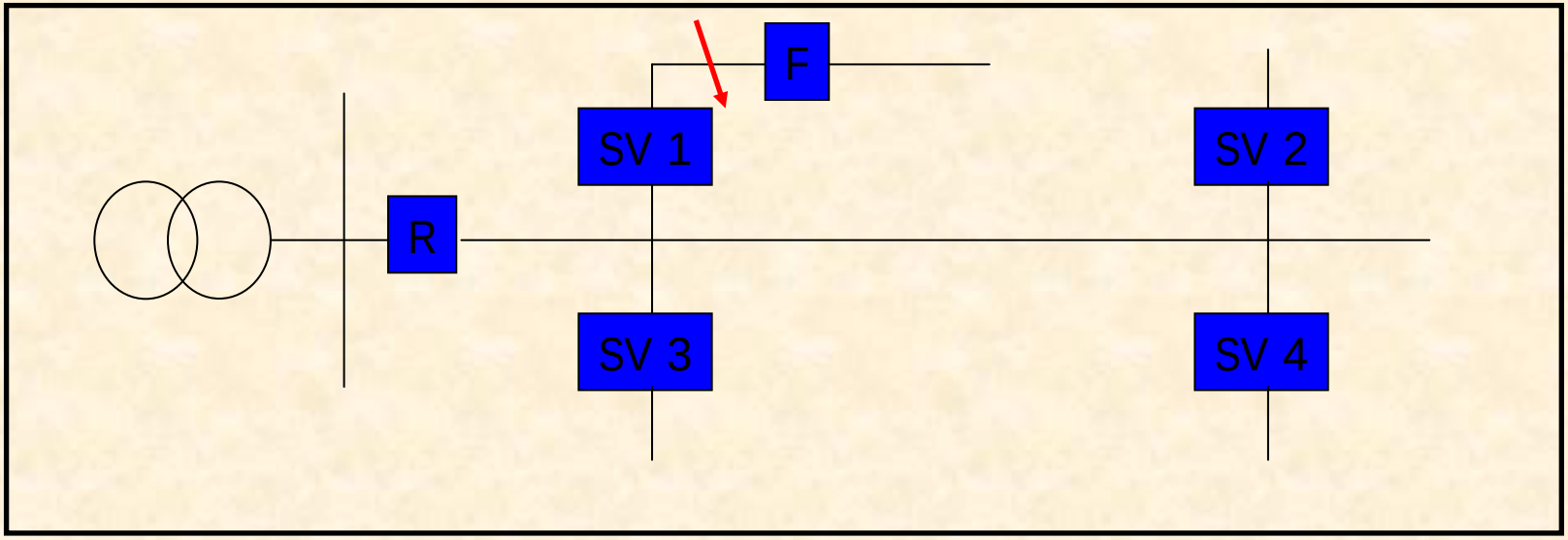
Coordinamiento Recloser con un Seccionalizador

Suponiendo la falla no transitoria, la operación del sistema será (suponiendo 1R+2L):

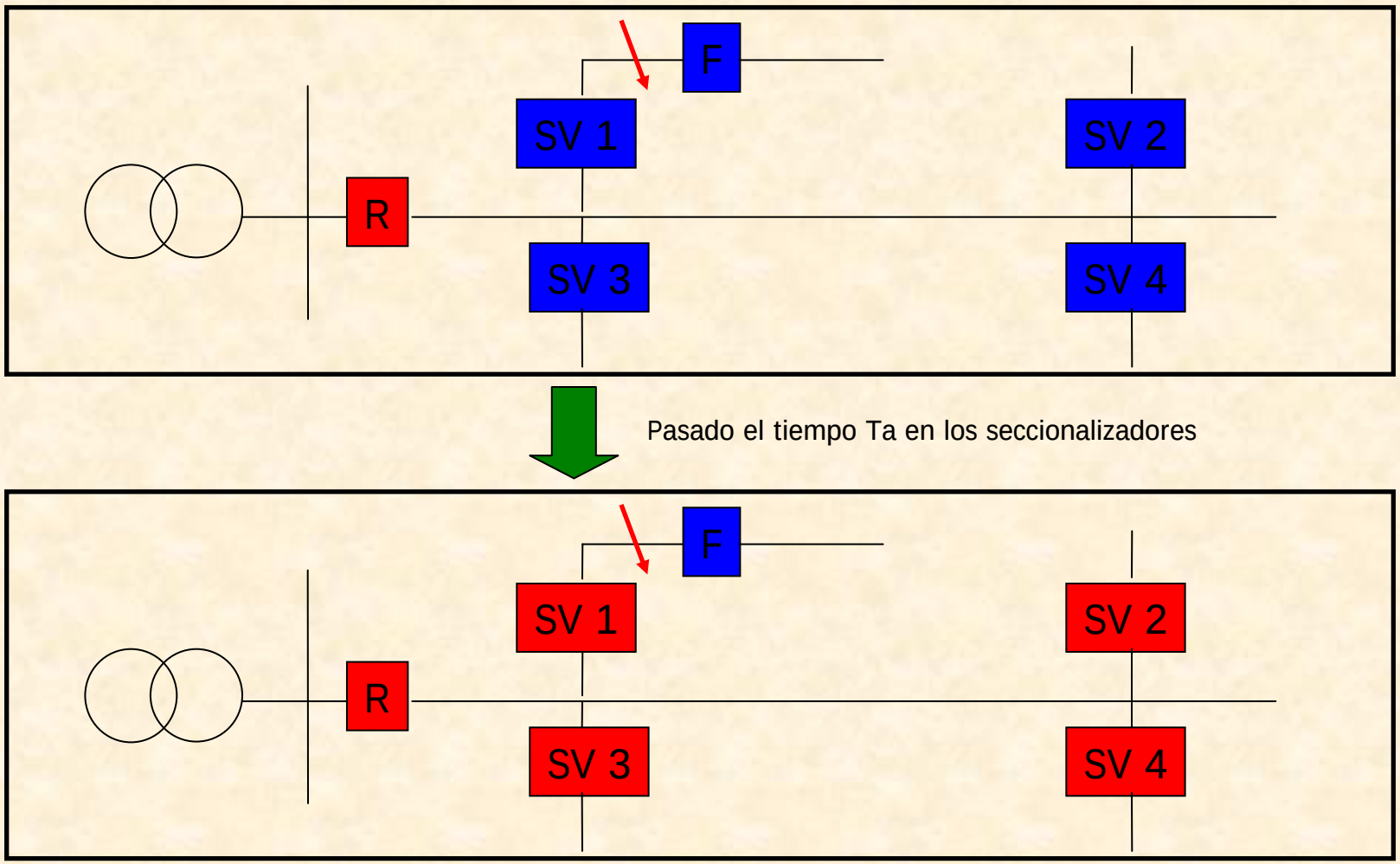
Equipamiento abierto

Equipamiento abierto y bloqueado

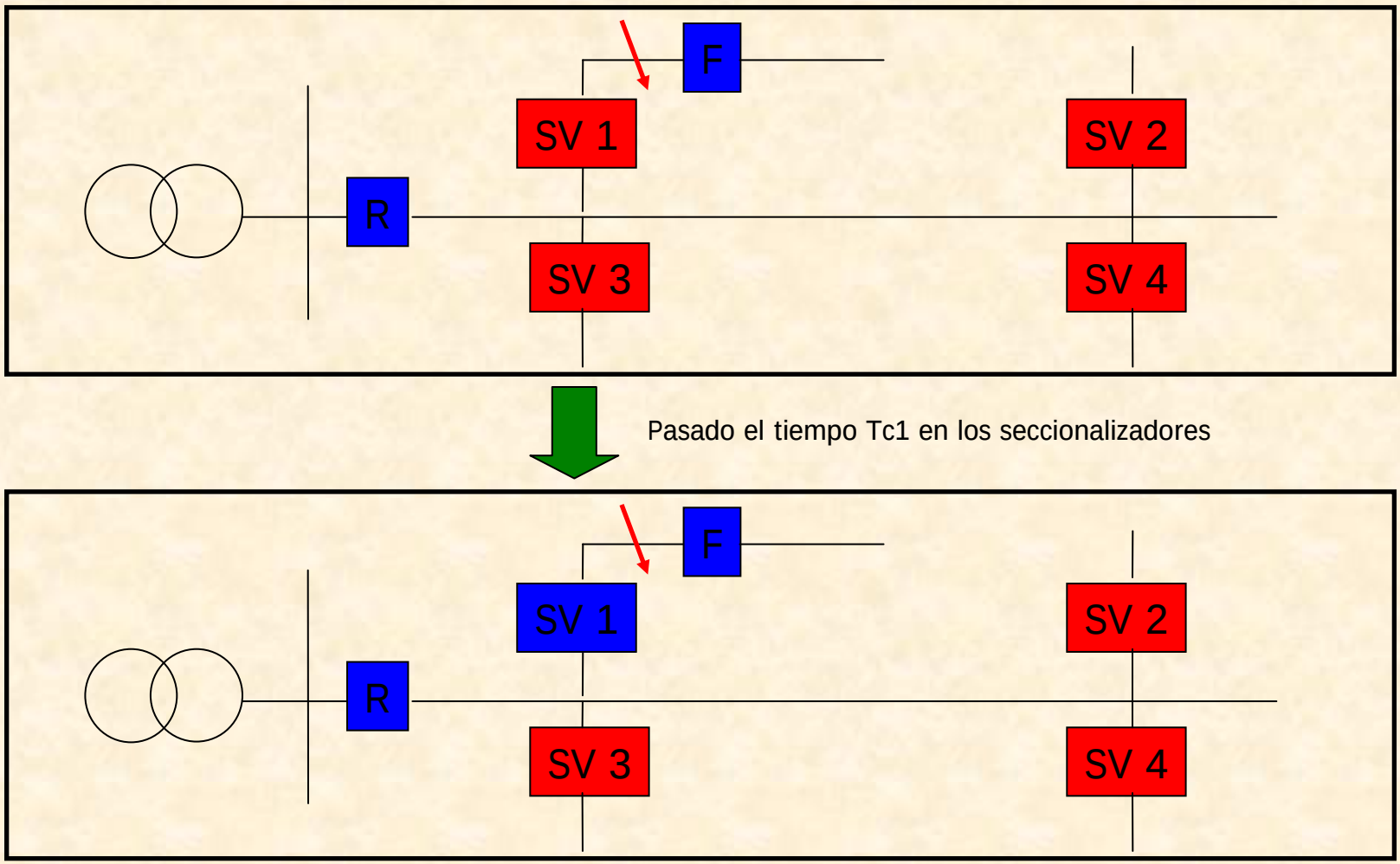
Equipamiento cerrado



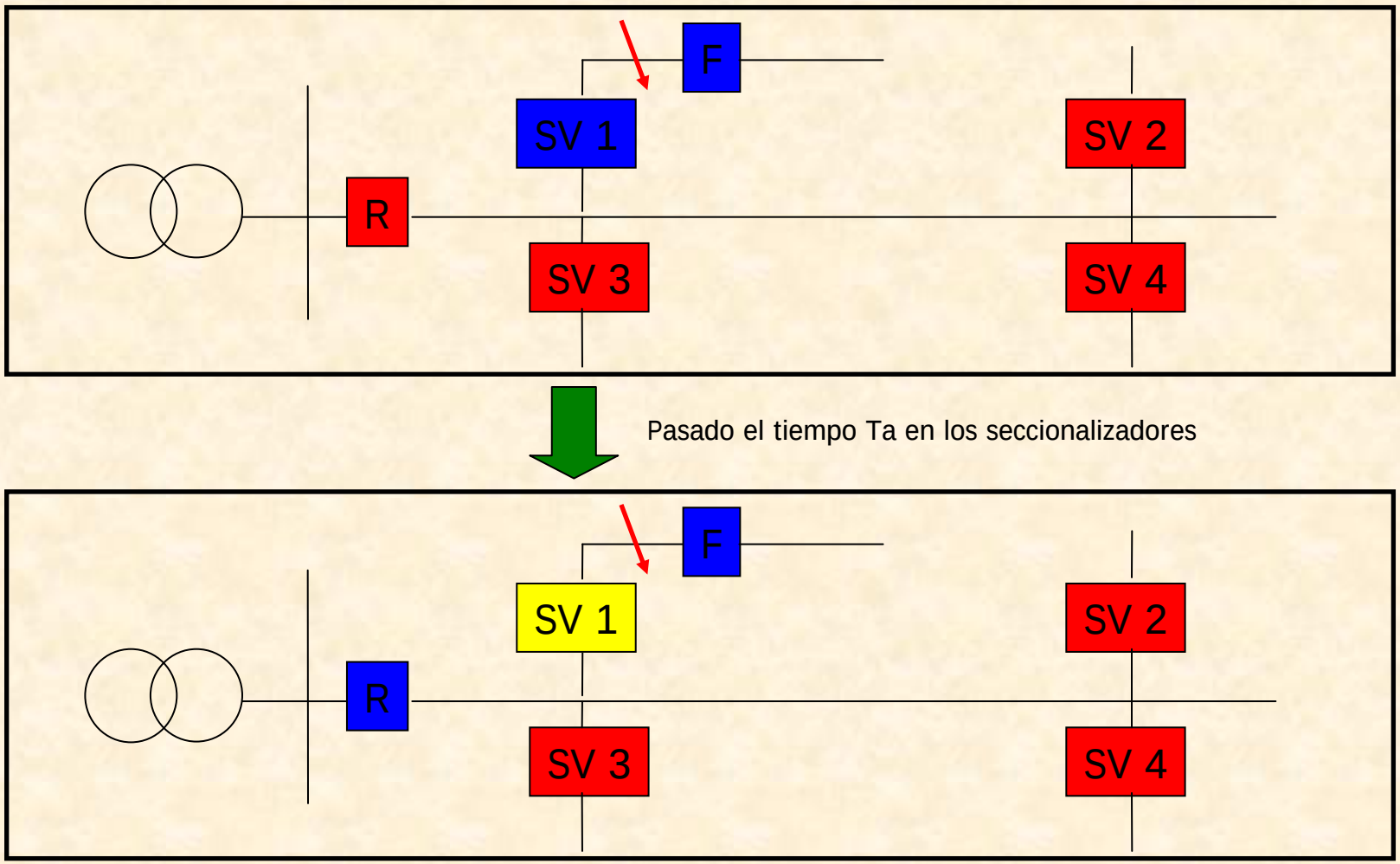
Coordinamiento Recloser con un Seccionalizador



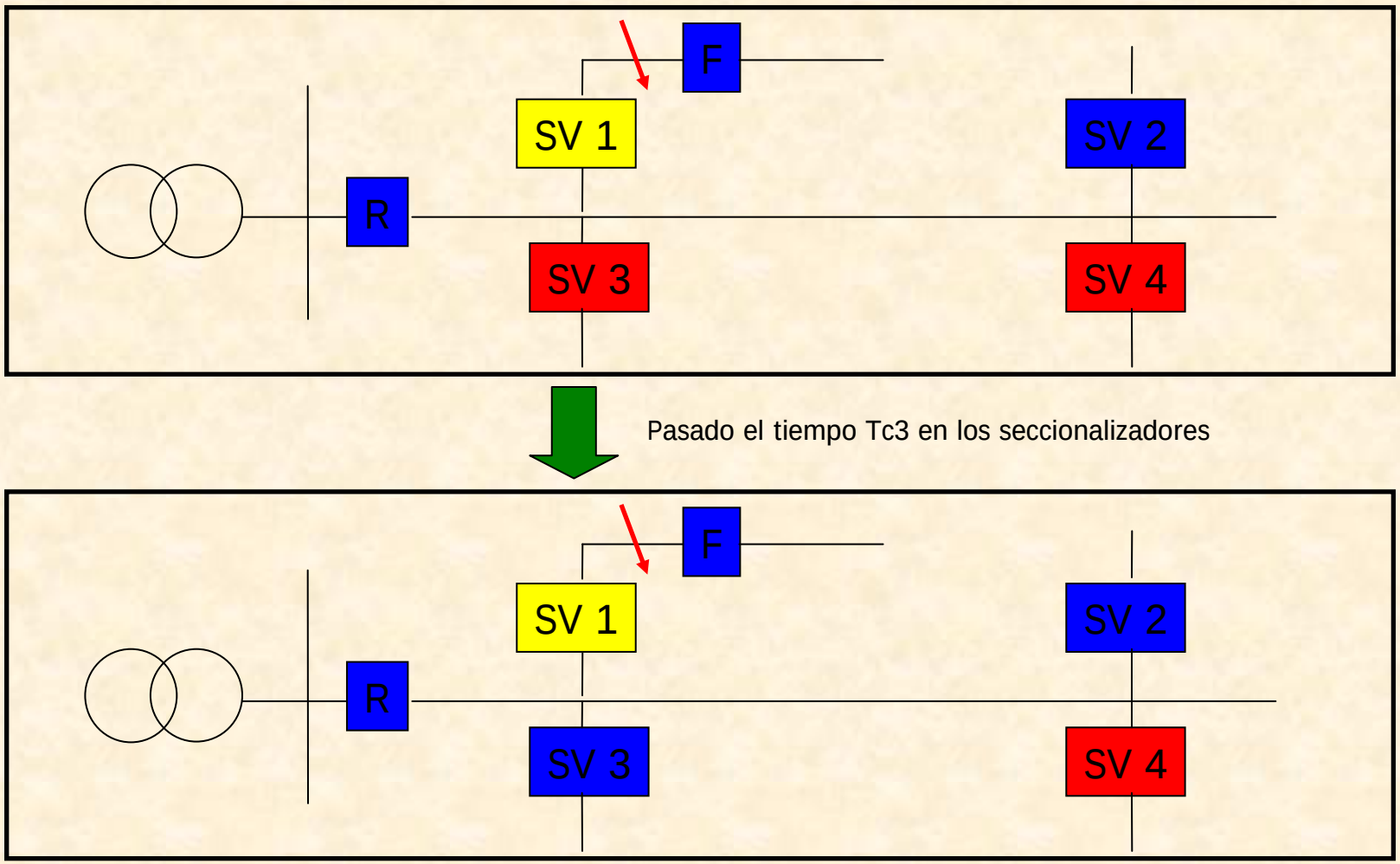
Coordinamiento Recloser con un Seccionalizador



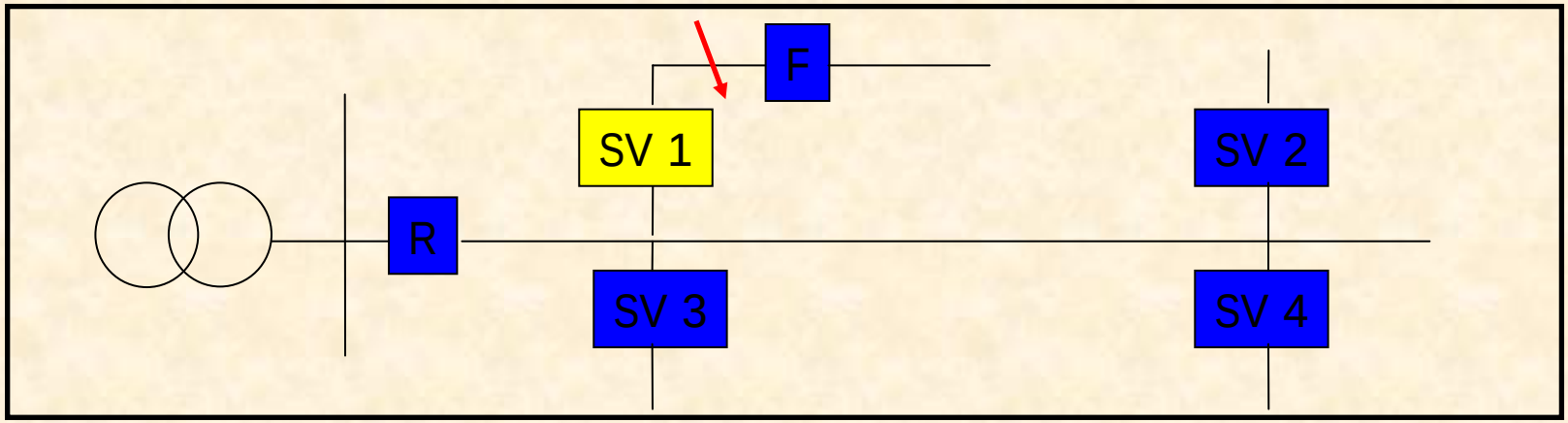
Coordinamiento Recloser con un Seccionalizador



Coordinamiento Recloser con un Seccionalizador



Coordinamiento Recloser con un Seccionalizador

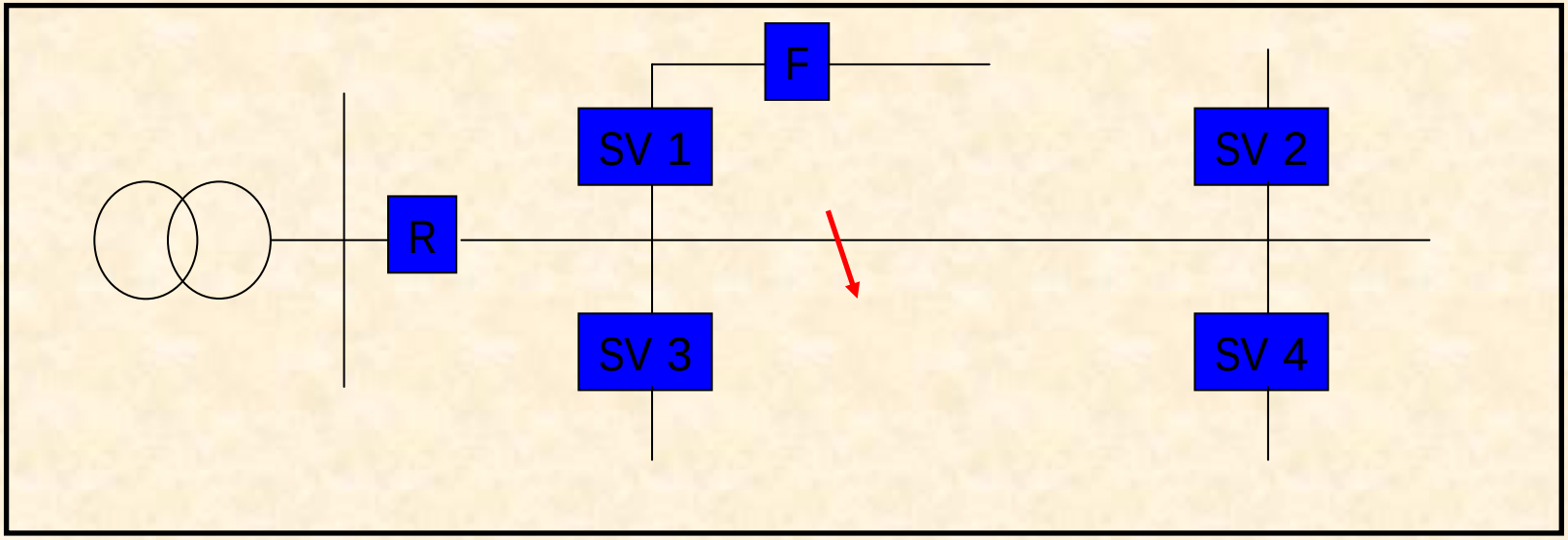


Coordinamiento Recloser con un Seccionalizador

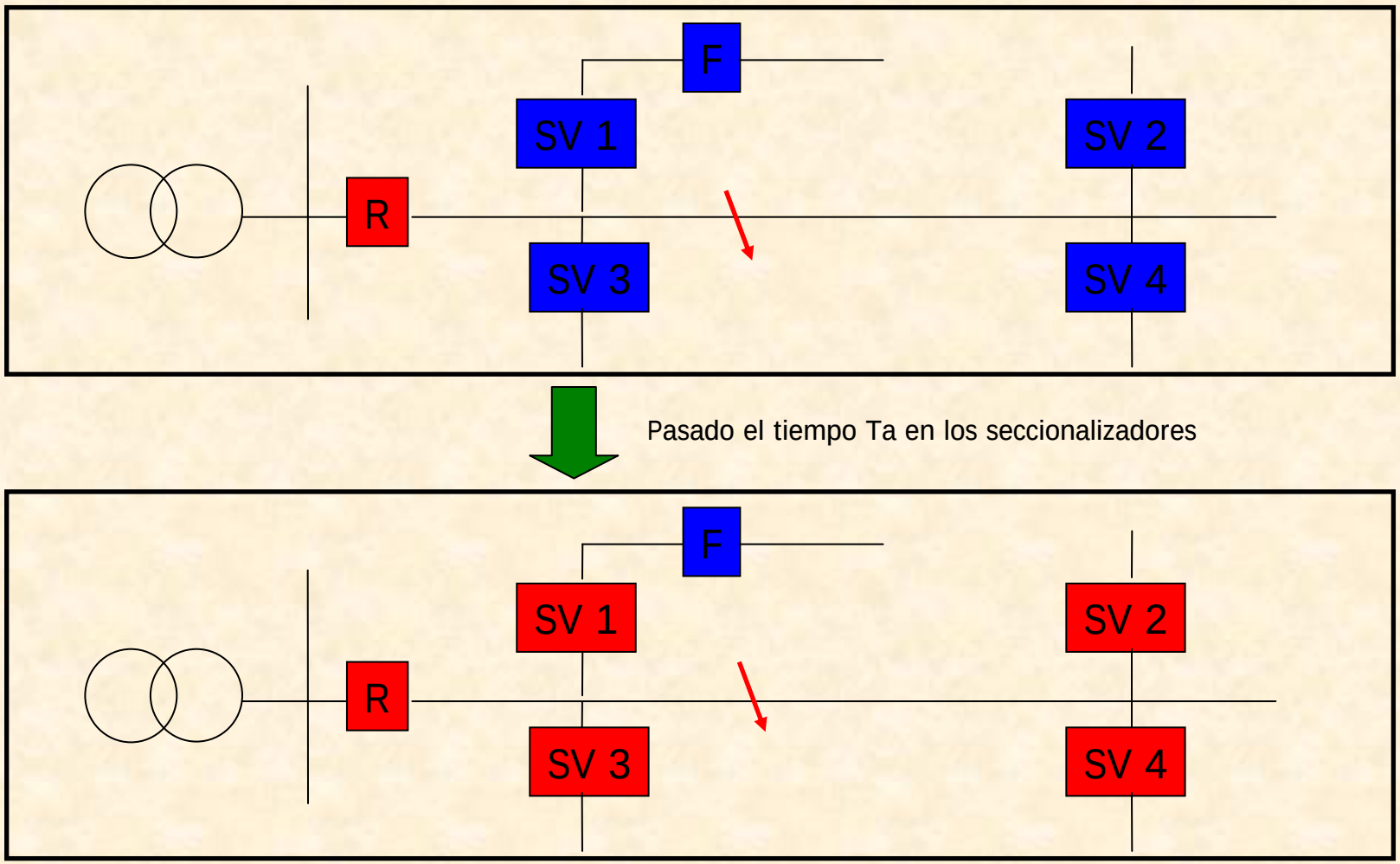
Suponiendo la falla no transitoria, la operación del sistema será (suponiendo 1R+2L):

Equipamiento abierto

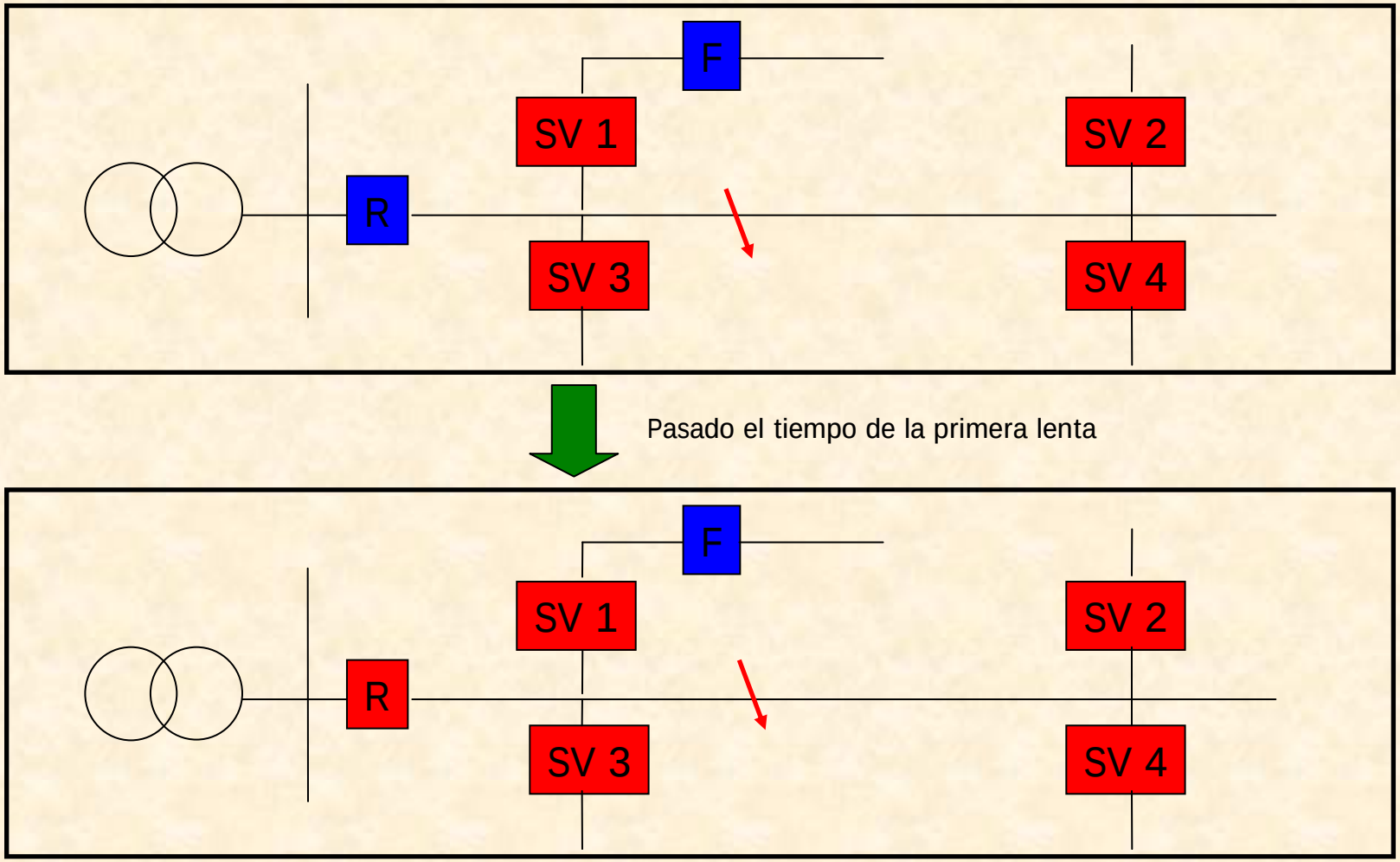
Equipamiento cerrado



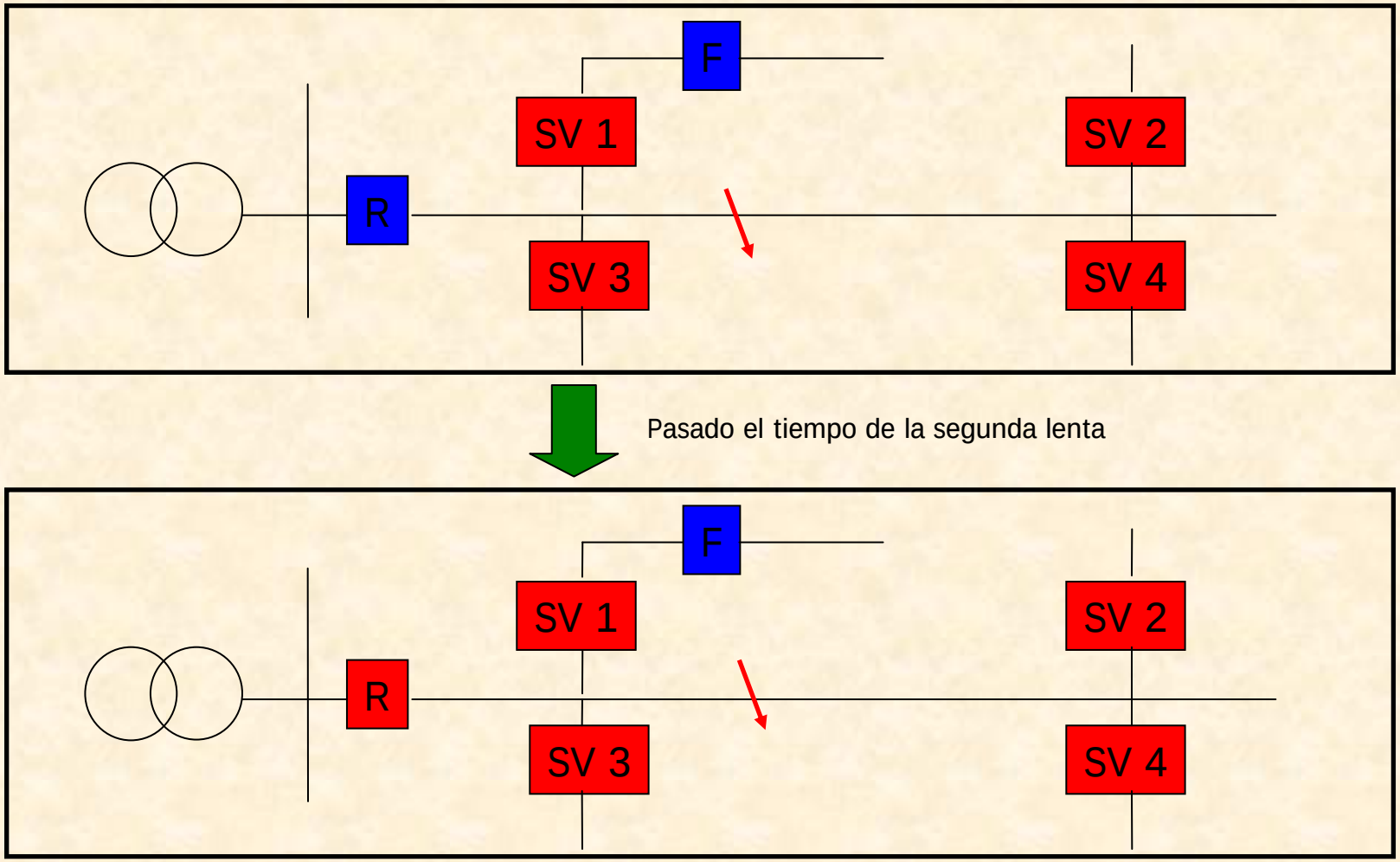
Coordinamiento Recloser con un Seccionalizador



Coordinamiento Recloser con un Seccionalizador



Coordinamiento Recloser con un Seccionalizador



Contenido

1. Fusibles
2. Relés de sobrecorriente: Característica ANSI é IEC
3. Coordinamiento de una red de distribución Radial
4. **Fallas a tierra en redes de distribución con neutro aterrado y aislado**

Fallas a tierra en redes de distribución

Aterramiento de la red de distribución

Las redes de distribución pueden ó no estar aterradas.
Dependiendo del tipo de aterramiento se clasifican en:
-Sistemas no aterrados
-Sistemas solidamente aterrado
-Sistemas aterrados a través de una impedancia.

