



EL 4001

Conversión de la Energía y Sistemas Eléctricos

Clase: Estado Estacionario y Flujos de Potencia

Luis Vargas
AREA DE ENERGIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA



Contenido

Estudio de sistemas de potencia en estado estacionario, regulación de tensión y control de reactivos

Introducción

Modelo estacionario de la red

Métodos de flujo de potencia

Métodos de regulación de tensión

Estimadores de estado



Introducción

Definición del Problema

El objetivo de este capítulo es determinar la condición de operación de una red, bajo los siguientes supuestos:

- Estado de operación estacionario
- Cargas equilibradas



Estudios de flujos de potencia
(Planificación y Operación)



Objetivo General

- Determinación de voltajes complejos en todos los nodos del sistema
- Cálculo de los flujos de potencia activa y reactiva en elementos de unión (líneas aéreas, cables de poder, transformadores), pérdidas.
- Estrategias de regulación de tensión y control de reactivos



Modelo Estacionario de la Red

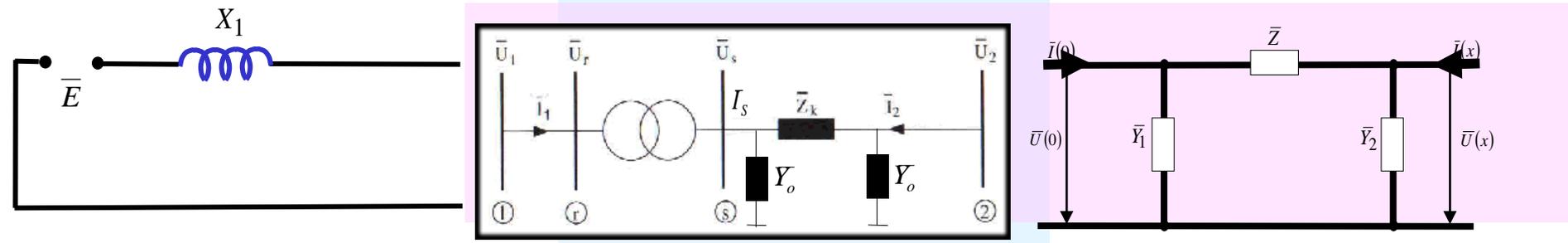
Datos del Modelo

El modelo estacionario requiere de una representación de la red que supone los siguientes aspectos:

- Conocimiento de los consumos en los nodos del sistema
- Representación del sistema en función de un modelo Nodo-Rama



