

CAPÍTULO 4

FORMULACIÓN DE MATRICES PARA EL CÁLCULO UTILIZANDO EL MATLAB.

INTRODUCCIÓN.

El paquete computacional MatLab (MATrix LABoratory) es un programa que nos proporciona un acceso iterativo a las librerías Linpack y Eispack los cuales se incluyen en el paquete, es un paquete de alta calidad para resolver ecuaciones lineales y otros tipos de problemas que envuelvan soluciones con base en técnicas matriciales sin tener que escribir programas en lenguajes tradicionales como el Fortran, Basic C++, etc.

Las declaraciones del MATLAB pueden prepararse desde cualquier editor y almacenarse en un archivo para un uso posterior. Este archivo se refiere a un documento, o un “m-file”, en donde se pueden ejecutar una serie de secuencias de ordenes almacenadas en el disco. En este documento se dan los datos en una matriz, si se detecta algún error en los datos, estos pueden ser fácilmente corregidos. Un M-file nos puede referenciar con otros M-file, incluyendo referencias propias recursivas.

4.1. FORMACIÓN DE ALGORITMO PARA CIRCUITOS ELÉCTRICOS.

En MatLab se puede crear una matriz ordenando los números en forma rectangular separados por un espacio entre ellos o por una coma, y, por punto y coma cuando se le indique al paquete que es cambio el final de una fila, contenido entre corchetes. Estas matrices pueden ser de cualquier tipo de expresión, y las matrices de igual dimensión pueden sumarse, sustraerse o multiplicarse. En adición a la construcción de funciones, numerosas funciones matemáticas se aprovechan en la forma de M-files que están contenidas dentro del paquete [13].

Empezaremos con la aplicación de este paquete para encontrar corrientes, voltajes y potencia en los circuitos eléctricos. Por ejemplo en el circuito de la Fig. 4.1 determinemos los voltajes de nodos V1 y V2, las corrientes que circulan por cada resistencia y la potencia entregada por las fuentes. [1]

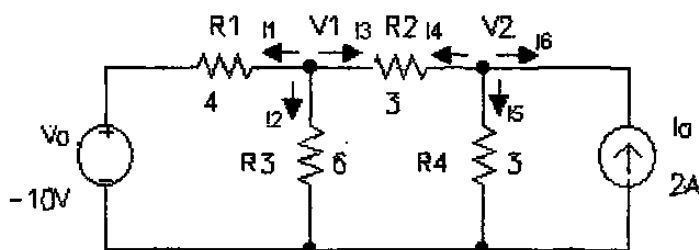


Fig. 4.1. Diagrama de un circuito DC.

Por LCK nos resulta la siguiente ecuación de nodo:

$$\begin{bmatrix} \frac{3}{4} & -\frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V1 \\ V2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{5}{2} \\ 2 \end{bmatrix}$$

El siguiente programa está escrito para encontrar la solución pedida:

Va= -10;

Ia= 2;

R1=1/4; R2=1/6; R3=1/3; R4=1/3;

Y= [3/4 -1/3; -1/3 2/3];

I=[-5/2; 2];

s1='LA SOLUCIÓN ES'

V=inv(Y)*I

P=V.*conj(I)

I1=V(1, :)/R1

I2=V(1, :)/R2

I3=(V(1, :)-V(2, :))/R3

I4=(V(2, :)-V(1, :))/R3

I5=V(2, :)/R4

I6=-Ia

s1 =

LA SOLUCIÓN ES

V =

-2.5714

1.7143

P =

6.4286

3.4286

I1 =

-10.2857

I2 =

-15.4286

I3 =

-12.8571

I4 =

12.8571

I5 =

5.1429

I6 =

-2

En nuestro siguiente ejemplo codificaremos un circuito de corriente alterna con números complejos, siguiendo una forma similar al del ejemplo anterior. Sea el circuito de la Fig. 4.2. obtendremos las corrientes de los elementos y el voltaje de cada nodo, así como la potencia que nos entregan las fuentes [1].

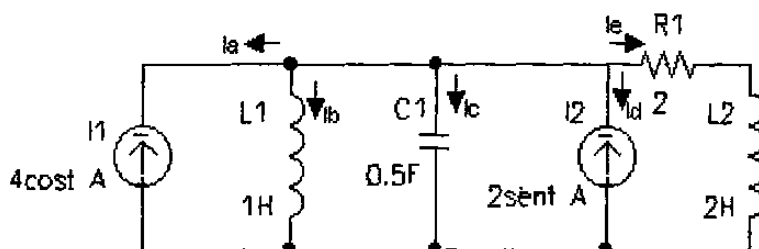


Fig. 4.2. Diagrama para el ejemplo 2 con MatLab

Antes de codificar el circuito, debemos de pasar los valores de los inductores y del capacitor a Ohms para que sea compatible con el valor de la resistencia, por lo tanto, las reactancias de L1 y L2 estan dadas por: $XL1=j\omega L1=j*1*2=j2\Omega$ y $XL2=j*1*2=j2\Omega$, para el capacitor tenemos: $XC1=1/(j\omega C1)=1/(j*1*0.5)=-j2\Omega$. Para las fuentes de corriente en forma polar tenemos: $I1=4\angle 0^\circ$ Amp. E $I2=2\angle -90^\circ$ Amp