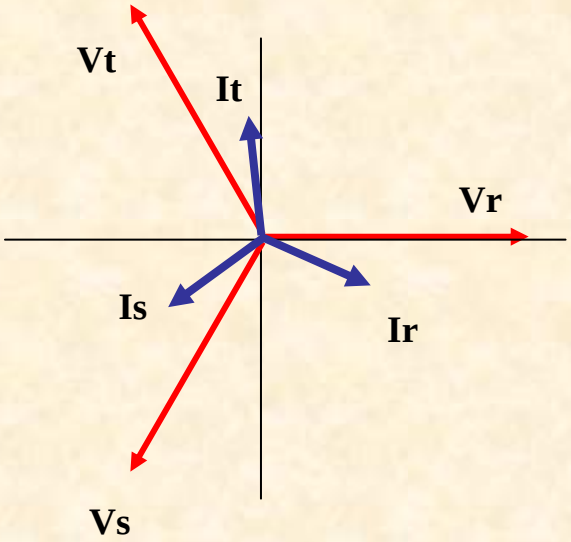
Fallas a tierra en redes de distribución

Comparación de los métodos de aterramiento

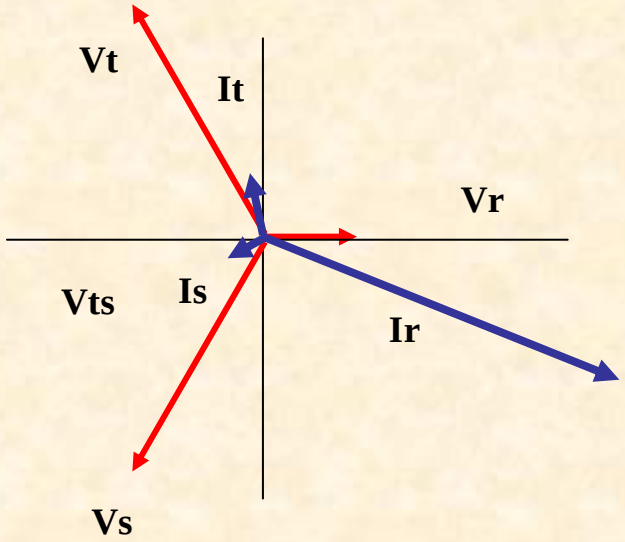
Issues	Grounding Method					
	Isolated Neutral	Solid Grounding (Uni-grounding)	Solid Grounding (Multi-grounding)	Low-Impedance Grounding	High-Impedance Grounding	Resonant Grounding
Some Countries of Application	Italy, Japan, Ireland, Russia, Peru, Spain	Great Britain	USA, Canada, Australia, Latin America	France, Spain		Northern and Eastern Europe, China, Israel
Permissible Load Connection	Phase-phase	Phase-phase (3 wires) and phase-neutral (4 wires)	Phase-phase and phase-ground	Phase-phase	Phase-phase	Phase-phase
Required Insulation Level	Phase-phase	Phase-neutral	Phase-neutral	Phase-neutral	Phase-phase	Phase-phase
Limitation of Transient Overvoltages	Bad	Good	Good	Good	Good (R-grounding), Average (L-grounding)	Average
Possible Operation With a Ground Fault	Not always	No	No	No	Not always	Almost always
Self-Extinguishing of Ground Faults	Not always	No	No	No	Not always	Almost always
Human Safety	Average	Good	Bad	Good	Average	Good
Equipment Thermal Stress	Low	High	High	High	Low	Lowest
Interference With Communication Lines	Average	High	High	High	Low	Lowest
Ground Fault Protection Sensitivity	Average	Good	Bad	Good	Average	Average

Fallas a tierra en redes de distribución

Sistemas solidamente aterrados



Sistema Normal

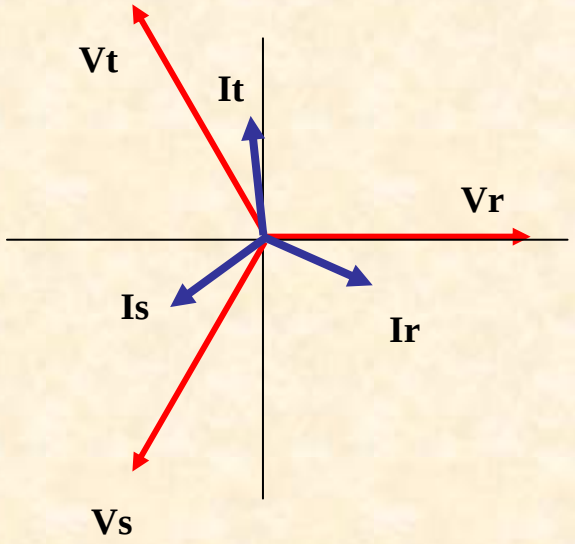


Sistema Con falla

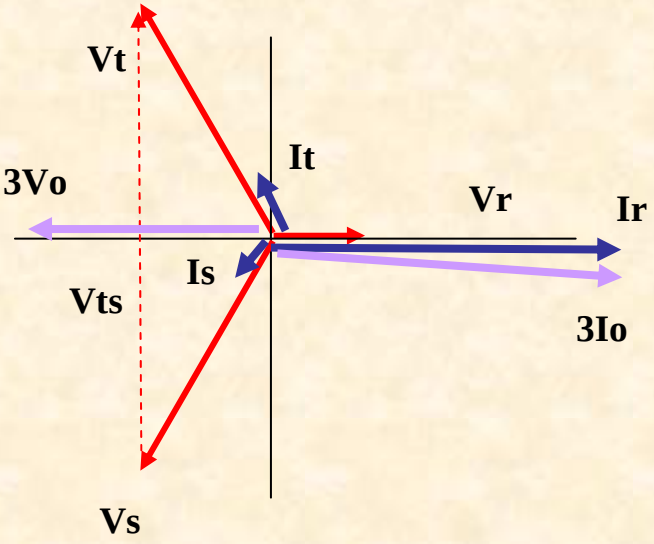
Fallas a tierra en redes de distribución

Sistemas solidamente aterrados

Polarización del relé de falla a tierra



Sistema Normal

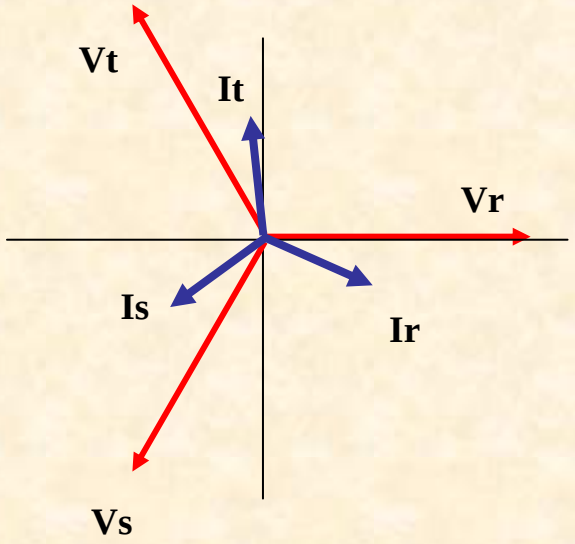


Sistema Con falla Resistiva

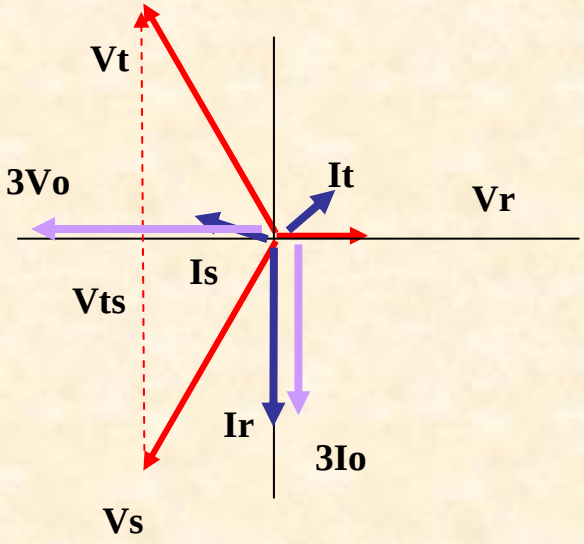
Fallas a tierra en redes de distribución

Sistemas solidamente aterrados

Polarización del relé de falla a tierra



Sistema Normal

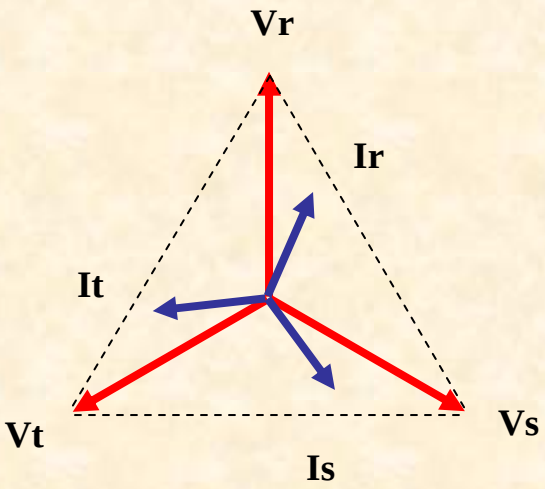


Sistema Con falla Inductiva

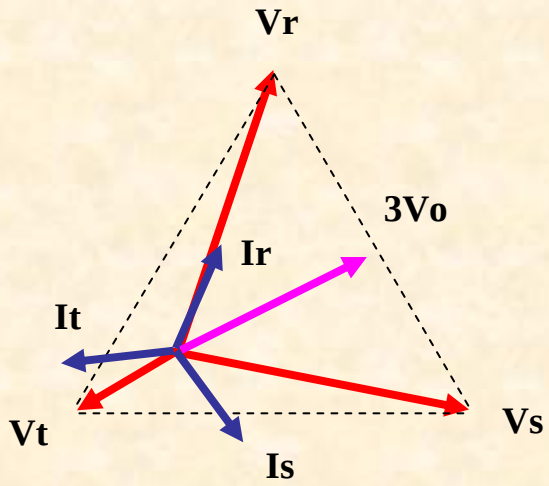
Fallas a tierra en redes de distribución

Sistemas no aterrados ó con conexión Δ

La mayor parte de la red de distribución de lima opera de esa forma



Sistema Normal

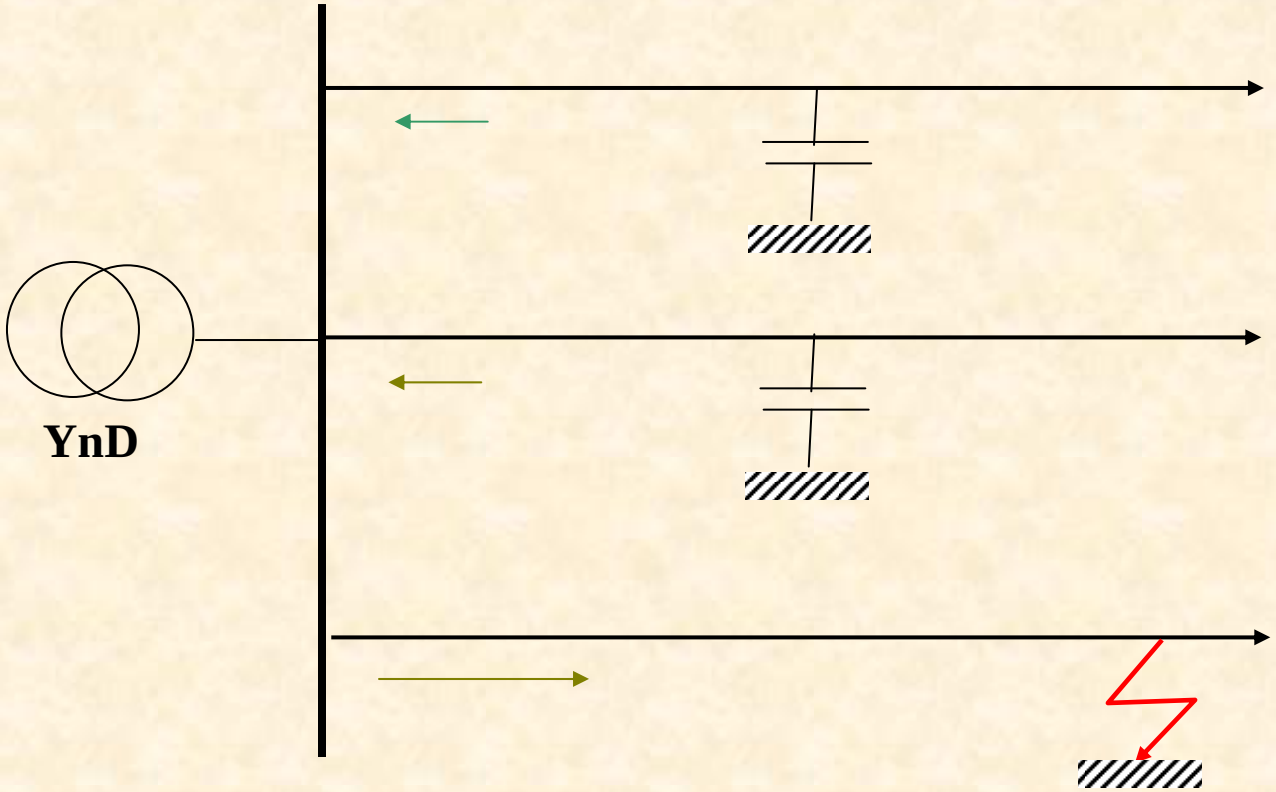


Sistema Con falla

Fallas a tierra en redes de distribución

Sistemas no aterrados ó con conexión Δ

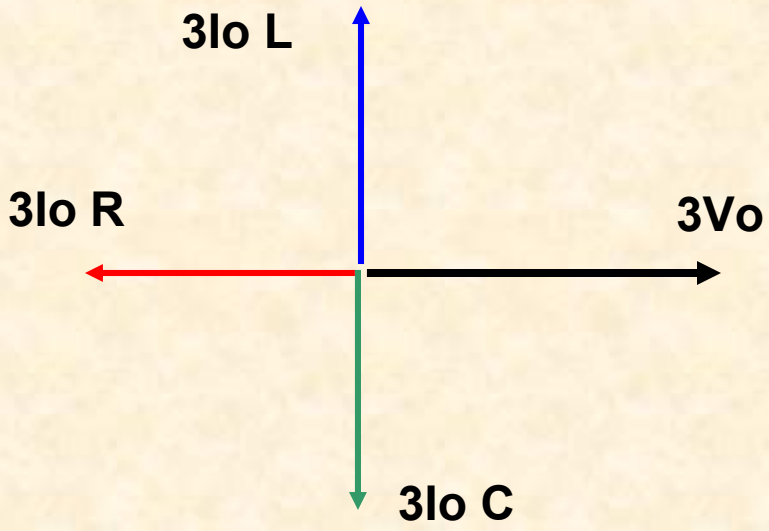
Aportes de corriente



Fallas a tierra en redes de distribución

Como se calcula la dirección

Uno forma de determinar la dirección es usando la potencia



En sistemas solidamente aterrados

Po = - 3Vo 3Io Cos(< Vo,Io)

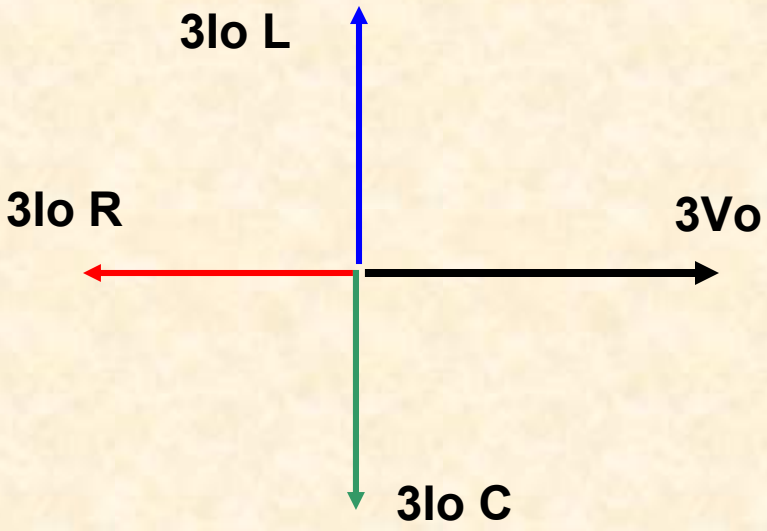
Po > 0, falla hacia delante

Po < 0, falla hacia atrás

Fallas a tierra en redes de distribución

Como se calcula la dirección

Uno forma de determinar la dirección es usando la potencia



En sistemas solidamente aislados (**Δ**)
Qo = 3Vo 3Io Sen(< Vo,Io)
Qo > 0, falla hacia adelante
Qo < 0, falla hacia atrás

Capitulo IV

Protección de Sistemas de Potencia

Desarrollo del Curso

Tópicos a Desarrollar

- Filosofía de los sistemas de protección
- Principios de operación de los reles de protección
- Protección de sistemas de distribución (fusibles, reles de sobrecorriente)
- **Protección de líneas de transmisión (Distancia)**
- **Esquemas de Teleprotección**
- **Protección de transformadores de potencia**
- **Protección de generadores**

Capitulo 4
Protección de líneas de Transmisión

Contenido

1. Protección de líneas de Transmisión
2. Protección de distancia

Contenido

1. Protección de líneas de Transmisión
2. Protección de distancia

Protección de líneas de Transmisión

Protección de líneas de acuerdo a su costo

Protección de líneas en orden ascendente de costo y complejidad

- Fusible
- Sobrecorriente Instantáneos
- Sobrecorriente temporizado
- Relé direccional
- Relé de distancia
- Protección con hilo Piloto (Pilot protection)

Protección de líneas de Transmisión

Selección de un esquema de protección

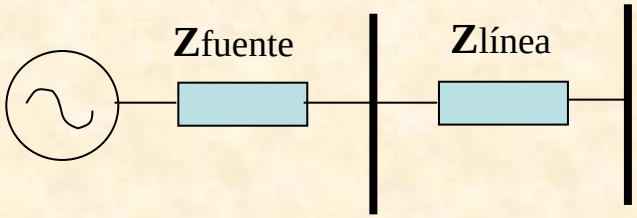
La selección de un esquema de protección de líneas de transmisión depende de muchos factores.

- El SIR (Source impedance ratio)
- La criticidad de la línea
- El tipo de configuración (radial, anillo, etc)

Protección de líneas de Transmisión

La impedancia de fuente y el SIR

El SIR (Source Impedance ratio) es la relación entre la impedancia de fuente y la impedancia de línea



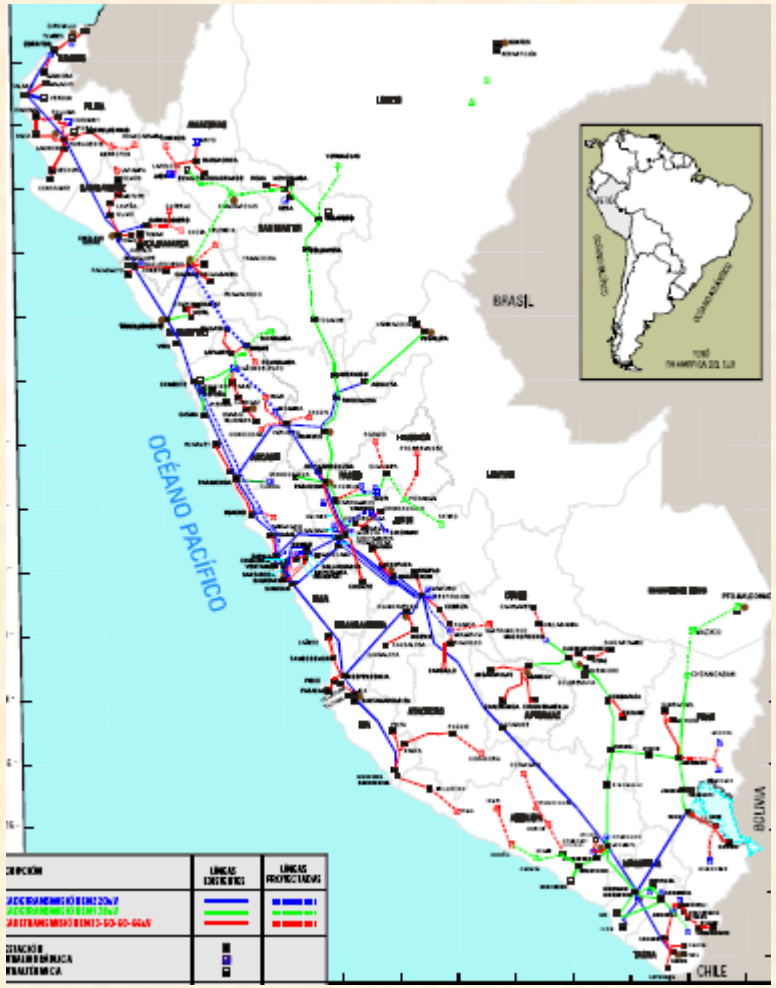
$$SIR = \frac{Z_{Fuente}}{Z_{Línea}}$$

Protección de líneas de Transmisión

Criticidad de la línea

Líneas Criticas

- Líneas cercanas a gran generación
- Líneas de interconexión
- Líneas que alimentan a grandes cargas ó grandes clientes



Protección de líneas de Transmisión

Clasificación de líneas de acuerdo al SIR

Clasificación de las líneas de Transmisión Según el SIR

$$SIR = \frac{Z_{Fuente}}{Z_{Línea}}$$

Líneas Cortas : SIR > 4
Líneas Medianas : 0.5 < SIR < 4
Líneas Largas : SIR < 0.5

Protección de líneas de Transmisión

Protección de líneas de acuerdo al SIR

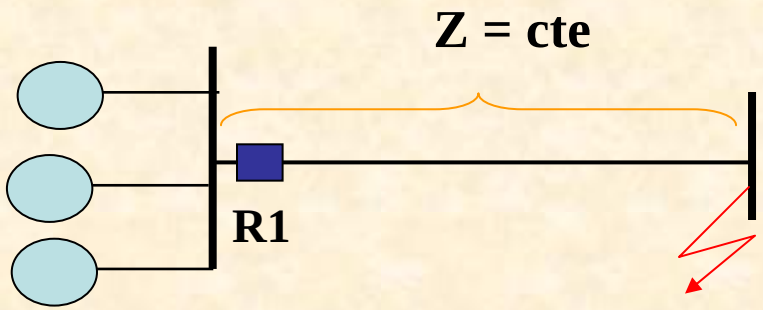
Esquema de protección de líneas según el SIR	Líneas Cortas	**Diferencial de línea** Comparación de fase **Distancia (POTT)** **Comparación direccional**
	Líneas Medianas	Comparación de fase **Comparación direccional** **Distancia (POTT, PUTT, unblocking)** **Distancia escalonada** **Sobrecorriente direccional** **Corriente diferencial**
	Líneas Largas	Comparación de fase **Comparación direccional** **Distancia (POTT, PUTT, unblocking)** **Distancia escalonada** **Sobrecorriente direccional**

Contenido

1. Protección de líneas de Transmisión
2. Protección de distancia
3. Protección diferencial de línea

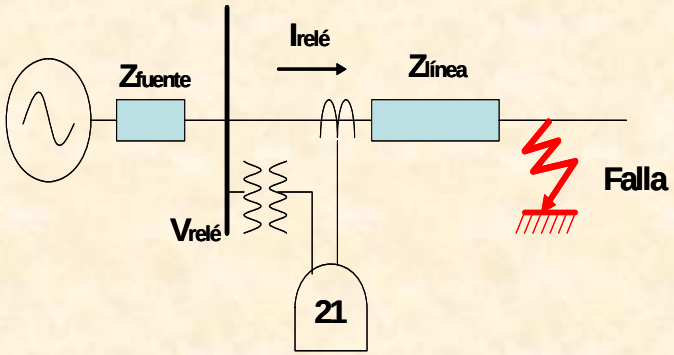
Protección de distancia ó Impedancia

Principio de operación



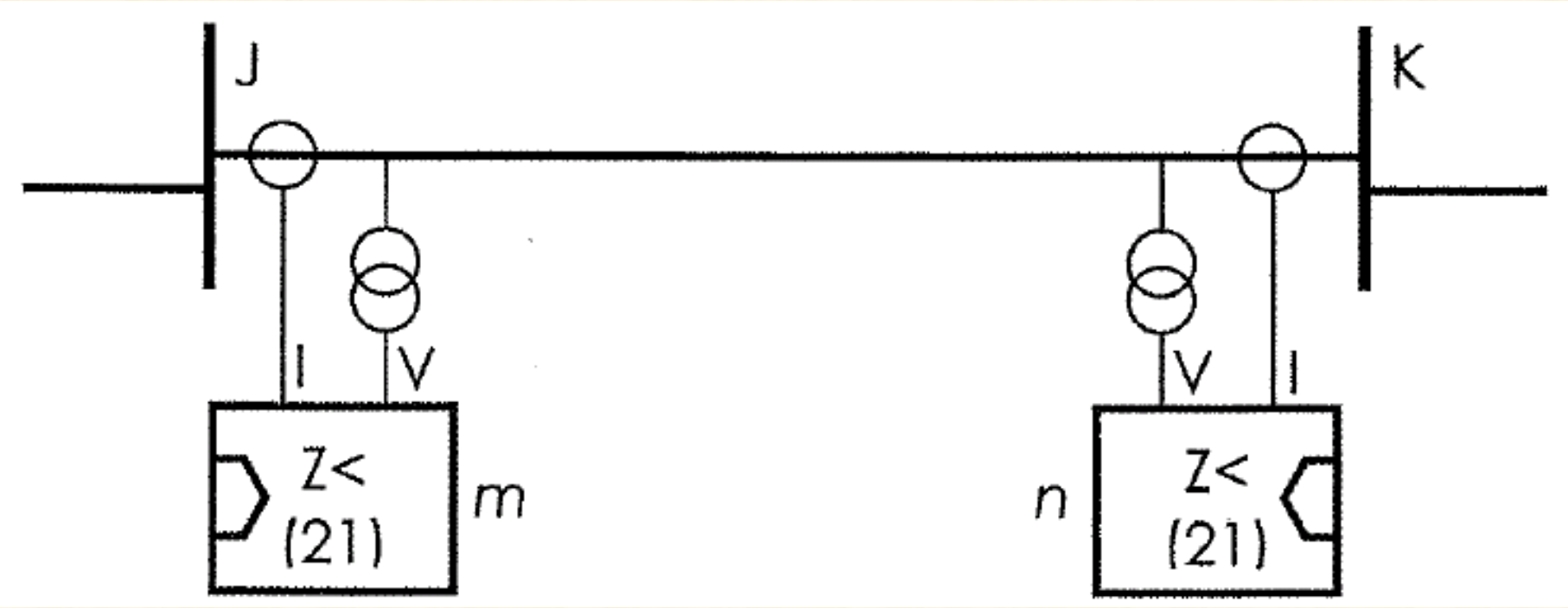
Se basa en el principio de medición de la impedancia

La impedancia esta relacionada con la ubicación de la falla



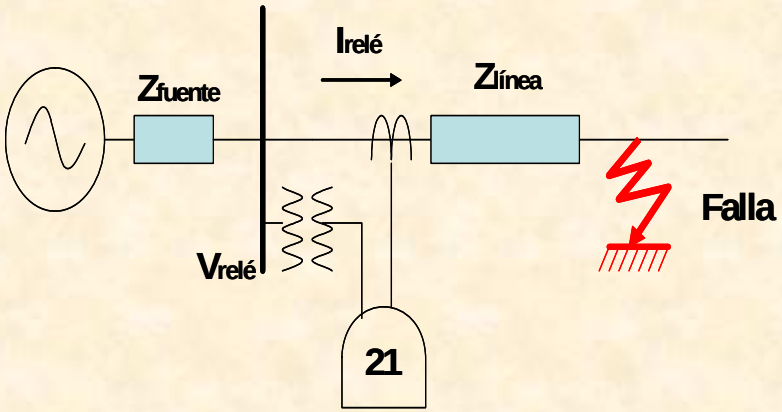
$$Z_{Relé} = \frac{V_{Relé}}{I_{Relé}} = Z_{Falla}$$

