



FACULTAD DE  
INGENIERIA



UNIVERSIDAD  
DE LA REPUBLICA  
URUGUAY

# Protección Sistémica ante Oscilaciones de Potencia Estabilidad Transitoria

Curso: ESEP

IIE-FING-UdelaR 2022

# Oscilación de potencia

- El sistema de potencia, en régimen estacionario, opera muy cerca de su frecuencia nominal  $(1 \pm 0.5\%)f_N$  y las tensiones en las diferentes barras están cerca de la tensión nominal  $(1 \pm 10\%)U_N$
- Existe un **balance** entre la potencia activa y reactiva generada y la consumida.

# Oscilación de potencia

- Cualquier cambio en la potencia generada, potencia demanda o en el sistema de potencia causa **cambios** en él, 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.

# 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

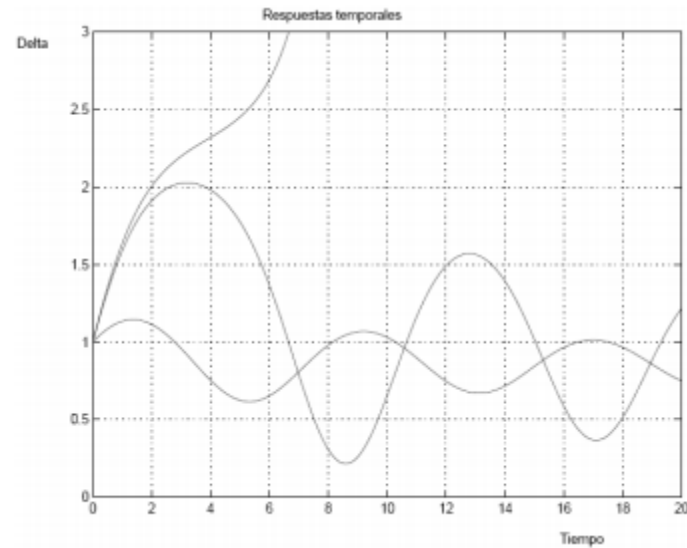
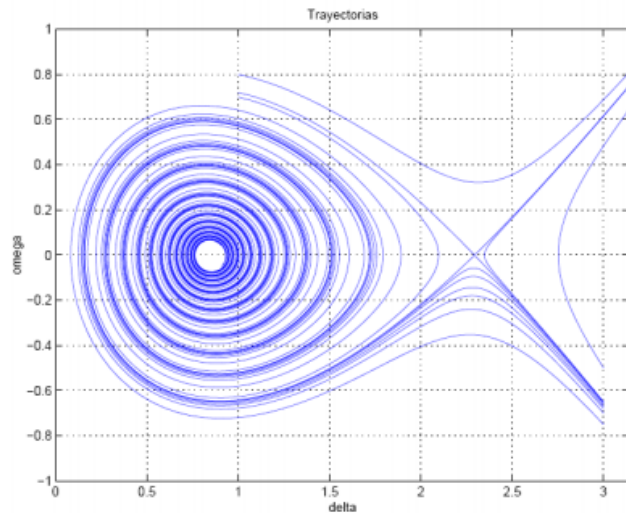
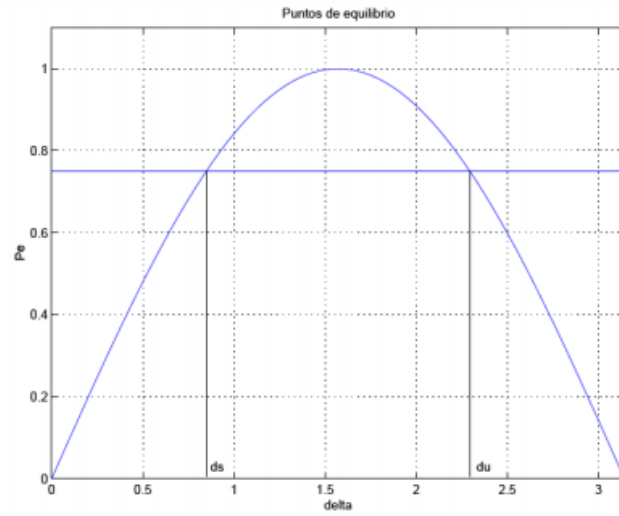
⇒ **Oscilaciones de potencia**