Por LCK la ecuación nodal esta dada por:

$$\begin{bmatrix} 0.25 & -j0.75 \end{bmatrix} [V1] = \begin{bmatrix} 4 & -j2 \end{bmatrix}$$

Y el programa en MatLab es:

```

j=sqrt(-1);
I1=4;
I2=-j*2;
XL1=j*1;
XC1=-j*2;
R1=2;
XL2=j*2;
Z1=R1+XL2
I=[4-j*2];
Y=[0.25-j*0.75];

```

D='LA SOLUCIÓN ES'

$$V=I/Y$$

$$S=V*I$$

$$I_a=-I_1$$

$$I_b=V/XL1$$

$$I_c=V/XC1$$

$$I_d=-I_2$$

$$I_e=V/Z1$$

$$S1=V*I_b$$

$$S2=V*I_c$$

$$S3=V*Z1$$

$$Z1 =$$

$$2.0000 + 2.0000i$$

$$D =$$

LA SOLUCIÓN ES

$$V =$$

$$4.0000 + 4.0000i$$

$$S =$$

$$24.0000 + 8.0000i$$

$$I_a =$$

$$-4$$

$$I_b =$$

$$4.0000 - 4.0000i$$

$$I_c =$$

$$-2.0000 + 2.0000i$$

$$I_d =$$

$$0 + 2.0000i$$

$$I_e =$$

$$2$$

$$S1 =$$

$$32$$

$$S2 =$$

$$-16$$

$$S3 =$$

$$0 + 16.0000i$$

Otras de las aplicaciones que tiene MatLab es que puede producir gráficas de salidas con el comando plot y la gráfica se define fácilmente en función del tiempo, contra corriente, voltaje, potencia, o de la expresión que uno quiera. Por ejemplo, en el circuito de la Fig. 4.3, dibujaremos las cantidades fasoriales de I1, I2 e I3, [1].

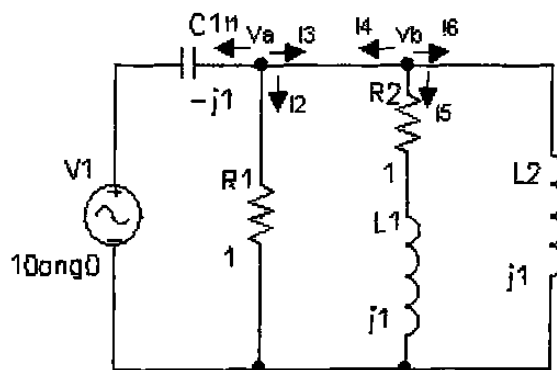


Fig. 4.3. Digrama para encontrar los fasores de las corrientes I1, I2, I5 e I6

La ecuación nodal esta dada por:

$$\begin{bmatrix} 1.707 - j*0.707 \end{bmatrix} [V_a] = \begin{bmatrix} j*10 \end{bmatrix}$$

El programa en MatLab es:

```
format short
j=sqrt(-1);
V1=10;
C1=-j*1;
R1=1;
R2=1;
L1=j*1;
L2=j*1;
```

$$Z=R2+L1$$

$$Y=[1.707-j*0.707];$$

$$I=[j*10];$$

D='LA SOLUCIÓN ES'