Utilización de modelos de componentes vistos anteriormente

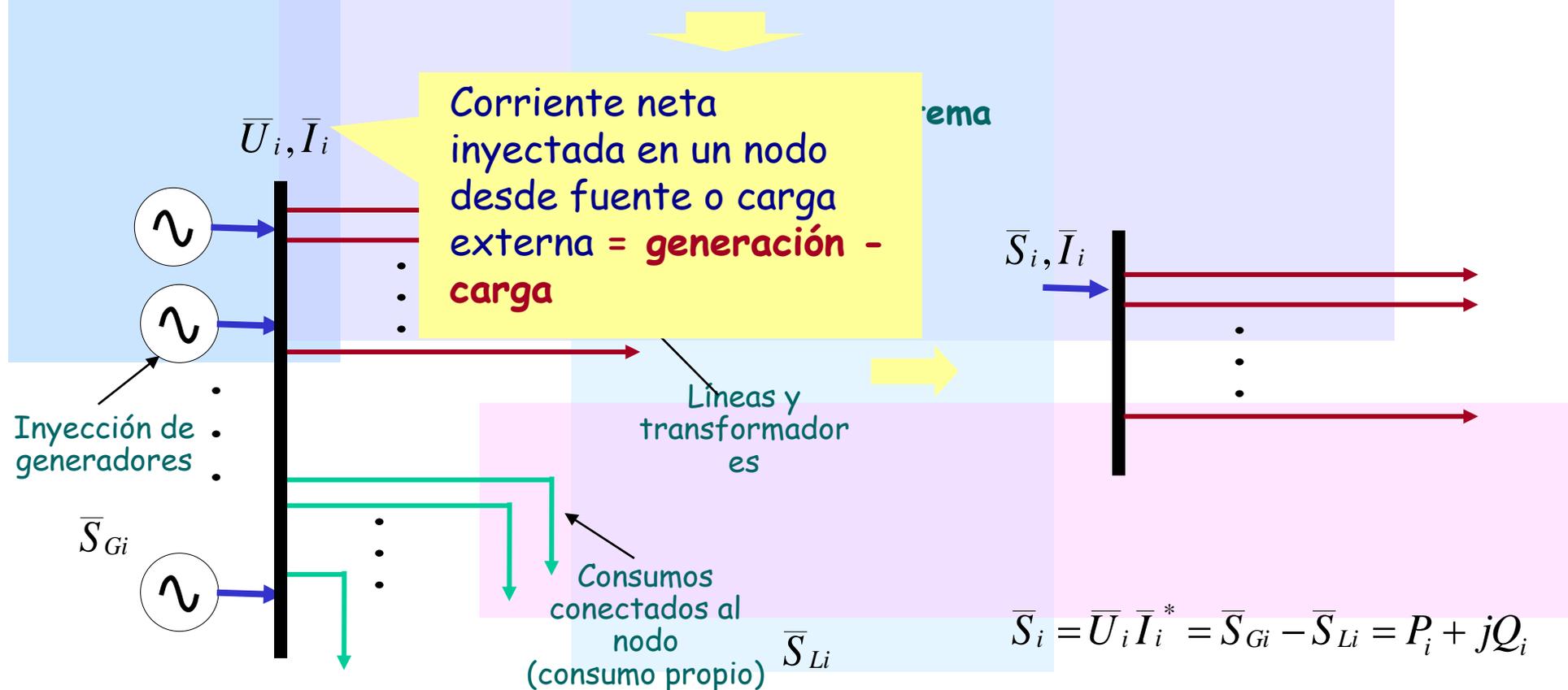




Modelo Estacionario de la Red

Modelo Lineal de la Red

Para la representación matemática de una red en estado estacionario es conveniente el uso de la matriz de admitancia nodal Y . Para ello se define en cada nodo i del sistema la corriente de nodo \bar{I}_i y el voltaje de nodo \bar{U}_i