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

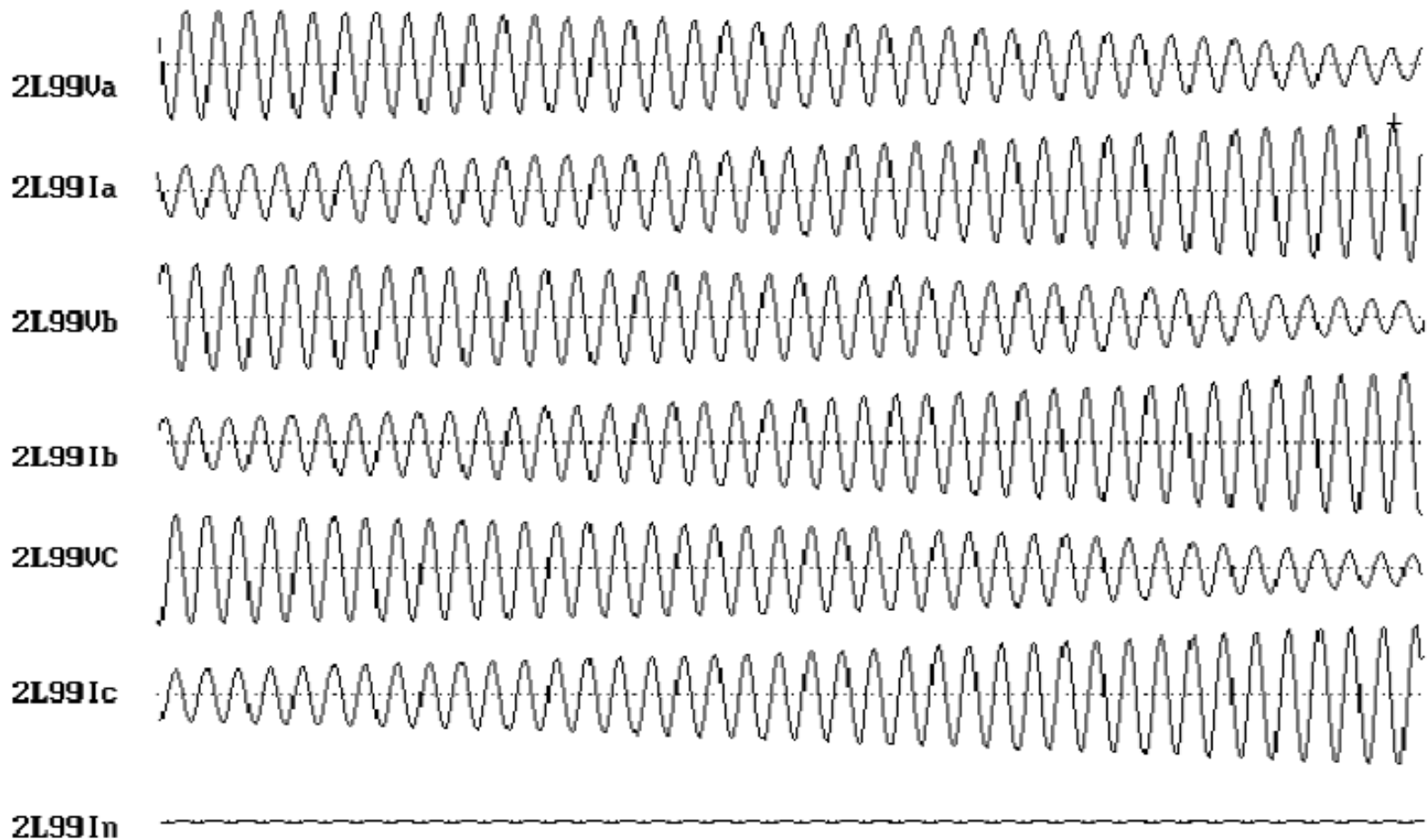
⇒ **Estables**

⇒ **Inestables**

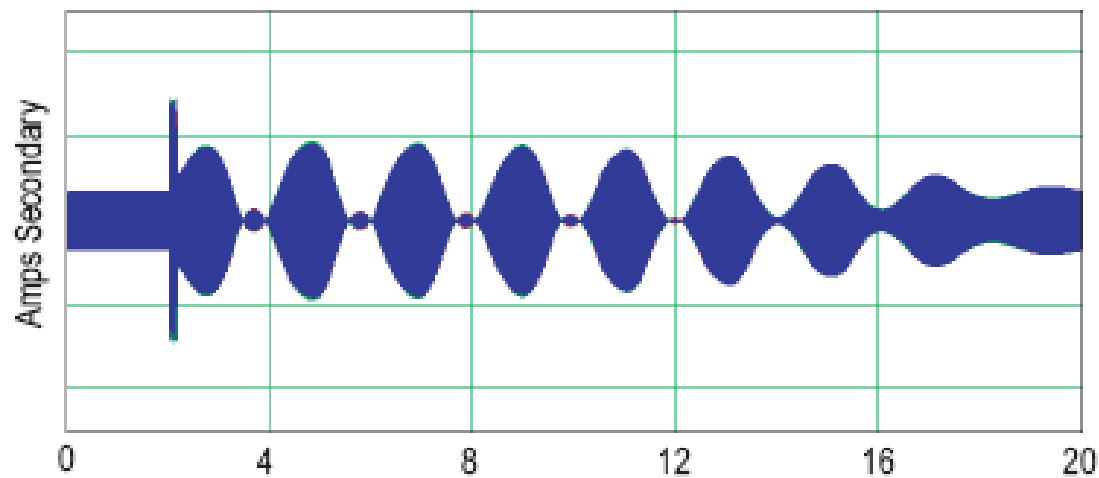
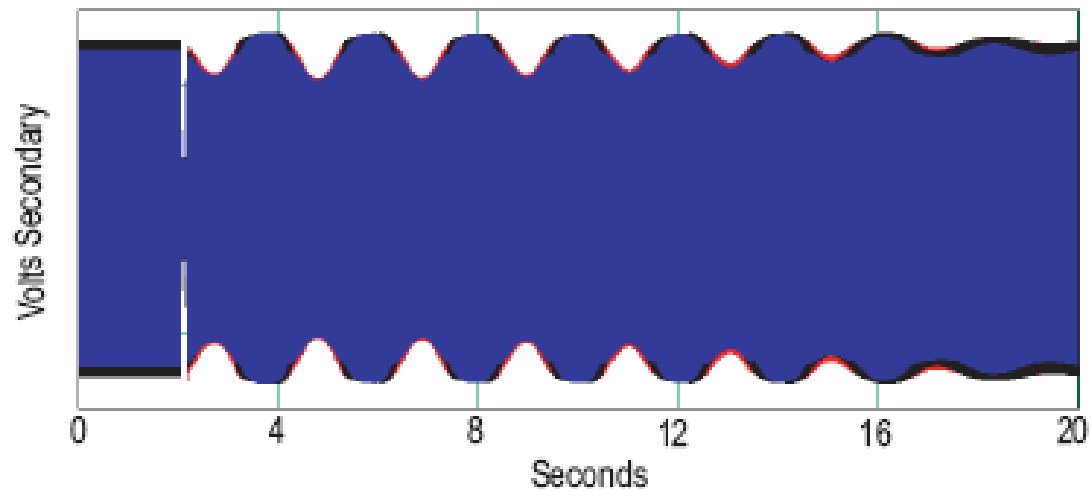
