MÉTODO 6. FLUJOS DE POTENCIA.

TIPOS DE NUDOS:

- Slack: 1 en todo el sistema. Es el nudo de referencia. Es aquel del que conoces tanto el valor de la tensión (v_i) como su ángulo de carga (δ_i)
- PV: Incógnitas Q y δ_i
- PQ: Incógnitas $|\vec{V}|$ y δ_i

Si en alguno conoces Q, $|\vec{V}|$ y δ_i se puede considerar que es el que tú quieras. Es más fácil si lo consideras PQ.

① SE DEFINEN LAS INCÓGNITAS DE LOS NUDOS.

v_1, d_v, q_v, p_v

d_v → Ángulo de carga

$p = pg - pd$

$q = qg - qd$

Slack → Pones | v0(nudo) =
| d0(nudo) =

PV → Pones | v0(nudo)
| p0(nudo)

PQ → Pones | p0(nudo)
| q0(nudo)

② PARÁMETROS DE LAS LÍNEAS

y_{11} = Suma de todos los y que rodean el nudo (y_{22}, y_{33}...)

y_{21} = $-y_i$ que va de 1 a 2

y_{23} = $-y_i$ que va de 2 a 3.

$$Ybus = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{13} \\ y_{12} & y_{22} & y_{23} \\ y_{13} & y_{23} & y_{33} \end{bmatrix}$$

y = abs (Ybus)

g = angle (Ybus)

x0 = [Vector de incógnitas en un orden concreto] p_i, q_i y $v_i = 1$ y $d_i = 0$

x = fsolve (@ec_probx, x0);

③ ECUACIÓN.

f = ec_probx (x)

global variables conocidas.

n = número de nodos.

v = v_1 x(2)

v_1 → Conocido; x(2) → Desconocido en el orden de x0.

d =

p =

q =

④ CÁLCULO DE LAS VARIABLES ELÉCTRICAS Y FLUJOS DE POTENCIAS.

$v = [v_1 \quad x(2)$ Conocido → Calculado.

VECTOR DE TENSIONES DEL SISTEMA:

V= v.·cos(d) + 1i·v.·sen(d);

FLUJOS DE POTENCIA:

1. Calculas la pg, pd, qg, qd, p, g que queda en función de las otras dos.
2. iab = yab · (U(a) − U(b)) + U(a) · yab_0ab

   sab = U(a) · conj (iab)
3. perdab = sab + sba (tras el bucle anterior).

Problemas

6.1 Para el sistema de energía eléctrica elemental, de 2 nudos, de la Figura 6.9 y con los datos que aparecen en ella, determine $\vec{U}_2$ al final de la 3ª iteración, usando el método iterativo de Gauss. Tómese como valor de partida $\vec{U}_2 = 1\angle 0°$.

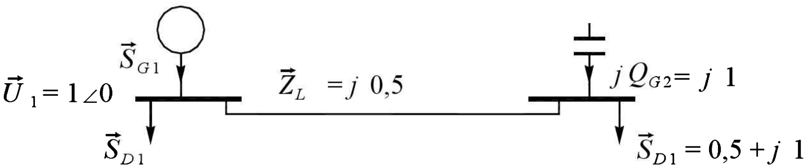


Figura 6.9 Sistema sencillo de 2 nudos.

6.2 Para el sistema de energía eléctrica elemental, de 2 nudos, mostrado en la Figura 6.10 y con los datos que aparecen en ella, determine $\vec{S}_1$, Q_2 y δ_2 al final de la 3ª iteración, usando el método de Gauss. Tómese como valor de partida $\delta_2 = 0$.

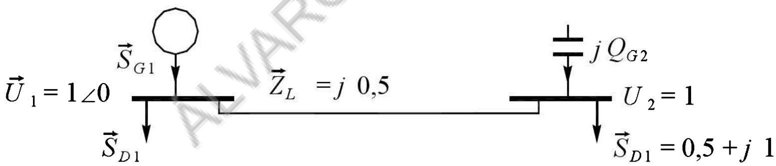


Figura 6.10 Esquema unifilar del Problema 2.