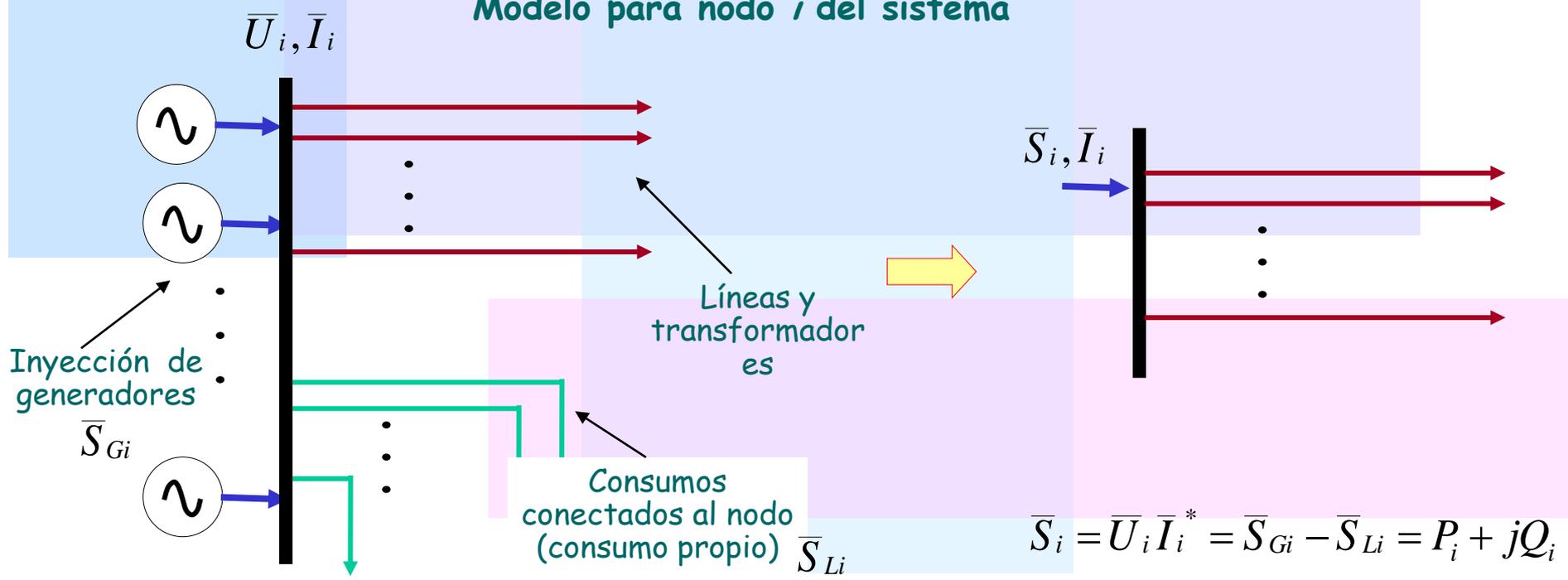
Modelo Estacionario de la Red

Modelo Lineal de la Red

Para la representación matemática de una red en estado estacionario es conveniente el uso de la matriz de admitancia nodal Y . Para ello se define en cada nodo i del sistema la corriente de nodo \bar{I}_i y el voltaje de nodo \bar{U}_i



Modelo para nodo i del sistema

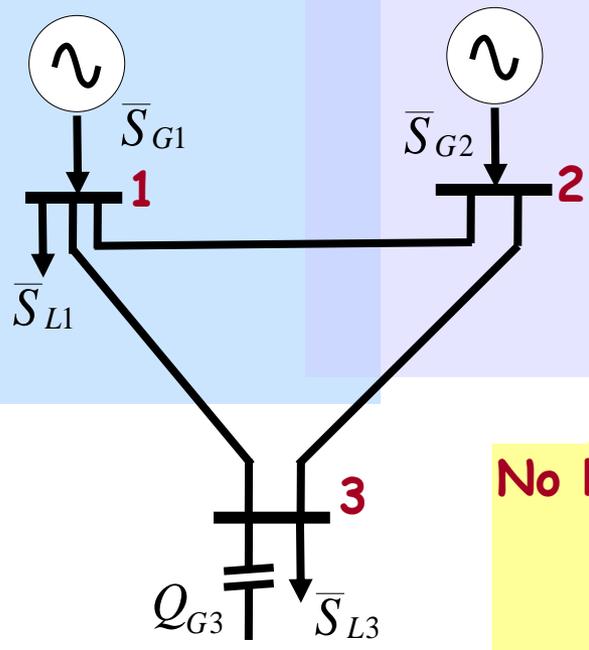




Modelo Estacionario de la Red

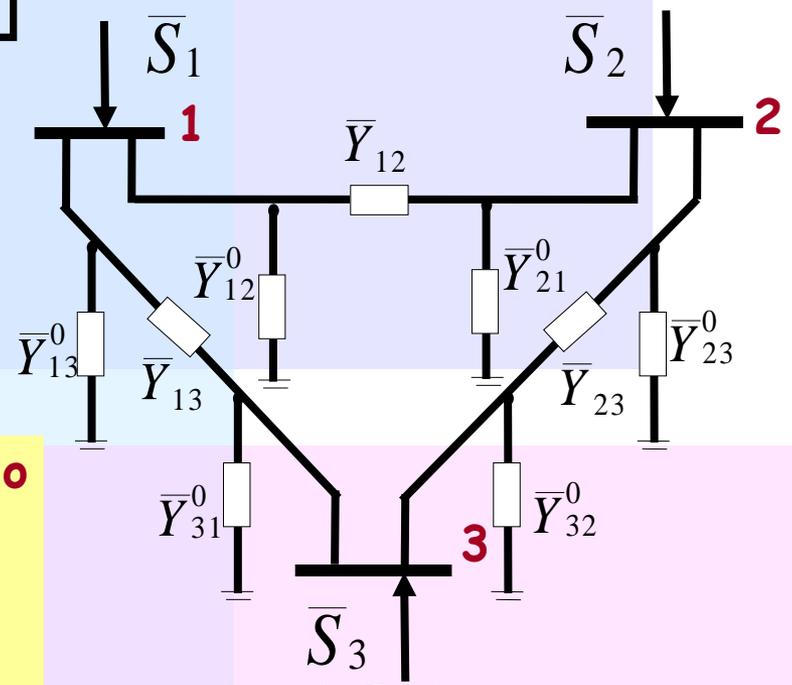
Las corrientes y voltajes de nodos quedan relacionados por la matriz de admintancia nodal