$$Va=I*Y$$

$$I1=(Va-V1)/C1$$

$$I2=Va/R1$$

$$I5=Va/Z$$

$$I6=Va/L2$$

$$I3=I5+I6$$

$$I4=-I3$$

$$S=V1*I1$$

$$S1=C1*I1^2$$

$$S2=R1*I2^2$$

$$S3=Z*I5^2$$

$$S4=L2*I6^2$$

$$Z =$$

$$1.0000 + 1.0000i$$

$$D =$$

LA SOLUCIÓN ES

$$Va =$$

$$7.0700 + 17.0700i$$

$$I1 =$$

$$-17.0700 - 2.9300i$$

$$I2 =$$

$$7.0700 + 17.0700i$$

$$I5 =$$

$$12.0700 + 5.0000i$$

$$I6 =$$

$$17.0700 - 7.0700i$$

I3 =

$$29.1400 - 2.0700i$$

I4 =

$$-29.1400 + 2.0700i$$

S =

$$-1.7070e+002 - 2.9300e+001i$$

S1 =

$$1.0003e+002 - 2.8280e+002i$$

S2 =

$$-2.4140e+002 + 2.4137e+002i$$

S3 =

$$-1.5100e-002 + 2.4138e+002i$$

S4 =

$$2.4137e+002 + 2.4140e+002i$$

de los resultados anteriores codificaremos los valores que nos interesan para graficar, siendo el programa MatLab el siguiente:

```
clg
```

```
wt=0:0.05:3*pi;
```

```
V1=10*cos(wt);
```

```
Va=18.48*cos(wt-67.5*pi/180);
```

```
I1=17.32*cos(wt-197.32*pi/180);
```

```
I2=18.48*cos(wt-67.5*pi/180);
```

```
I5=13.06*cos(wt-22.5*pi/180);
```

```
I6=18.48*cos(wt-337.5*pi/180);
```

```
P=V1.*I1;
```

```
P1=Va.*I5;
```

```
subplot(221),plot(wt,V1,wt,I1,wt,I6,wt,I5)
```

```
title('Voltaje y Corriente')
```

```
text(.5,10,'V1'), text(4,17.5,'I1'), text(5,18.5,'I6')
```

```
subplot(222),plot(wt,P,wt,P1)
```

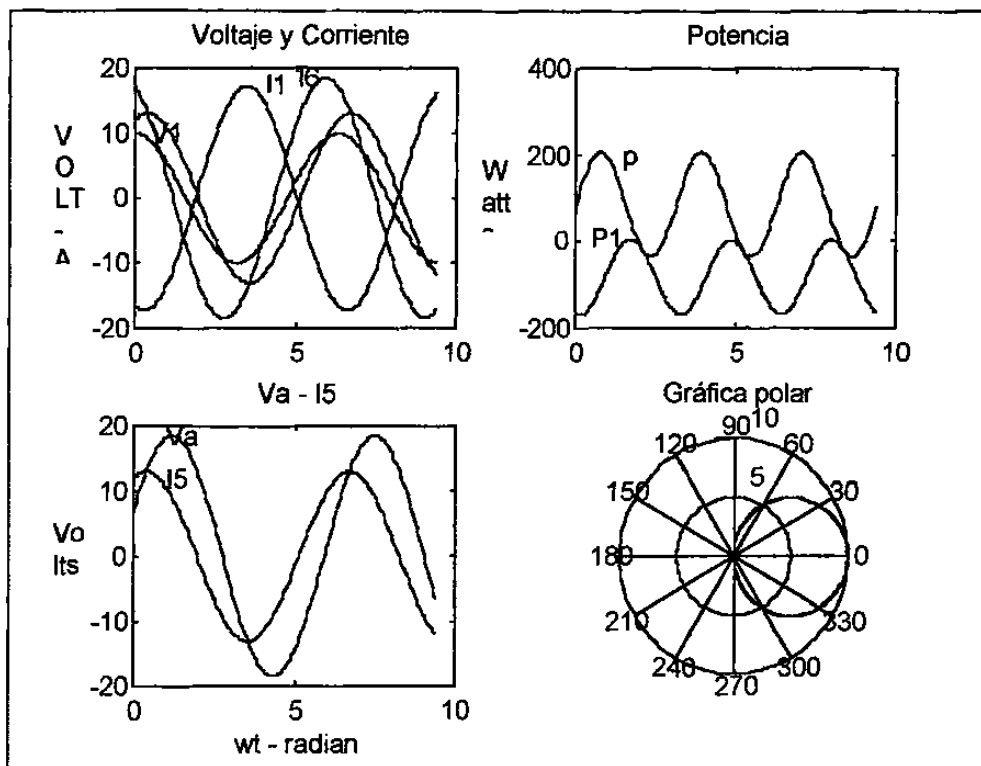
```
title('Potencia')
```



```

ylabel('Watts')
text(1.5,200,'p'), text(0.5,4.5,'P1')
subplot(223),plot(wt,Va,wt,I5)
title('Va - I5')
xlabel('wt - radian');
text(1,18.5,'Va'), text(1,12,'I5')
subplot(224),polar(wt,V1)
title('Gráfica polar')

```



4.2. - FORMACIÓN DEL ALGORITMO DE YBUS.

Para formular este algoritmo se utilizará el método de Newton-Raphson en forma polar para el análisis de flujo de carga en base al desarrollo de la serie de Taylor de las ecuaciones de desajuste de la potencia real y reactiva para cada nodo.

La ecuación de corriente nodal esta dada por [4], [5]:

$$I_k = \sum_{i=1} Y_{ki} V_i \quad \text{Ec. 4.1}$$

Siendo Y_{ki} la admitancia elemental de Ybus.