6.3 Para el sistema de la Figura 6.11 se dan los siguientes datos (en valores p.u.).

$$\vec{S}_{D1} = 1 \qquad \vec{U}_1 = 1\angle 0°$$

$$\vec{S}_{D2} = 1 - j0,8 \qquad P_{G2} = 0,8 \qquad Q_{G2} = -0,3$$

$$\vec{S}_{D3} = 1 + j0,6$$

$$\vec{Z}_L = j0,4 \ \text{ en todas las líneas}$$

Utilizando el método iterativo de Gauss-Seidel, determinar $\vec{U}_2$ y $\vec{U}_3$. Empezar con $\vec{U}_2^0 = \vec{U}_3^0 = 1\angle 0°$. Realizar una iteración.

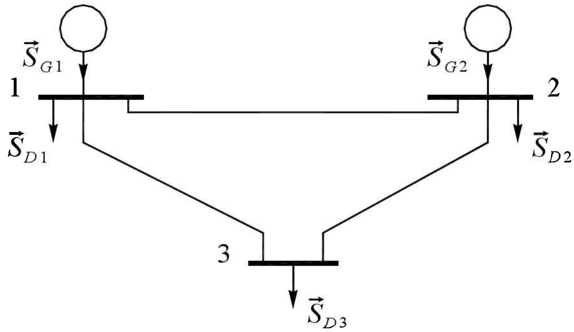


Figura 6.11 Sistema de 3 nudos.

6.4 Repetir el Problema 6.3 con un cambio, se especifica $U_2 = 1$ y no se especifica Q_{G2}. En este caso, el nudo 2 es un nudo PV. Los datos ahora serán:

$$\vec{S}_{D1} = 1; \qquad \vec{U}_1 = 1\angle 0^\circ$$
$$\vec{S}_{D2} = 1 - j0,8; \qquad P_{G2} = 0,8; \qquad U_2 = 1$$
$$\vec{S}_{D3} = 1 + j0,6$$

6.5 En la Figura 6.12 se muestra el esquema de un sistema de potencia de cinco nudos. Los datos se dan en las tablas adjuntas (potencia base = 100 MVA). Utilizando el método de Gauss-Seidel, determine las tensiones en los nudos para la primera iteración.

Tabla 6-VII Datos de los nudos.

	Generación		Carga			
Nudo	P_G (MW)	Q_G (MVAr)	P_D (MW)	Q_D (MVAr)	Tensión (p.u.)	Tipo
1	-	-	-	-	$1,01\angle 0^\circ$	*Slack*
2	-	-	60	35	-	PQ
3	-	-	70	42	-	PQ
4	-	-	80	50	-	PQ
5	190	-	65	36	1	PV

Tabla 6-VIII Datos del transformador regulador.

Transformador entre nudo y nudo	Reactancia X_{cc} (p.u.)	Posición del regulador de tomas (t)
2-3	0,04	0,975

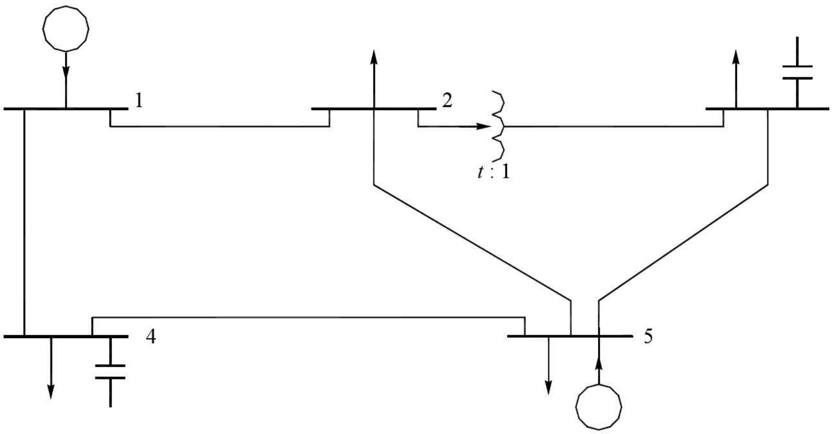


Figura 6.12 Sistema de potencia de 5 nudos.