# Oscilaciones de potencia. Estabilidad transitoria de ángulo.



# Formas de onda de oscilaciones de potencia (oscilografías)

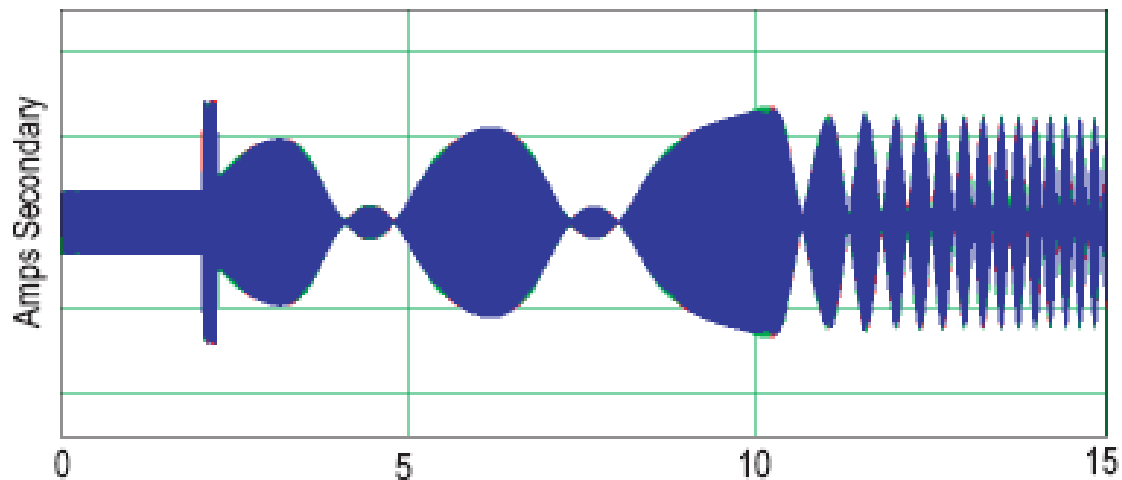
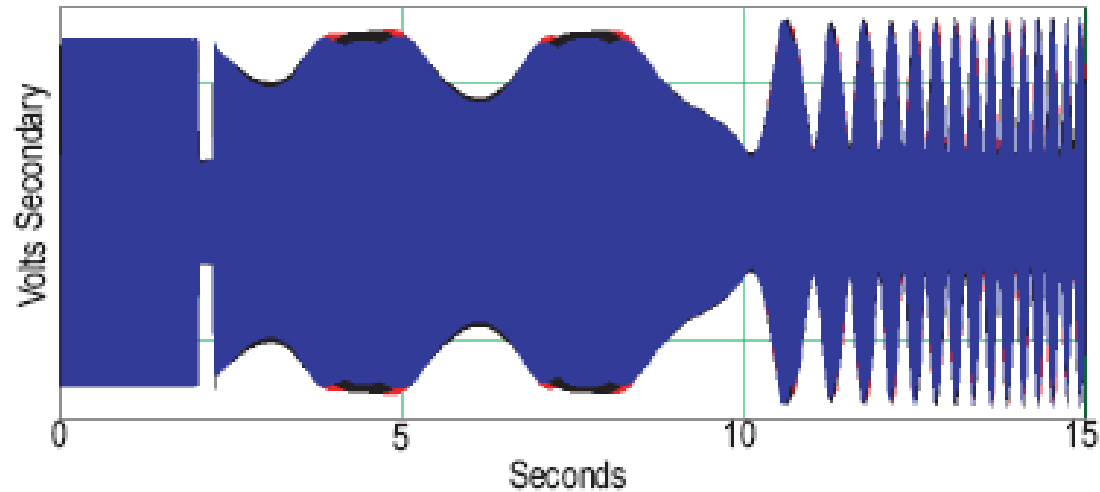