Protecciones de distancia
Conexionado y simbología



Protección de distancia ó Impedancia

Principio de operación



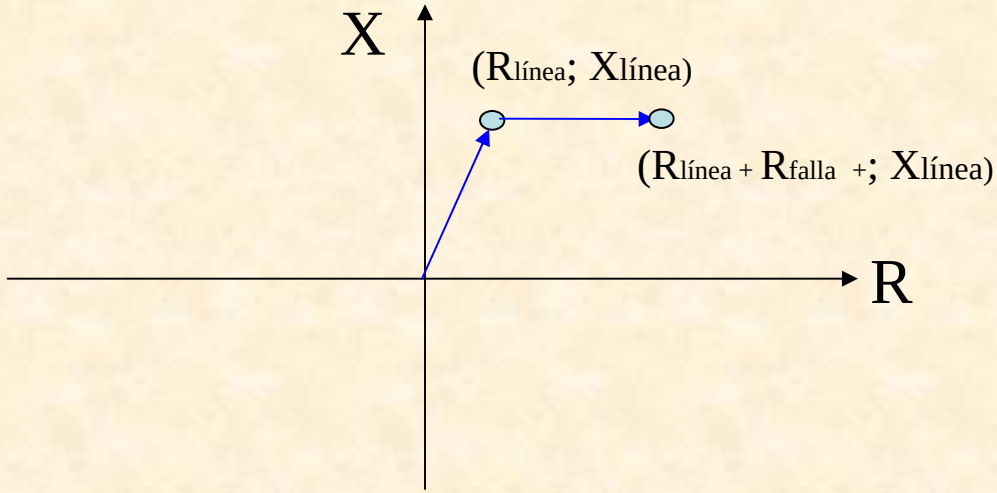
Si el TC : 600 A/1 y el TT : 220kA/100 V

$$Z_{sec} = \frac{I_{prim} / I_{sec}}{U_{prim} / U_{sec}} Z_{prim}$$

Protección de distancia ó Impedancia

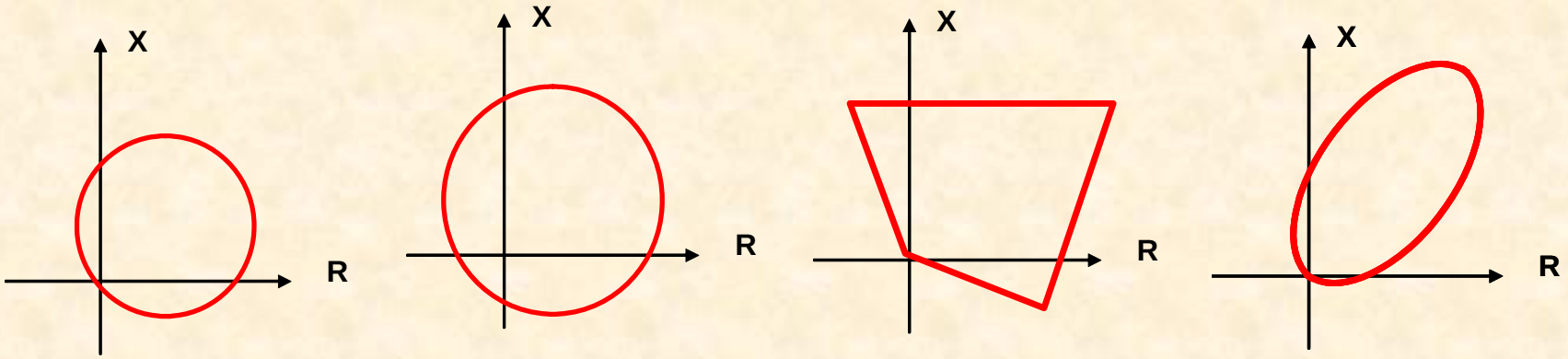
Principio de medición

$$Z_{\text{Re}lé} = \frac{V_{\text{Re}lé}}{I_{\text{Re}lé}} = Z_{Falla} = R + jX = R_{línea} + jX_{línea} + R_{Falla}$$



Protección de distancia ó Impedancia

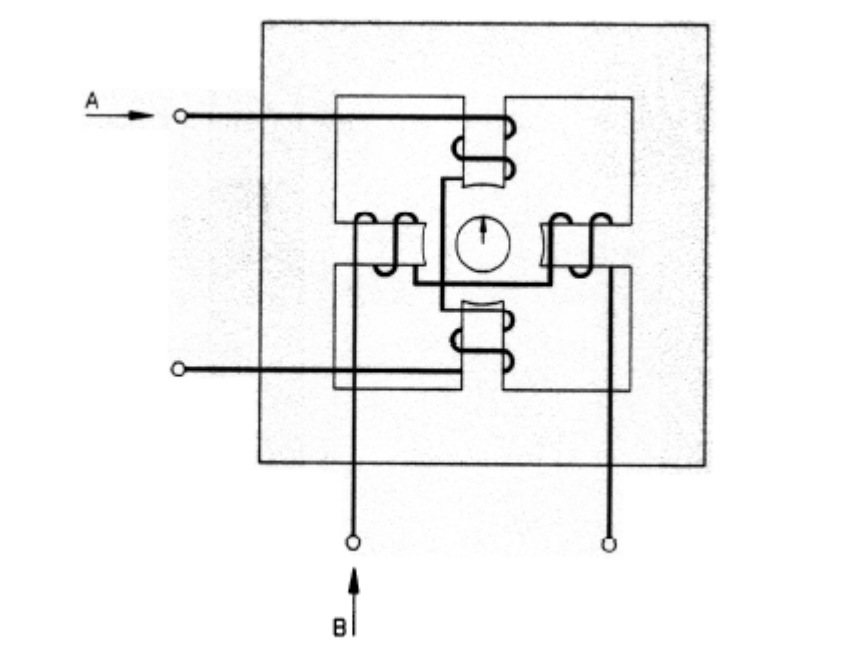
Principio de medición

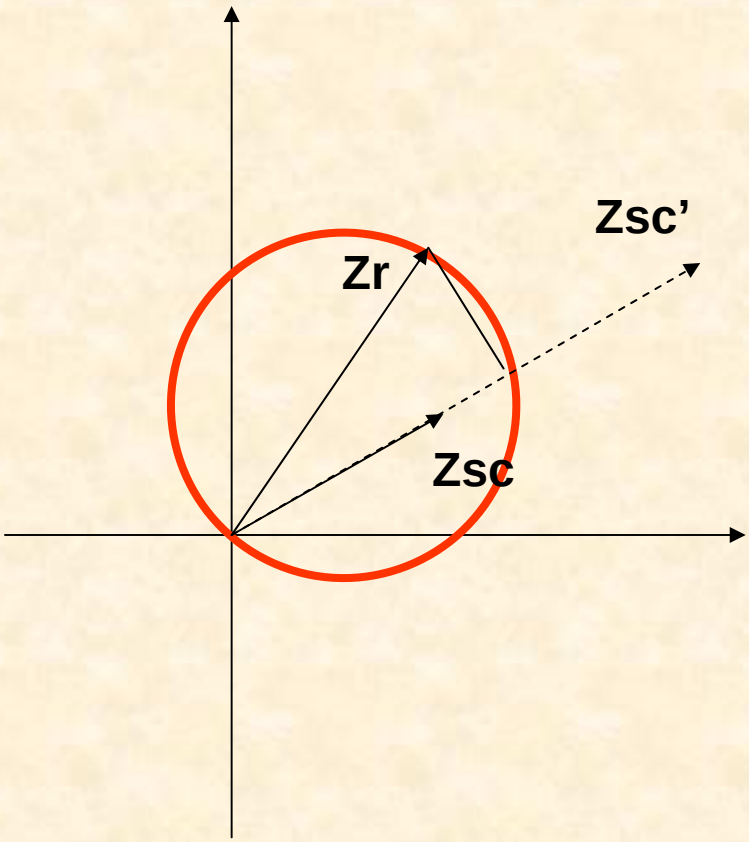


Mho *Offset Mho* *Cuadrilateral* *Lenticular*

Protección de distancia ó Impedancia

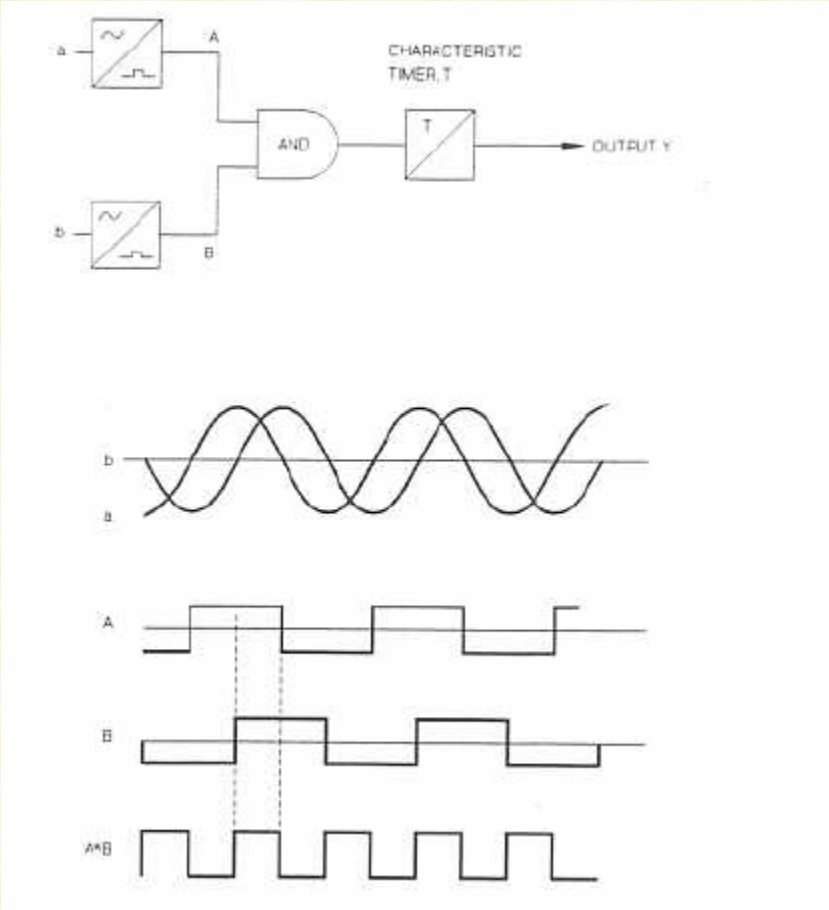
Principio de medición

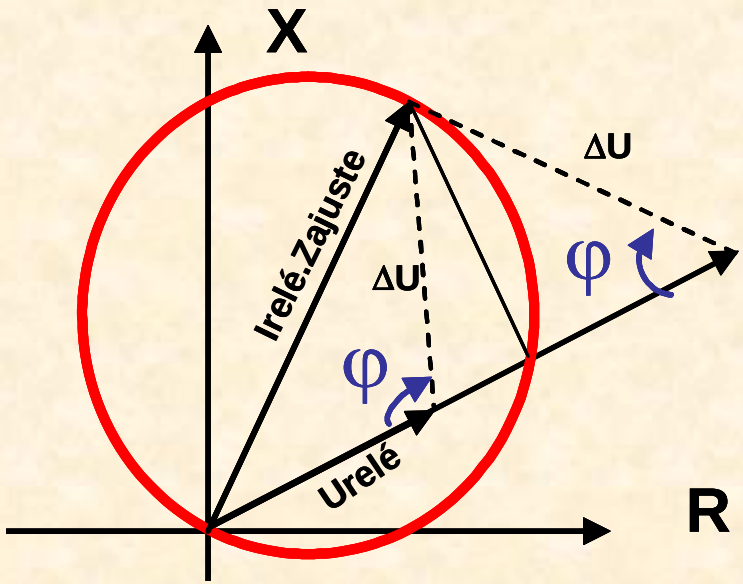




Protección de distancia ó Impedancia

Principio de medición

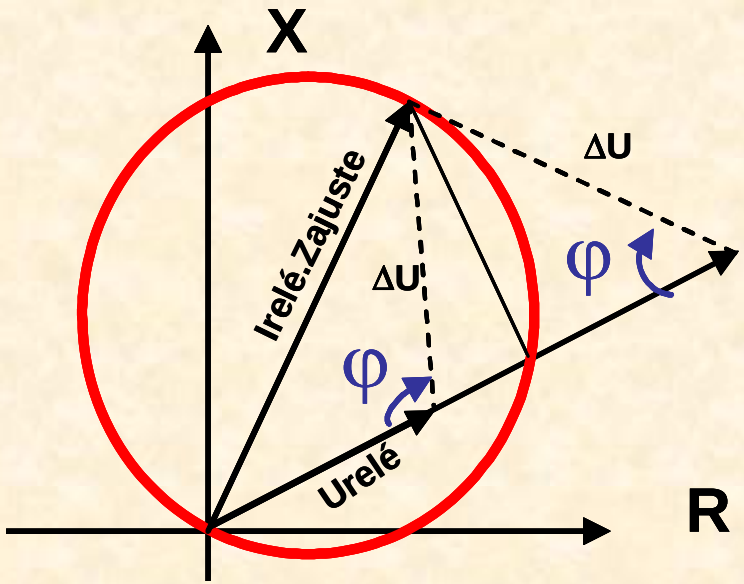




Protección de distancia ó Impedancia

El relé Mho

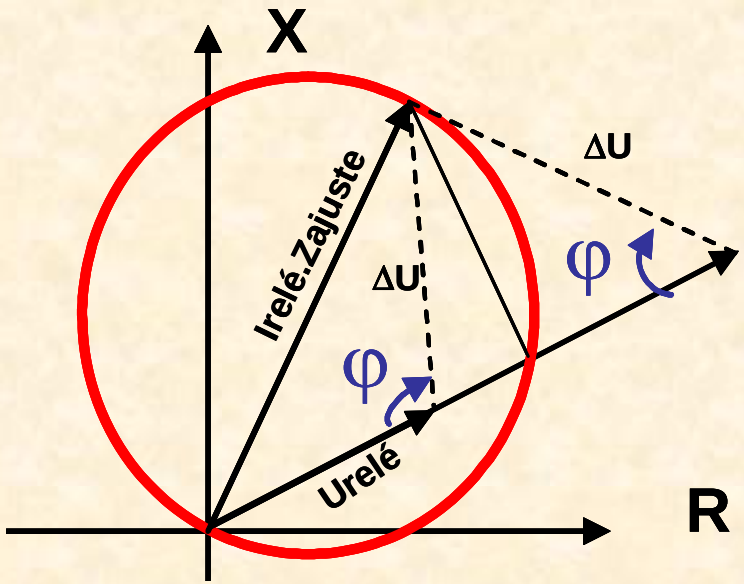
- Su principio de operación se basa en comparadores
- Tradicionalmente eran los mas rápidos
- No miden la impedancia de la falla.
- Usan polarización directa y cruzada
- Tienen una característica dinámica en polarización cruzada.
- El alcance Resistivo es limitado por el alcance Reactivo



Protección de distancia ó Impedancia

El relé Mho

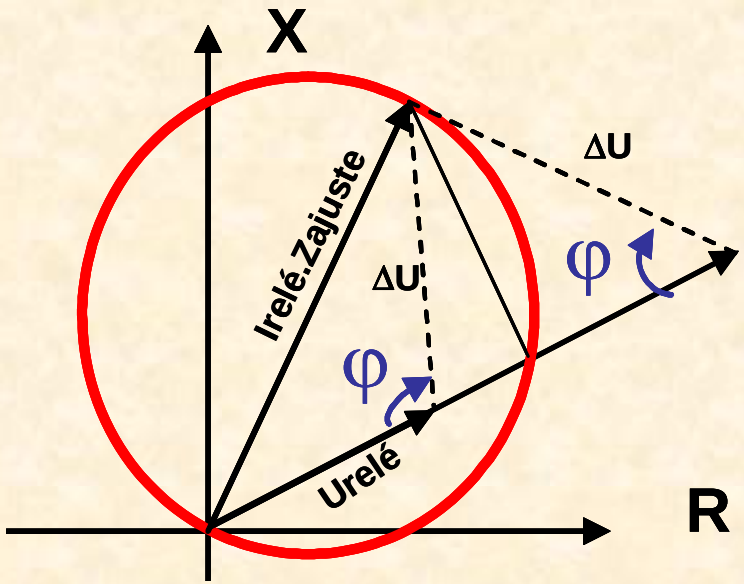
- Su principio de operación se basa en comparadores
- Tradicionalmente eran los mas rápidos
- No miden la impedancia de la falla.
- Usan polarización directa y cruzada
- Tienen una característica dinámica en polarización cruzada.
- El alcance Resistivo es limitado por el alcance Reactivo
- El relé Mho compara el ángulo entre **(Z.I – V) y Vp**



Protección de distancia ó Impedancia

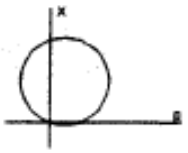
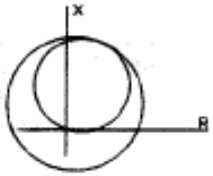
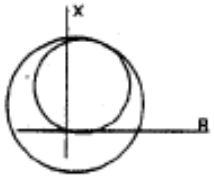
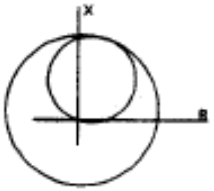
El relé Mho

- Su principio de operación se basa en comparadores
- Tradicionalmente eran los mas rápidos
- No miden la impedancia de la falla.
- Usan polarización directa y cruzada
- Tienen una característica dinámica en polarización cruzada.
- El alcance Resistivo es limitado por el alcance Reactivo
- El relé Mho compara el ángulo entre **(Z.I – V) y Vp**



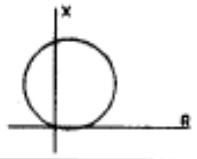
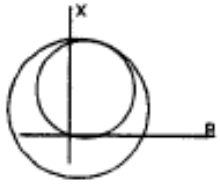
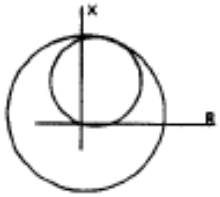
Protección de distancia ó Impedancia

El relé Mho

$(Z \cdot I_{bc} - V_{bc})$	V_{bc} (self pol.)		• No expansion. • Unreliable for zero-voltage faults. • Directionally insecure for reverse bus faults during high load. Requires additional directional element.
$(Z \cdot I_{bc} - V_{bc})$	$-j \cdot V_{a}$ (cross pol. w/o memory)		• Good expansion for ϕ-ϕ faults. • Unreliable for zero-voltage 3ϕ faults. • Reverse bus fault security problems during high load periods. Requires additional directional element.
$(Z \cdot I_{bc} - V_{bc})$	$-j \cdot V_{a,mem}$ (cross pol. w/ memory)		• Good expansion for phase faults. • Reliable operation for zero-voltage 3ϕ faults until pol. memory expires. • Rev. ϕ-ϕ bus fault security problems during high load periods. Requires additional directional element. • Single-pole trip applications require study for pole-open security.
$(Z \cdot I_{bc} - V_{bc})$	$-j \cdot V_{a1mem}$ (pos.-seq. mem. pol.)		• Greatest characteristic expansion for ϕ-ϕ and 3ϕ faults. • Reliable operation for zero-voltage 3ϕ faults until pol. memory expires. • Rev. ϕ-ϕ bus fault security problems during high load periods. Requires additional directional element. • Best single-pole trip security.

Protección de distancia ó Impedancia

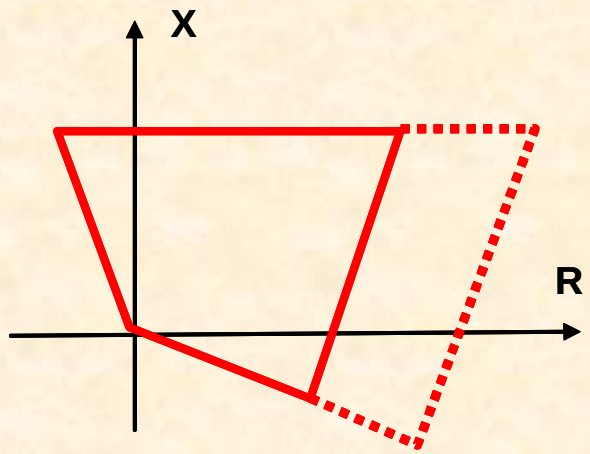
El relé Mho

$[Z\cdot(I) - V_a]$ $I=I_a + k\cdot I_r$	V_a (self pol.)		• No expansion. • Unreliable for zero voltage single-line-ground faults. • Requires directional element.
$[Z\cdot(I) - V_a]$ $I=I_a + k\cdot I_r$	$j\cdot V_{bc}$ (cross pol.)		• Good expansion. • Reliable operation reliable for zero-voltage single-line-ground faults. • Requires directional element. • Single-pole trip applications require study for pole-open security.
$[Z\cdot(I) - V_a]$ $I = I_a + k\cdot I_r$	$V_{a\,mem}$ (pos.-seq. mem. pol.)		• Greatest expansion. • Reliable operation for zero voltage ground faults. • Requires directional element. • Best single-pole trip security.

Protección de distancia ó Impedancia

El relé Cuadrilateral

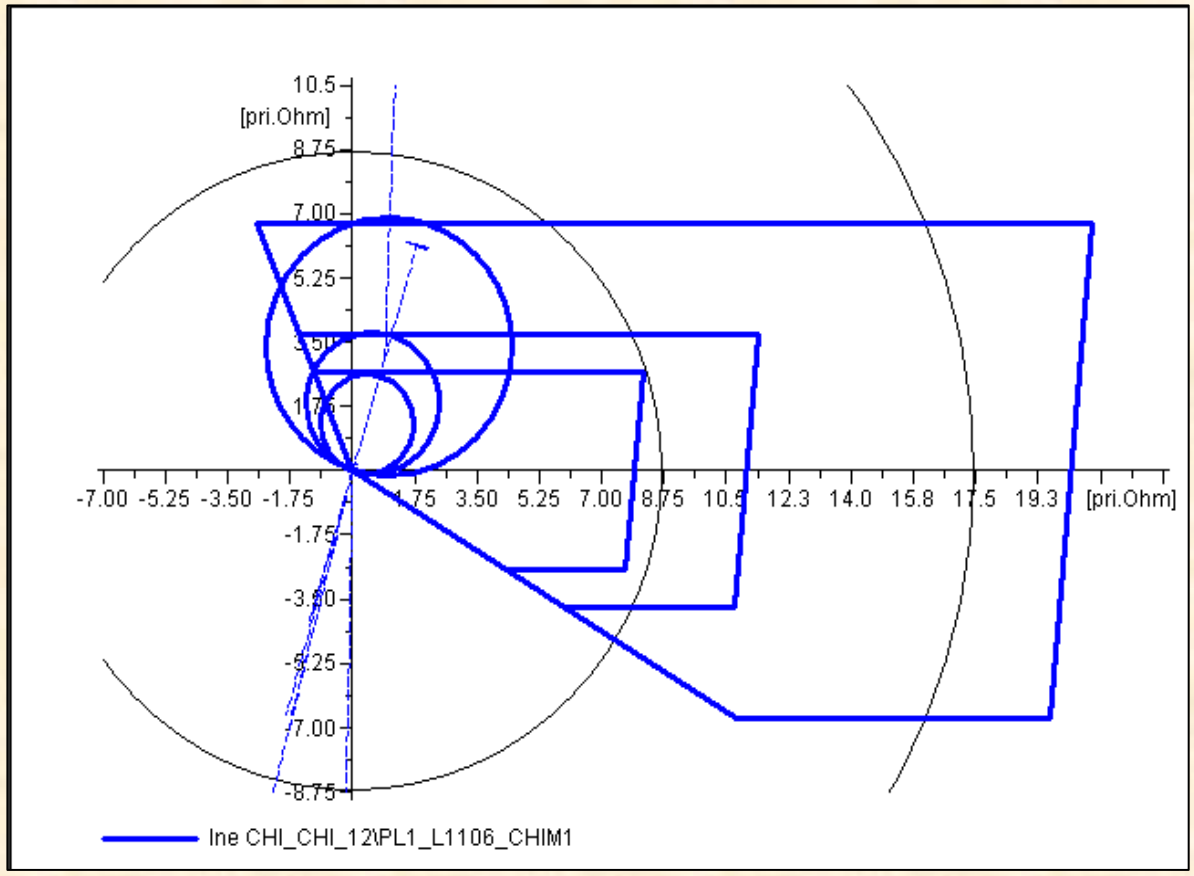
- Requiere de cuatro comparadores
  Un comparador de reactancia
  Un comparador de resistencia (+)
  Un comparador de resistencia (-)
  Un comparador direccional
- Tradicionalmente eran mas lentos
- Son sensibles al comportamiento del flujo
- Tienen mejor alcance resistivo.
- Con la tecnología actual son tan rápidos como los relés Mho.
- Algunos relés compensan la carga haciendo que el alcance resistivo no tenga limites.



Protección de distancia ó Impedancia

Que usamos? Mho / Cuadrilateral

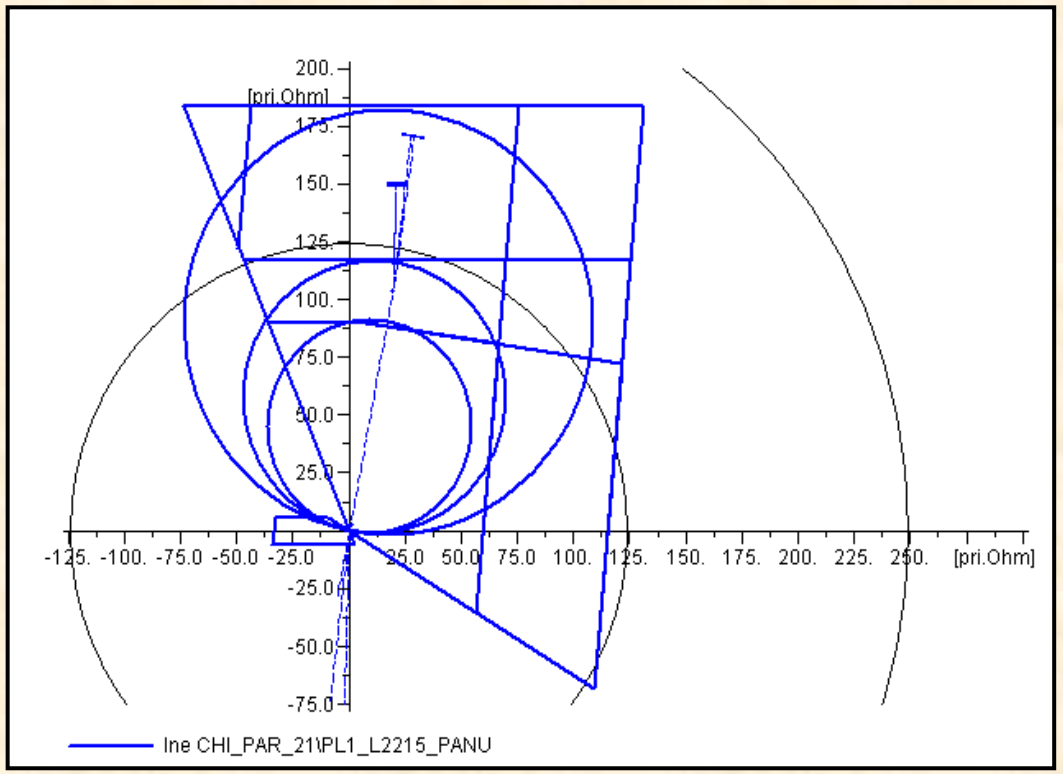
Líneas Cortas



Protección de distancia ó Impedancia

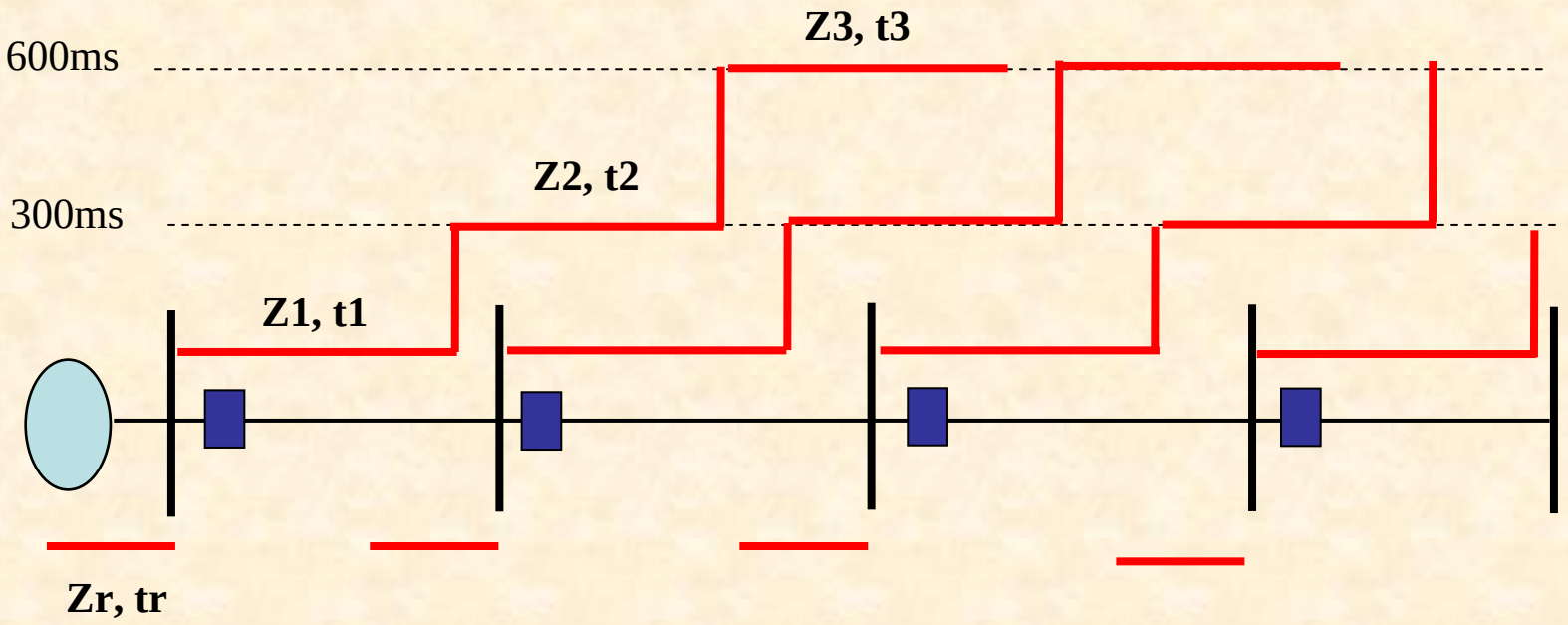
Que usamos? Mho / Cuadrilateral

Líneas largas



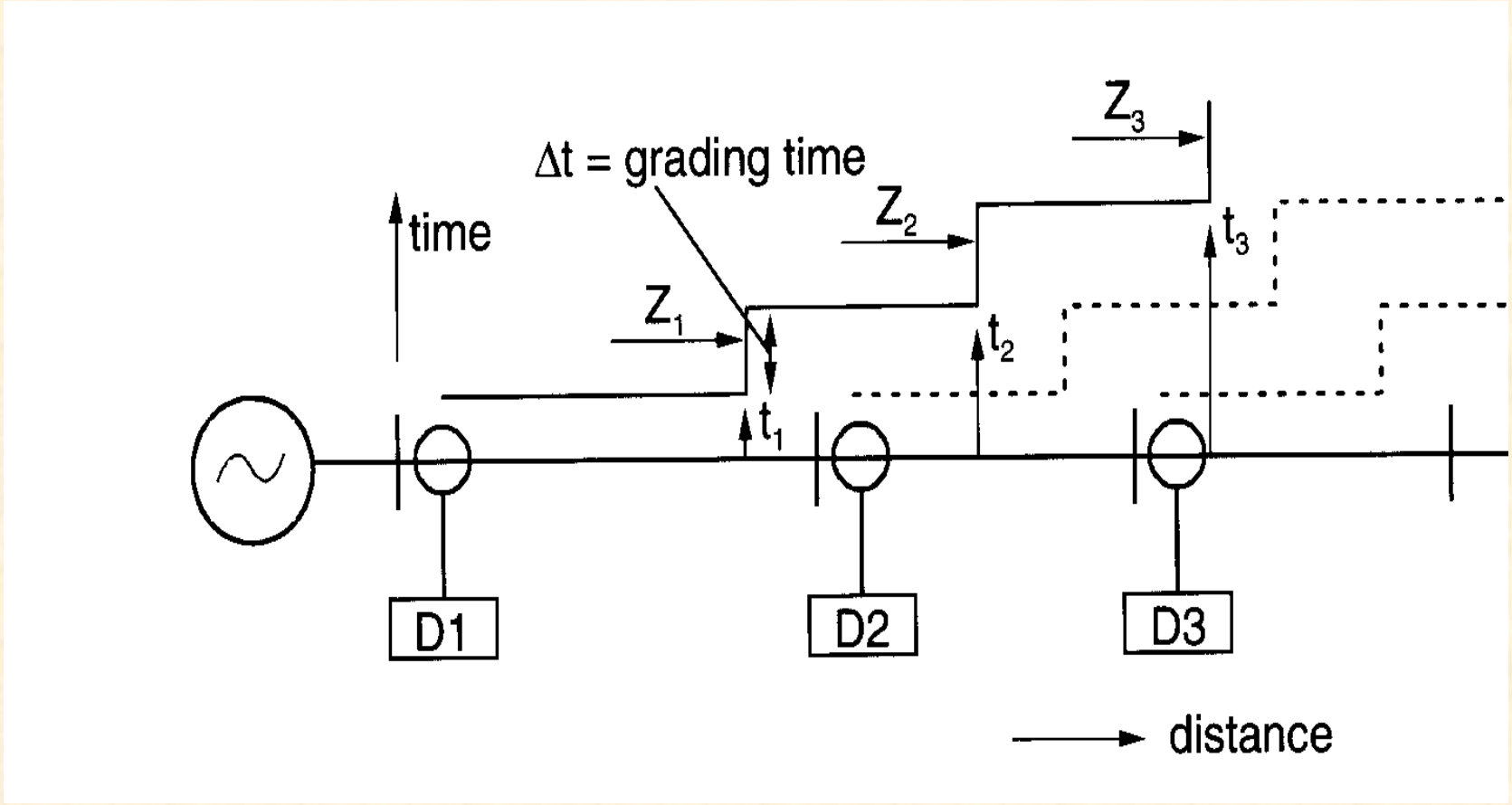
Protección de distancia ó Impedancia

Escalonamiento de los relés de distancia



Protección de distancia ó Impedancia

Escalonamiento de los relés de distancia



Protección de distancia ó Impedancia

¿Qué miden las unidades de medida?