La potencia compleja en el nodo k esta dada por [4], [5]:

$$S_k = (P_k + jQ_k) = V_k \sum_{i=1} Y_{ki} V_i \quad \text{Ec. 4.2}$$

Siendo P_k y Q_k las potencias activa y reactiva inyectada en el nodo. K y n , representan el número total de nodos que tiene la red. Si se usan coordenadas polares las ecuaciones anteriores se modifican al expresar los voltajes de nodo en términos de sus magnitudes E_k y ángulos de fase δ_k así como las admitancias Y_{ki} en términos de su magnitud y ángulo θ_{ki} , de manera que las potencias real e imaginaria se pueden escribir como:

$$P_k = \sum_{i=1} E_k E_i Y_{ki} \cos(\delta_k - \delta_i - \theta_{ki}) \quad \text{Ec. 4.3}$$

$$Q_k = \sum_{i=1} E_k E_i Y_{ki} \sin(\delta_k - \delta_i - \theta_{ki}) \quad \text{Ec. 4.4}$$

Donde:

$$Y_{ki} = |Y_{ki}| \quad \& \quad \theta_{ki} = \text{Atan}(K_{ki}/G_{ki})$$

Como se recordará, el problema de flujos de carga consiste básicamente en resolver para los voltajes y sus ángulos las ecuaciones de potencia activa y reactiva de P_k y Q_k aplicándose el método iterativo de Newton debido a su característica de no

linealidad. Para formar el Jacobiano de solución para este método, se debe llegar a una matriz de la forma:

$$J = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 4.5}$$

Siendo H, N, J y L submatrices que integran al jacobiano, y el sistema de ecuaciones por resolver toma la forma general:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta S \\ \Delta E \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 4.6}$$

Donde los elementos del jacobiano se obtienen de las ecuaciones de potencia 4.3 y 4.4.

Derivando P_k se obtienen los elementos de fuera de la diagonal principal y los de la diagonal principal de la submatriz H del jacobiano. Los elementos de fuera de la diagonal de H son [4], [5]:

$$H_{ki} = \frac{\partial P_k}{\partial \delta_i} = E_k E_i Y_{ki} \sin(\delta_k - \delta_i - \Theta_{ki}) \quad \text{Ec. 4.7}$$

Los elementos de la diagonal principal de H son:

$$H_{kk} = \frac{\partial P_k}{\partial \delta_k} = \sum_{i=1, i \neq k}^n E_k E_i Y_{ki} \sin(\delta_k - \delta_i - \Theta_{ki}) \quad \text{Ec. 4.8}$$

Para encontrar los elementos de la submatriz N se procede en la misma forma.

Los elementos de fuera de la diagonal principal de N son [4], [5]:

$$N_{ki} = \frac{\partial P_k}{\partial E_i} = E_k Y_{ki} \cos(\delta_k - \delta_i - \Theta_{ki}) \quad \text{Ec. 4.9}$$

Y los elementos de la diagonal principal de N son:

$$N_{kk} = \frac{\partial P_k}{\partial E_k} = 2E_k Y_{kk} \cos \Theta_{kk} + \sum_{i=1, i \neq k}^n E_i Y_{ki} \cos(\delta_k - \delta_i - \Theta_{ki}) \quad \text{Ec. 4.10}$$

Los elementos fuera de la diagonal principal de la submatriz J son:

$$J_{ki} = \frac{\partial Q_k}{\partial \delta_i} = -E_k E_i Y_{ki} \cos(\delta_k - \delta_i - \Theta_{ki}) \quad \text{Ec. 4.11}$$

Los elementos de la diagonal principal de J son:

$$J_{kk} = \frac{\partial Q_k}{\partial \delta_k} = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n E_k E_i Y_{ki} \cos(\delta_k - \delta_i - \Theta_{ki}) \quad \text{Ec. 4.12}$$

Finalmente si se procede de la misma forma se obtienen los elementos de la submatriz L del jacobiano. Los elementos fuera de la diagonal principal son:

$$L_{ki} = \frac{\partial Q_k}{\partial E_i} = E_k Y_{ki} \sin(\delta_k - \delta_i - \Theta_{ki}) \quad \text{Ec. 4.13}$$

Y los elementos de la diagonal principal de L son:

$$L_{kk} = \frac{\partial Q_k}{\partial E_k} = 2E_k Y_{kk} \sin(-\Theta_{kk}) + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n E_i Y_{ki} \sin(\delta_k - \delta_i - \Theta_{ki}) \quad \text{Ec. 4.14}$$

Por ejemplo para un sistema de cuatro nodos como el mostrado en la Fig. 4.5, en donde el nodo 1 se toma como nodo compensador al sistema de ecuaciones por resolver se plantea como se indica a continuación:

Los nodos son:

Nodo 1 compensador.

Nodos 2 y 3 de carga.

Nodo 4 de voltaje controlado.

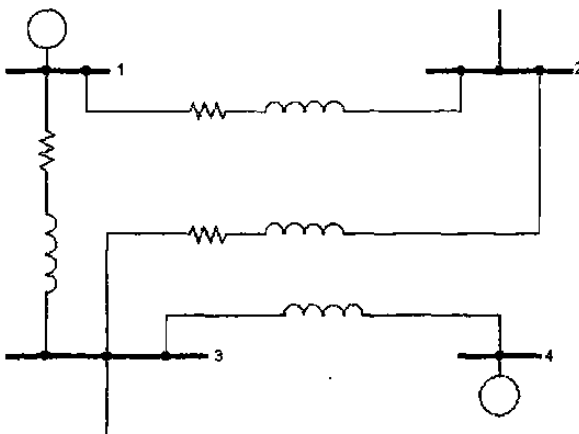


Fig. 4.5. Diagrama unifilar para formar la matriz del jacobiano.

