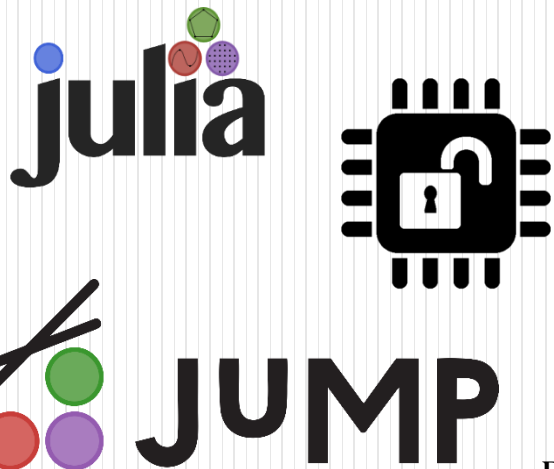


Tópico

POWER SYSTEM OPTIMIZATION: POWER FLOW

Mar 2019

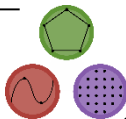


AUTORES:
ERIK ALVAREZ
JEFFERSON CHÁVEZ

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
DSEE – Departamento de Sistemas de Energia Elétrica



Ω_b	Conjunto de barras	g_{ij}	Conductancia serie en el circuito ij
Ω_l	Conjunto de circuitos	b_{ij}	Conductancia serie en el circuito ij
V_i	Magnitud de la tensión en la barra i	b_{ij}^{shl}	Susceptancia shunt en el circuito ij
θ_i	Ángulo de fase en la barra i	a_{ij}	Relación de transformación en el circuito ij
g_i^{sh}	Conductancia shunt en la barra i	φ_{ij}	Ángulo de desfase en el circuito ij
b_i^{sh}	Susceptancia shunt en la barra i		
P_i^g	Potencia activa generada en la barra i		
Q_i^g	Potencia reactiva generada en la barra i		
P_i^d	Potencia activa demandada en la barra i		
Q_i^d	Potencia reactiva demandada en la barra i		
P_{ij}^{de}	Flujo de potencia activa que sale de la barra i en dirección a barra j en el circuito ij		
Q_{ij}^{de}	Flujo de potencia reactiva que sale de la barra i en dirección a barra j en el circuito ij		
P_{ij}^{pa}	Flujo de potencia activa que sale de la barra j en dirección a barra i en el circuito ij		
Q_{ij}^{de}	Flujo de potencia reactiva que sale de la barra j en dirección a barra i en el circuito ij		



$$P_i^g - P_i^d - \sum_{ij \in \Omega_l} P_{ij}^{de} - \sum_{ij \in \Omega_l} P_{ij}^{pa} + g_i^{sh} V_i^2 = 0 \quad \forall i \in \Omega_b$$

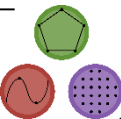
$$Q_i^g - Q_i^d - \sum_{ij \in \Omega_l} Q_{ij}^{de} - \sum_{ij \in \Omega_l} Q_{ij}^{pa} + b_i^{sh} V_i^2 = 0 \quad \forall i \in \Omega_b$$

$$P_{ij}^{de} = g_{ij} a_{ij}^2 V_i^2 - a_{ij} V_i V_j g_{ij} \cos(\theta_{ij} + \varphi_{ij}) - a_{ij} V_i V_j b_{ij} \sin(\theta_{ij} + \varphi_{ij}) \quad \forall ij \in \Omega_l$$

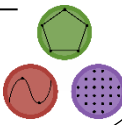
$$Q_{ij}^{de} = -(b_{ij} + b_{ij}^{shl}) a_{ij}^2 V_i^2 - a_{ij} V_i V_j g_{ij} \sin(\theta_{ij} + \varphi_{ij}) + a_{ij} V_i V_j b_{ij} \cos(\theta_{ij} + \varphi_{ij}) \quad \forall ij \in \Omega_l$$

$$P_{ij}^{pa} = g_{ij} V_i^2 - a_{ij} V_i V_j g_{ij} \cos(\theta_{ij} + \varphi_{ij}) + a_{ij} V_i V_j b_{ij} \sin(\theta_{ij} + \varphi_{ij}) \quad \forall ij \in \Omega_l$$

$$Q_{ij}^{pa} = -(b_{ij} + b_{ij}^{shl}) V_i^2 + a_{ij} V_i V_j g_{ij} \sin(\theta_{ij} + \varphi_{ij}) + a_{ij} V_i V_j b_{ij} \cos(\theta_{ij} + \varphi_{ij}) \quad \forall ij \in \Omega_l$$



- El sistema de ecuaciones algebraicas no lineales representa a operación en régimen permanente de un SEE.
- Si se conoce (como es asumido en el problema de Flujo de Carga):
 - Magnitud de la tensión de todos los generadores (V_i^g)
 - Generación de potencia activa de los generadores (P_i^{g0}), a excepción del generador de referencia (**barra slack** o **swing**), para cerrar el balance de potencia
 - Ángulo de fase del generador de referencia (θ_1^0)
- El número de ecuaciones es igual al numero de incógnitas, por lo que este sistema de ecuaciones tiene una única solución. (magnitudes de la tensión en torno a 1pu).
- Entonces, es posible calcular el punto de operación en régimen permanente de un SEE, resolviendo un problema PNL, minimizando a generación de la barra slack.



