

Sistemas de Protección

Curso:
Estabilidad de Sistemas Eléctricos de Potencia

Celia Sena, Ricardo Franco Noviembre - 2007

Desarrollo de la presentación

- **Protecciones**
funciones, características
- **Protección de líneas de transmisión**
sobrecorriente, distancia
- **Relé de distancia**
faltas, características, comunicación
- **Protección ante oscilación de potencia (inestabilidad transitoria)**
comportamiento del relé de distancia, bloqueo, disparo, características, métodos, mejora de la estabilidad transitoria
- **Protección ante inestabilidad en frecuencia**
fenómeno, prot. de los generadores y del sistema

2

Desarrollo de la presentación

- **Protecciones**
funciones, características
- **Protección de líneas de transmisión**
sobrecorriente, distancia
- **Relé de distancia**
faltas, características, comunicación
- **Protección ante oscilación de potencia (inestabilidad transitoria)**
comportamiento del relé de distancia, bloqueo, disparo, características, métodos, mejora de la estabilidad transitoria
- **Protección ante inestabilidad en frecuencia**
fenómeno, prot. de los generadores y del sistema

3

Función de los sistemas de protección (SdP)

- remover del servicio cualquier equipo que comienza a operar en forma anormal (rápidamente)
- sacar de servicio el equipo en falta (rápidamente)
- limitar el daño a los equipos
- mantener la integridad y estabilidad del sistema de potencia

4

Estabilidad transitoria

- Habilidad que tiene el sistema de potencia (SEP) de mantener el sincronismo cuando está sometido a grandes perturbaciones
- El comportamiento de los SdP durante el período transitorio de una perturbación, es importante para la estabilidad del SEP

5

Protecciones Principales y Protecciones de Respaldo

Razones

- asegurar que si la protección principal falla en despejar una falta, la protección de respaldo lo haga
- proteger aquellas partes del SEP que la protección principal no protege (por la ubicación de sus transformadores de medida)

9

Desarrollo de la presentación

- **Protecciones**
funciones, características
- **Protección de líneas de transmisión**
sobrecorriente, distancia
- **Relé de distancia**
faltas, características, comunicación
- **Protección ante oscilación de potencia (inestabilidad transitoria)**
comportamiento del relé de distancia, bloqueo, disparo, características, métodos, mejora de la estabilidad transitoria
- **Protección ante inestabilidad en frecuencia**
fenómeno, prof. de los generadores y del sistema

12

Protección de las líneas de transmisión

El comportamiento de los SdP durante el período transitorio de una perturbación, es importante para la estabilidad del SEP

El particular los SdP de las:
líneas de transmisión.

13

Protecciones usadas para una línea o cable de transmisión

- **Relé de sobrecorriente**
 - temporizados e instantáneos
 - no direccionales y direccionales
 - direccionales con comunicación
- **Relé diferencial de línea**
- **Relé de distancia**
 - sin comunicación
 - con comunicación

15

Relé de sobrecorriente

- La forma más barata y simple de proteger una línea de transmisión
- **PERO** necesita ser reajustado cuando cambian las condiciones del SEP

16

Relé de sobrecorriente

- **No direccional**
 - temporizado e instantáneo
- **Direccional**
 - temporizado e instantáneo
- **Direccionales con comunicación**

17

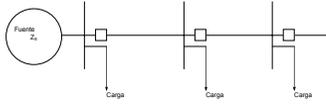
Problemas con los relés de sobrecorriente

- **Dificultad para discriminar entre**
 - corriente de carga
 - corriente de falta
 - (no siempre es posible)

18

Problemas con los relés de sobrecorriente

- Icc depende de la impedancia de la fuente

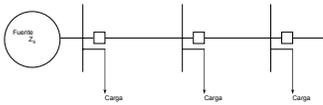


- la zona protegida por un relé de sobrecorriente depende fuertemente de la configuración del SEP.