El conjunto de ecuaciones en la forma matricial del jacobiano es:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \Delta P_4 \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_4} & \frac{\partial P_2}{\partial E_2} & \frac{\partial P_2}{\partial E_3} \\ \frac{\partial P_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_3} & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_4} & \frac{\partial P_3}{\partial E_2} & \frac{\partial P_3}{\partial E_3} \\ \frac{\partial P_4}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_4}{\partial \delta_3} & \frac{\partial P_4}{\partial \delta_4} & \frac{\partial P_4}{\partial E_2} & \frac{\partial P_4}{\partial E_3} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_4} & \frac{\partial Q_2}{\partial E_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial E_3} \\ \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_3} & \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_4} & \frac{\partial Q_3}{\partial E_2} & \frac{\partial Q_3}{\partial E_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \Delta \delta_3 \\ \Delta \delta_4 \\ \Delta E_2 \\ \Delta E_3 \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 4.15}$$

El sistema de ecuaciones se debe de resolver para $\Delta\delta$ y ΔE en términos de ΔP y ΔQ , de donde:

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta E \end{bmatrix} = \left[\text{JACOBI} \right]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 4.16}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \Delta \delta_3 \\ \Delta \delta_4 \\ \Delta E_2 \\ \Delta E_3 \end{bmatrix} = \left[\text{JACOBIANO} \right]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \Delta P_4 \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 4.17}$$

El objetivo principal de este algoritmo es llevar a cero los desbalances nodales de manera interactiva, o sea lograr que los $\Delta P_i = 0$ y $\Delta Q_i = 0$, por lo cual al utilizar la serie de Taylor en ambas expresiones, incluyendo el valor constante y la primera derivada (términos de primer orden), se obtiene la forma linealizada (Ec. 4.15) que se resuelve por un procedimiento directo.

A continuación presentaremos una simulación de un SEP por el método anteriormente descrito, para el SEP que se da en la Fig. 4.6 con tres iteraciones para la solución del problema de flujo de carga, considerando el nodo 1 como compensador, los datos del problema se dan a continuación:

DATOS DE LÍNEAS

Línea	Entrnodos	R(p.u.)	X(p.u.)
1	1-2	0.08	j0.40
2	1-3	0.12	j0.50
3	2-3	0.10	j0.40
4	3-4	0.0	j0.30

DATOS DE LOS NODOS

Bus No.	Tipo	V	P	Q
1	Compensador	1.05	-	-
2	De carga	1.0	-0.55	-0.13
3	De carga	1.0	-0.30	-0.18
4	De generación	1.10	0.5	-

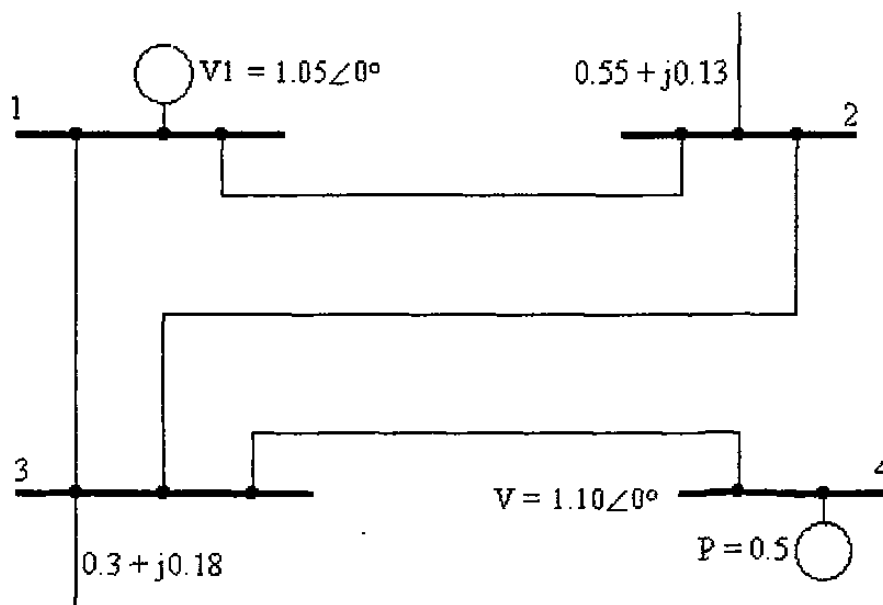


Fig. 4.6. Diagrama esquemático del problema para el estudio del flujo de carga.

Solución:

Se inicia el problema con la formación de la matriz de admitancia nodal, los elementos de esta matriz se obtienen a partir de los datos de las líneas para lo cual es necesario calcular las admitancias.