Tabla 6-IX Datos de las líneas.

Línea de nudo a nudo	Z serie (p.u.)		Y paralelo (p.u.)	
	R	X	G	B
1-2	0	0,066	0	0
1-4	0	0,1	0	0
2-5	0	0,05	0	0
3-5	0	0,0625	0	0
4-5	0	0,055	0	0

Tabla 6-X Datos de los condensadores.

Nudos	Potencia reactiva (MVAr)
3	18
4	15

6.6 Haciendo uso del método de Newton-Raphson, resolver

$$f_1(\mathbf{x}) = x_1^2 - x_2 - 1 = 0$$

$$f_2(\mathbf{x}) = x_2^2 - x_1 - 1 = 0$$

Tomar como valores iniciales $x_1^{(0)} = x_2^{(0)} = 1$.

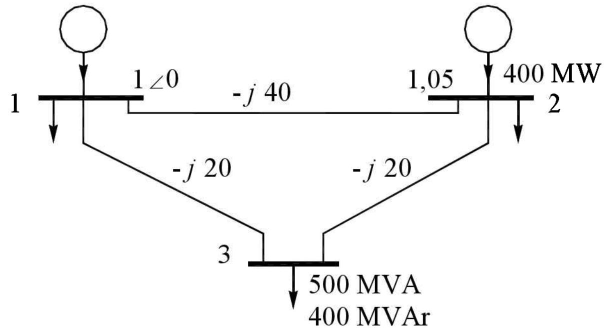


Figura 6.13 Sistema de 3 nudos.

6.7 La Figura 6.13 muestra el esquema unifilar de un sistema de tres nudos con generación en los nudos 1 y 2. La tensión en el nudo 1 es $\vec{U}_1 = 1\angle 0^\circ$ por unidad. El módulo de la tensión en el nudo 2 está fijado en 1,05 por unidad con una potencia activa generada de 400 MW. Una carga de 500 MW y 400 MVAr está siendo suministrada desde el nudo 3. Las admitancias de las líneas están dadas en el esquema en valores por unidad respecto de una base de 100 MVA. Las resistencias de las líneas y las capacidades paralelo se desprecian.

(a) Probar que las expresiones para la potencia activa en el nudo 2 y para las potencias activa y reactiva en el nudo 3 son

$$P_2 = 40 \cdot U_2 U_1 \cos(90^\circ - \delta_2 + \delta_1) + 20 \cdot U_2 U_3 \cos(90^\circ - \delta_2 + \delta_3)$$
$$P_3 = 20 \cdot U_3 U_1 \cos(90^\circ - \delta_3 + \delta_1) + 20 \cdot U_3 U_2 \cos(90^\circ - \delta_3 + \delta_2)$$
$$Q_3 = -20 \cdot U_3 U_1 \operatorname{sen}(90^\circ - \delta_3 + \delta_1) - 20 \cdot U_3 U_2 \operatorname{sen}(90^\circ - \delta_3 + \delta_2) + 40 \cdot U_3^2$$

(b) Aplicando el método de Newton-Raphson, con las estimaciones iniciales $U_2^{(0)} = U_3^{(0)} = 1 + j0$ y manteniendo $U_2 = 1{,}05$ p.u., determinar los valores de los fasores $\vec{U}_2$ y $\vec{U}_3$. Ejecutar dos iteraciones.

6.8 Resolver el problema 6.3 mediante el método de Newton-Raphson.

6.9 Resolver el problema 6.4 mediante el método de Newton-Raphson.

6.10 Resolver el problema 6.5 mediante el método de Newton-Raphson, realizando una sola iteración. Comprobar la tendencia del resultado, resolviendo hasta la convergencia de la solución con la ayuda de un computador.