19

Uso de relé de sobrecorriente

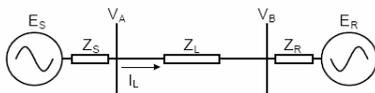
- líneas de transmisión radiales
- como faltas en ellas no afectan la estabilidad transitoria del sistema, no se precisan instantáneos de disparo



20

Uso de relé de sobrecorriente

- líneas de transmisión donde hay alimentación desde ambos extremos relés de sobrecorriente direccional con o sin esquemas de teleprotección



21

Desarrollo de la presentación

- **Protecciones**
funciones, características
- **Protección de líneas de transmisión**
sobrecorriente, distancia
- **Relé de distancia**
faltas, características, comunicación
- **Protección ante oscilación de potencia (inestabilidad transitoria)**
comportamiento del relé de distancia, bloqueo, disparo, características, métodos, mejora de la estabilidad transitoria
- **Protección ante inestabilidad en frecuencia**
fenómeno, prof. de los generadores y del sistema

22

Relé de distancia

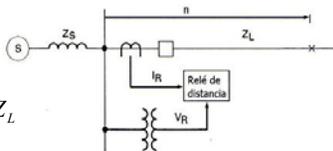
- Se instalan donde se precisan **tiempos instantáneos** de despeje de las faltas.
- Ventajas de los relés de distancia sobre los relés de sobrecorriente:
 - Mayor zona de operación instantánea
 - Mayor sensibilidad
 - Más fáciles de ajustar y coordinar
 - No son afectados por los cambios en la configuración del sistema de potencia

23

Relé de distancia

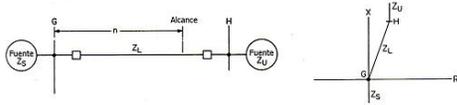
- El relé de distancia calcula el **cociente** entre la tensión y la corriente, en su ubicación en el sistema de potencia.
- En las líneas de transmisión la **longitud** de la misma es **proporcional** a la **impedancia**.

$$Z_V = \frac{V_R}{I_R} = \frac{I_R n Z_L}{I_R} = n Z_L$$

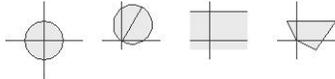


Relé de distancia

- Representación de la línea (plano R-X)



- Características de operación

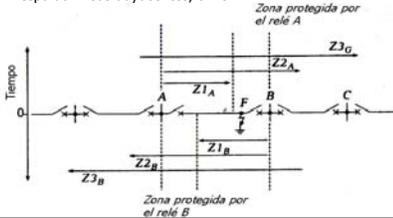


25

Relé de distancia

- Esquema básico:

- Comprende 3 zonas de operación:
- Zona 1: 80% de la línea, $t=0ms$
- Zona 2: 120% de la línea, $t=0.3 - 0.6s$
- Zona 3: Respaldo líneas adyacentes, $t > 1s$



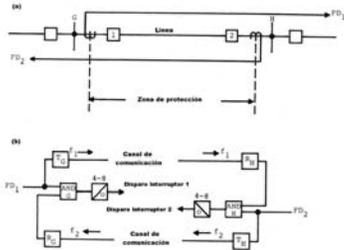
Relé de distancia

- Relés de distancia con comunicación
 - Disparos **instantáneos** en toda la línea
- Medios de comunicación
 - Onda portadora
 - Microonda
 - Fibra óptica
- Los esquemas de comunicación se clasifican en:
 - Transferencia de disparo
 - Bloqueo

27

Relé de distancia

- Transferencia de disparo: Esquema de sobrealcance



28

Desarrollo de la presentación

- **Protecciones**
funciones, características
- **Protección de líneas de transmisión**
sobrecorriente, distancia
- **Relé de distancia**
faltas, características, comunicación
- **Protección ante oscilación de potencia (inestabilidad transitoria)**
comportamiento del relé de distancia, bloqueo, disparo, características, métodos, mejora de la estabilidad transitoria
- **Protección ante inestabilidad en frecuencia**
fenómeno, prot. de los generadores y del sistema

29

Oscilación de potencia

- El sistema de potencia, en régimen estacionario, opera **muy cerca** de su frecuencia nominal y las magnitudes de las tensiones en las diferentes barras **no varían** más de un 5%.
- Existe una **balance** entre la potencia activa y reactiva generada y la consumida.