Calculando las impedancias en forma polar tenemos:

$$\text{Entre 1-2} \quad 0.08 + j0.40 = 0.4079 \angle 78.69^\circ$$

$$\text{Entre 1-3} \quad 0.12 + j0.50 = 0.5142 \angle 76.5^\circ$$

$$\text{Entre 2-3} \quad 0.10 + j0.40 = 0.4123 \angle 75.96^\circ$$

$$\text{Entre 3-4} \quad 0.0 + j0.30 = 0.30 \angle 90^\circ$$

Las admitancias por inversión de las impedancias son:

Entre nodos	Admitancia polar (r)	Conductancia (C)	Susceptancia (B)
1-2	$2.45 \angle -78.69^\circ$	0.4804	-j2.4024
1-3	$1.95 \angle -76.5^\circ$	0.4552	-j1.8961
2-3	$2.4254 \angle -75.96^\circ$	0.5884	-j2.3529
3-4	$3.33 \angle -90^\circ$	0.0	-j3.33

Los elementos de la matriz de admitancias nodal Ybus son los siguientes:

$$Y_{11} = Y_{12} + Y_{13} = 0.4804 - j2.4024 + 0.4552 - j1.8961 = 0.9356 - j4.2985 = 4.3991 \angle -77.7^\circ$$

$$Y_{22} = Y_{12} + Y_{23} = 0.4804 - j2.4024 + 0.5884 - j2.3529 = 1.0688 - j4.7553 = 4.8739 \angle -77.32^\circ$$

$$Y_{33} = Y_{13} + Y_{23} + Y_{34} = 0.4552 - j1.8961 + 0.5884 - j2.3529 = 1.0436 - j4.249 = 4.2703 \angle -83.88^\circ$$

$$Y_{44} = Y_{34} = 0.0 - j3.33 = 3.33 \angle -90^\circ$$

$$Y_{12} = Y_{21} = 0.4804 - j2.4024 = 2.45 \angle -78.69^\circ$$

$$Y_{13} = Y_{31} = 0.4552 - j1.8961 = 1.95 \angle -76.5^\circ$$

$$Y_{14} = Y_{41} = 0$$

$$Y_{23} = Y_{32} = 0.5884 - j2.3529 = 2.4254 \angle -75.96^\circ$$

$$Y_{24} = Y_{42} = 0$$

$$Y_{34} = Y_{43} = 0.0 - j3.33 = 3.33 \angle -90^\circ$$

De donde la matriz de admitancia nodal esta dada por:

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} 4.399\angle-77.7^\circ & 2.45\angle-78.69^\circ & 1.95\angle-76.5^\circ & 0 \\ 2.45\angle-78.69^\circ & 4.8739\angle-77.32^\circ & 2.4254\angle-75.96^\circ & 0 \\ 1.95\angle-76.5^\circ & 2.4254\angle-75.96^\circ & 4.2703\angle-83.88^\circ & 3.33\angle-90^\circ \\ 0 & 0 & \square & 3.33\angle-90^\circ \end{bmatrix}$$

Estos fueron unos cálculos analíticos de cómo calcular la matriz de admitancia nodal para la red de la Fig. 4.6. A continuación se presentará el algoritmo para calcular el estudio de flujo de carga por medio de MatLab.

```
% ALGORITMO PARA LA FORMACION DE YBUS
```

```
j=sqrt(-1)
```

```
format short
```

```
% DATOS PARA LA FORMACION DE LAS YBUS Y LA YBUS DE CD
```

```
MA = 4; % NUMERO DE NODOS DE SECUENCIA (+);
```

```
NLBUS = 4; % NUMERO DE LINEAS;
```

```
JI = [1; 1; 2; 3];
```

```
JB = [2; 3; 3; 4];
```

```
ZBUS1 = [0.0800; 0.1200; 0.1000; 0.0000];
```

```
ZBUS2 = j*[0.4000; 0.5000; 0.4000; 0.3000];
```

```
ZBUS=ZBUS1+ZBUS2;
```

```
% SECCION FORMADORA DE LA MATRIZ DE ADMITANCIAS
```

```
B(MA, MA) = 0.;
```

```
BP(MA, MA) = 0.;
```

```
for i=1:NLBUS
```

```
ZP1(i)=0 + j*imag (ZBUS(i));
```

```
end
```

```
% FORMACION DE LA MATRIZ DE ADMITANCIA
```

```
for i =1:NLBUS
```

```
BL = 1.0 / ZBUS(i);
```

```
BPL = 1.0 / ZP1(i);
```



```

L = JI (i);
M = JB(i);
B(L, L) = B(L,L) + BL;
BP(L, L) = BP(L, L) + BPL;
B(M, M) = B(M, M) + BL;
BP(M, M) = BP(M, M) + BPL;
B(L, M) = B(L, M) - BL;
BP(L, M) = BP(L, M) - BPL;
B(M, L) = B(L, M);
BP(M, L) = BP(L, M);
end
% SE QUEDARA SOLAMENTE CON LA PARTE IMAGINARIA DE LA YBUS SIN
RESISTENCIA
for i =1: M A
for ij =1:M A
BP(i , ij) = imag (BP ( i , ij ) );
E n d
E n d
% 'MATRIZ YBUS CON RESISTENCIA'
B;
% 'MATRIZ YBUS SIN RESISTENCIA'
BP;
% DATOS BASE PARA CALCULAR LOS INCREMENTOS
del = [ 0, 0, 0, 0];
V = [ 1.05, 1.0, 1.0, 1.10];
p1 = [ 0.0; -0.55; -0.30; 0.5];
q1 = [ 0.0; -0.13; -0.18; 0.0];
pq = [ 0.001; 0.001; 0.001; 0.001; 0.001; 0.001];
itera = 0;
while min(abs(pq)) < 0.01
itera=itera+1