Las unidades de medida realizan dos tipos de medida:
Lazo fase-fase (Fallas bifásicas, fallas trifásicas)
Lazo fase-tierra (Fallas monofásicas, fallas bifásicas a tierra y trifásicas a tierra)

El lazo fase-fase

$$Z_{ph-ph} = \frac{U_{ph-ph}}{I_{ph-ph}} = \frac{U_{ph1-E} - U_{ph2-E}}{I_{ph1} - I_{ph2}}$$

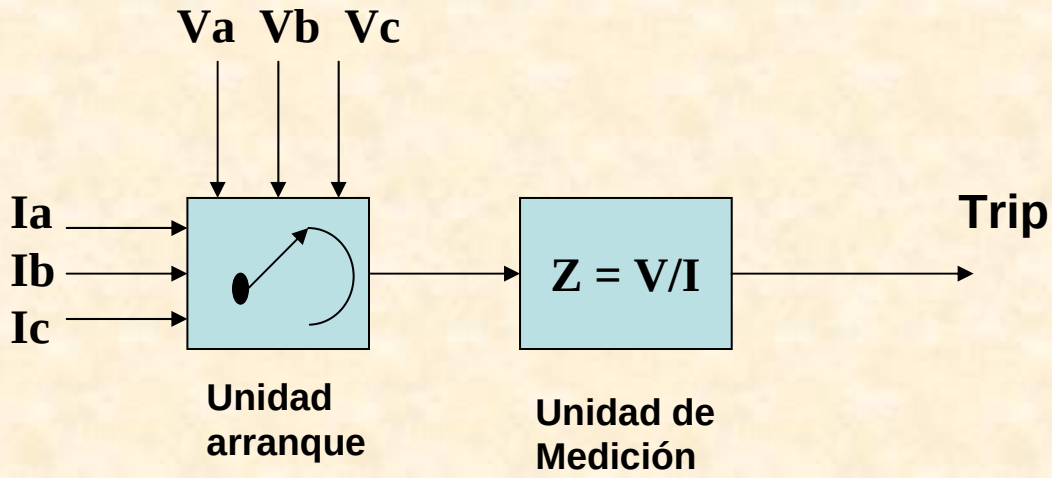
El lazo fase-tierra

$$Z_{ph-E} = \frac{U_{ph-E}}{I_{ph} - k_E I_E}$$

Protección de distancia ó Impedancia

Protección Conmutada y No conmutada

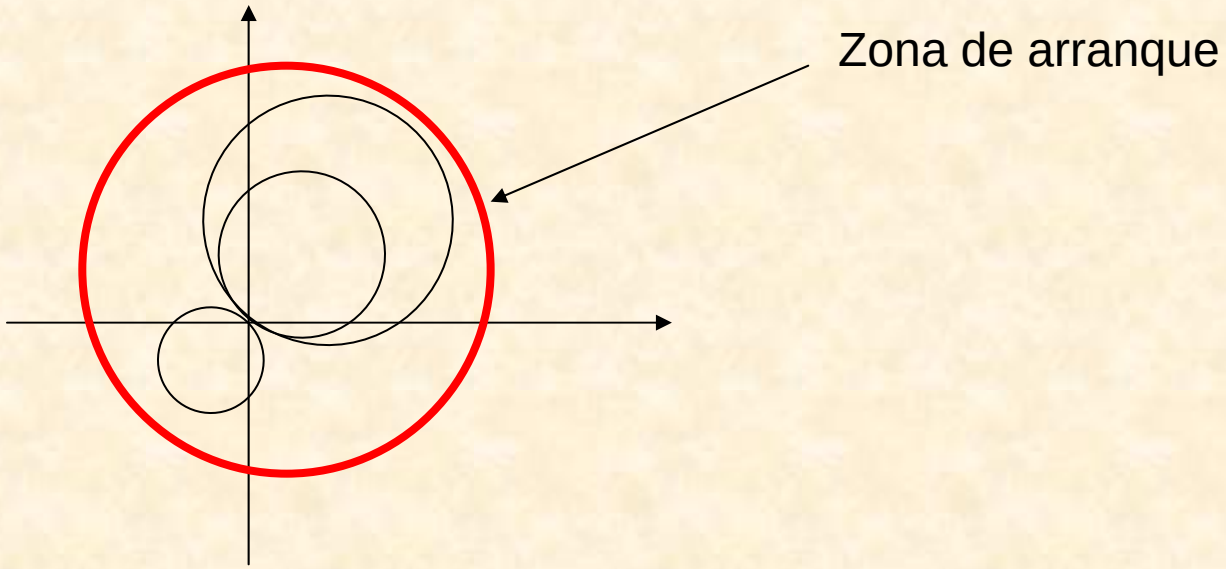
La protección **conmutada** era usado tradicionalmente debido al elevado costo de los relés. Requeria el uso de unidades de arranque para seleccionar la fase fallada.



Protección de distancia ó Impedancia

Protección Conmutada y No conmutada

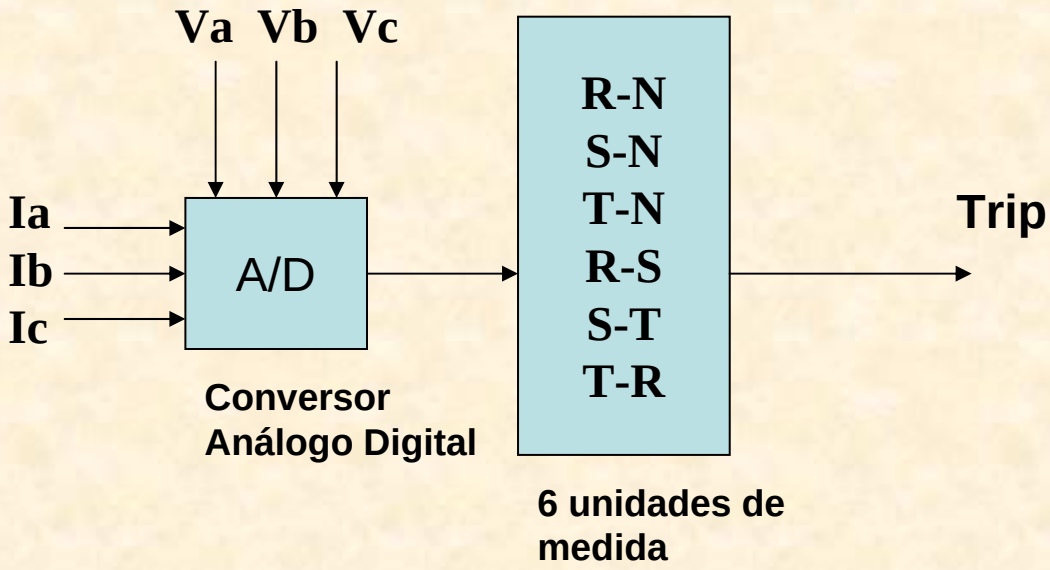
La zona de arranque podía ser por corriente, corriente y tensión ó por impedancia.



Protección de distancia ó Impedancia

Protección No conmutada

La protección no-conmutada es posible con relés numéricos, no se requiere de unidades de arranque, las 6 unidades de medida son calculos que realiza un procesador



Protección de distancia ó Impedancia

Que es el factor de compensación de tierra KE ó Ko

$$Va = V1 + V2 + V0$$
$$V1 = I1\ Zl1 + V1f$$
$$V2 = I2\ ZI1 + V2f$$
$$V0 = I0\ Zl0 + V0f$$

$$Va = I1\ Zl1 + I2\ Zl1 + I0\ Zl0 + (V1f + V2f + V0f)$$

$$V1f + V2f + V0f = 0 \text{ (punto de falla)}$$
$$Va = Zl1\ (I1 + I2) + Io\ Zl0$$

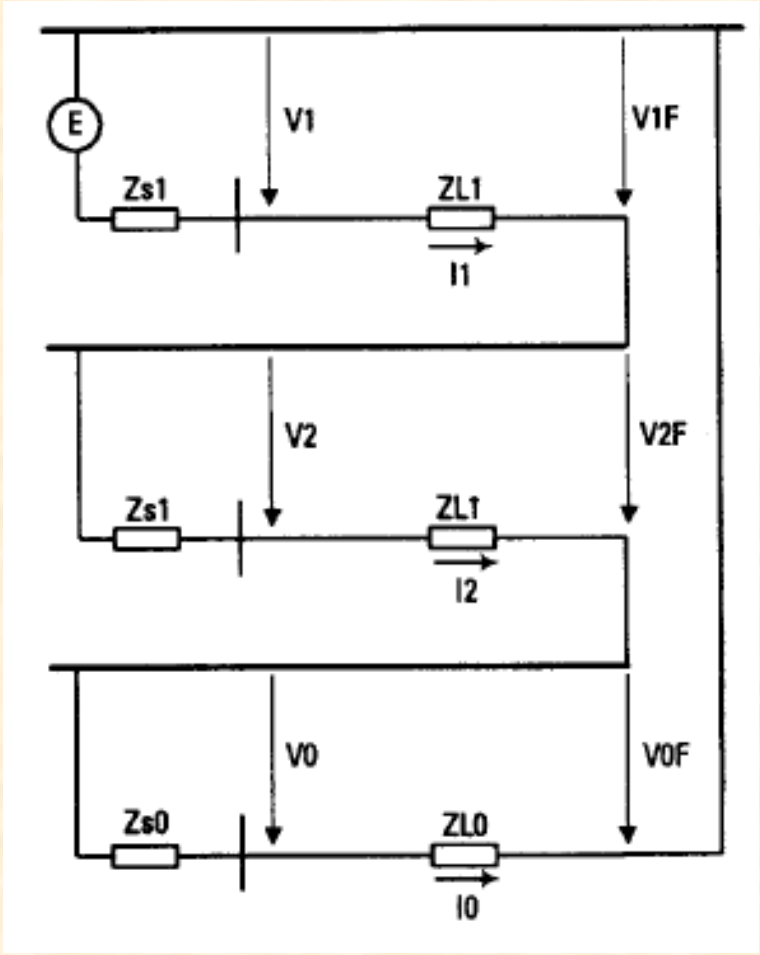
$$Ke = (Zo - Z1)/(3Zl1)$$

$$Va = Zl1\ (I1 + I2 + Io) + Io(Zl0 - Zl1)$$

$$Va = Zl1\ Ia + 3Io\ Ke\ Zl1$$

$$Zl1 = Va\ /(Ia + Ie\ Ke)$$
$$\text{Si } Ia = Ie$$

$$Zl1 = Va/(Ia\ (1 + ke))$$



Protección de distancia ó Impedancia

Errores de Medida

- Aportes intermedios en el extremo remoto ('infeed').
- Resistencia de arco.
- Acoplamiento mutuo.
- Corriente de inserción ('inrush').
- Transformadores de medida.
- Líneas sin transposición de fases.

Protección de distancia ó Impedancia

El efecto Infeed

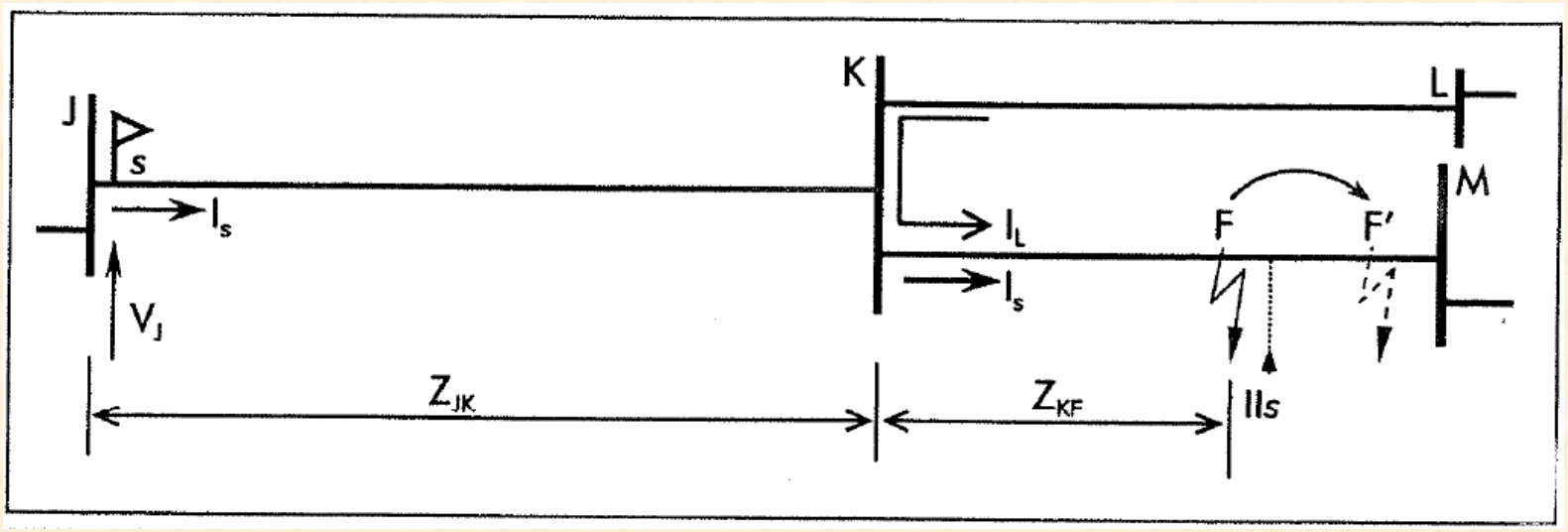
La impedancia vista de una falla se aleja debido al efecto infeed

$$Z_s = V_J/I_s = (Z_{JK} + Z_{KF}) + (I_L/I_s)Z_{KF}$$

$$Z_s = Z_{JF} + (I_L/I_s)Z_{KF}$$

$$Z_s = Z_{real} + (I_L/I_s)Z_{KF}$$

$$\text{Error} = Z_s - Z_{real} = (I_L/I_s)Z_{KF}$$

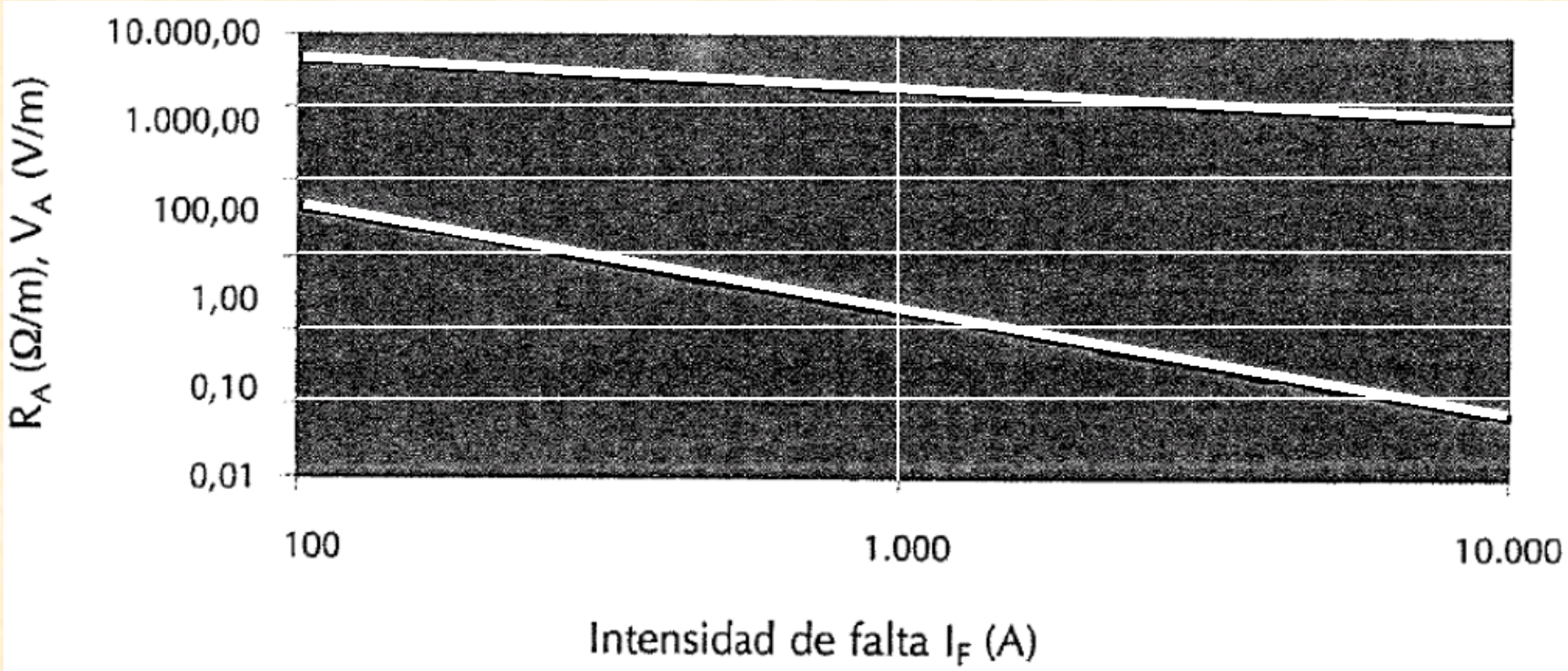


Protección de distancia ó Impedancia

La resistencia de arco

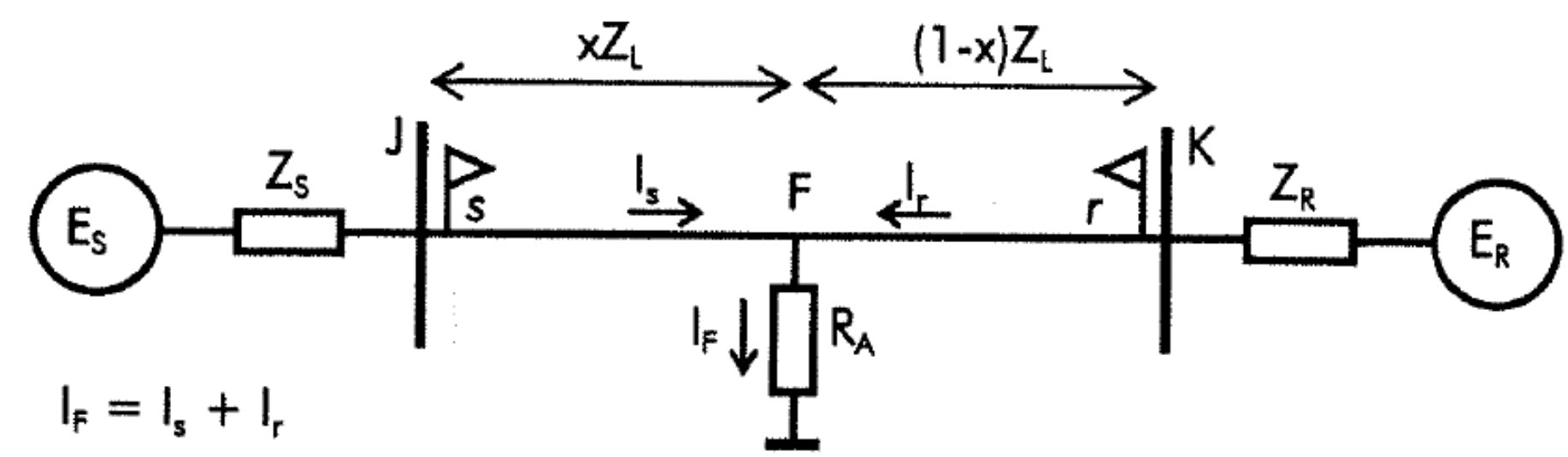
La resistencia de arco se determina de acuerdo a la formula de Warrington

$$R_A = (28710 \cdot \ell)/I_F^{1,4}$$



Protección de distancia ó Impedancia

La resistencia de falla

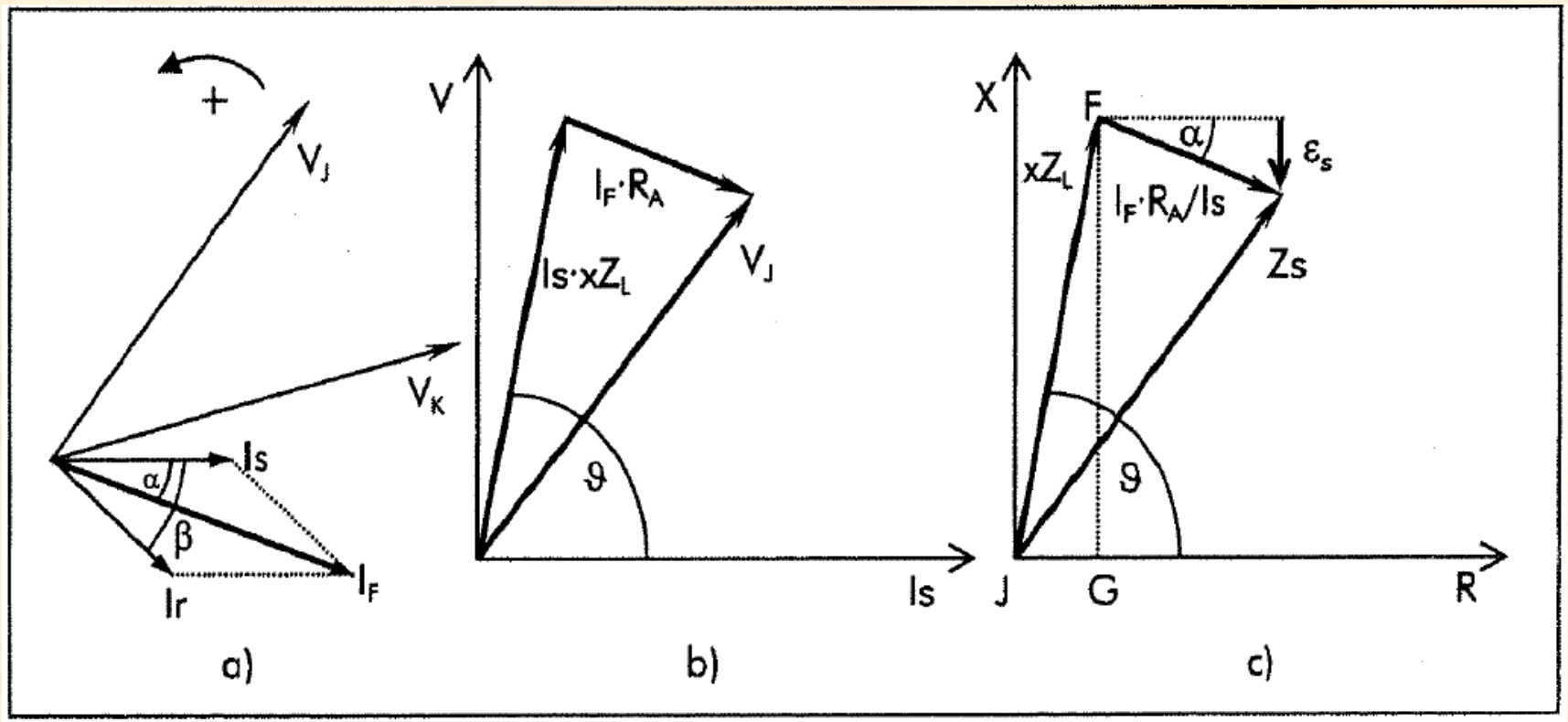


$$Z_s = xZ_L + R_A$$

$$Z_s = V_j/I_s = [I_s \cdot xZ_L + (I_s + I_r)\cdot R_A] / I_s = xZ_L + (1 + I_r/I_s)\cdot R_A$$

Protección de distancia ó Impedancia

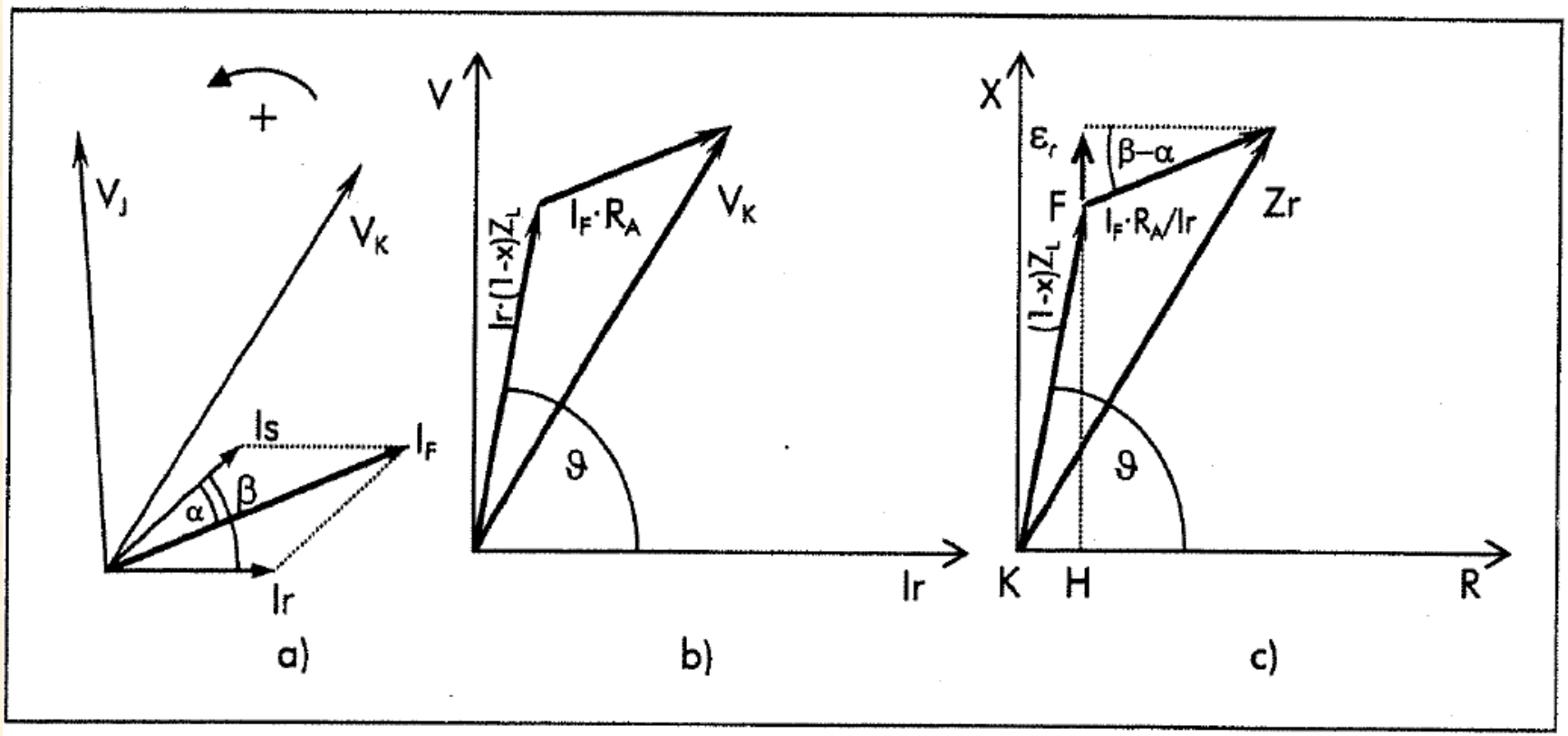
La resistencia de falla :Errores de Sobre alcance



Error de sobrealcance protección *s* debido a la resistencia de arco R_A.

Protección de distancia ó Impedancia

La resistencia de falla :Errores de Subalcance

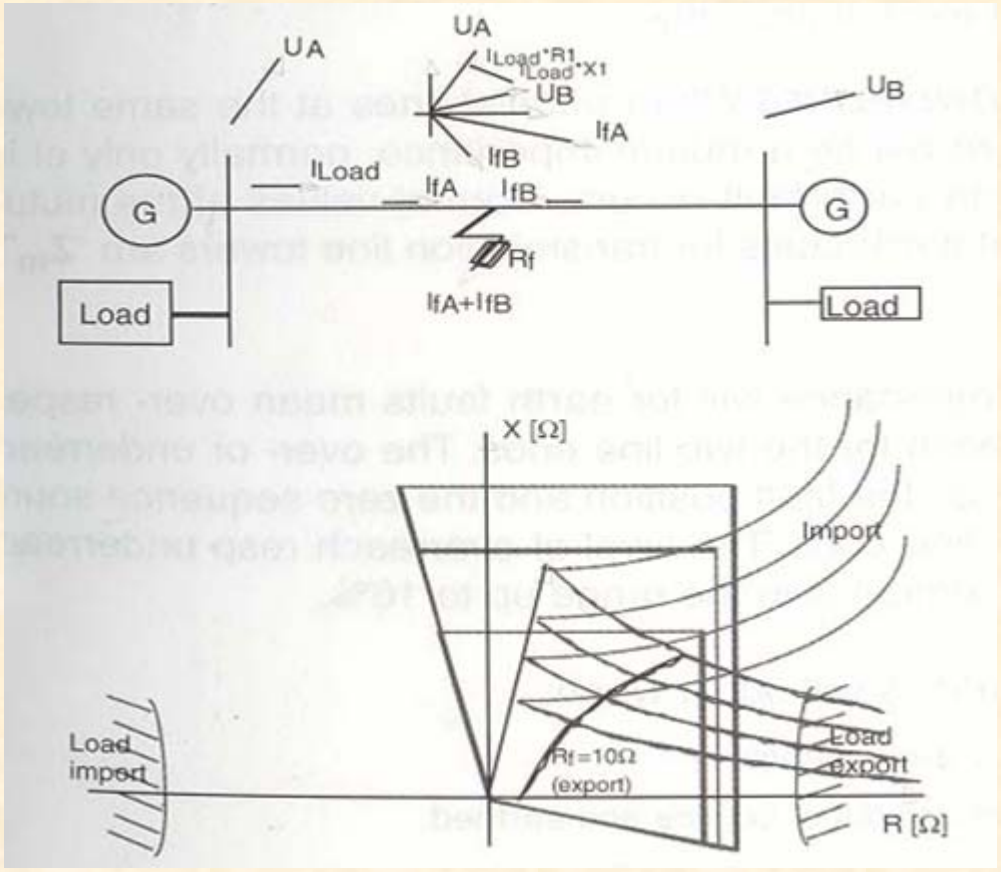


Error de subalcance protección r debido a la resistencia de arco R_A.