$$[I] = [Y][U]$$



Unilineal

No linealidad de modelo General

$$\bar{S}_i = \bar{U}_i \bar{I}_i^*$$


Modelo Equivalente Monofásico



Modelo Estacionario de la Red



Armado de la matriz de admitancia

$$[\bar{I}] = [\bar{Y}][\bar{U}]$$

Elementos de la matriz de admitancia \bar{y}_{ij}

La regla general para la construcción de la matriz de admitancia está dada por:

Elemento de la Diagonal

$$\bar{y}_{ii} = \sum_{k: \bar{Y}_{ik} \in \alpha(i)} \bar{Y}_{ik}$$

Elemento fuera de la Diagonal

$$y_{ij} = -\bar{Y}_{ij}$$

Propiedades

- Simétrica (caso general)
- Dispersa (matriz rala)
- Inversa (matriz densa, si existe)



Modelo Estacionario de la Red

Modelo No Lineal de Red

En sistemas de potencia se conocen las potencias complejas en los nodos que resultan de la diferencia entre la potencia inyectada por los generadores y la retirada por los consumos.



Modelo de red no lineal

Potencia
aparente
neta

$$\bar{S}_i = \bar{U}_i \bar{I}_i^* = \bar{S}_{Gi} - \bar{S}_{Li} = P_i + jQ_i$$



Reemplazando relación de matriz de admitancia,
válida para los n nodos del sistema

$$\bar{S}_i = \bar{U}_i \bar{I}_i^* = \bar{U}_i \sum_{j=1}^n y_{ij}^* \bar{U}_j^*$$



Determinación de Flujos de Potencia

$$\bar{S}_{ij}^* = \bar{U}_i^* \bar{I}_{ij} = P_{ij} + jQ_{ij} = \bar{U}_i^* (\bar{U}_i - \bar{U}_j) \bar{Y}_{ij} + \bar{U}_i^2 \bar{Y}_{ij}^0$$

$$\bar{S}_{ji}^* = \bar{U}_j^* \bar{I}_{ji} = P_{ji} + jQ_{ji} = \bar{U}_j^* (\bar{U}_j - \bar{U}_i) \bar{Y}_{ij} + \bar{U}_j^2 \bar{Y}_{ji}^0$$



Modelo Estacionario de la Red

Especificación de las ecuaciones de balance de flujo de potencia (coordenadas polares)

Nodo de Referencia

$$\bar{U}_1 = U_1 \angle 0^\circ$$

Otros Nodos

$$\bar{U}_i = U_i \angle \delta_i$$

Elementos de la matriz de admitancia Y

$$\bar{y}_{ij} = y_{ij} \angle \theta_{ij}$$

Balance de flujo nodo i

$$P_i = P_{Gi} - P_{Li} = \sum_{j=1}^n U_i U_j y_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij})$$

$$Q_i = Q_{Gi} - Q_{Li} = \sum_{j=1}^n U_i U_j y_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij})$$

Variables del sistema

$$P_{Gi}, P_{Li}, Q_{Gi}, Q_{Li}, U_i, \delta_i$$



Modelo Estacionario de la Red

Característica del problema

- No lineal
- 6 variables por nodo
- $2n$ ecuaciones

Caracterización de nodos en el sistema

- Barras PQ (85%) --> barras de carga o de pasada
- Barras PV (15%) --> barras de generación
- Barra libre (1) (barra slack, referencia) --> es una barra de generación específica



Gauss/Seidel

Newton/Raphson