# Formas de onda de oscilaciones de potencia (oscilografías)



Secondary Voltage and Current Plots of Stable Power Swing Case

# Formas de onda de oscilaciones de potencia (oscilografías)



Secondary Voltage and Current Plots of Unstable Power Swing Case



# Oscilación de potencia

- La oscilación de potencia puede hacer que la impedancia vista por un relé de distancia **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.

# 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).

# Oscilación de potencia

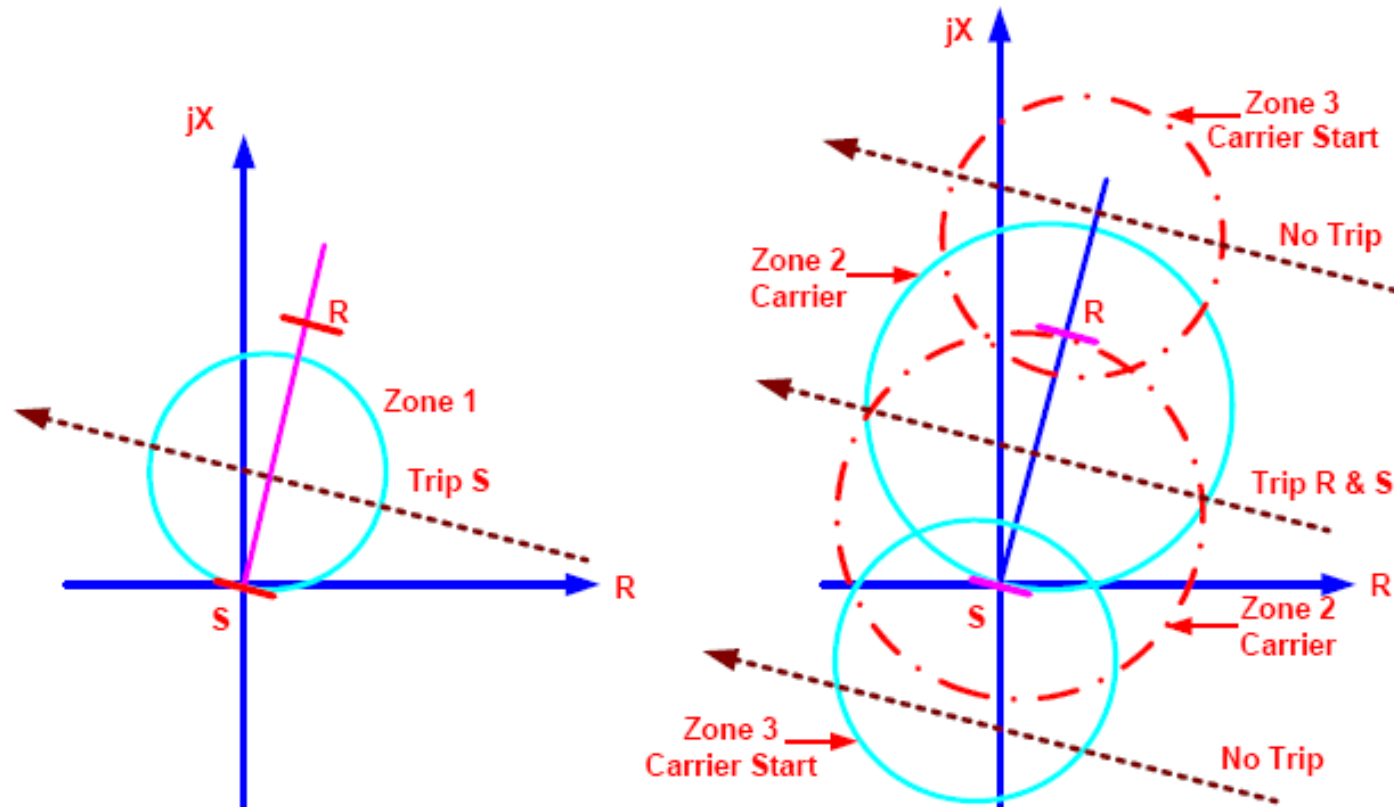
- PSB: Bloqueo por oscilación de potencia:
  - Esta función diferencia entre una **falta** y una **oscilación de potencia** (**detecta oscilaciones de potencia**).
  - **Bloquea** al relé de distancia, previene el disparo durante una oscilación de potencia.
  - Debe permitir **detectar** y **despejar**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