6.11 En la Figura 6.14 se representa una red de transporte en la que se sabe que las tensiones en los tres nudos se mantienen en 1 p.u. (mediante la adecuada inyección de reactiva). El nudo 'A' está conectado a otro sistema de potencia vecino desde el que se están importando 50 MW. La demanda en el nudo 'C' es de 100 MW y 50 MVAr. Todas las líneas tienen impedancia serie $\vec{Z}'_S = j0{,}1$ y admitancia paralelo $\vec{Y}'_P/2 = j0{,}01$ para cada una de las dos líneas que conectan 'B' con 'C' y despreciable para las otras líneas (en valores por unidad sobre una potencia base de 100 MVA).
Utilizando el método de Newton-Raphson, con un error máximo de 0,1 MVA, determinar:

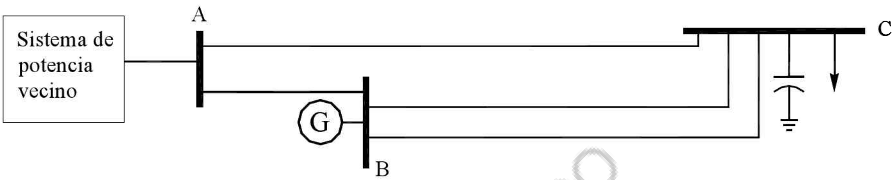


Figura 6.14 Red para el Problema 6.11.

(a) Los fasores tensión en todos los nudos.

(b) Potencias activa y reactiva generadas por el generador conectado al nudo 'B'.

(c) Potencia reactiva que aporta la batería de condensadores.

(d) Potencia reactiva que aporta la red exterior.

6.12 El esquema de la Figura 6.15 representa parte de una red de transporte de 220 kV. Las líneas tienen los siguientes parámetros: admitancia paralelo despreciable en todos los casos y admitancia serie 25 mS/fase para la línea X-Y, 37,5 mS/fase para la línea Y-Z y 30 mS/fase para la X-Z. Los consumos son: 200 MW en el nudo 'X' y 250 MW y 80 MVAr en el nudo 'Y'. La batería de condensadores conectada al nudo 'Y' suministra 200 MVAr. El generador 'GZ' genera 200 MW. Los generadores mantienen las tensiones en sus nudos respectivos en los valores $U_X = 220$ kV y $U_Z = 242$ kV. Tomar como base 100 MVA y 220 kV y calcular:

(a) Módulo y argumento de las tensiones en todos los nudos, mediante el método desacoplado rápido con un error de 10 MVA.

(b) Potencias reactivas suministradas por los generadores.

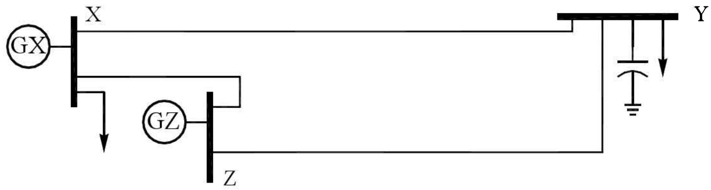


Figura 6.15 Red para el Problema 6.12.

6.13 Resolver el problema 6.3 mediante el método desacoplado rápido.

6.14 Resolver el problema 6.4 mediante el método desacoplado rápido.

6.15 Resolver el problema 6.5 mediante el método desacoplado rápido.

6.16 Sistema (Figura 6.16) formado por una red de tres líneas de 220 kV y un transformador de tensiones nominales 220/132 kV. Los datos se resumen en las tablas adjuntas. Se pide, para el cálculo de flujos de potencia por el método de Newton-Raphson, la matriz de admitancias de nudos, las ecuaciones a resolver y la matriz Jacobiana.

Tabla 6-XI Datos líneas.

Línea	Tensión nominal (kV)	ℓ (km)	R (Ω/km)	X (Ω/km)	B (S/km)
M-B	220	100	0,0721	0,4232	$2{,}693{\cdot}10^{-9}$
M-A	220	200	0,0721	0,4232	$2{,}693{\cdot}10^{-9}$
B-A	220	150	0,0721	0,4232	$2{,}693{\cdot}10^{-9}$

Tabla 6-XII Datos trafo regulador.

Trafo	Tensión en C nominal (kV)	Tensión en A nominal (kV)	t	X (p.u.)	S_n (MVA)
C -A	132	220	0,9428	0,1	150

Tabla 6-XIII Datos de los nudos.