Ecuaciones de Flujo de Carga AC (3/3) (Polar)

$$\min_g \sum_{i \in \Omega_b | Tb_i=3} P_i^g$$

S.a.

$$P_i^g - P_i^d - \sum_{ij \in \Omega_l} P_{ij}^{de} - \sum_{ij \in \Omega_l} P_{ij}^{pa} + g_i^{sh} V_i^2 = 0 \quad \forall i \in \Omega_b$$

$$Q_i^g - Q_i^d - \sum_{ij \in \Omega_l} Q_{ij}^{de} - \sum_{ij \in \Omega_l} Q_{ij}^{pa} + b_i^{sh} V_i^2 = 0 \quad \forall i \in \Omega_b$$

$$P_{ij}^{de} = g_{ij} a_{ij}^2 V_i^2 - a_{ij} V_i V_j g_{ij} \cos(\theta_{ij} + \varphi_{ij}) - a_{ij} V_i V_j b_{ij} \sin(\theta_{ij} + \varphi_{ij}) \quad \forall ij \in \Omega_l$$

$$Q_{ij}^{de} = -(b_{ij} + b_{ij}^{shl}) a_{ij}^2 V_i^2 - a_{ij} V_i V_j g_{ij} \sin(\theta_{ij} + \varphi_{ij}) + a_{ij} V_i V_j b_{ij} \cos(\theta_{ij} + \varphi_{ij}) \quad \forall ij \in \Omega_l$$

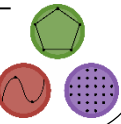
$$P_{ij}^{pa} = g_{ij} V_i^2 - a_{ij} V_i V_j g_{ij} \cos(\theta_{ij} + \varphi_{ij}) + a_{ij} V_i V_j b_{ij} \sin(\theta_{ij} + \varphi_{ij}) \quad \forall ij \in \Omega_l$$

$$Q_{ij}^{pa} = -(b_{ij} + b_{ij}^{shl}) V_i^2 + a_{ij} V_i V_j g_{ij} \sin(\theta_{ij} + \varphi_{ij}) + a_{ij} V_i V_j b_{ij} \cos(\theta_{ij} + \varphi_{ij}) \quad \forall ij \in \Omega_l$$

$$P_i^g = P_i^{g0}; \forall i \in \Omega_b | Tb_i = 2$$

$$V_i = V_i^g; \forall i \in \Omega_b | Tb_i = 2 \text{ o } Tb_i = 3$$

$$\theta_i = \theta_i^0; \forall i \in \Omega_b | Tb_i = 3$$



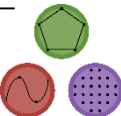


Ecuaciones de Flujo de Carga AC (1/) (Rectangular)

- Sea tensión en la barra i en coordenadas rectangulares:

$$V_i e^{j\theta_i} = V_i \cos(\theta_i) + j V_i \sin(\theta_i) = e_i + j f_i$$

- Donde,



Ecuaciones de Flujo de Carga AC (1/) (Rectangular)



Objective function:

$$\min \sum_{i \in B} [a_i^g (P_i^g)^2 + b_i^g P_i^g + c_i^g + M(P_i^r + Q_i^r)] \quad (1.1)$$

Subject to:

Active power balance:

$$P_i^g + P_i^r - P_i^d - \sum_{j \in L} [g_{ij}(e_j^2 + f_j^2) - t_{ij}g_{ij}(e_i e_j + f_i f_j) + t_{ij}b_{ij}(e_i f_j - e_j f_i)] \quad \forall i \in \mathcal{B} \quad (1.2)$$

$$- \sum_{ij \in L} [t_{ij}^2 g_{ij}(e_i^2 + f_i^2) - t_{ij}g_{ij}(e_i e_j + f_i f_j) + t_{ij}b_{ij}(e_i f_j - e_j f_i)] = 0$$

Reactive power
balance:

$$Q_i^g + Q_i^r - Q_i^d - \sum_{j \in L} [-(b_{ij} + b_{ij}^{shl})(e_j^2 + f_j^2) - t_{ij}g_{ij}(e_i f_j - e_j f_i) + t_{ij}b_{ij}(e_i e_j + f_i f_j)] \quad \forall i \in \mathcal{B} \quad (1.3)$$

$$- \sum_{ij \in L} [-t_{ij}^2 (b_{ij} + b_{ij}^{shl})(e_i^2 + f_i^2) + t_{ij}g_{ij}(e_i f_j - e_j f_i) + t_{ij}b_{ij}(e_i e_j + f_i f_j)] + b_i^{sh}(e_i^2 + f_i^2) = 0$$

Voltage magnitude:

$$\underline{V}^2 \leq e_i^2 + f_i^2 \leq \overline{V}^2 \quad \forall i \in \mathcal{B} \quad (1.4)$$

$$\text{Current magnitude: } 0 \leq b_{ij}^{shl}(2b_{ij} + b_{ij}^{shl})(e_j^2 + f_j^2) - 2b_{ij}b_{ij}^{shl}(e_i e_j + f_i f_j) + 2g_{ij}b_{ij}^{shl}(e_i f_j - e_j f_i) + (g_{ij}^2 + b_{ij}^2)[(e_i - e_j)^2 + (f_i - f_j)^2] \leq \overline{I}_{ij}^2 \quad \forall ij \in \mathcal{L} \quad (1.5)$$