Protección de distancia ó Impedancia

El efecto de la carga: Subalcance y Sobrealcance

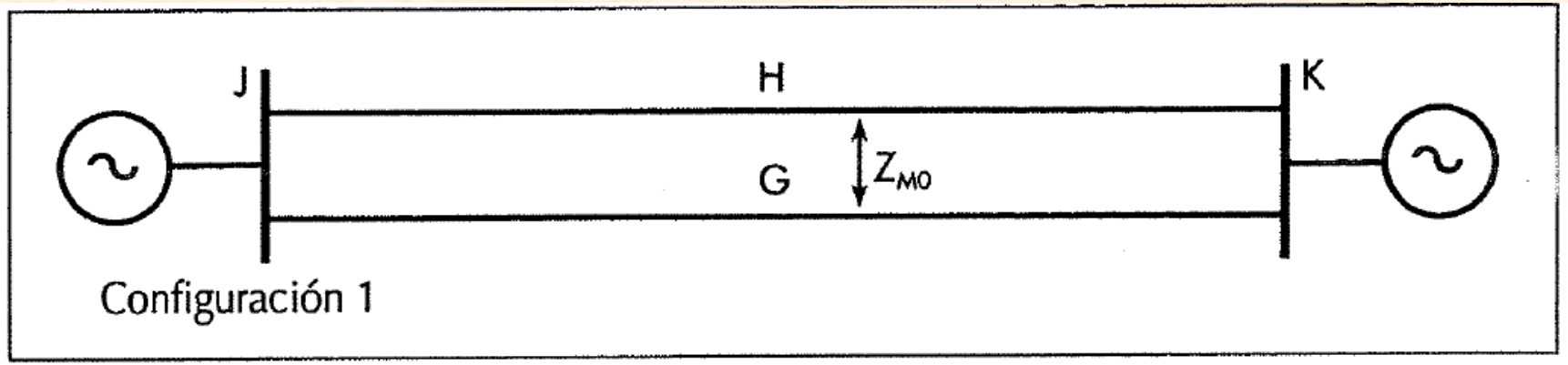
En sentido de flujo de potencia
Influye sobre la impedancia
vista por el rele



Protección de distancia ó Impedancia

El efecto de la impedancia Mutua

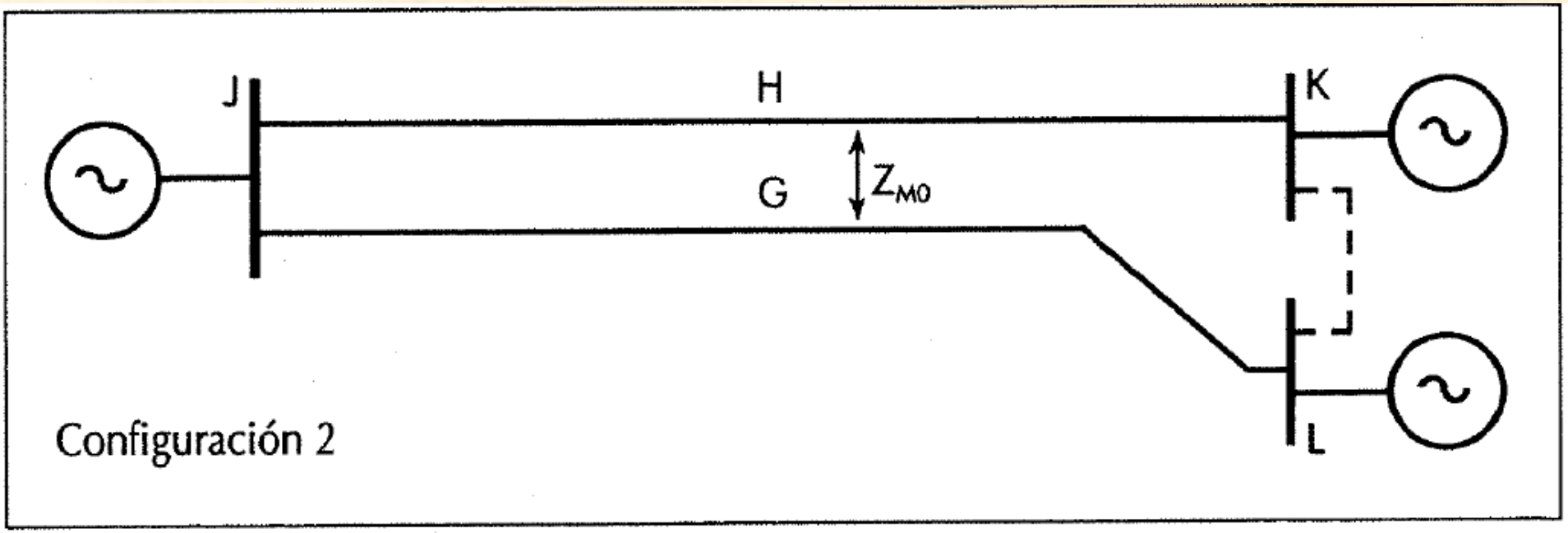
Cuando existen líneas paralelas, se produce el fenómeno de acoplamiento mutuo



Línea de doble circuito que conecta las subestaciones J y K.

Protección de distancia ó Impedancia

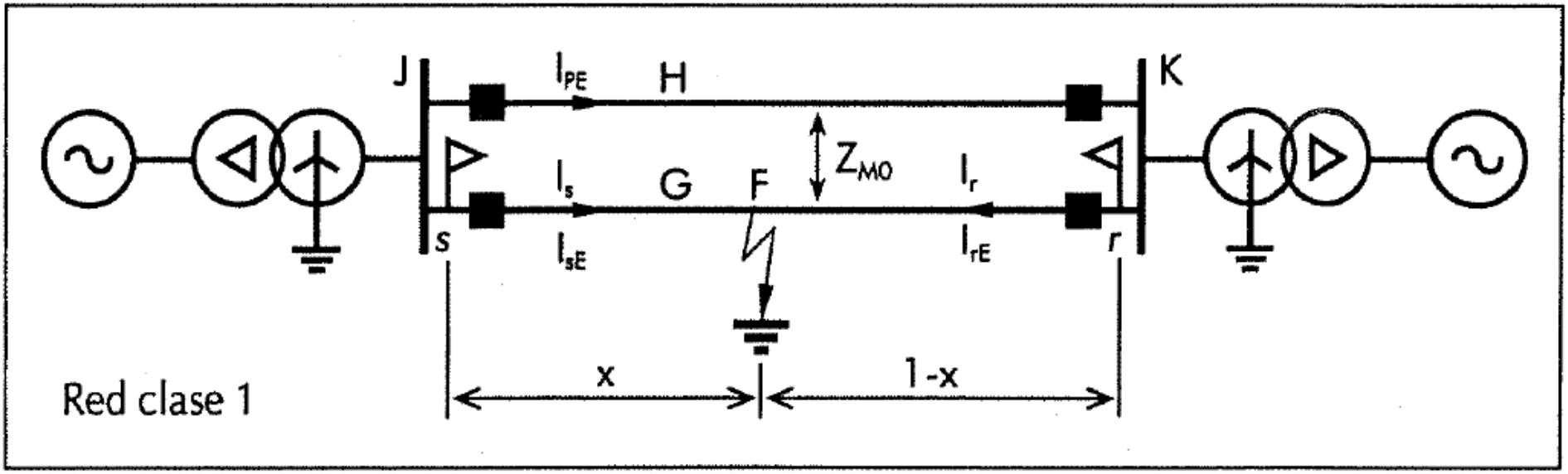
El efecto de la impedancia Mutua



Línea de doble circuito que termina en uno de sus extremos en diferentes subestaciones K y L.

Protección de distancia ó Impedancia

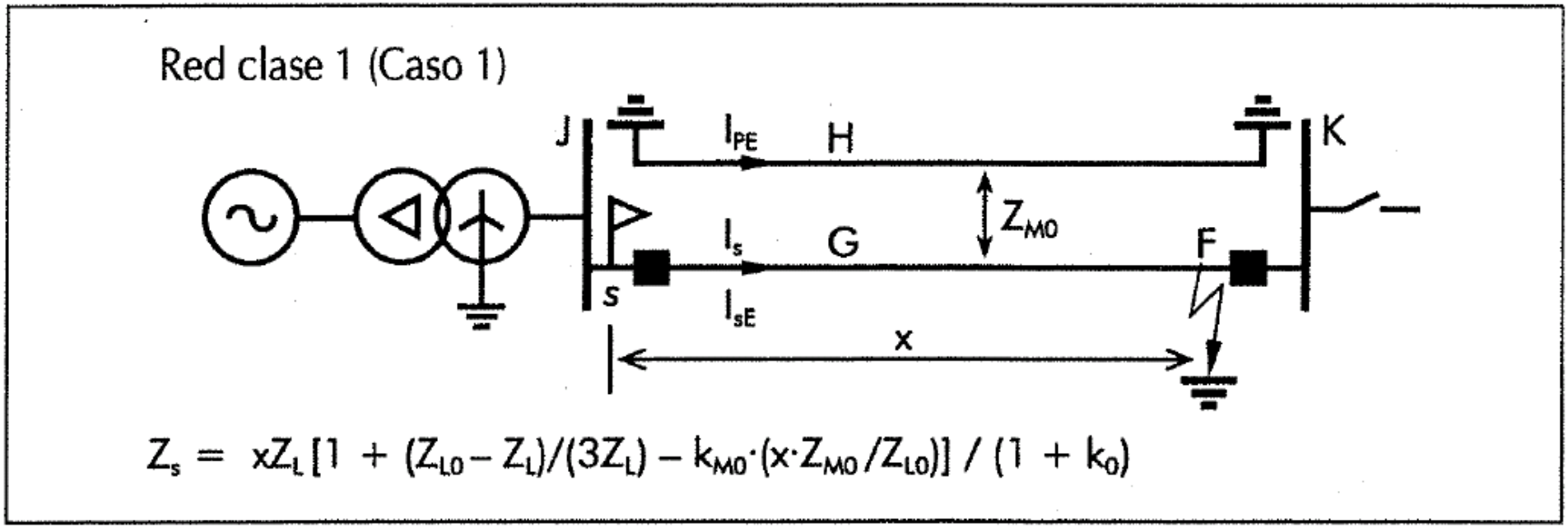
El efecto de la impedancia Mutua



Esquema unifilar red de clase 1 con falta a tierra en el circuito G.

Protección de distancia ó Impedancia

El efecto de la impedancia Mutua

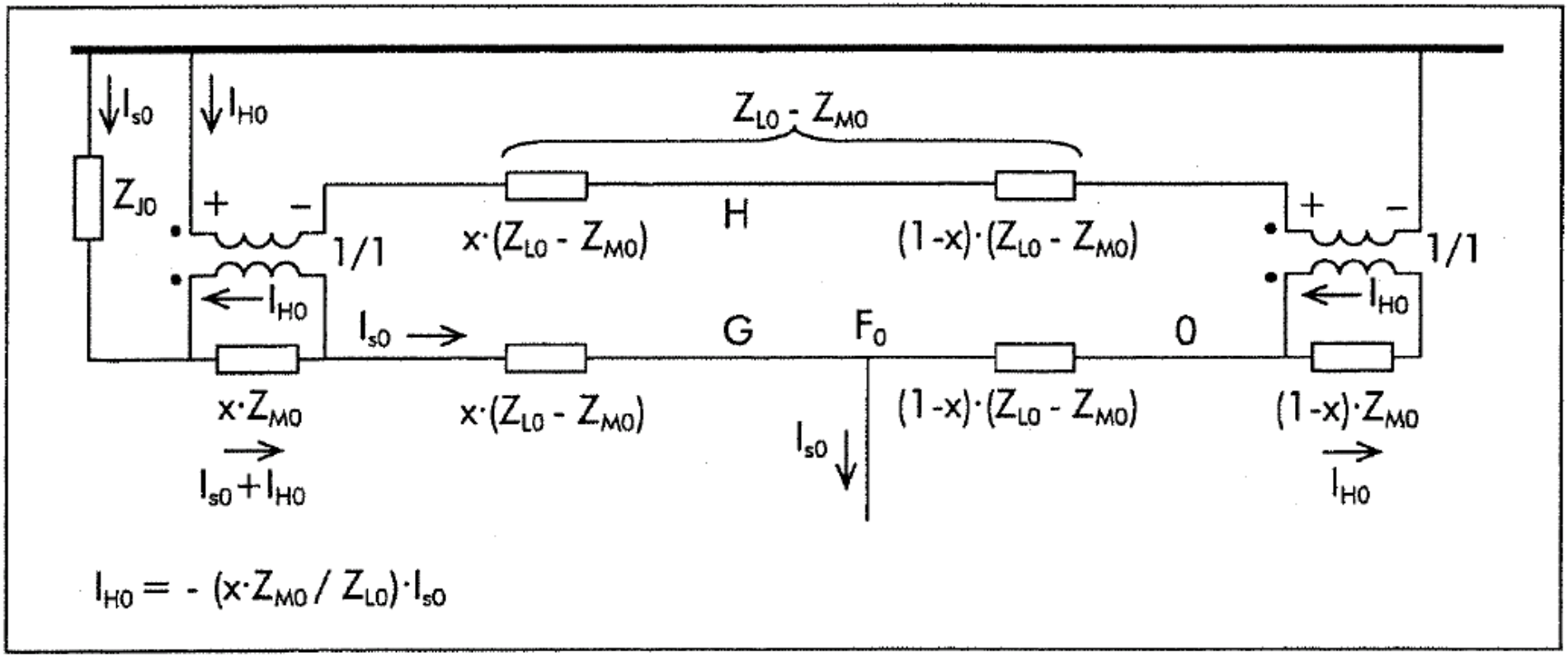


$$Z_s = xZ_L\,[1 + (Z_{LO} - Z_L)/(3Z_L) - k_{MO}\cdot(x\cdot Z_{MO}/Z_{LO})]\,/\,(1 + k_O)$$

Red de clase 1 (Caso 1) con falta a tierra en el circuito G.

Protección de distancia ó Impedancia

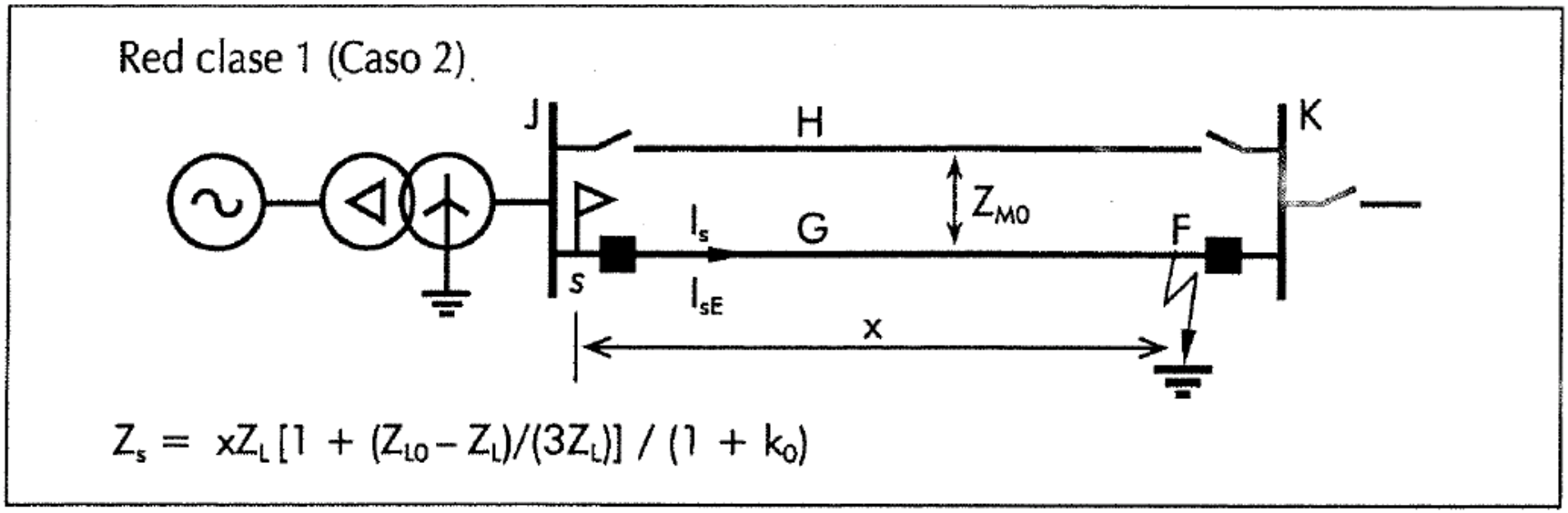
El efecto de la impedancia Mutua



Red de acoplamiento homopolar entre los circuitos G y H.

Protección de distancia ó Impedancia

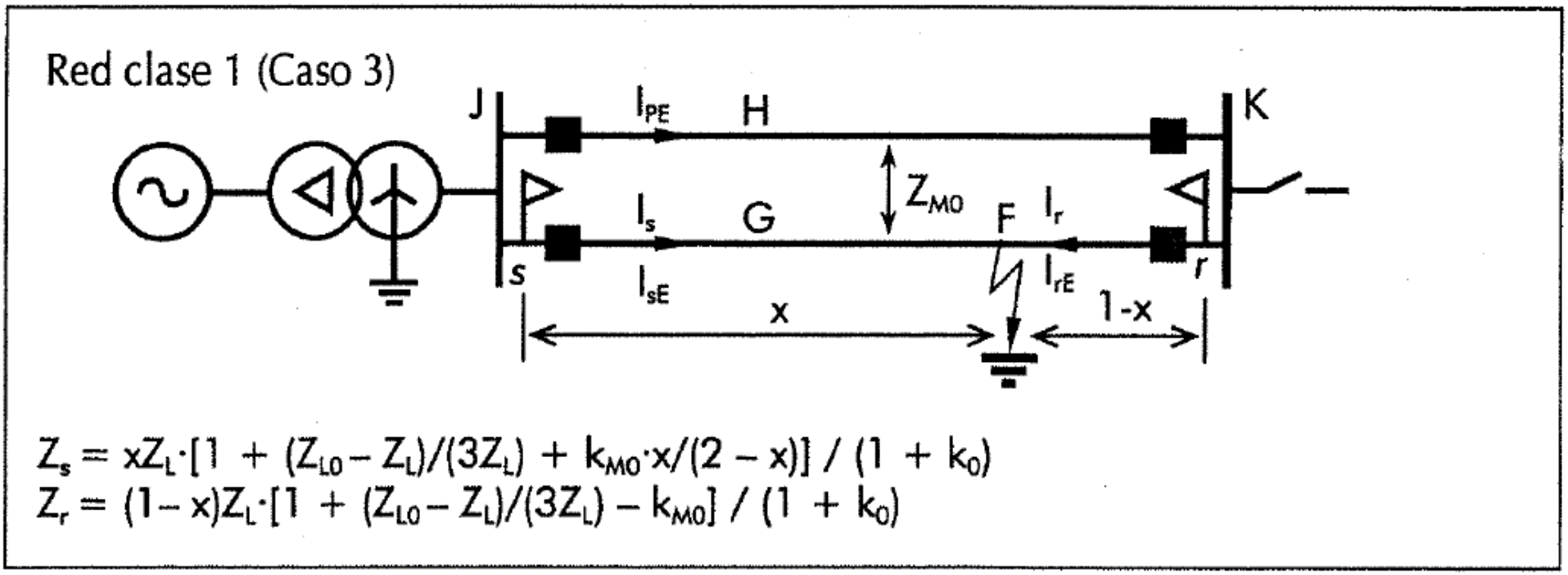
El efecto de la impedancia Mutua



Red de clase 1 (Caso 2) con falta a tierra en el circuito G.

Protección de distancia ó Impedancia

El efecto de la impedancia Mutua



$$Z_s = xZ_L \cdot [1 + (Z_{L0} - Z_L)/(3Z_L) + k_{M0} \cdot x/(2 - x)] / (1 + k_0)$$
$$Z_r = (1 - x)Z_L \cdot [1 + (Z_{L0} - Z_L)/(3Z_L) - k_{M0}] / (1 + k_0)$$

Red de clase 1 (Caso 3) con falta a tierra en el circuito G.

Capitulo V

Protección de Sistemas de Potencia

Desarrollo del Curso

Tópicos a Desarrollar

- Filosofía de los sistemas de protección
- Principios de operación de los reles de protección
- Protección de sistemas de distribución (fusibles, reles de sobrecorriente)
- Protección de sistemas con doble alimentación (reles de sobrecorriente direccional)
- Protección de líneas de transmisión (Distancia)
- **Esquemas de Teleprotección**
- **Protección de transformadores de potencia**
- **Protección de generadores**

Capitulo 6
Esquemas de Teleprotección

Contenido

1. Medios de Comunicación
2. Esquemas Permisivos de Distancia
3. La Comparación Direccional
4. El fenómeno de inversión de Corriente

Contenido

1. Medios de Comunicación
2. Esquemas Permisivos de Distancia
3. La Comparación Direccional
4. El fenómeno de inversión de Corriente

Esquemas de Teleprotección

Medios de Comunicación

Los medios de comunicación usados para los esquemas de teleprotección son:

- Hilo Piloto
- Microondas
- Radio
- Onda Portadora (90% usado en Peru)
- Fibra Optica
- Celular, etc.

Esquemas de Teleprotección

Medios de Comunicación

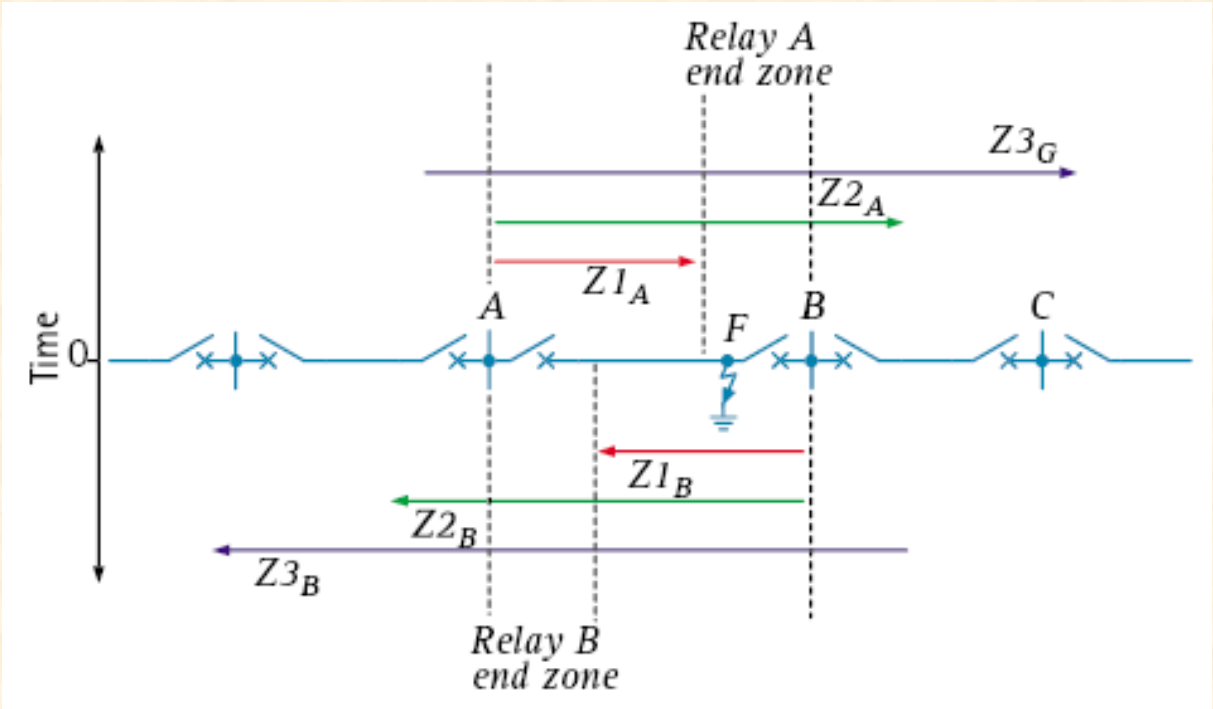
El medio de comunicación mas usado en el Perú es la Onda Portadora. Estos presentan problemas cuando la falla se produce en la fase en la cual se encuentran instaladas las trampas de onda.

La fibra óptica es el medio mas confiable de comunicación, no solo es usado para teleprotección sino también para aplicaciones en comunicaciones.

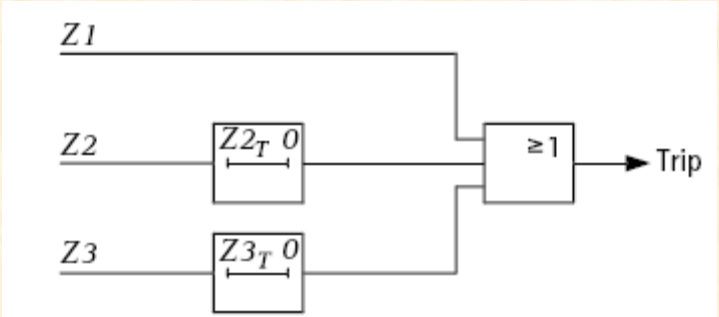
Contenido

1. Medios de Comunicación
2. Esquemas Permisivos de Distancia
3. La Comparación Direccional
4. El fenómeno de inversión de Corriente

Esquemas de Teleproteccion

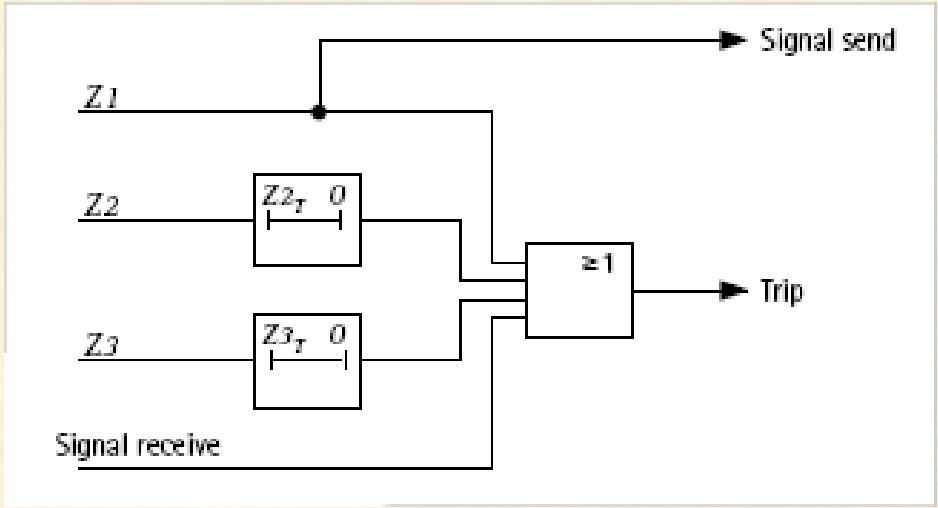


Sin esquema de teleprotección no se cubre el 100% de fallas en la línea



Esquemas Permisivos de Teleprotección

Direct Transfer Trip (DTT)

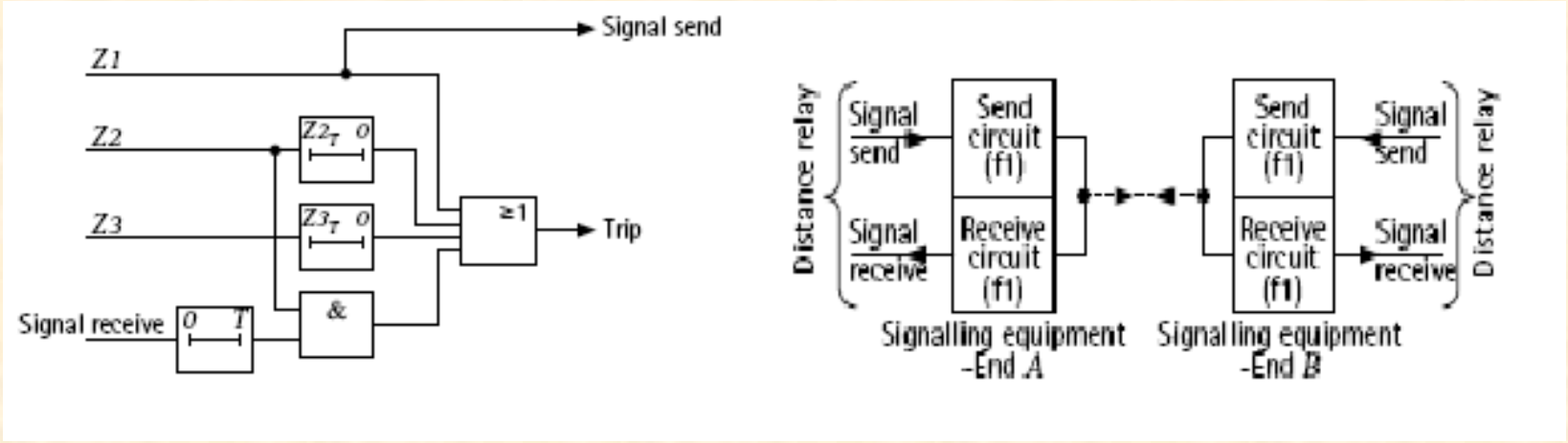


Cuando el relé de protección detecta una falla en zona1, envía una señal de disparo directo al extremo opuesto de la línea.

Solo es recomendable en líneas que terminan en carga o transformadores.

Esquemas Permisivos de Teleprotección

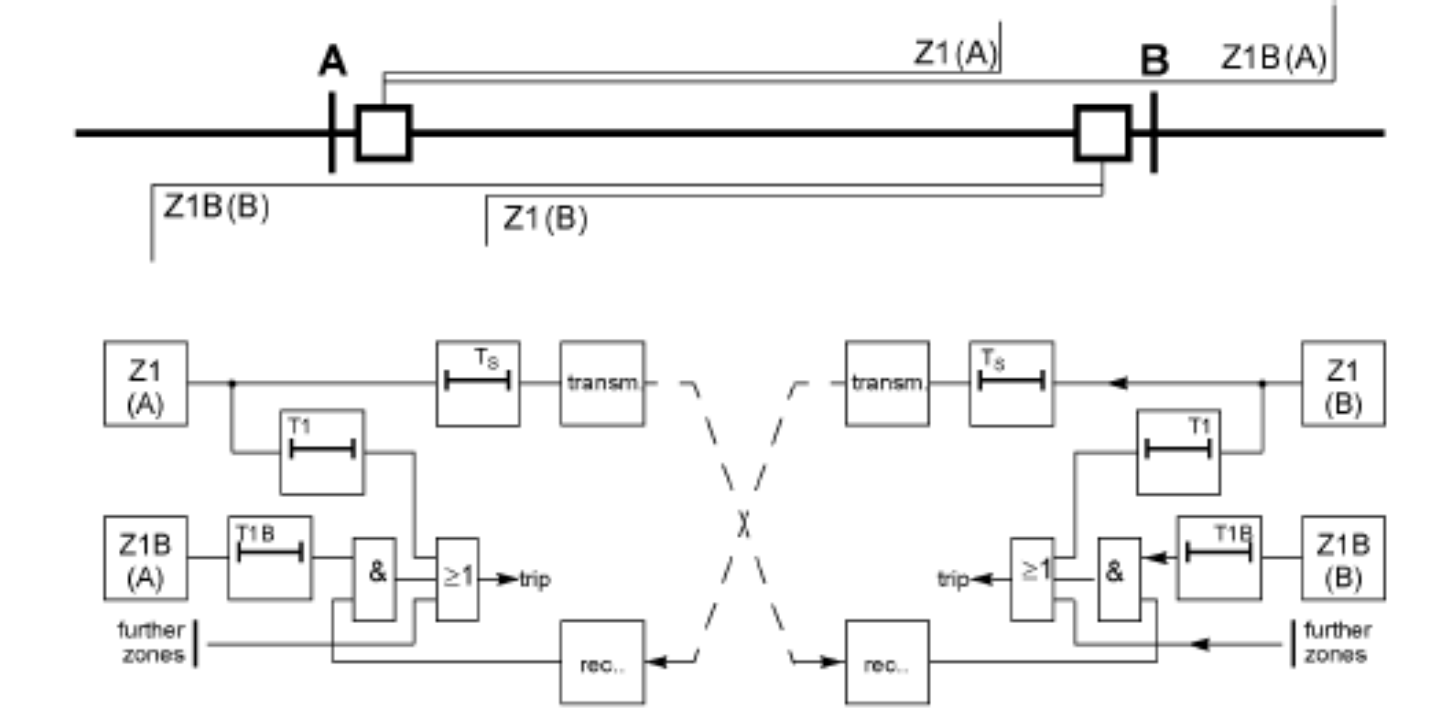
Permisive Underreach Transfer Trip (PUTT)



- En el esquema PUTT, la señal permisiva es enviada en Zona1
- Si el relé detecta una falla en Zona2 y recibe la señal permisiva, actúa en tiempo de zona1.