Nudo	P_D (MW)	Q_D (MW)	P_G (MW)	Q_G (MW)	U (kV)
C	100	75	0	0	
A	0	0	0	0	
B	20	15	50		1
M	0	0			1

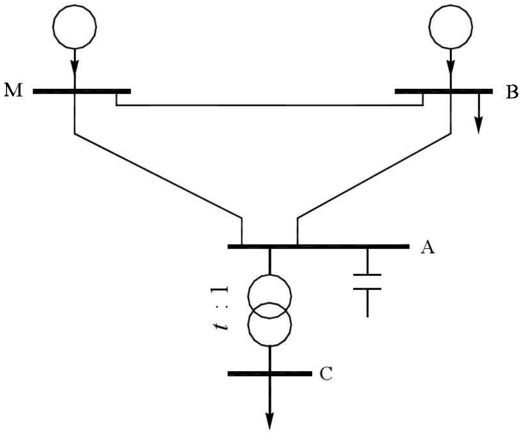


Figura 6.16 Red para el Problema 6.16.

6.17 Considérese la red de 3 nudos mostrada en la Figura 6.17, en la que el nudo 1 es el nudo *slack*, el nudo 2 es PQ y el nudo 3 es PV. Los datos de los elementos de la red, sobre una base de 100 MVA, se muestran en la Tabla 6-XIV. Se desprecian las admitancias paralelo. Se pide calcular, utilizando el método de Newton-Raphson, la potencia reactiva (en MVAr) que debe producir el generador conectado al nudo 3.

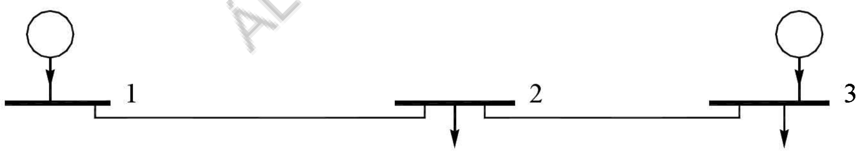


Figura 6.17 Red para el Problema 6.17.

Tabla 6-XIV Datos para el Problema 6.17.

Nudo	P_D	Q_D	P_G	Q_G	U
1	0	0	---	---	1,1
2	1	0,4	0	0	---
3	0,2	0,05	0,6	---	1,05

Impedancia serie 1-2: $z_{12} = 0{,}03 + j\,0{,}3$

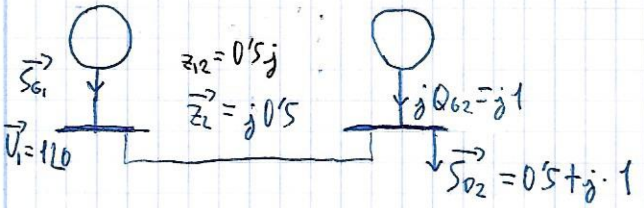
Impedancia serie 2-3: $z_{23} = 0{,}06 + j\,0{,}2$

EJERCICIOS CAPÍTULO 6.

1 2 nudos

$\vec{U_2}$? Al final de la 3ª iteración.

$\vec{U_2} = 1 \underline{|0}$



$s_2 = sg_2 - sd_2$

$p_2 = real(s_2)$

$q_2 = imag(s_2)$

$y_{12} = \dfrac{1}{z_{12}}$

$Ybus = \begin{bmatrix} y_{12} & -y_{12} \\ -y_{12} & y_{12} \end{bmatrix} \rightarrow y = abs(Ybus)$ y $g = angle(Ybus)$

$X_0 = \begin{bmatrix} p_1 & q_1 \\ v_2 & d_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ → Suponemos → Lo que sabes

↳ Valor inicial.

Ec-prob6_1

$v = [v_1 \ \ \underline{v_2}]$ $\underline{x(\ )}$ → Señalamos al valor conocido.

$d = [d \ \ \underline{d_2}]$

$p = [\underline{p_1} \ \ p_2]$

$q = [\underline{q_1} \ \ q_2]$

$f(2\cdot n^2) = 0$

for $h = 1:n$

Reseteamos sumap y sumaq.

for $K = 1:n$

$sumap = sumap + [v(K) \cdot y(h,K) \cdot cos(d(h) - d(K) - g(h,K))]$ ↳1,2...