```

```

% CALCULO DEL JACOBIANO
% PARA CONSTRUIR MATRIZ JACOBIANA
% PARA LA SUBMATRIZ H
% PARA EL NODO 2
H(2,1)=V(2)*V(1)*abs(B(2,1))*sin(del(2)-del(1)-angle(B(2,1)));
H(2,3)=V(2)*V(3)*abs(B(2,3))*sin(del(2)-del(3)-angle(B(2,3)));
H(2,4)=V(2)*V(4)*abs(B(2,4))*sin(del(2)-del(4)-angle(B(2,4))); % este da=0
% PARA LA DIAGONAL PRINCIPAL
H(2,2)=-V(2)*(V(1)*abs(B(2,1))*sin(del(2)-del(1)-
angle(B(2,1))))+V(3)*abs(B(2,3))*sin(del(2)-del(3)-angle(B(2,3)));
H(3,3)=-V(3)*(V(1)*abs(B(3,1))*sin(del(3)-del(1)-
angle(B(3,1))))+V(2)*abs(B(3,2))*sin(del(3)-del(2)-
angle(B(3,2)))+V(4)*abs(B(3,4))*sin(del(3)-del(4)-angle(B(3,4)));
H(4,4)=-V(4)*V(3)*abs(B(4,3))*sin(del(4)-del(3)-angle(B(4,3)));
% PARA EL NODO 3
H(3,1)=V(3)*V(1)*abs(B(3,1))*sin(del(3)-del(1)-angle(B(3,1)));
H(3,2)=V(3)*V(2)*abs(B(3,2))*sin(del(3)-del(2)-angle(B(3,2)));
H(3,4)=V(3)*V(4)*abs(B(3,4))*sin(del(3)-del(4)-angle(B(3,4)));
% PARA EL NODO 4
H(4,3)=V(4)*V(3)*abs(B(4,3))*sin(del(4)-del(3)-angle(B(4,3)));
H(4,2)=V(4)*V(2)*abs(B(4,2))*sin(del(4)-del(2)-angle(B(4,2))); % este da=0
% PARA LA SUMATRIZ N
% PARA EL NODO 2
N(2,1)=V(2)*abs(B(2,1))*cos(del(2)-del(1)-angle(B(2,1)));
N(2,3)=V(2)*abs(B(2,3))*cos(del(2)-del(3)-angle(B(2,3)));
N(2,4)=V(2)*abs(B(2,4))*cos(del(2)-del(4)-angle(B(2,4)));
% PARA LA DIAGONAL PRINCIPAL
N(2,2)=2*V(2)*abs(B(2,2))*cos(angle(B(2,2)))+V(1)*abs(B(2,1))*cos(del(2)-del(1)-
angle(B(2,1)))+V(3)*abs(B(2,3))*cos(del(2)-del(3)-angle(B(2,3)));