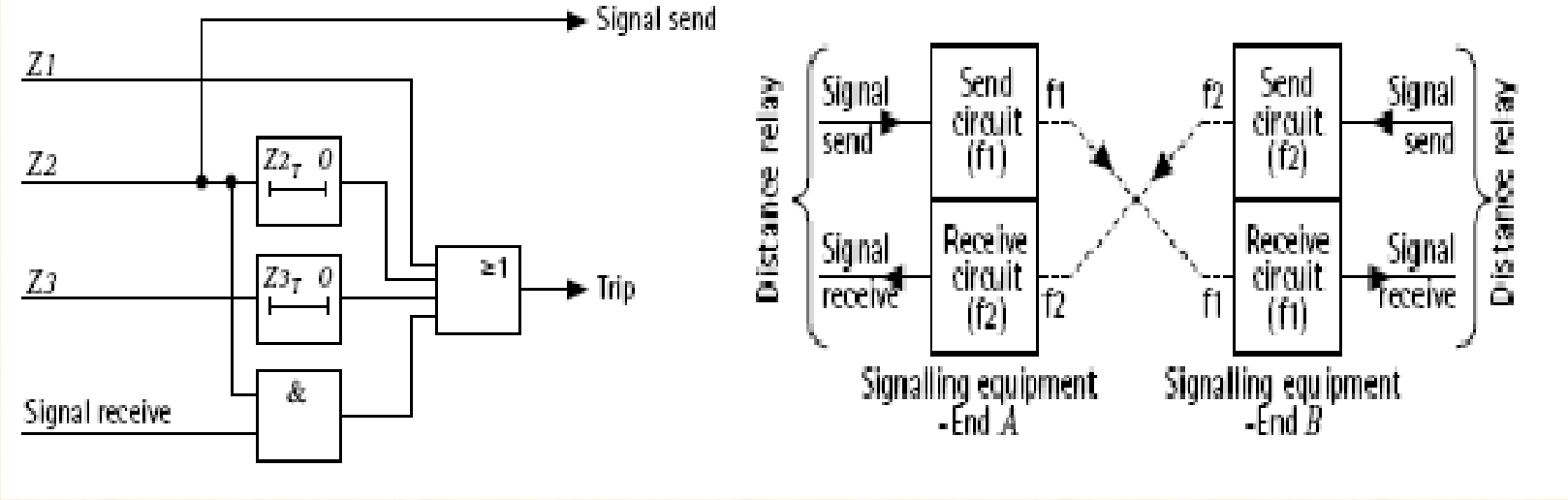
Esquemas Permisivos de Teleprotección

Permisive Underreach Transfer Trip (PUTT)



Esquemas Permisivos de Teleprotección

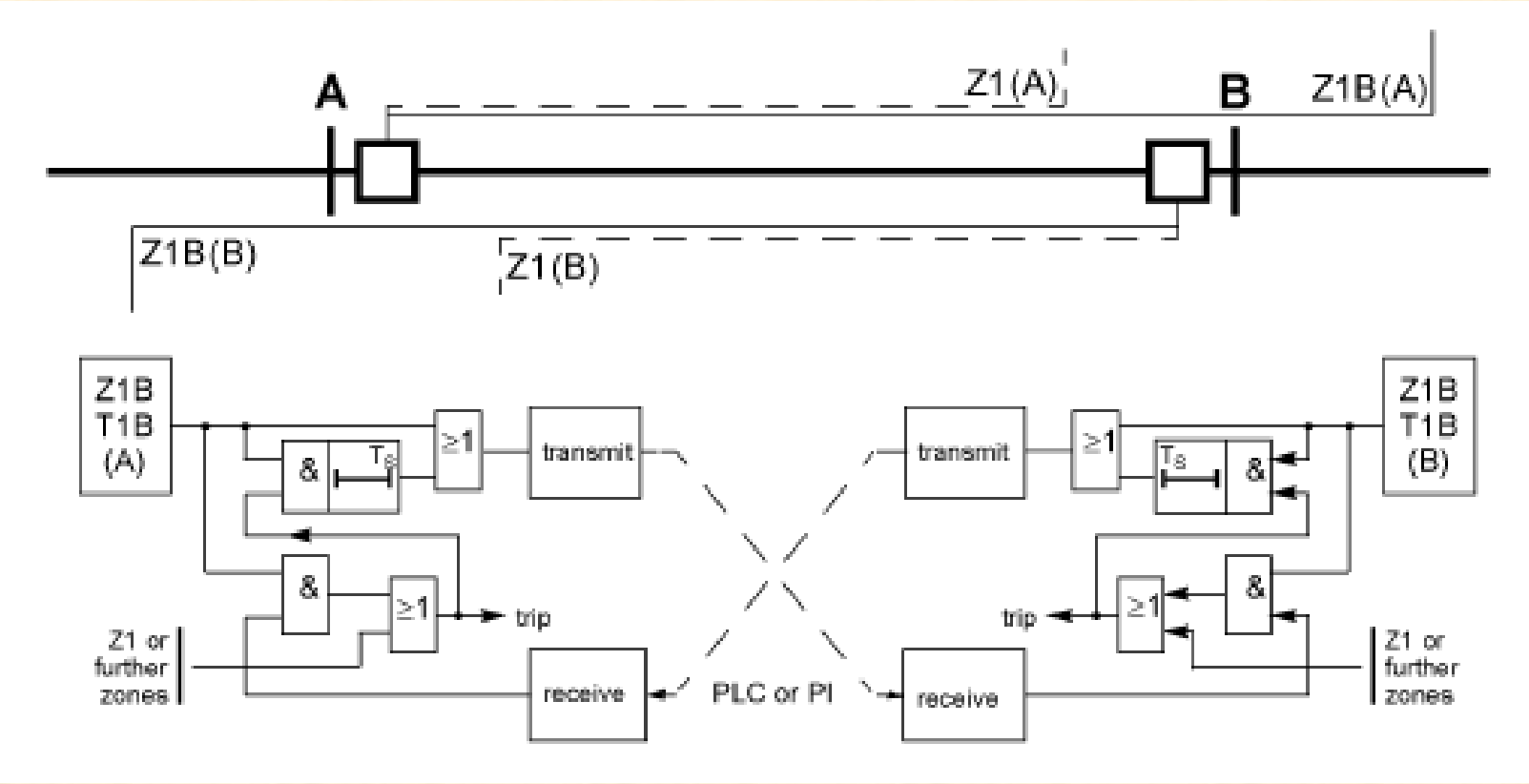
Permisive Overreach Transfer Trip (POTT)



- En el esquema POTT, la señal permisiva es enviada en Zona2
- Si el relé detecta una falla en Zona2 y recibe la señal permisiva, actúa en tiempo de zona1.

Esquemas Permisivos de Teleprotección

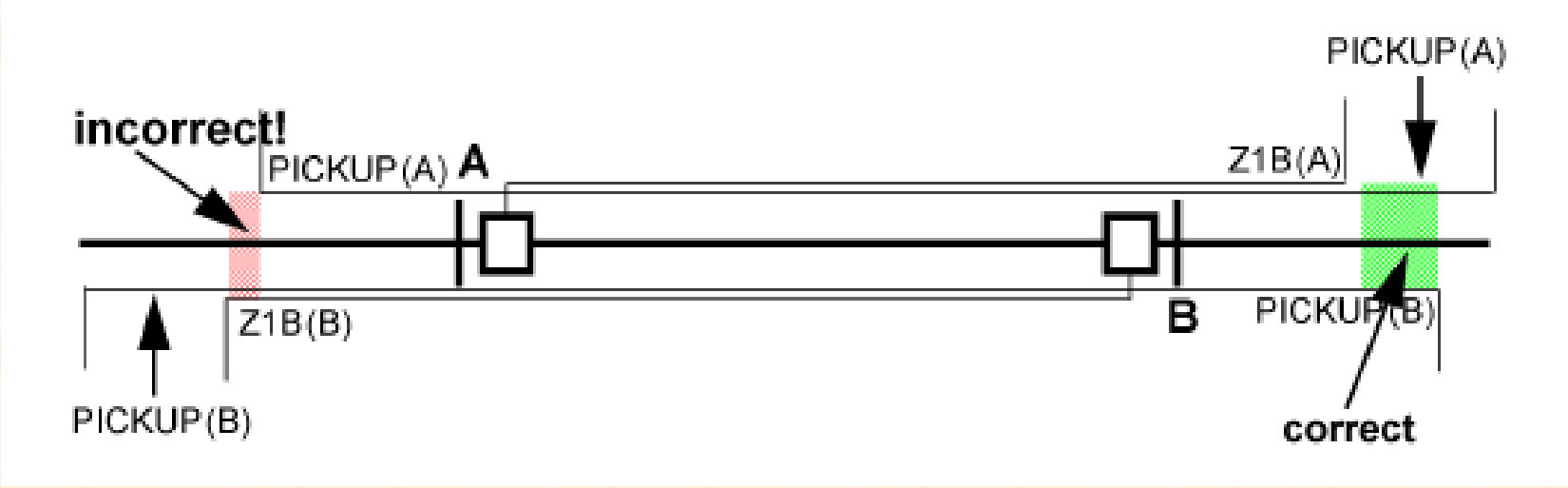
Permisive Overreach Transfer Trip (POTT)



Esquemas Permisivos de Teleprotección

Permisive Overreach Transfer Trip (POTT)

- Cuando se usa un esquema POTT, la zona reversa o zona de arranque debe cubrir a la zona de sobrealcance del extremo opuesto.

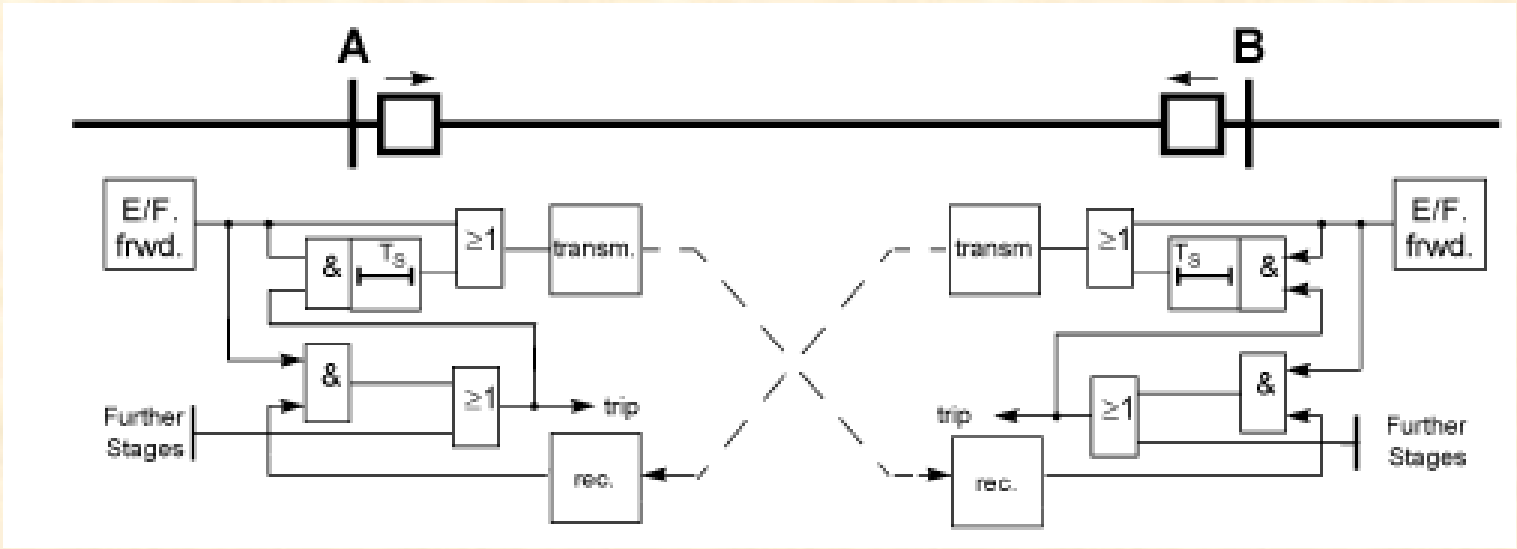


Contenido

1. Medios de Comunicación
2. Esquemas Permisivos de Distancia
3. La Comparación Direccional
4. El fenómeno de inversión de Corriente

Esquemas Permisivos de Teleprotección

Comparación direccional usando reles direccionales



- Este esquema debe existir siempre debido a que no todas las fallas a tierra son detectadas por los reles de distancia.

Contenido

1. Medios de Comunicación
2. Esquemas Permisivos de Distancia
3. La Comparación Direccional
4. **El fenómeno de inversión de Corriente**

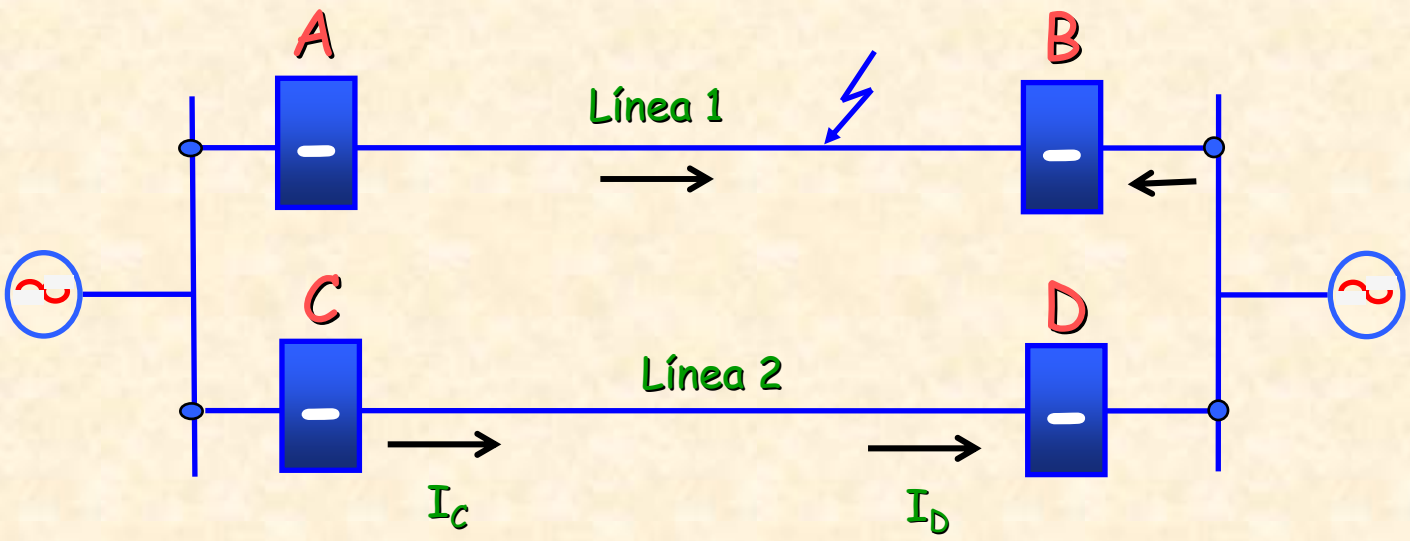
El fenómeno de inversión de corriente

Generalidades

- Este fenómeno se presenta en líneas de transmisión con circuitos paralelos
- Cuando se presenta **NO** simultaneidad en la operación de los interruptores de la línea fallada
- El efecto de la corriente reversa se presenta en la línea sana
- Este fenómeno puede causar una falsa operación en el peor de los casos

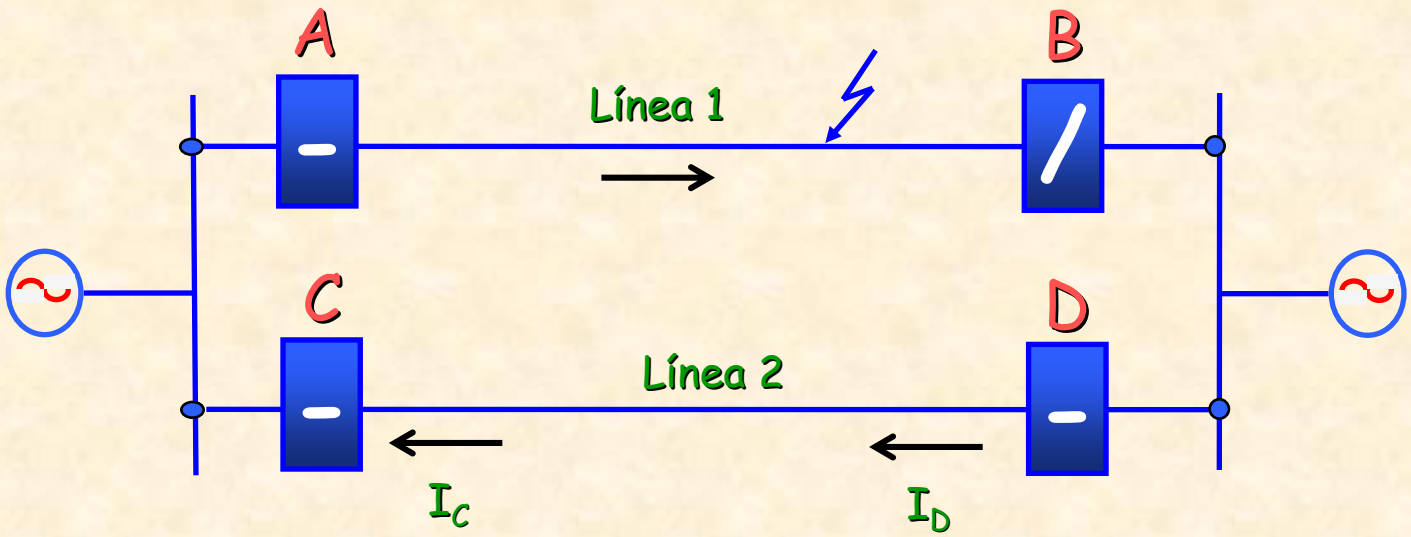
El fenómeno de inversión de corriente

Situacion inicial luego de una falla



El fenómeno de inversión de corriente

Luego se produce la apertura del interruptor B



El fenómeno de inversión de corriente

- Una vez que se presenta la falla, la corriente de falla por la línea sana fluye desde el interruptor C a el interruptor D
- El interruptor B abre antes que el interruptor A debido a:
  - **La corriente de falla es mas alta**
  - **La falla esta fuera del alcance de la zona de bajoalcance de la protección en A**
- La corriente de falla en la línea sana se invierte.

El fenómeno de inversión de corriente

- Este fenómeno puede causar problemas en esquemas de protección de comparación direccional

- Esquema Permisivo:

  - **Interruptor B cerrado**
  - **Protección en C ve la falla hacia delante, no abre su interruptor debido a que no recibe señal del extremo remoto**
  - **Opera la protección en B, abre el interruptor B**
  - **Protección en D ve la falla hacia delante enviando señal al extremo remoto (protección en C)**

El fenómeno de inversión de corriente

- Esquema Permisivo
  - **Si la protección en C no ha cambiado la dirección y los tiempos del canal de comunicación no son los adecuados las protecciones C y D ven la falla en la dirección correcta y abren sus interruptores respectivos.**
  - **Sale de servicio la línea** SANA
  - **Para líneas paralelas cortas se presenta la peor condición**
  - **Para líneas compensadas en serie el problema es aún mas grave**
  - **Las protecciones de línea que se utilicen en configuración de líneas paralelas deben poseer un bloqueo para el efecto de la inversión de corriente**

Capitulo VI

Protección de Sistemas de Potencia

Desarrollo del Curso

Tópicos a Desarrollar

- Filosofía de los sistemas de protección
- Principios de operación de los reles de protección
- Protección de sistemas de distribución (fusibles, reles de sobrecorriente)
- Protección de sistemas con doble alimentación (reles de sobrecorriente direccional)
- Protección de líneas de transmisión (Distancia)
- Esquemas de Teleprotección
- **Protección de transformadores de potencia**
- **Protección de generadores**

Capitulo 6

Protección de Transformadores de potencia

Contenido

1. Tipos de fallas
2. Protección diferencial
3. La protección de sobrecorriente
4. La protección Buchholz
5. La protección de sobrecarga.

Tipos de Fallas

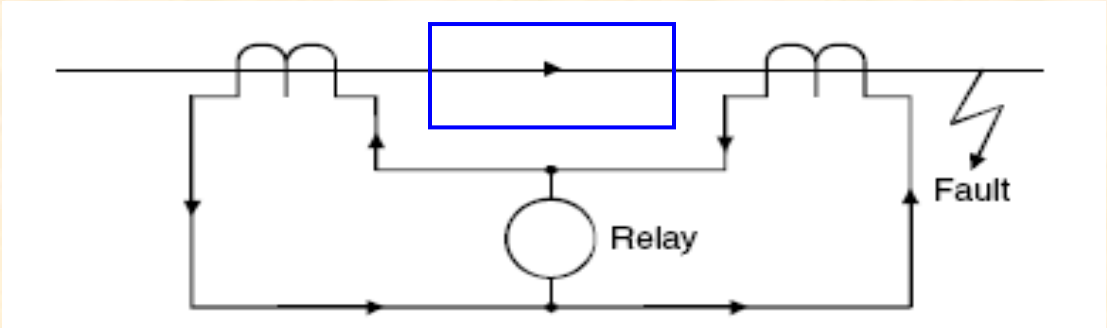
Las fallas que se pueden producir en un transformador de potencia son:

- Contorneo de aisladores de los bujes (externas al tanque)
- Fallas de los bobinados a tierra
- Cortocircuito entre espiras
- Falla del nucleo del transformador
- Falla en el tanque

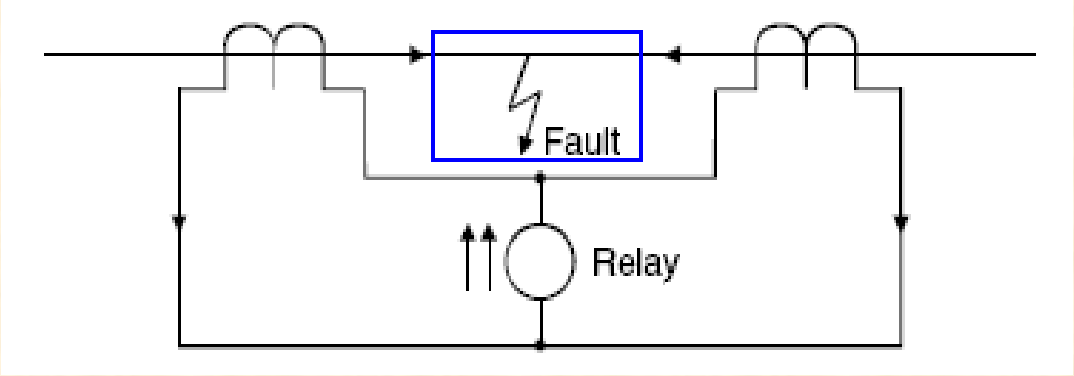
Las fallas fase-fase dentro de un transformador son raras debido a la contrucción del transformador.

Protección Diferencial (87T)

La protección diferencial compara la corriente que entra y sale de la zona protegida, y opera cuando la corriente diferencial excede un valor predeterminado.



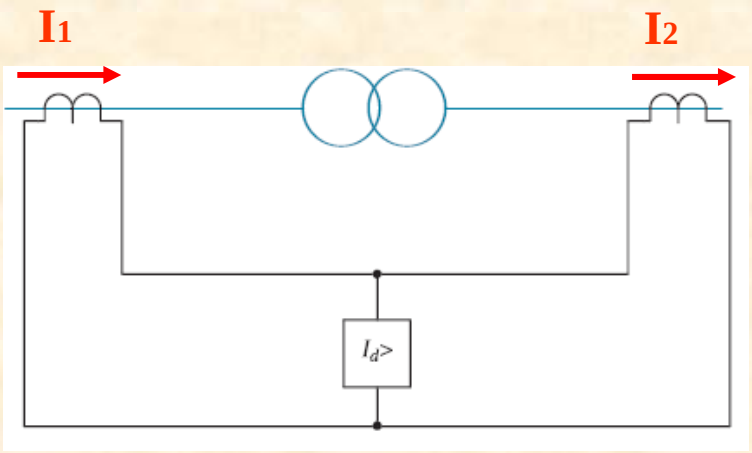
Falla Externa

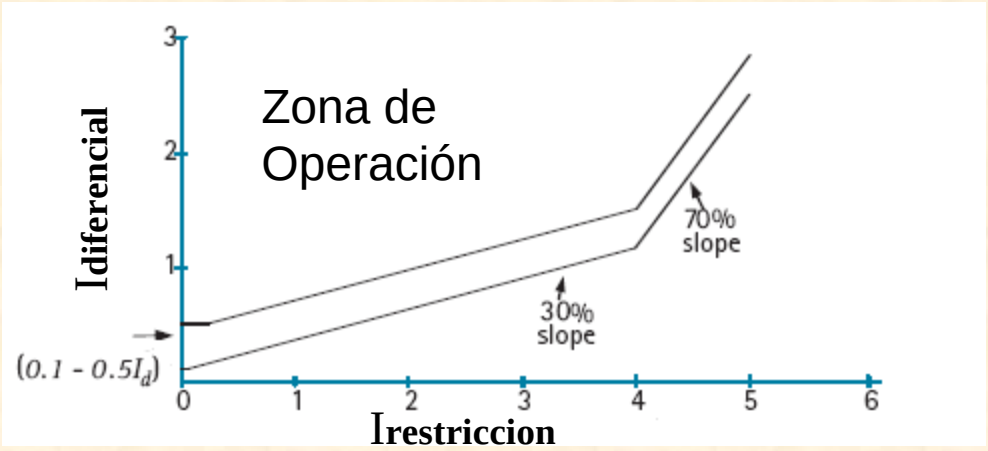


Falla Externa

Protección Diferencial (87T)

Caracteristica del relé Diferencial



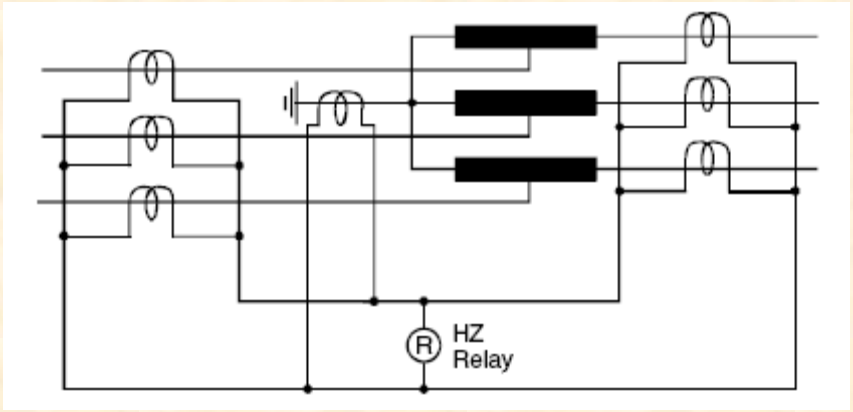


Idiferencial = |I1 + I2|

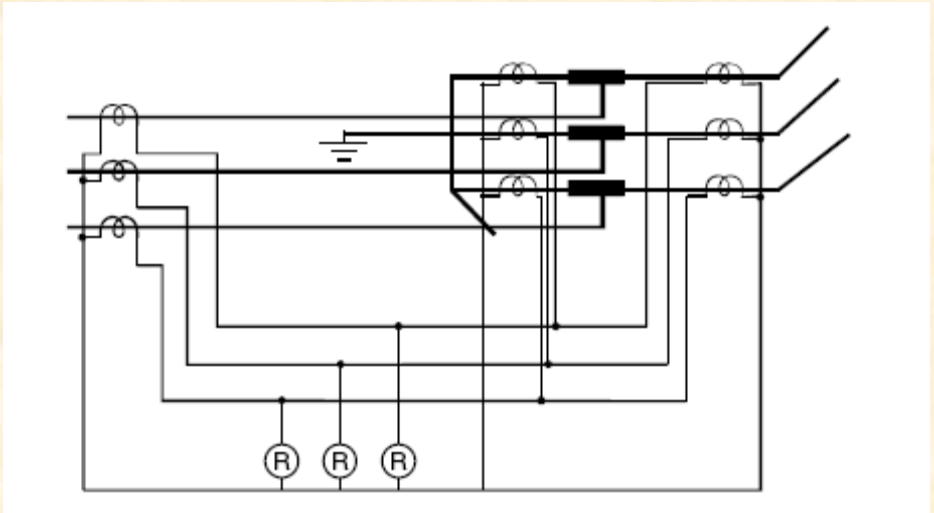
Irestricción = |I1|+ |I2|

Protección Diferencial (87T)

Protección diferencial a tierra en un Auto-Transformador

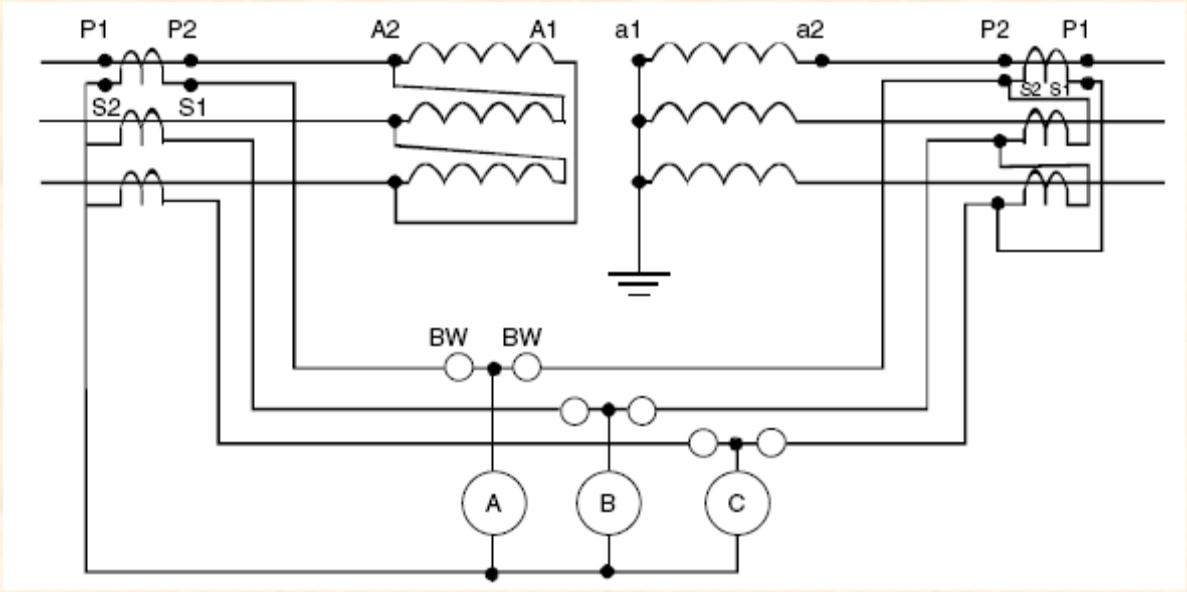


Protección diferencial de fases y tierra en un Auto-Transformador



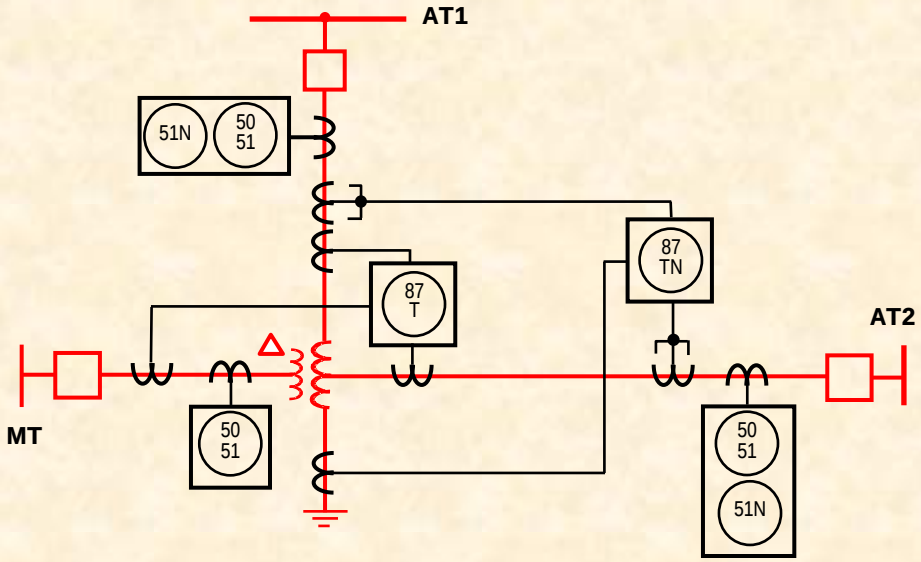
Protección Diferencial (87T)

Protección diferencial en un transformador Delta – Estrella



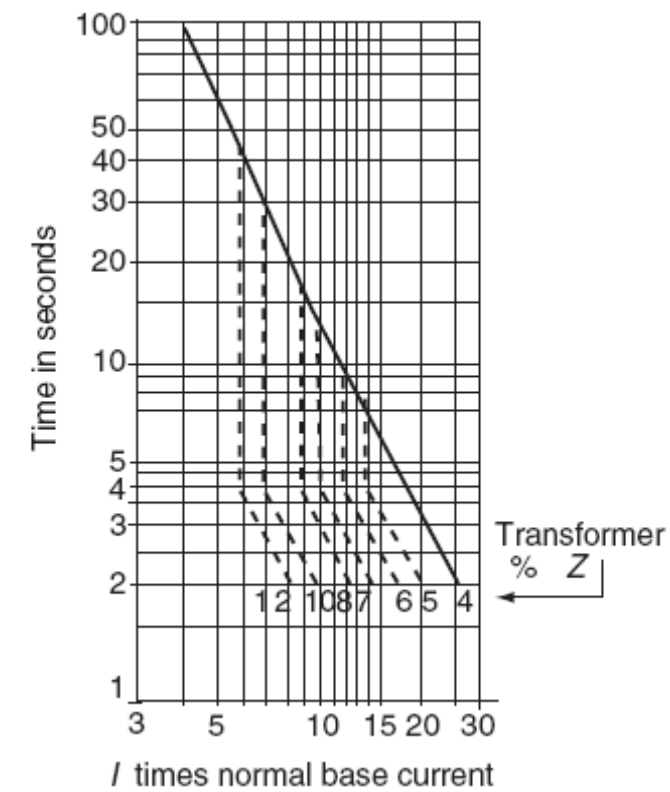
Protección de Sobrecorriente

La protección de sobrecorriente se usa como un respaldo ante fallas propias del transformador y fallas externas.