30

Oscilación de potencia

- Cualquier cambio en la potencia generada, potencia demanda o en el sistema de potencia causa **cambios** en la potencia del sistema, oscilando hasta alcanzar otro punto de equilibrio entre la generación y la carga.
- Estos cambio ocurren permanentemente y son compensados por los sistemas de control.

31

Oscilación de potencia

- Faltas en el sistema de potencia
- Conexiones de líneas de transmisión
- Desconexiones de generadores
- Pérdida o aplicación de grandes bloques de carga

Causan

= **Oscilaciones de potencia**

- Dependiendo de la perturbación y de la acción de los controladores las oscilaciones pueden ser

= **Estables**

= **Inestables**

32

Oscilación de potencia

- La oscilación de potencia puede hacer que la impedancia vista por un relé **entre** en su característica de operación.
- La **operación** de estos relés puede hacer que salgan de servicio líneas de transmisión u otros componentes, haciendo **más débil** el sistema, **aumentando** la gravedad de la perturbación.

33

Oscilación de potencia

- Los relés de distancia propensos a operar durante una oscilación de potencia **deben ser bloqueados** temporalmente.
- En los relés de distancia modernos se tienen disponibles las funciones:
 - **PSB**: Bloqueo por oscilación de potencia (power swing blocking).
 - **OST**: Disparo por oscilación de potencia (out-of-step tripping).

34

Oscilación de potencia

- PSB: Bloqueo por oscilación de potencia:
 - Esta función diferencia entre una **falta** y una **oscilación de potencia**.
 - **Bloquea** el relé de distancia, previene el disparo durante una oscilación de potencia.
 - Debe **detectar** y **despejar** las faltas que ocurren durante una oscilación de potencia.

35

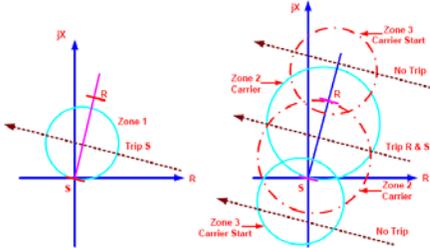
Oscilación de potencia

- OST: Disparo por oscilación de potencia:
 - Esta función diferencia entre una oscilación **estable** de una **inestable**.
 - Permite **disparar** algunos elementos del sistema para evitar el daño de los equipos y que la perturbación se extienda por el sistema.

36

Oscilación de potencia

- Efecto de la oscilación de potencia en los relés de distancia.



Oscilación de potencia

- Con la separación del sistema en áreas no siempre se alcanza el balance generación-carga, en cada una de ellas.
- En estos casos, se implementa un sistema de **rechazo de carga** o **disparo de generación**, para evitar el apagón en esas áreas.

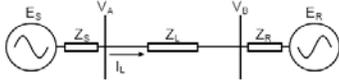
38

Oscilación de potencia

- Los relés de distancia responden a los valores de secuencia positiva.
- La impedancia medida por el relé durante una oscilación de potencia varía en función del ángulo δ , entre las tensiones equivalentes del sistema.

39

Oscilación de potencia



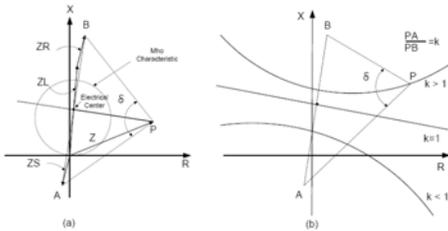
- E_S está desfasada δ de E_R
- Impedancia medida por los relés de distancia en A

$$Z = \frac{V_A}{I_L} = \frac{(Z_S + Z_L + Z_R)}{2} (1 - j \cot \frac{\delta}{2}) - Z_S$$

40

Oscilación de potencia

- Trayectoria de la impedancia durante una oscilación de potencia



Oscilación de potencia

- Métodos convencionales:
 - Se basan en el cálculo de la impedancia de secuencia positiva.
 - Régimen estacionario: la impedancia medida es la impedancia de carga.
 - Durante una falta: la impedancia se mueve **rápido** desde la impedancia de carga hasta la de falta.
 - Oscilación de potencia: la impedancia se mueve **lento**.

42

Oscilación de potencia

- Los esquemas convencionales de PSB utilizan la diferencia en la **velocidad** de la impedancia para **diferenciar** entre una falta y una oscilación de potencia.