# Oscilación de potencia

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

# Oscilación de potencia

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



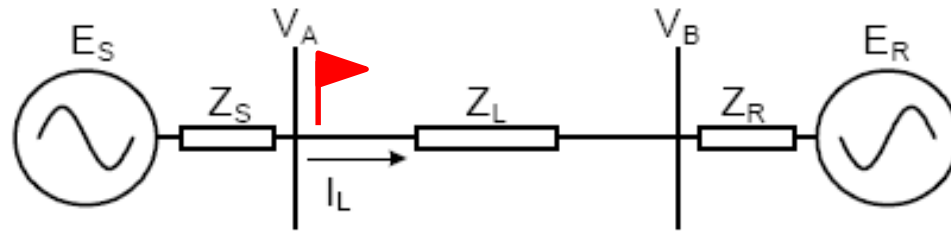
# Oscilación de potencia

- 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 (además de OST) un sistema de **rechazo de carga o disparo de generación**, para evitar el apagón en esas áreas.

# 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  $\delta$ , entre las tensiones equivalentes del sistema.

# Oscilación de potencia



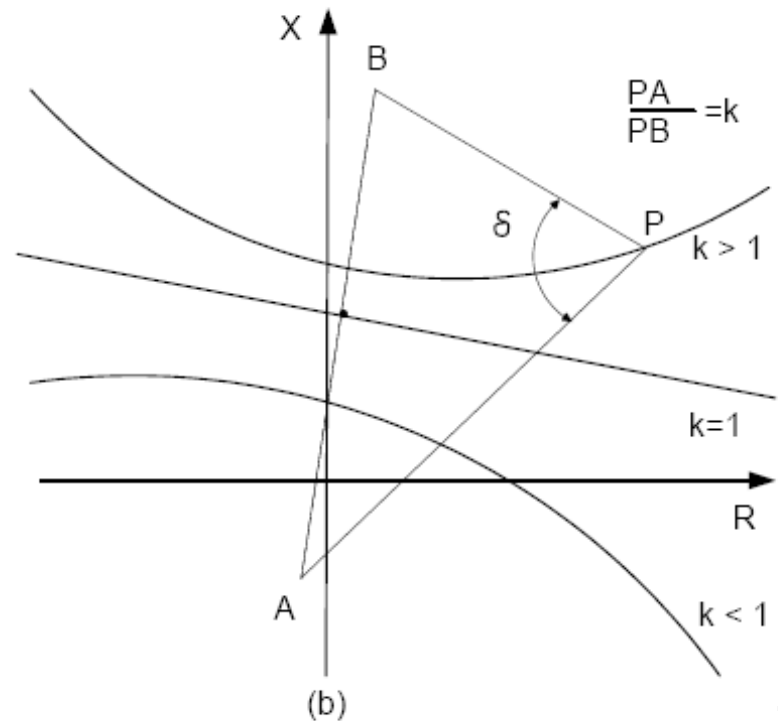
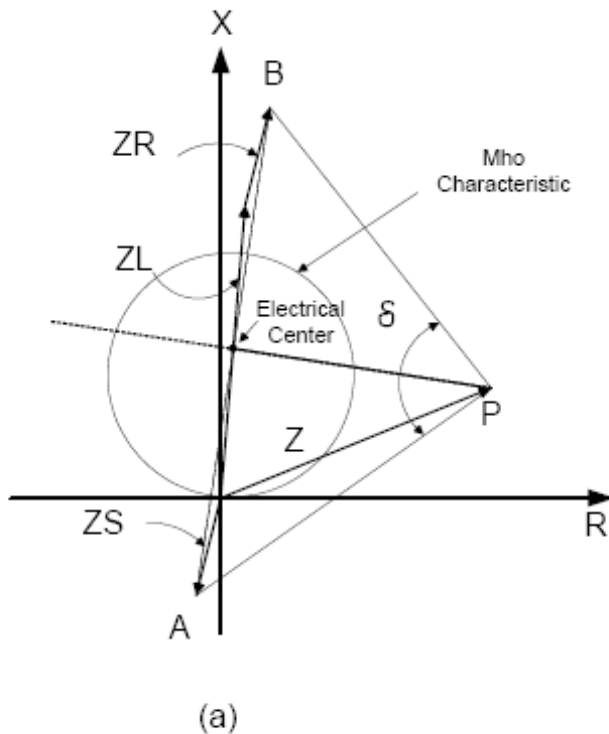
- $E_S$  está desfasada  $\delta$  de  $E_R$
- Impedancia medida por el relé de distancia en A

$$\bar{Z} = \frac{\bar{V}_A}{\bar{I}_L} = (\bar{Z}_S + \bar{Z}_L + \bar{Z}_R) \frac{k[(k - \cos \delta) - j \sin \delta]}{(k - \cos \delta)^2 + \sin^2 \delta} - \bar{Z}_S$$