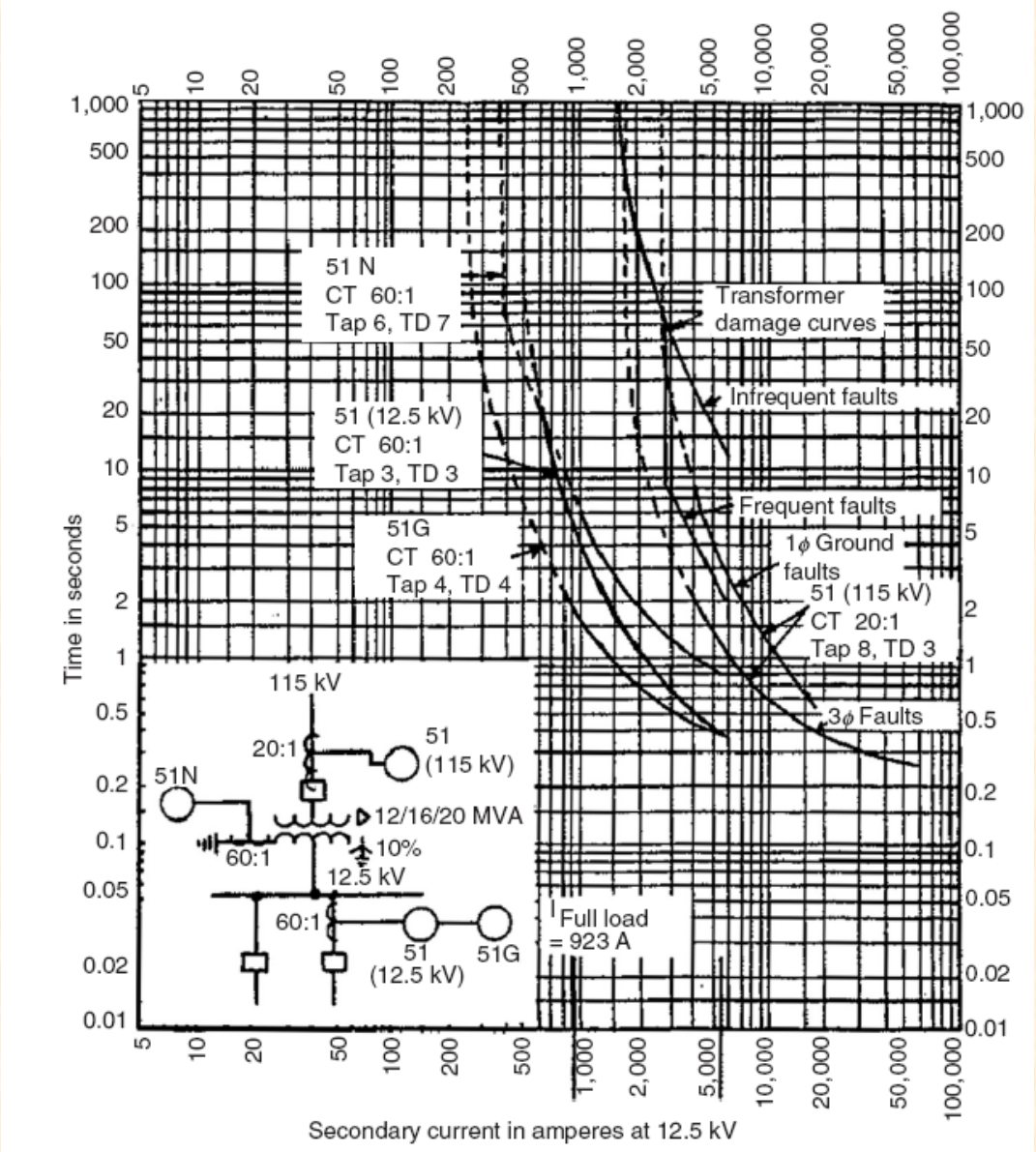
Protección de Sobrecorriente

La curva de operación de los relés de sobrecorriente debe encontrarse siempre por debajo de la curva de daño de los transformadores, y por encima de la curva de protección de sobrecorriente se usa como un respaldo ante fallas propias del transformador y fallas externas.



Protección de Sobrecorriente

En la figura se muestra un coordinamiento de los reles de sobrecorriente de un transformador de potencia.



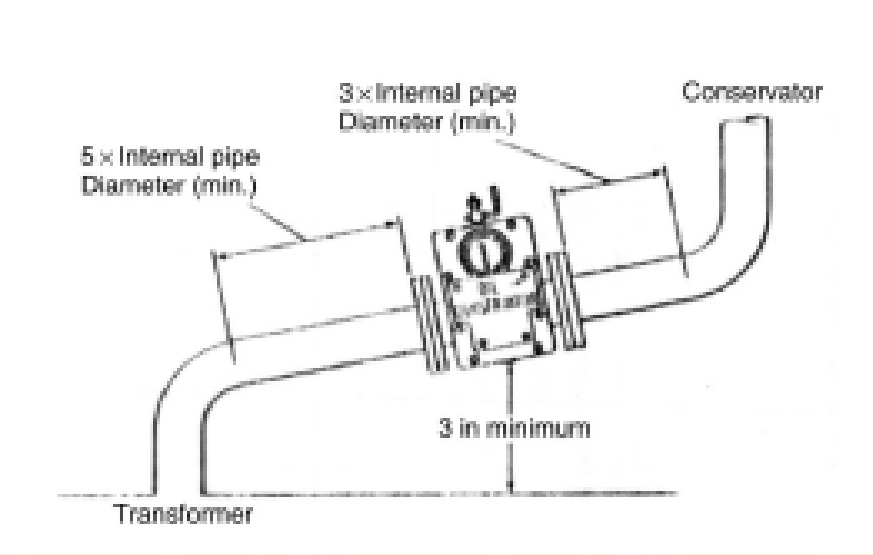
Protección Buchholz

La falla del aislamiento de los bobinados puede resultar en alguna forma de arco dentro de la cuba de aceite del transformador, lo cual descompone el aceite del transformador en Hidrogeno, Acetileno, metano, etc.

Un arco severo puede generar una cantidad de gases, esto puede ocurrir de una forma tan violenta que origina que el aceite se expanda del tanque al conservador.

Protección Buchholz

El relé Buchholz puede detectar detectar gases y flujo de aceite, este relé esta instalado en el tubo entre el conservador y la cuba principal.



Protección de Sobrecarga

El transformador es diseñado para operar continuamente a una temperatura maxima basada en una temperatura ambiente asumida. La sobrecarga no sostenida es permisible para estas condiciones.

Cuando se produce una sobrecarga se debe tener presente sobretodo la temperatura interna del transformador (aciete y bobinados).

En el cuadro se muestra como afecta la temperatura de aceite a la vida util del mismo

Operating Temperature	Transformer Oil Life
60 °C	20 years
70 °C	10 years
80 °C	5 years
90 °C	2.5 years
100 °C	13 months
110 °C	7 months

Protección de Sobrecarga

La temperatura de bobinados es medido a través de un relé de imagen termica.

Los valores tipicos de alarma y disparo del relé de temperatura de aceite y temperatura de boninado son:

Alarma temperatura Bobinado = 100 °C
Disparo temperatura Bobinado = 120 °C
Alarma temperatura Aceite = 95 °C
Disparo temperatura Aceite = 105 °C

Capitulo VII

Protección de Sistemas de Potencia

Desarrollo del Curso

Tópicos a Desarrollar

- Filosofía de los sistemas de protección
- Principios de operación de los reles de protección
- Protección de sistemas de distribución (fusibles, reles de sobrecorriente)
- Protección de sistemas con doble alimentación (reles de sobrecorriente direccional)
- Protección de líneas de transmisión Distancia
- Esquemas de Teleprotección
- Protección de transformadores de potencia
- **Protección de generadores**

Capitulo 7
Protección de Generadores

Contenido

1. Protección Para fallas en la maquina (fallas eléctricas y fallas mecánicas)
2. Protección Para fallas externas
3. Esquemas de protección de generadores

Proteccion de Generadores

El generador ➔ núcleo del sistema de potencia.

Una unidad de generación moderna:

Es un sistema complejo que comprende los devanados del estator y su transformador asociado, el rotor con su devanado de campo y la excitatriz, la turbina, etc.

Se pueden presentar fallas de diversas dentro de un sistema tan complejo como éste, por lo que se requiere un sistema de protección muy completo cuya redundancia dependerá de consideraciones económicas, del tamaño de las máquinas y de su importancia dentro del sistema de potencia.

Contenido

1. Protección Para fallas en la maquina (fallas eléctricas y fallas mecánicas)
2. Protección Para fallas externas
3. Esquemas de protección de generadores

Protección Para fallas en la maquina

Existen dos tipos de fallas:

-Fallas Eléctricas:

Se da en devanado del estator, en el devanado del rotor, o en la excitación.

-Fallas Mecánicas

Se da por temperatura o por vibración.

Por temperatura: por falla en los devanados, en el rotor o en los cojinetes, debido a sobrecarga, refrigeración, deterioro o daños mecánicos.

Por vibración: debido a desbalance mecánico o eléctrico.

Protección Para fallas en la maquina

FALLAS ELECTRICAS

A) Protección contra fallas en el arrollamiento del estator. (Rele diferencial – 87G)

El relé diferencial es usado generalmente para protección de fallas de fase de los devanados del estator, a menos que la máquina sea muy pequeña.

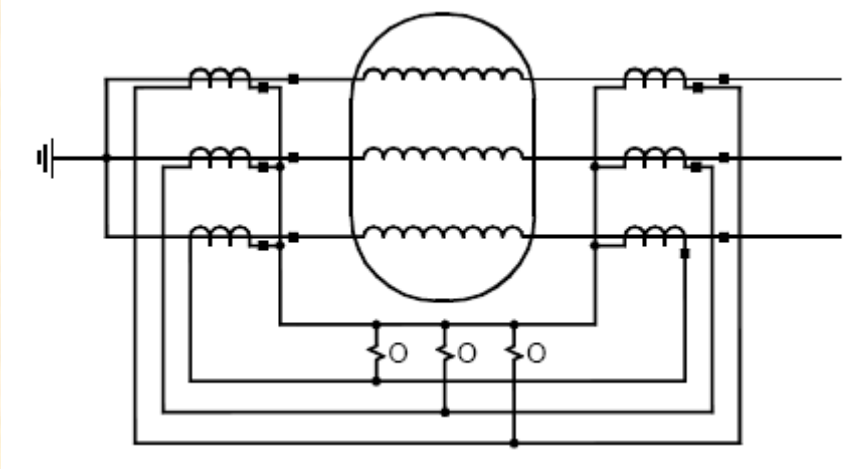
El relé diferencial detecta fallas trifásicas, fallas bifásicas, fallas bifásicas a tierra y fallas monofásicas a tierra, éstas últimas dependiendo de qué tan sólidamente esté aterrizado el generador.

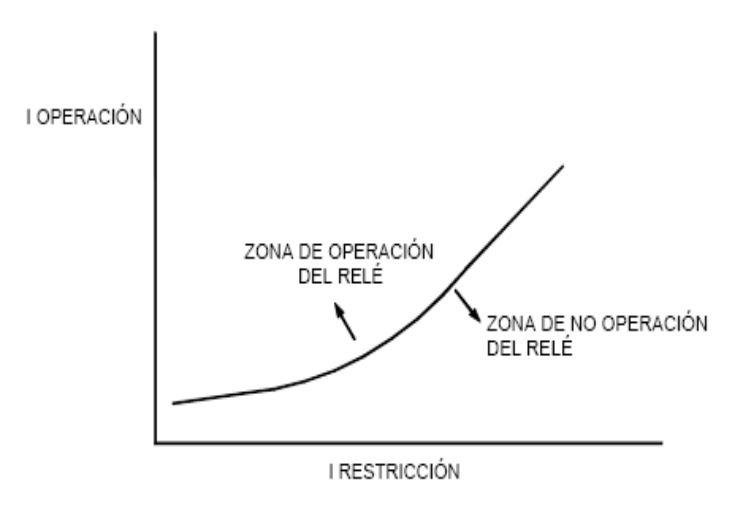
El relé diferencial **no detecta fallas entre espiras** en una fase porque no hay una diferencia entre la entrada y la salida de corriente de la fase, por lo cual se debe utilizar una protección separada para fallas entre espiras.

Protección Para fallas en la maquina

FALLAS ELECTRICAS

A) Protección contra fallas en el arrollamiento del estator. (Rele diferencial – 87G)





Protección Para fallas en la maquina

FALLAS ELECTRICAS

B) Protección contra fallas entre espiras. (Fase Partida)

Para fallas entre espiras no hay una diferencia de corriente en los extremos de un arrollamiento con espiras en corto.

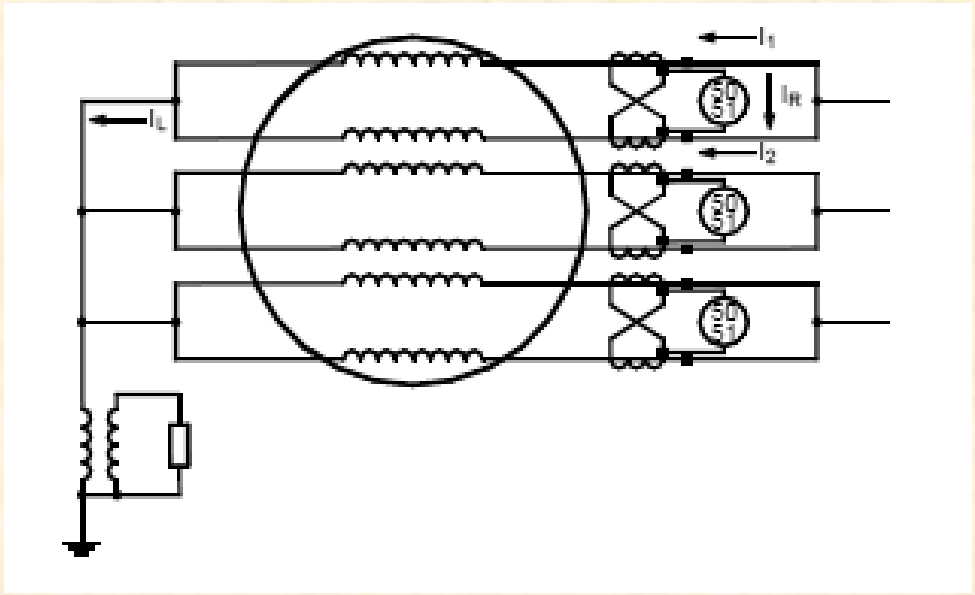
Esta protección es propia de los generadores de turbinas hidráulicas, dado que las bobinas de los grandes generadores de turbinas a vapor, por lo general sólo tienen una espira.
Si el devanado del estator del generador tiene bobinas multiespiras y dos o más circuitos por fase, el esquema de relé de fase partida puede ser usado para dar protección de fase partida.

El reléusado en este esquema usualmente consiste en un relé de sobrecorriente instantáneo y un relé de sobrecorriente de tiempo inverso.

Protección Para fallas en la maquina

FALLAS ELECTRICAS

B) Protección contra fallas entre espiras.
(Fase Partida)



Protección Para fallas en la maquina

FALLAS ELECTRICAS

B) Protección contra fallas entre espiras.
(Fase Partida)

Otras formas es comparar las tres corrientes para detectar desbalances.

Desbalances ➔ Secuencia negativa.

Si se usa reles de secuencia negativa se debe coordinar considerando fallas externas al generador.

Protección Para fallas en la maquina

FALLAS ELECTRICAS

C) Protección contra fallas a tierra del estator.

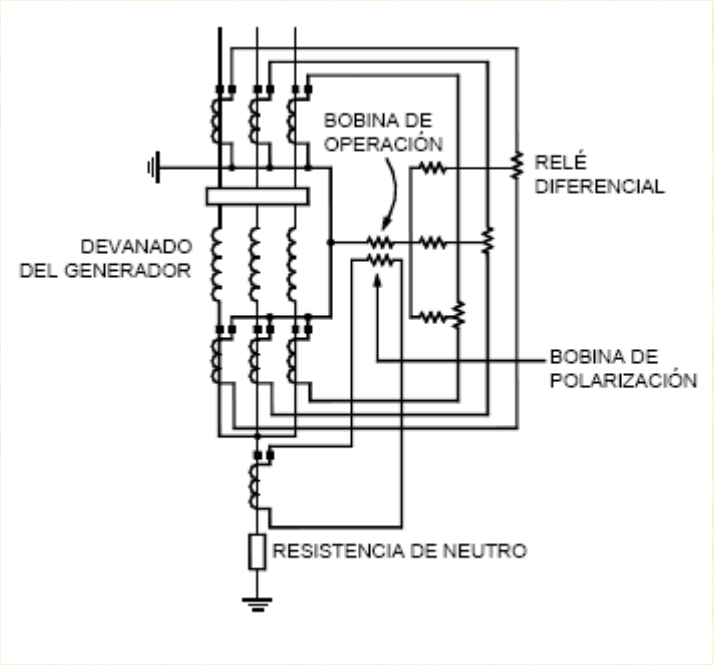
En una puesta a tierra de resistencia baja, dicha resistencia es seleccionada para limitar la contribución del generador a fallas a tierra monofásicas en sus terminales a un rango de corriente entre 200 A y 150 % de la corriente total de carga.
Con este rango de corrientes de falla disponibles, el relé diferencial alcanza a dar protección de fallas a tierra. Sin embargo, como la protección
diferencial no brinda protección de falla a tierra para todo el devanado de fase del estator, es una práctica común utilizar, como complemento, una protección sensible para fallas a tierra.; esta protección puede se puede implementar con un relé direccional de corriente polarizado o con un relé de sobrecorriente temporizado.

Protección Para fallas en la maquina

FALLAS ELECTRICAS

C) Protección contra fallas a tierra del estator.

Cuando se usa un relé de sobrecorriente direccional, la bobina de polarización es energizada desde un transformador de corriente en el neutro del generador mientras que la bobina de operación está en el esquema de la protección diferencial del relé.

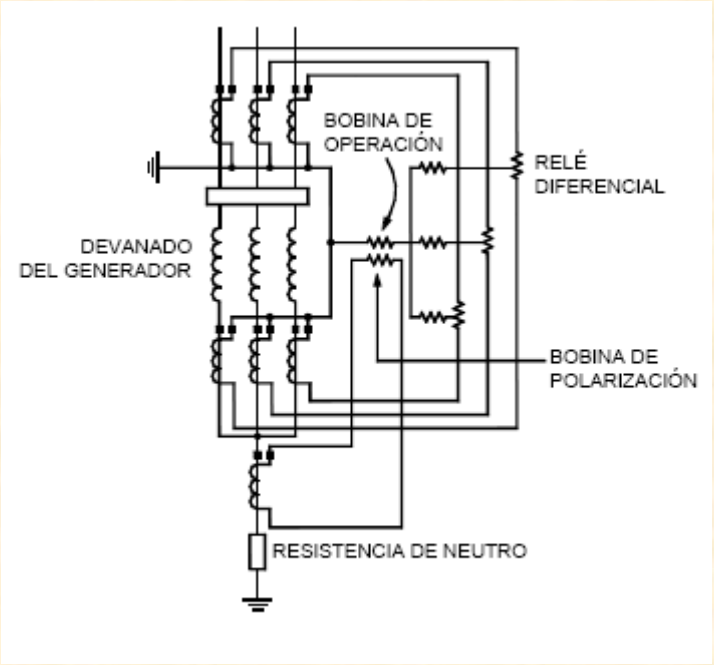


Protección Para fallas en la maquina

FALLAS ELECTRICAS

C) Protección contra fallas a tierra del estator.

Cuando se usa un relé de sobrecorriente, se conecta un relé sensible de sobrecorriente temporizado en el neutro del esquema diferencial.
En ambos casos, la protección de sobrecorriente a tierra solo detecta fallas cubiertas por la zona diferencial, de allí que se elimina la necesidad de coordinar el tiempo del relé con otros relés del sistema.



Protección Para fallas en la maquina

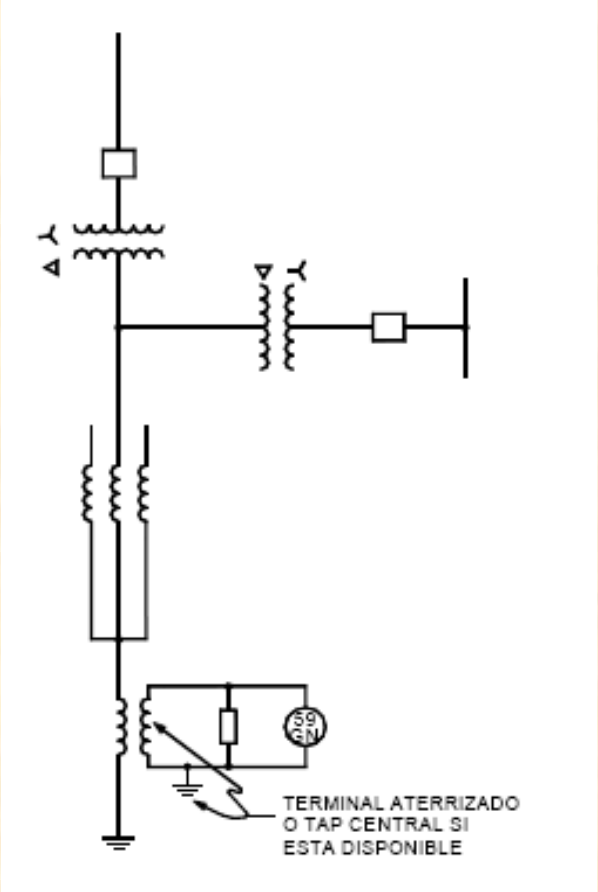
FALLAS ELECTRICAS

C) Protección contra fallas a tierra del estator.

Otros tipos de protección contra falla a tierra son:

Relé de tensión para falla a tierra del generador

Cuando se utiliza el puesta a tierra de alta impedancia para el neutro del generador la corriente de falla a tierra es limitada a valores que el relé diferencial no detecta. Por esto se usa protección de falla a tierra principal y de respaldo.

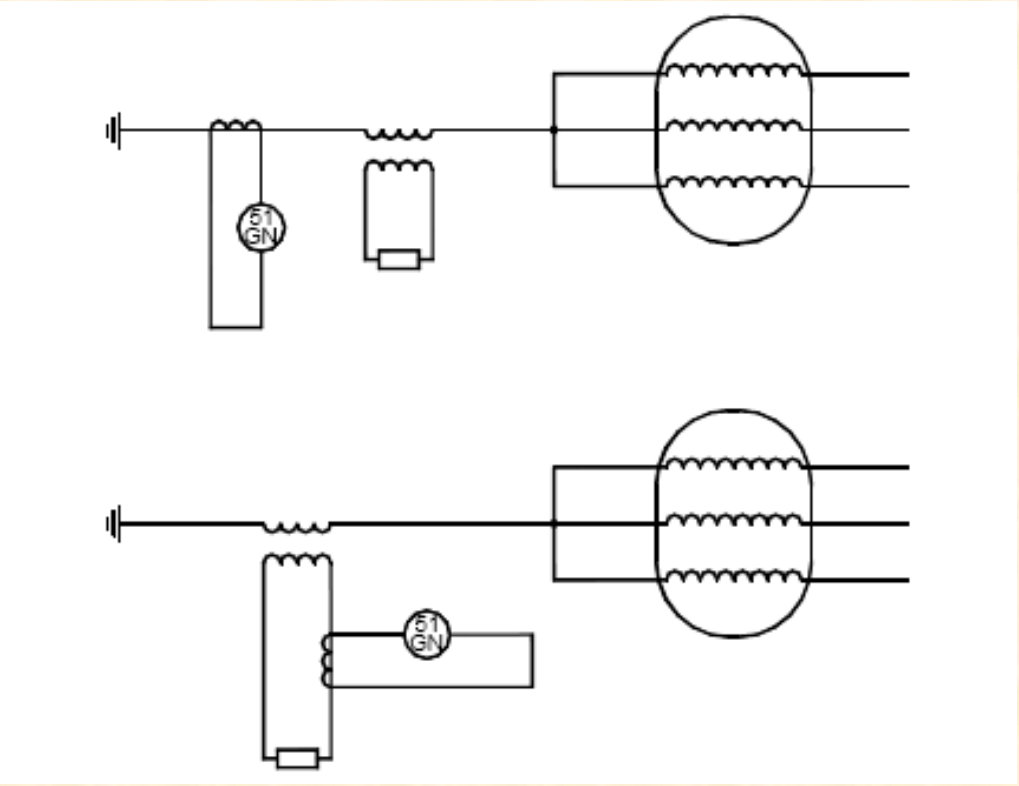


Protección Para fallas en la maquina

FALLAS ELECTRICAS

C) Protección contra fallas a tierra del estator.

Otros tipos de protección contra falla a tierra Son:
Relé de sobrecorriente temporizado



Protección Para fallas en la maquina

FALLAS ELECTRICAS

D) Protección contra fallas a tierra del rotor

Normalmente el sistema de corriente continua que alimenta el rotor está aislado de tierra lo cual implica que una primera falla a tierra no origina ningún efecto dañino, sin embargo, ésta debe ser detectada y aislada dado que una segunda falla podría cortocircuitar una parte del campo, produciendo vibraciones muy perjudiciales para el generador por los desequilibrios que se presentan en el flujo del entrehierro.

1era forma

Inyección de una señal de corriente alterna por medio de un circuito adicional puesto a tierra por un extremo, de tal modo que la corriente sólo podría circular por este circuito cuando ocurra una falla a tierra, y ésta a su vez, activaría el relé de protección

Protección Para fallas en la maquina

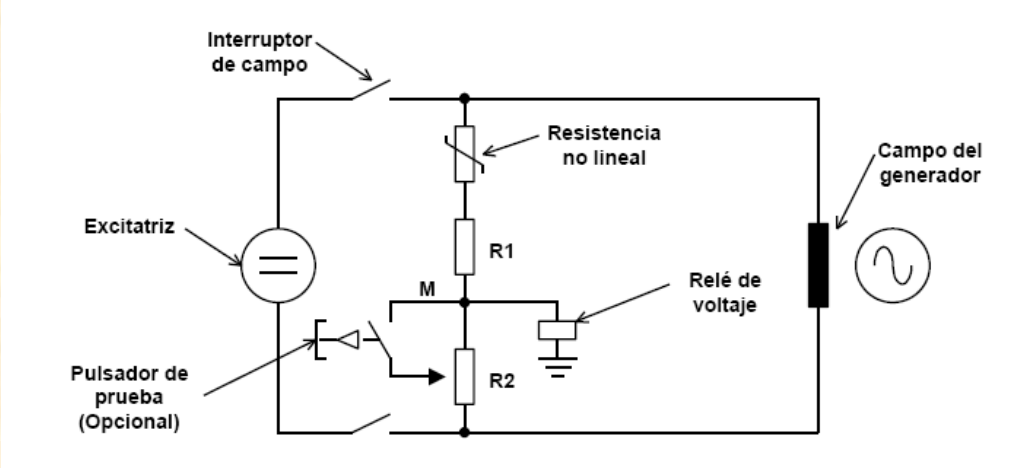
FALLAS ELECTRICAS

D) Protección contra fallas a tierra del rotor

2da forma

Divisor de tensión formado por dos resistencias lineales y una no lineal, cuyo valor resistivo varía con la tensión aplicada. Existe un punto ciego por el divisor de tensión.

Algunos fabricantes no utilizan la resistencia no lineal, sino un pulsador manual que cortocircuita parte de una de las resistencias y para detectar fallas en el punto ciego es necesario presionar el pulsador periódicamente.