43

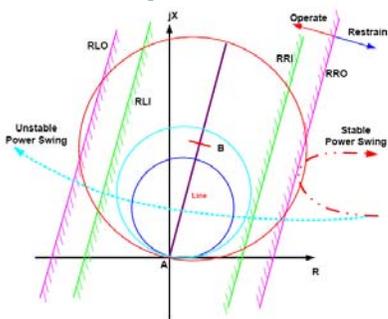
Oscilación de potencia

Características blinder (2 rectas):

- Para medir la velocidad de la variación de la impedancia, mide el **tiempo** que requiere la impedancia para atravesar dos rectas.
- Se **optimiza** el esquema si las rectas son paralelas a la impedancia de la línea.

44

Oscilación de potencia



45

Oscilación de potencia

Características blinder (1 recta):

- Este tipo de esquema se utiliza como OST.
- Este esquema **retrasa** el disparo hasta que la oscilación ya pasó los 180° y están volviendo a ponerse en fase las tensiones.

46

Protección. Métodos para mejorar la estabilidad transitoria

Acciones tendientes a:

- 1) Minimizar la severidad de las faltas y su duración
- 2) Aumentar las fuerzas sincronizantes
- 3) Reducir los pares acelerantes

58

Protección. Métodos para mejorar la estabilidad transitoria

Despejar los defectos rápidamente

- Funciones de protección instantáneas y de alta velocidad
 - tiempo crítico de despeje de las faltas
 - tiempos inherentes a los relés numéricos
- Disminuyendo la duración de los cortocircuitos, disminuye la energía cinética que ganan los rotores de los generadores.

59

Protección.

Métodos para mejorar la estabilidad transitoria

Disparo monopolar de interruptores (recierre monopolar para defectos FT).

- Durante el tiempo muerto buena parte de la potencia de prefalta se sigue transfiriendo por las fases "sanas" de la línea
- Reduce el embalaje de los generadores.

61

Protección.

Métodos para mejorar la estabilidad transitoria

Cierre dinámico

(insertar cargas cerca de los generadores durante el transitorio)

- Fuerza un consumo de potencia activa
- Reduce o evita la aceleración de los generadores

62

Protección.

Métodos para mejorar la estabilidad transitoria

Fast Valving (turbinas a vapor)

- Reducir la potencia mecánica de los generadores ante ciertas perturbaciones, como mejor alternativa que sacarlos de servicio.

63

Protección.

Métodos para mejorar la estabilidad transitoria

Disparo de generadores.

- Puede ser útil ante oscilaciones inestables de potencia
- Protege al generador pero no necesariamente al sistema
- puede aumentar el desbalance de potencias en el SEP

64

Protección.

Métodos para mejorar la estabilidad transitoria

Disparo controlado.

- OST, convirtiendo el SEP en islas con balance entre generación y carga.
- Además puede ser necesario disparar carga (load shedding)
- Uso de Sistemas Especiales de Protección (SPS) o Wide Area Protection (WAP) o Protecciones Sistémicas.

65

Protección.

Métodos para mejorar la estabilidad transitoria

Reducción de la reactancia del sistema.

- Inserción momentánea de capacitores serie en líneas o subestaciones
- Aumenta el margen de estabilidad al aumentar la potencia máxima transferible

$$P_c = \frac{E_R E_S}{X_T}$$

66

Desarrollo de la presentación

- **Protecciones**
funciones, características
- **Protección de líneas de transmisión**
sobrecorriente, distancia
- **Relé de distancia**
faltas, características, comunicación
- **Protección ante oscilación de potencia (inestabilidad transitoria)**
comportamiento del relé de distancia, bloqueo, disparo, características, métodos, mejora de la estabilidad transitoria
- **Protección ante inestabilidad en frecuencia**
fenómeno, prot. de los generadores y del sistema

68

Estabilidad en frecuencia

Habilidad de un SEP
de restablecer la frecuencia
luego de una perturbación severa
de desbalance entre generación y carga

69

Inestabilidad en frecuencia

Asociada a:

- insuficiente respuesta de los equipos
- coordinación insuficiente entre controles y protecciones
- insuficiente reserva de generación