$sumaq = sumaq + [v(K) \cdot y(h,K) \cdot sen(d(h) - d(K) - g(h,K))]$

end

$f(h) = v(h) \cdot sumap - p(h)$

$f(h+n) = v(h) \cdot sumaq - q(h)$

end.

end.

Reconstruimos v, d, p, q.

$U = v \cdot cos(d) + j v \, sen(d)$

$i_{12} = y_{12}(U(1) - U(2))$

$i_{21} = y_{12}(U(2) - U(1))$

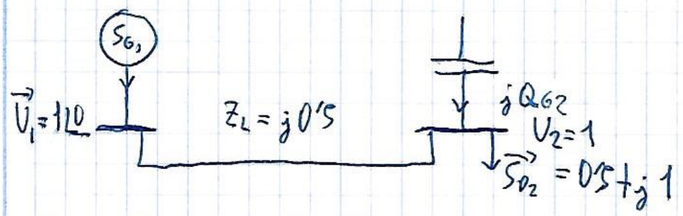
$s_{12} = U(1) \cdot i_{12}^*$

$s_{21} = U(2) \cdot i_{21}^*$

$perd_{12} = s_{12} - s_{21}$

2 – S_1? Q_2, δ_2

$\delta_2 = 0$



$sd_2 = 0'5 + j$

$sg_2 = 0 + \overset{?}{x}j$

$p = \text{real}(sg_2) - \text{real}(sd_2)$

"Igual que en Ej. 1"

$$x_0 = \begin{bmatrix} p_1 & q_1 \\ q_2 & d_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \underset{\text{inicial}}{1} & 0 \end{bmatrix} \rightarrow \text{Conocido}$$

La ec_prob6_2 igual que ec_prob6_1 pero con v_1, v_2, d_1 y p_2 conocida

Se reconstruye v, d, p y q.

$V = v \cdot \cos(d) + jv \cdot \text{sen}(d)$

$qg_2 = q(2) + \text{imag}(sd_2)$

El resto igual que Ej 1.

3 — $\vec{S_{D1}} = 1$ $\quad \vec{U_1} = 1\angle 0 \quad v_1 = 1 \quad d_1 = 0$

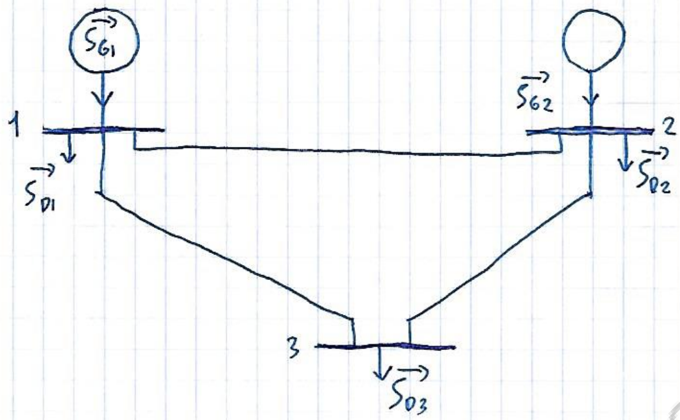
$\vec{S_{D2}} = 1 - j0'8 \quad P_{G2} = 0'8 \quad Q_{G2} = -0'3 \rightarrow sg_2 = 0'8 - 0'3j$

$\vec{S_{D3}} = 1 + j0'6 \rightarrow sg_3 = 0$

$\vec{Z_L} = j0'4$

$\vec{U_2}, \vec{U_3}$?

$\vec{U_2^0} = \vec{U_3^0} = 1\angle 0$ Una iteración,



$p_2 = \text{real}(sg_2) - \text{real}(sd_2)$

$q_2 = \text{imag}(sg_2) - \text{imag}(sd_2)$

$p_3 = \text{real}(sg_3) - \text{real}(sd_3)$

$q_3 = \text{imag}(sg_3) - \text{imag}(sd_3)$

$z_1 = z_2 = z_3 = z_L = 0'4j \quad y_{12} = y_{13} = y_{23} = \frac{1}{z_{12}}$

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} y_{12}+y_{23} & -y_{12} & -y_{13} \\ -y_{12} & y_{12}+y_{23} & -y_{23} \\ -y_{13} & -y_{23} & y_{13}+y_{23} \end{bmatrix} \rightarrow y = \text{abs}(Y_{bus}) \quad g = \text{angle}(Y_{bus})$$

$x_0 = [p_1 \quad q_1 \quad v_2 \quad d_2 \quad v_3 \quad d_3] =$

$x_0 = [1 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 0] \rightarrow$ Lo que sabes.