Protección Para fallas en la maquina

FALLAS ELECTRICAS

E) Protección contra perdida de excitación

Cuando un generador sincrónico pierde la excitación, funciona como un generador de inducción que gira por encima de la velocidad sincrónica. Cuando el generador pierde la excitación, extrae potencia reactiva del sistema, aumentando de dos (2) a cuatro (4) veces la carga nominal del generador.
En consecuencia, la gran carga reactiva demandada al sistema en estas circunstancias, puede causar una reducción general de la tensión, que a su vez puede originar inestabilidad.

Protección Para fallas en la maquina

FALLAS ELECTRICAS

E) Protección contra perdida de excitación

La excitación se puede perder por:

- Circuito abierto del campo
- Apertura del interruptor del campo
- Cortocircuito en el campo
- Mal contacto de las escobillas
- Daño en el regulador de tensión
- Falla en el cierre del interruptor de campo
- Pérdida de la fuente de alimentación de CA (Excitación estática)

La proteccion usada para detectar la perdida de excitacion es:

E1) Detección de Mínima Corriente

Consiste en ubicar un relé de baja corriente en el campo o algún relé de tipo direccional. Cuando el relé detecta poca o mínima corriente, conecta una resistencia de descarga en paralelo con el devanado del rotor y apenas se descarga el devanado, abre el interruptor de campo.

Protección Para fallas en la maquina

FALLAS ELECTRICAS

E) Protección contra perdida de excitación

E2) Rele de impedancia

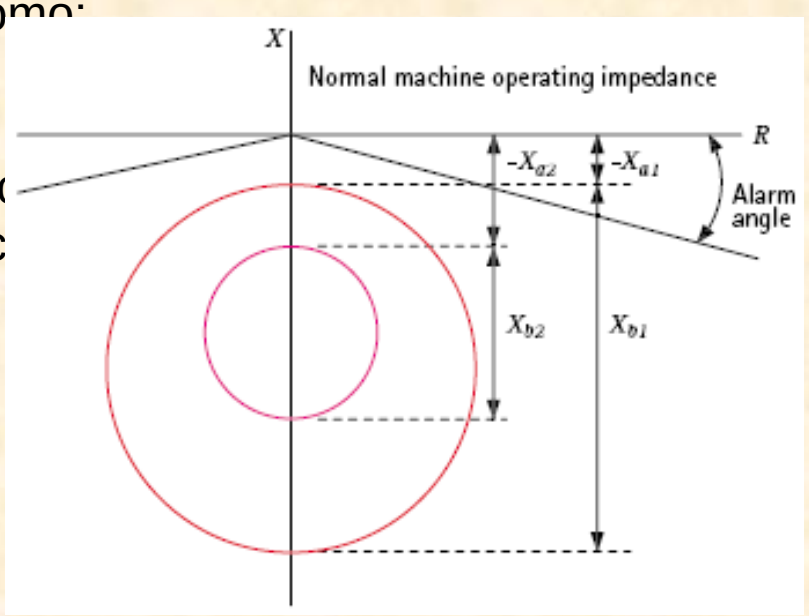
Este es el método más utilizado para proteger el generador contra pérdida de excitación. Se utiliza un relé de impedancia capacitiva (relé de distancia del tipo Mho off set) para detectar el cambio del punto de trabajo de la máquina. A este relé se le ajustan básicamente dos valores: a y b, los cuales se definen como:

a=Xd'/2; b=Xd

Donde:

Xd': Reactancia Transitoria de eje direc

Xd: Reactancia Sincrónica de eje direc



Protección Para fallas en la maquina

FALLAS ELECTRICAS

F) Rele de sobreexcitacion

El generador debe operar satisfactoriamente con los kVA, la frecuencia y el factor de potencia nominales a una tensión un 5% por encima o por debajo de la tensión nominal. Las desviaciones en frecuencia, factor de potencia o tensión por fuera de estos límites, puede causar esfuerzos térmicos a menos que el generador esté específicamente diseñado para estas condiciones. La sobreexcitación puede provocar estas desviaciones por lo cual los esquemas tienen vigilancia y protección por esto.

Protección Para fallas en la maquina

FALLAS ELECTRICAS

F) Rele de sobreexcitacion

terminales ocurre cuando la relación entre la tensión y la frecuencia (volts /Hz) aplicada a los terminales del equipo excede el 1,05 p.u. (base generador) para un generador; y el 1,05 p.u. (base transformador) a plena carga o 1,1 p.u. sin carga en los terminales de alta del transformador. Cuando estas relaciones volts/Hz son excedidas, puede ocurrir saturación magnética del núcleo del generador o de los transformadores conectados y se pueden inducir flujos dispersos en componentes no laminados los cuales no están diseñados para soportarlos. La corriente de campo en el generador también puede aumentar. Esto puede causar sobrecalentamiento en el generador o el transformador y el eventual rompimiento del aislamiento.

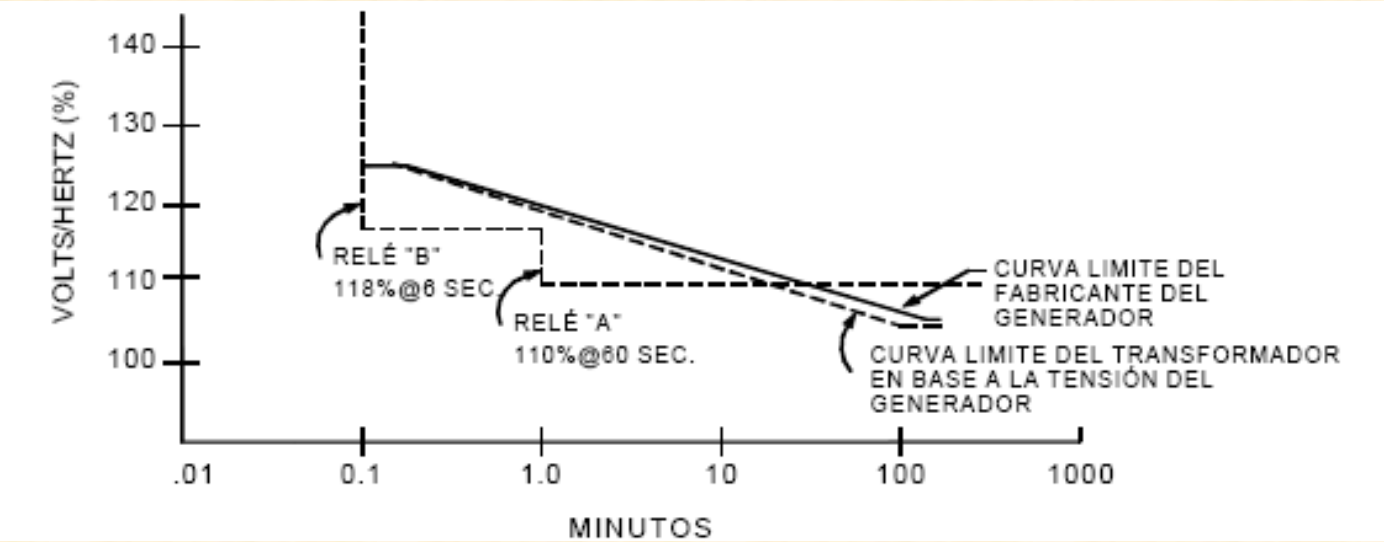
Protección Para fallas en la maquina

FALLAS ELECTRICAS

F) Rele de sobreexcitacion

F1) Rele de sobreexcitacion de tiempo fijo:

Se encuentran diferentes formas de protección disponibles.
Una forma de protección de tiempo fijo utiliza dos relés, el primer relé es fijado a 118-120% volts/Hz y energiza una alarma y un temporizador que dispara de 2 a 6 seg. El segundo relé es fijado a 110% volts/Hz y energiza una alarma y un temporizador que dispara después del tiempo de operación permisible del ajuste de sobreexcitación del primer relé (p.e., 110%) para el generador o el transformador.
Este tiempo es típicamente 40 s a 60 s



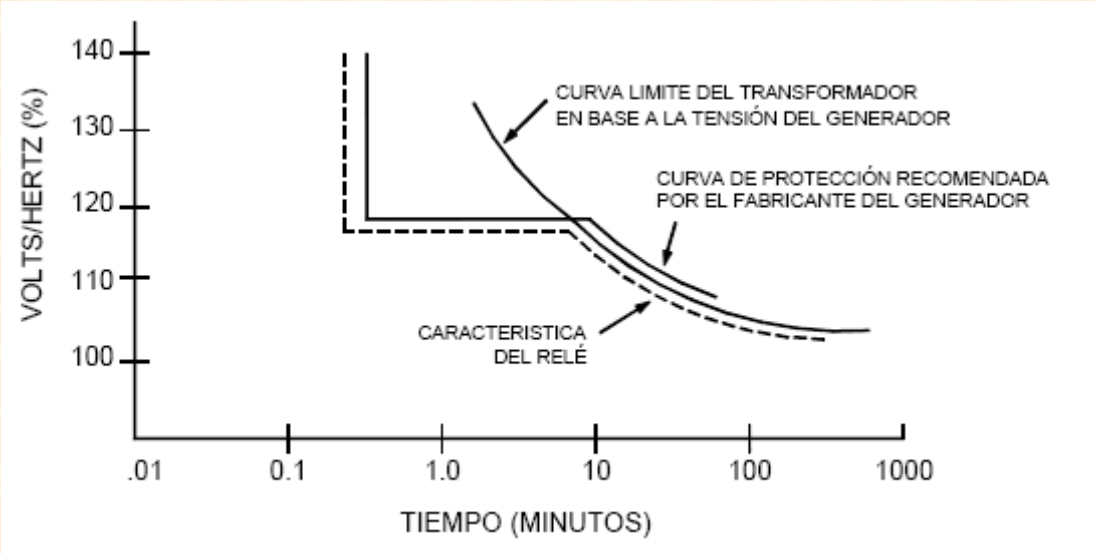
Protección Para fallas en la maquina

FALLAS ELECTRICAS

F) Rele de sobreexcitacion

F2) Rele de sobreexcitacion de tiempo inverso:

Se puede utilizar un relé de sobreexcitación con una característica inversa para proteger el generador o el transformador. Normalmente se puede utilizar un mínimo nivel de operación de excitación y un retardo para dar una aproximación de la característica de sobreexcitación combinada para la unidad generador - transformador.



Protección Para fallas en la maquina

FALLAS MECANICAS

A) Protección contra sobrecalentamiento del estator

En el estator se puede sobrecalentarse por una sobrecarga o falla del sistema de enfriamiento.
Para proteger el estator contra sobrecalentamiento se colocan resistencias detectoras de temperatura (RTD) o termopares en diferentes partes del arrollamiento para
detectar los cambios de temperatura.
Varios de estos detectores se pueden utilizar con un indicador o registrador de temperatura, que puede tener contactos para temperaturas máximas y dar alarma.
Como complemento se puede usar un relé de imagen térmica conectado al secundario de un transformador de corriente.

Protección Para fallas en la maquina

FALLAS MECANICAS

B) Protección de imagen termica

Este tipo de relé opera con el principio de integración de la corriente del generador, calculando el efecto de calentamiento debido a la generación en la máquina ($I^2R * t$). Se debe anotar que esta protección solo detecta sobrecargas reales de la máquina y no operará por problemas térmicos originados por deficiencias en el sistema de refrigeración. Se utiliza en generadores pequeños.

Protección Para fallas en la maquina

FALLAS MECANICAS

C) Protección de vibraciones

La vibración de la máquina puede ser originada por desbalances electromagnéticos, debidos a daños en los devanados del estator o del rotor, a desbalances mecánicos originados por daños en la máquina tales como desprendimientos de partes rotativas y a desajustes mecánicos causados por elementos flojos en la estructura de la máquina o por daños en los cojinetes.

Se emplean tradicionalmente dos principios de detección. Los sensores acelerométricos detectan la aceleración de la pieza sobre la cual están instalados mientras que los sensores magnéticos de proximidad miden el movimiento relativo entre dos piezas. Los primeros son más utilizados para las funciones de alarma y disparo, mientras que los segundos son más empleados para la medida y análisis de las vibraciones, aunque también pueden ser utilizados para protección.

Contenido

1. Protección Para fallas en la maquina (fallas eléctricas y fallas mecánicas)
2. Protección Para fallas externas
3. Esquemas de protección de generadores

Protección contra falla externas

Estas protecciones protegen al generador contra fallas en la red externa, que produzcan exigencias térmicas o dieléctricas elevadas y largas, en caso de que el sistema primario de protecciones de la red no actúe por alguna circunstancia.

A) Proteccion contra sobretensiones
B) Proteccion contra baja tension
C)Proteccion contra motorizacion o potencia inversa
D)Proteccion contra corrientes desbalanceadas del estator
E)Proteccion de respaldo contra fallas externas
E.1) Proteccion de distancia
E.2) Proteccion de sobrecorriente con restriccion de tension
E.3) Rele de baja frecuencia
E.4) Proteccion contra perdida de sincronismo

Protección contra falla externas

A) Proteccion contra sobretensiones

En condiciones normales, los reguladores de tensión asociados con los generadores evitan que se presenten sobretensiones. Por lo tanto, muy a menudo, esta protección se suministra junto con el equipo de regulación de tensión. Si no es así, se dispone de un relé de sobretensión con una unidad retardada que se ajusta al 110% Vn con un retardo entre 1 s y 3 s, así como de una unidad instantánea que se ajusta entre el 130% y el 150% de Vn. Lo más indicado es conectar dicho relé a un transformador de potencial diferente al de
regulación de tensión.

Protección contra falla externas

B) Proteccion contra baja tension

Es adecuado disponer de un relé de protección de baja tensión que desconecte el generador para evitar que los motores de los servicios auxiliares sufran perturbaciones y antes que el nivel de tensión, en el caso de excitación estática, sea insuficiente para la activación de los tiristores. La tensión baja, normalmente no es un problema para el generador en sí mismo, excepto si conlleva una sobrecorriente (falla externa por ejemplo).

Este relé deberá dar disparo instantáneo para tensiones inferiores al 60% de la tensión nominal y disparo retardado o únicamente alarma para tensiones entre el 60% y el 90% de la tensión nominal.

Protección contra falla externas

C) Proteccion contra motorizacion o potencia inversa

Para prevenir la motorización del generador se instala un relé de potencia inversa.

Un generador se comporta como un motor cuando no recibe potencia mecánica suficiente de la turbina y absorbe potencia eléctrica del sistema.

Dependiendo del tipo de turbina se requieren unos porcentajes de potencia inversa para la motorización del generador, así:

· Turbina a vapor: 1 - 3%
· Turbina a gas: 10 - 50%
· Turbina Hidráulica: 0.2 - 3%
· Diesel: 25%

El daño que puede ocurrir en tales condiciones se relaciona con la turbina y no con el generador o el sistema eléctrico, así:

En las turbinas a vapor, la reducción del flujo de vapor reduce el efecto de refrigeración de los álabes de la turbina, presentándose sobrecalentamiento.

En las turbinas a gas se requiere una gran potencia para que se produzca la motorización, por lo tanto, la sensibilidad de la protección contra potencia inversa no es muy importante.

Protección contra falla externas

C) Proteccion contra motorizacion o potencia inversa

En las turbinas hidráulicas, la motorización del generador puede producir la cavitación de los álabes, especialmente en aquellas que trabajan sumergidas o por debajo del nivel de la descarga.
En las máquinas Diesel, durante la motorización se producen grandes esfuerzos en el eje que pueden producir deformaciones permanentes. Además, existe el peligro de incendio o explosión del combustible no quemado.
El relé de potencia inversa es un relé de potencia orientado en dirección del generador. Normalmente este relé tiene una unidad direccional instantánea que controla una unidad de tiempo inverso o tiempo definido. El ajuste del valor de arranque debe ser el recomendado por el fabricante de la turbina lo mismo que la temporización del relé. Estos valores deben ajustarse de un modo tan sensible, que el relé detecte cualquier condición de potencia inversa.

Protección contra falla externas

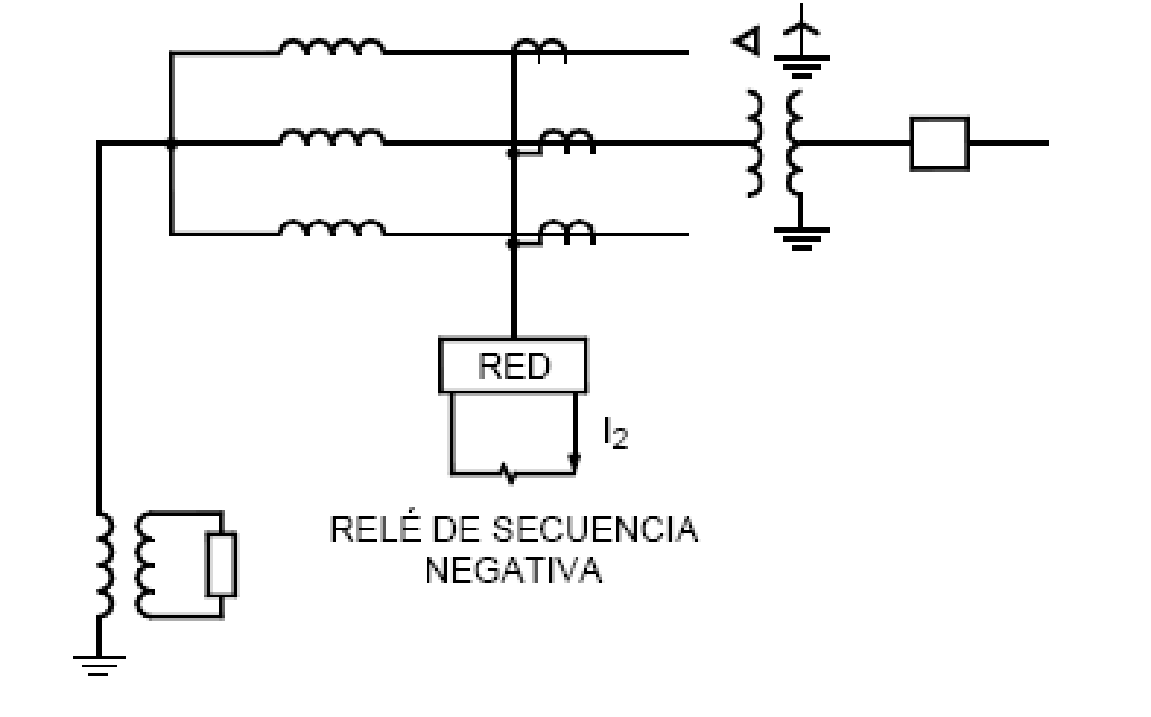
D) Proteccion contra corrientes desbalanceadas en el estator

Hay varias condiciones del sistema que pueden causar corrientes desbalanceadas en el generador. Estas condiciones producen componentes de secuencia negativa de corriente, las cuales se reflejan en el rotor de la máquina como corrientes de frecuencia doble (120 Hz) en las caras rotóricas, en los anillos de retención del devanado en los bordes de las ranuras, en el devanado amortiguador y en menor grado en el devanado de la excitación. Estas corrientes pueden causar temperaturas altas y posiblemente peligrosas en muy corto tiempo.

Es normal tener un protección externa para prever condiciones de desbalance que puedan dañar el generador. Esta protección consiste en un relé de sobrecorriente que responde a las corrientes de secuencia negativa, esta protección utiliza la curva $I2^2 * t$ según la capacidad de corriente de secuencia negativa (I2) de cada tipo de generador.

Protección contra falla externas

D) Proteccion contra corrientes desbalanceadas en el estator



Protección contra falla externas

E) Proteccion de respaldo contra fallas externas

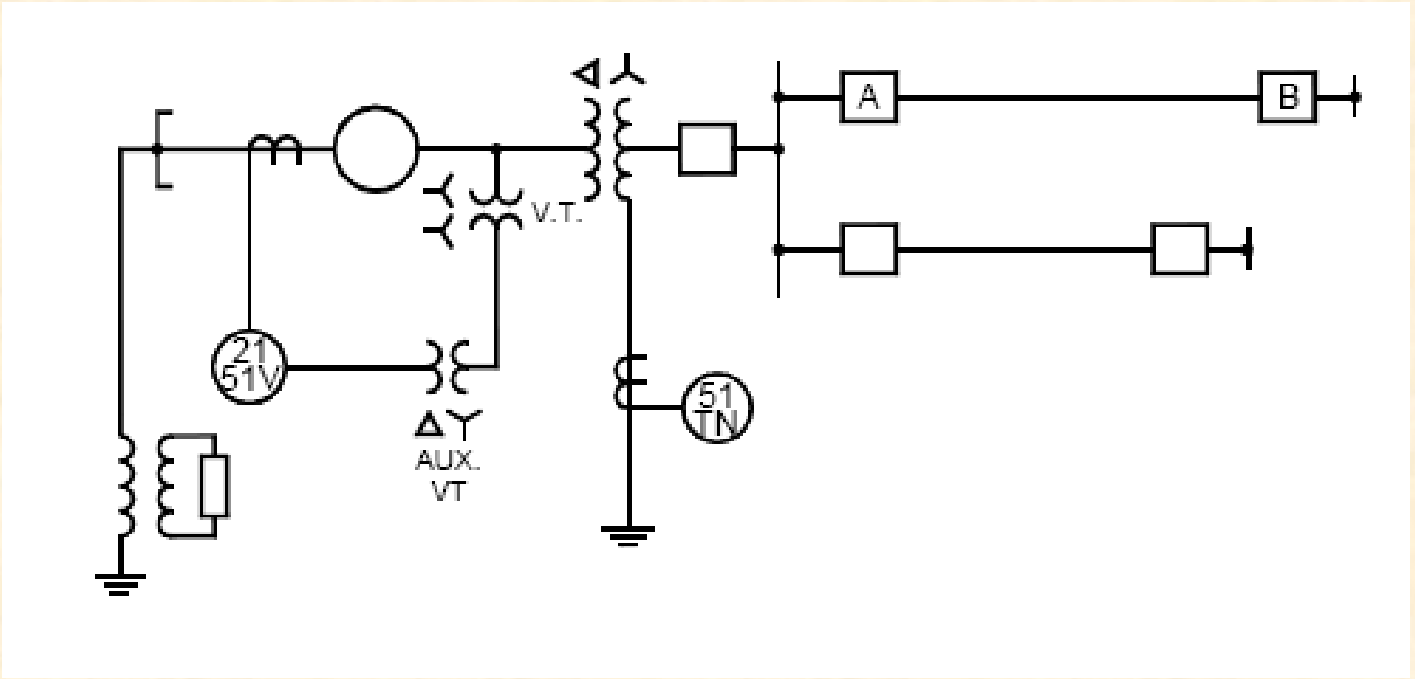
Los generadores usualmente están provistos de un relé de respaldo que desconectará la máquina cuando el esquema de protecciones externo falle en despejar las fallas. Generalmente se utiliza una de dos alternativas; relés de sobrecorriente controlados por voltaje o relés de distancia. Éstos últimos se utilizan cuando los relés de sobrecorriente controlados por voltaje no brindan suficiente seguridad, como en el caso de generadores con excitación estática, en los cuales la caída del voltaje ocasionada por la falla en terminales del generador, impide que el sistema de excitación suministre suficiente campo para que el generador produzca la corriente de falla que haga operar el relé.

Protección contra falla externas

E) Proteccion de respaldo contra fallas externas

E1) Proteccion de distancia

Este relé es usado como respaldo para fallas de fases del sistema. Generalmente el relé de distancia es de característica Mho.



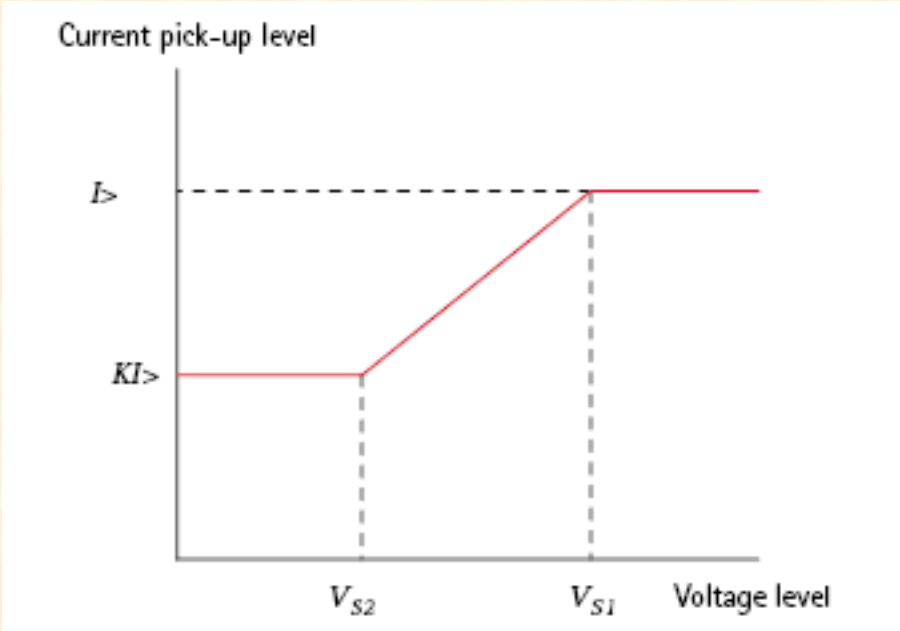
Protección contra falla externas

E) Proteccion de respaldo contra fallas externas
E1) Rele de sobrecorriente con restriccion de tension

Existen dos tipos de relés de sobrecorriente utilizados para dar respaldo, un relé de sobrecorriente temporizado con restricción de tensión o un relé de sobrecorriente temporizado con control de tensión. Ambos están diseñados para restringir la operación bajo condiciones de sobrecarga y dar sensibilidad durante la ocurrencia de fallas.
En el relé con restricción de tensión, la corriente de arranque varía en función de la tensión aplicada al relé. Para un tipo de relé, con una tensión de restricción cero la corriente de arranque es el 25% del valor de arranque con tensión de restricción del 100%.
En el relé con control de tensión, el arranque del relé de sobrecorriente es controlado por un nivel mínimo en un relé de tensión. En niveles de tensión de operación normal el relé de tensión está accionado y restringe la operación del relé de sobrecorriente. Bajo condiciones de falla, el relé de tensión permite la operación del relé de sobrecorriente.

Protección contra falla externas

E) Proteccion de respaldo contra fallas externas
E1) Rele de sobrecorriente con restriccion de tension



Protección contra falla externas

E) Proteccion de respaldo contra fallas externas
E3) Proteccion de baja frecuencia

Cuando hay pérdida de generación, la frecuencia baja a valores por debajo de los normales.

En general la operación de una turbina del generador a frecuencia baja es más crítica que la operación a frecuencia alta ya que el operador no tiene opción de controlar la acción. De allí que se recomienda protección de baja frecuencia para turbinas de gas o vapor.

La turbina es usualmente considerada más restringida que el generador a operar con frecuencia reducida, ya que ésta es la causa de resonancia mecánica en sus álabes. Las desviaciones de la frecuencia nominal pueden generar frecuencias cercanas a la frecuencia natural de los álabes y por lo tanto incrementar los esfuerzos vibratorios. Los incrementos en los esfuerzos vibratorios, pueden acumularse y agrietar algunas partes de los álabes.

Protección contra falla externas

E) Proteccion de respaldo contra fallas externas
E4) Proteccion contra perdida de sincronismo

El generador puede perder estabilidad por: tiempos largos de fallas, baja excitación de la máquina, baja tensión del sistema, alta impedancia entre el generador y el sistema u operaciones de conmutación en alguna línea.

Cuando un generador pierde el sincronismo, los picos de corrientes y la operación a frecuencia diferente a la de la red, causan esfuerzos en los devanados, torques de pulsación y resonancia mecánica que potencialmente dañan el generador.

Con el fin de minimizar el daño, el generador debe disparar **instantáneamente**, preferiblemente durante la primera mitad del ciclo de deslizamiento de una pérdida de sincronismo.

Protección contra falla externas

E) Proteccion de respaldo contra fallas externas

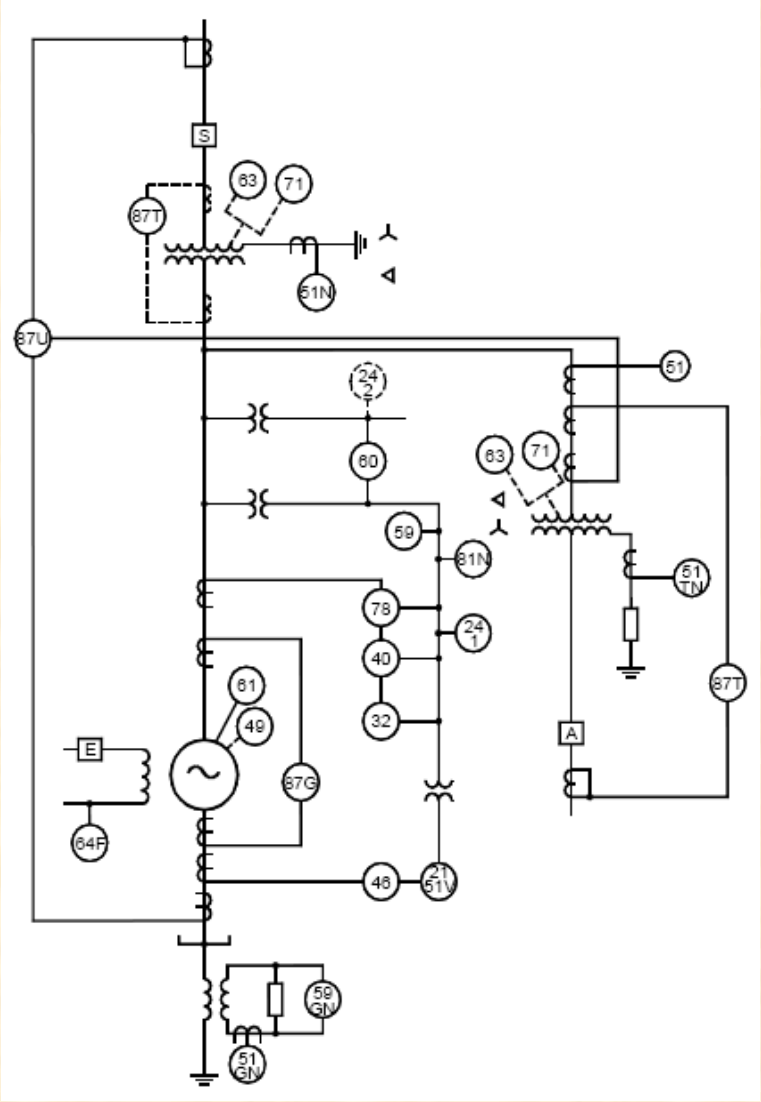
E4) Proteccion contra perdida de sincronismo

El relé de pérdida de excitación brinda protección contra la pérdida de sincronismo, **pero no detectar la pérdida de sincronismo para todas las condiciones del sistema**. ➔ se debe suministrar una protección adicional si durante la pérdida de sincronismo el centro eléctrico está localizado en la región entre los terminales de alta tensión del transformador elevador del generador y el generador. Esta protección puede también ser necesaria si el centro eléctrico está afuera en el sistema y las protecciones sistémicas son lentas o no pueden detectar la pérdida de sincronismo.

En lo correspondiente a una pérdida de sincronismo debido a una falla externa, contrario a la creencia intuitiva que los cortocircuitos en la red frenan los generadores, las fallas externas aceleran las máquinas, al perderse la capacidad de transportar energía activa que continua aplicada mecánicamente al generador. Esta situación puede llevar al deslizamiento de polos y a la pérdida de sincronismo.

Contenido

1. Protección Para fallas en la maquina (fallas eléctricas y fallas mecánicas)
2. Protección Para fallas externas
3. Esquemas de protección de generadores

Esquemas de proteccion de generadores

Configuracion Unidad de Generador - Transformador