70

Estabilidad en frecuencia

Lograrla con mínima pérdida de carga

Pérdida de carga:

- indeseado
- pero a veces inevitable

71

Estabilidad en frecuencia de corto plazo

Las acciones típicamente son:

- disparos de carga por subfrecuencia (underfrequency load shedding)
- otros métodos no son útiles pues se requieren acciones rápidas

74

Estabilidad en frecuencia de corto plazo

Ecuación de Swing de un área A del SEP

$$\frac{2H_A}{\omega_0} \frac{d\omega_A}{dt} + \frac{K_D}{\omega_0} \omega_A = P_{mA} - P_{eA}$$

Si sale de servicio en forma intempestiva una unidad generadora

se pierde el balance entre potencias

$$\sum_{i=1}^n P_{mi} < \sum_{i=1}^n P_{ei} \quad (P_{mA} < P_{eA})$$

75

Estabilidad en frecuencia de corto plazo

La frecuencia del sistema comienza a disminuir

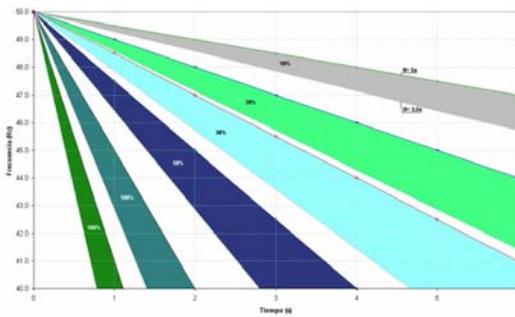
$$f_A \approx \left(1 + \frac{P_{mA} - P_{eA}}{2H_A} t\right) f_0$$

La variación de la frecuencia tiene pendiente negativa, paramétrica en:

- la inercia H_A
- la sobrecarga $P_{eA} - P_{mA}$

77

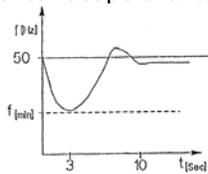
Estabilidad en frecuencia de corto plazo



78

Estabilidad en frecuencia de corto plazo

Un sistema con un desbalance entre generación y carga, llega a una frecuencia mínima y posteriormente recupera una frecuencia estable



79

Protección de frecuencia De generadores y turbinas

- Pueden resultar dañados si (estando cargados) funcionan fuera de su frecuencia nominal.
- Los generadores tienen protecciones de sobre y subfrecuencia (de nivel o frecuencia absoluta ($f < >$),
- Los desconectan del SEP si f es inadmisibles para ellos

80

Protección de frecuencia del SEP

Si se desconecta intempestivamente importante generación en un SEP, la frecuencia del SEP comienza a disminuir (por desbalance de potencias).

Si por esta razón salen de servicio otros generadores, disparados por sus relés de subfrecuencia, la situación empeora (más desbalance de potencias)

81

Protección de frecuencia del SEP

La principal protección sistémica, ante salidas intempestivas de generadores son:

- Esquemas de disparo de carga por subfrecuencia
para recobrar el balance de potencias (y la estabilidad en frecuencia)

82

Protección de frecuencia del SEP

Disparo de carga por subfrecuencia.

- Disparar carga en la cantidad mínima necesaria y no más.
 - Disparo insuficiente
no evitará que la caída de la frecuencia continúe
 - Disparo excesivo
producirá cortes innecesarios a ciertas cargas

83

Protección de frecuencia del SEP

Para disparar carga

En forma clásica se usan relés de protección en distintos puntos (SSEE) del SEP

Principios de operación para detección de subfrecuencia:

- nivel o frecuencia absoluta ($f <$), o
- derivada o pendiente de la frecuencia ($df/dt <$)

84

Protección de frecuencia del SEP

Protección por subfrecuencia ($f <$)

- Puede ser temporizada o instantánea
- La frecuencia debe haber descendido hasta el umbral ajustado $f = f_{aj}$
(se detecta ya avanzado el fenómeno)

Protección por derivada de la frecuencia ($df/dt <$)

- Puede ser temporizada o instantánea
- Se detecta en etapas tempranas del fenómeno

85