$\rightarrow$ Valor inicial.

$v = [v_1 \quad \overset{v_2}{x(3)} \quad \overset{v_3}{x(5)}]$

$d = [d_1 \quad \overset{d_2}{x(4)} \quad \overset{d_3}{x(6)}]$

$p = [\overset{p_1}{x(1)} \quad p_2 \quad p_3]$

$q = [\overset{q_1}{x(2)} \quad q_2 \quad q_3]$

$V.\ v \cdot \cos(d) + i \cdot v \cdot \text{sen}(d)$

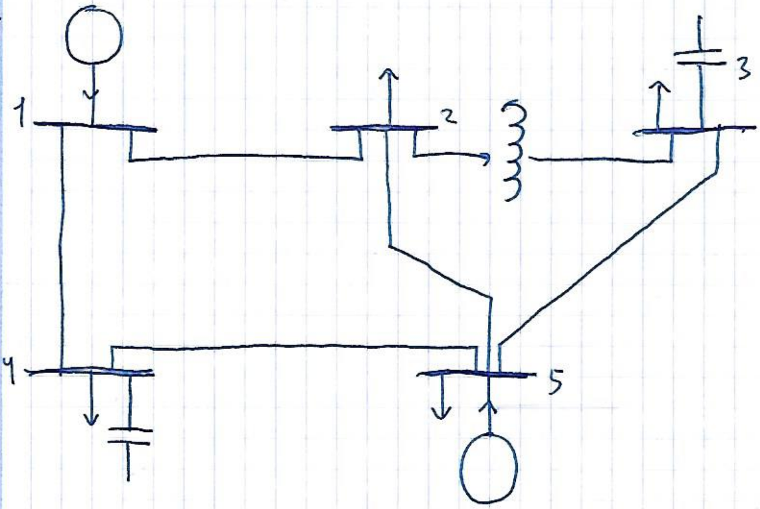
$pg_1 = p(1) + \text{real}(sd_1)$

$qg_2 = q(1) + \text{imag}(sd_1)$

Flujos.

4- Exactamente igual que el 3 pero cambiando q_2 por v_2.

5-



$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} y_{12}+y_{14} & -y_{12} & 0 & -y_{14} & 0 \\ -y_{12} & y_{12}+y_{25}+yt_{22} & -yt_{23} & 0 & -y_{25} \\ 0 & -yt_{32} & yt_{33}+y_{35} & 0 & -y_{35} \\ -y_{14} & 0 & 0 & y_{14}+y_{45} & -y_{45} \\ 0 & -y_{25} & -y_{45} & y_{45} & y_{45}+y_{25}+y_{35} \end{bmatrix}$$

$$yt_{22} = \left(\frac{1}{xt_{23}}\right) \Big/ t^2 \qquad yt_{23} = \left(\frac{1}{xt_{23}}\right) \Big/ t^* \qquad yt_{32} = \left(\frac{1}{xt_{23}}\right) \Big/ t \qquad yt_{33} = \frac{1}{xt_{23}}$$

$xt_{23} = X_{cc}(2\text{-}3)$ $\quad t = \cos(\overset{38}{?} \cdot \pi \cdot 180) + j \, \text{sen}(\overset{?}{38} \cdot \pi/180)$

Flujos igual salvo:

$i_{23} = (v(2)-v(3)) \cdot (1/xt_{23})/t + v(2) \cdot (1/xt_{23}) \cdot (1-t)/t^2$

$i_{32} = (v(3)-v(2)) \cdot (1/xt_{23})/t + v(3) \cdot (1/xt_{23}) \cdot \frac{(t-1)}{t}$