# 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**.

# Oscilación de potencia. PSB.

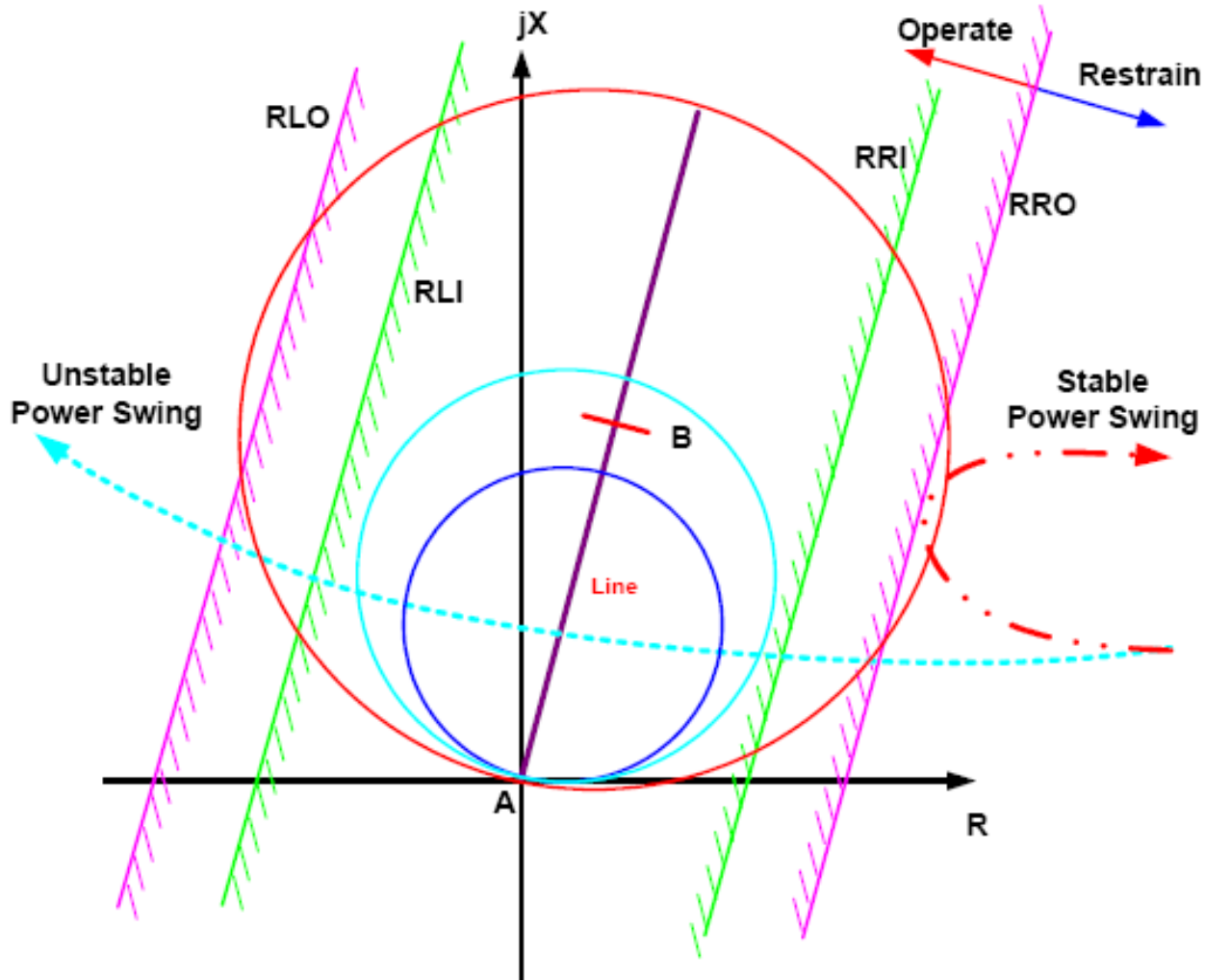
- Los esquemas convencionales de PSB utilizan la diferencia en la **velocidad** de la impedancia para **diferenciar** entre una falta y una oscilación de potencia.

# Oscilación de potencia. PSB.

Característica con *blindings* (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.

# Oscilación de potencia. PSB.

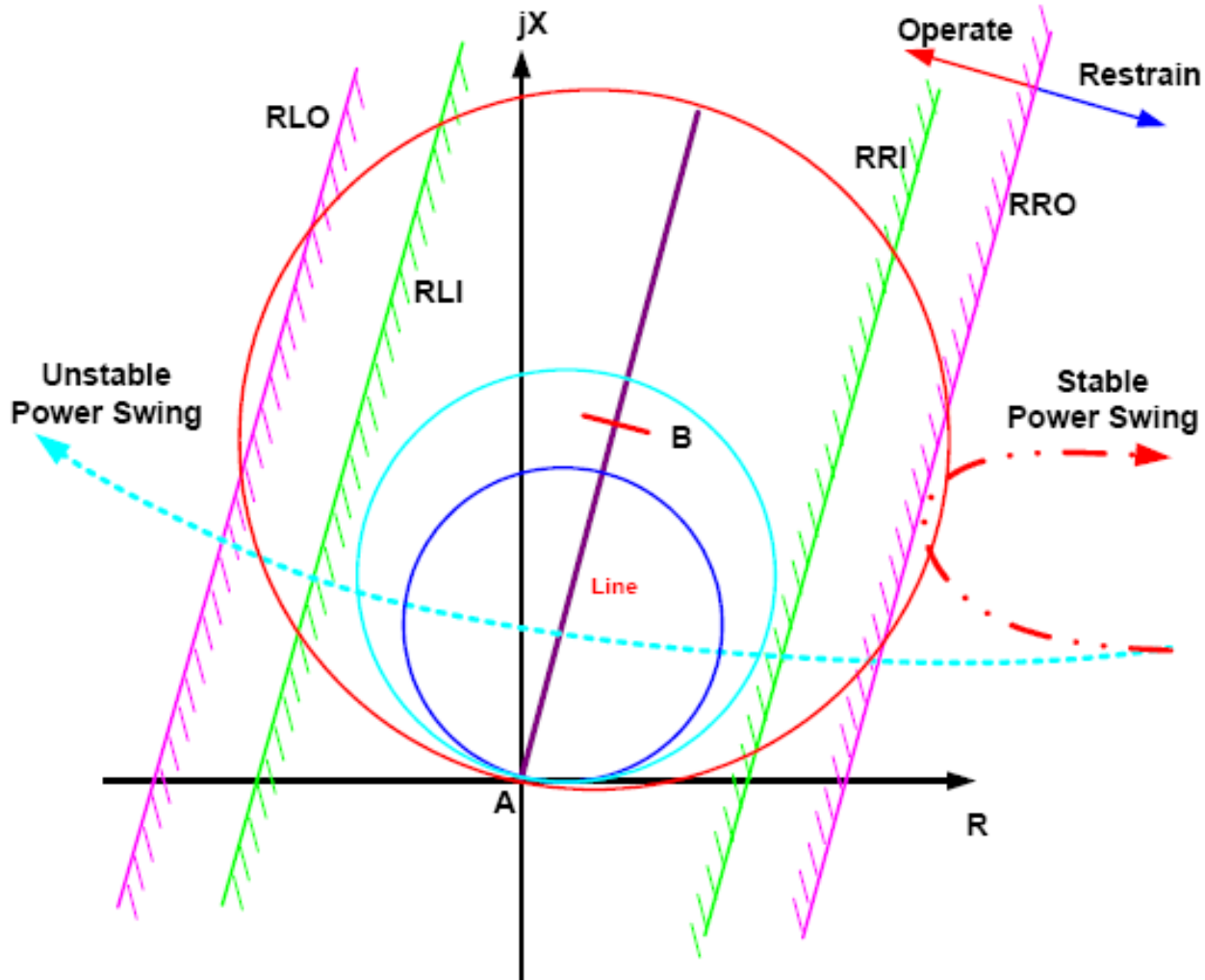


# Oscilación de potencia. OST.

Característica con *blinder* (1 recta):

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

# Oscilación de potencia. OST.



## Métodos para la detección: Sincrofasores.

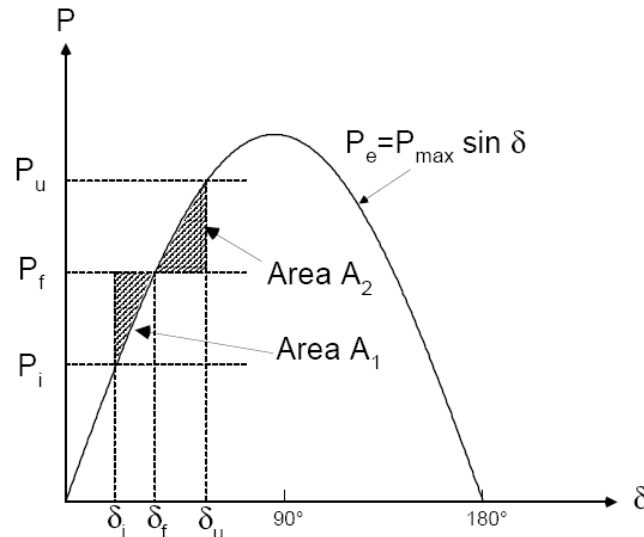
- En una oscilación de potencia el ángulo de las tensiones de las barras reflejan cambios en la velocidad de rotación.
- Actualmente es posible medir en forma sincronizada los ángulos de diferentes barras del sistema.
- Cuando se detecta oscilación de potencia, se realiza una separación del sistema o un rechazo de carga.



# Métodos para la detección: Adicionales Sincrofasores.

2 abordajes

1. Considerando un sistema con dos máquinas, medir  $\Delta\delta$  y calcular en tiempo real el criterio de igual área, para determinar estabilidad o no.

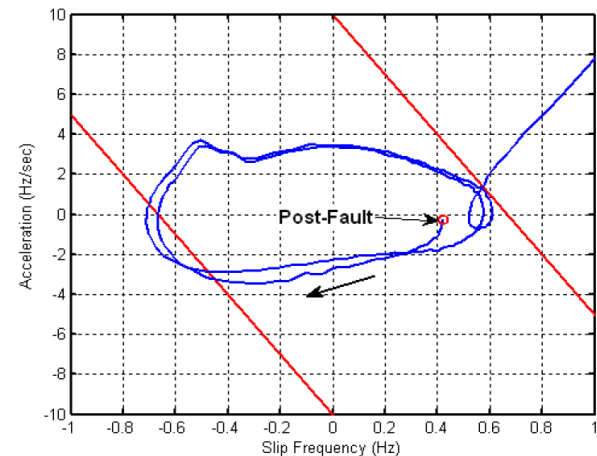
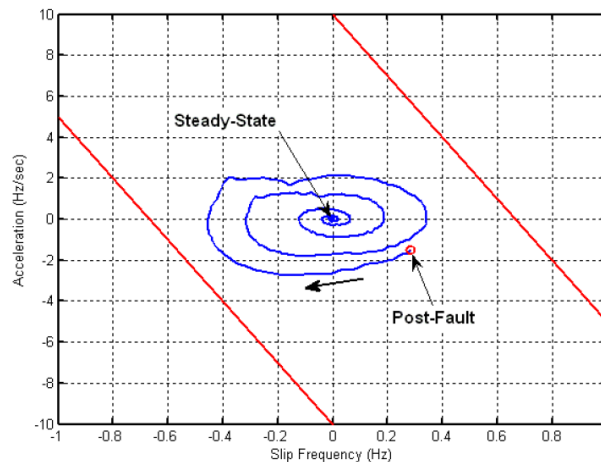


# Métodos para la detección: Adicionales Sincrofasores.

## 2 abordajes

### 2. Medir tensiones en dos o más barras estratégicas y su diferencia angular $\delta$

- A partir de las medidas y del modelo  $\delta(t) = \delta_0 + Ae^{\alpha t} \text{sen}(\omega t + \beta)$  determinar si las oscilaciones son estables o no
- Usar un plano aceleración-velocidad de la diferencia  $\delta(t)$



# RESUMEN

## Filosofía de protección ante oscilación de potencia

### PSB (Bloqueo por Oscilación de Potencia)

- **Evitar** dispara cualquier elemento del sistema durante oscilaciones de potencia **estables**

### OST (Disparo por Oscilación de Potencia)

- **Proteger** el sistema de potencia durante oscilaciones **inestables**

# Filosofía de protección ante oscilación de potencia

- **OST** para **proteger** el sistema durante oscilaciones inestables, separando en áreas, de manera de mantener la estabilidad dentro de cada área.
- **OST** disparando cerca del **centro eléctrico** del sistema, para mantener el balance entre generación y carga.
- **Evitar** disparar cuando el ángulo entre los sistemas es cercano a  $180^\circ$  salvo que los interruptores lo permitan.
- Esquemas **OST** están **acompañados** de esquemas de bloqueo **PSB** para evitar disparos indeseados.
- **PSB** instalados en otros puntos del SEP, para **evitar** la separación del mismo de manera **no controlada**.
- ◆ Acompañados con sistemas de **rechazo de carga** y **disparo de generación**.

# 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

# 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.

# Protección.

## Métodos para mejorar la estabilidad transitoria

### Usar protecciones de falla interruptor (breaker failure).

- Minimiza la duración de una falta, si un interruptor disparado no abre.
- Preferible a tener sólo respaldos locales o remotos (tiempos mayores).

# 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.



# 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

# 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.

# 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

# 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.

# Protección.

## Métodos para mejorar la estabilidad transitoria

### Reducción de la reactancia del sistema.

- Inserción momentánea de capacitares serie en líneas o subestaciones
- O inserción controlada por electrónica de potencia TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor)

Aumenta el margen de estabilidad al aumentar la potencia máxima transferible

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

# Protección.

## Métodos para mejorar la estabilidad transitoria

### Recierre rápido.

- No es bueno que los recierres sean lentos
- No necesariamente cuanto más rápido es el recierre, mejor es para la estabilidad del SEP.