```

```

N(3,3)=2*V(3)*abs(B(3,3))*cos(angle(B(3,3)))+V(1)*abs(B(3,1))*cos(del(3)-del(1)-
angle(B(3,1)))+V(2)*abs(B(3,2))*cos(angle(B(3,2)))+V(4)*abs(B(3,4))*cos(del(3)-
del(4)-angle(B(3,4)));
N(4,4)=2*V(4)*abs(B(4,4))*cos(angle(B(4,4)))+V(3)*abs(B(4,3))*cos(del(4)-del(3)-
angle(B(4,3)));
% PARA NODO 3
N(3,1)=V(3)*abs(B(3,1))*cos(del(3)-del(1)-angle(B(3,1)));
N(3,2)=V(3)*abs(B(3,2))*cos(del(3)-del(2)-angle(B(3,2)));
N(3,4)=V(3)*abs(B(3,4))*cos(del(3)-del(4)-angle(B(3,4)));
% PARA EL NODO 4
N(4,3)=V(4)*abs(B(4,3))*cos(del(4)-del(3)-angle(B(4,3)));
N(4,2)=V(4)*abs(B(4,2))*cos(del(4)-del(2)-angle(B(4,2))); % esta da=0
% PARA LA SUBMATRIZ J
% PARA EL NODO 2
J(2,1)=-V(2)*V(1)*abs(B(2,1))*cos(del(2)-del(1)-angle(B(2,1)));
J(2,3)=-V(2)*V(3)*abs(B(2,3))*cos(del(2)-del(3)-angle(B(2,3)));
J(2,4)=-V(2)*V(4)*abs(B(2,4))*cos(del(2)-del(4)-angle(B(2,4))); % esta da=0
% PARA LA DIAGONAL PRINCIPAL
J(2,2)=V(2)*(V(1)*abs(B(2,1))*cos(del(2)-del(1)-
angle(B(2,1)))+V(3)*abs(B(2,3))*cos(del(2)-del(3)-angle(B(2,3))));
J(3,3)=V(3)*(V(1)*abs(B(3,1))*cos(del(3)-del(1)-
angle(B(3,1)))+V(2)*abs(B(3,2))*cos(del(3)-del(2)-
angle(B(3,2)))+V(4)*abs(B(3,4))*cos(del(3)-del(4)-angle(B(3,4))));
J(4,4)=V(4)*(V(1)*abs(B(4,1))*cos(del(4)-del(1)-
angle(B(4,1)))+V(2)*abs(B(4,2))*cos(del(4)-del(2)-
angle(B(4,2)))+V(3)*abs(B(4,3))*cos(del(4)-del(3)-angle(B(4,3))));
% PARA EL NODO 3
J(3,1)=-V(3)*V(1)*abs(B(3,1))*cos(del(3)-del(1)-angle(B(3,1)));
J(3,2)=-V(3)*V(2)*abs(B(3,2))*cos(del(3)-del(2)-angle(B(3,2)));
J(3,4)=-V(3)*V(4)*abs(B(3,4))*cos(del(3)-del(4)-angle(B(3,4)));
% PARA EL NODO 4

```

```

J(4,2)=-V(4)*V(2)*abs(B(4,2))*cos(del(4)-del(2)-angle(B(4,2)));
J(4,3)=-V(4)*V(3)*abs(B(4,3))*cos(del(4)-del(3)-angle(B(4,3)));
% PARA LA SUBMATRIZ L
% PARA EL NODO 2
L(2,3)=V(2)*abs(B(2,3))*sin(del(2)-del(3)-angle(B(2,3)));
L(2,4)=V(2)*abs(B(2,4))*sin(del(2)-del(4)-angle(B(2,4)));
% PARA EL NODO 3
L(3,2)=V(3)*abs(B(3,2))*sin(del(3)-del(2)-angle(B(3,2)));
L(3,4)=V(3)*abs(B(3,4))*sin(del(3)-del(4)-angle(B(3,4)));
% PARA EL NODO 4
L(4,2)=V(4)*abs(B(4,2))*sin(del(4)-del(2)-angle(B(4,2)));
L(4,3)=V(4)*abs(B(4,3))*sin(del(4)-del(3)-angle(B(4,3)));
% PARA LA DIAGONAL PRINCIPAL
L(2,2)=2*V(2)*abs(B(2,2))*sin(-angle(B(2,2)))+V(1)*abs(B(2,1))*sin(del(2)-del(1)-
angle(B(2,1)))+V(3)*abs(B(2,3))*sin(del(2)-del(3)-angle(B(2,3)));
L(3,3)=2*V(3)*abs(B(3,3))*sin(-angle(B(3,3)))+V(1)*abs(B(1,3))*sin(del(1)-del(3)-
angle(B(1,3)))+V(2)*abs(B(2,3))*sin(-angle(B(2,3)))+V(4)*abs(B(3,4))*sin(del(3)-
del(4)-angle(B(3,4)));
L(4,4)=2*V(4)*abs(B(4,4))*sin(-angle(B(4,4)))+V(3)*abs(B(4,3))*sin(del(4)-del(3)-
angle(B(4,3)));
jac=[H(2,2) H(2,3) H(2,4) N(2,2) N(2,3) N(2,4);
      H(3,2) H(3,3) H(3,4) N(3,2) N(3,3) N(3,4);
      H(4,2) H(4,3) H(4,4) N(4,2) N(4,3) N(4,4);
      J(2,2) J(2,3) J(2,4) L(2,2) L(2,3) L(2,4);
      J(3,2) J(3,3) J(3,4) L(3,2) L(3,3) L(3,4);
      J(4,2) J(4,3) J(4,4) L(4,2) L(4,3) L(4,4)];
jaci=inv(jac);
% CALCULA LA POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA
p(2)=V(2)*(V(1)*abs(B(2,1))*cos(del(2)-del(1)-angle(B(2,1)))+V(2)*abs(B(2,2))*cos(-
angle(B(2,2)))+V(3)*abs(B(2,3))*cos(-del(2)-del(3)-angle(B(2,3))));

```

```

p(3)=V(3)*(V(1)*abs(B(3,1))*cos(del(3)-del(1)-angle(B(3,1)))+V(2)*abs(B(3,2))*cos(-
del(3)-del(2)-angle(B(3,2))))+V(3)*abs(B(3,3))*cos(-
angle(B(3,3)))+V(4)*abs(B(3,4))*cos(-del(3)-del(4)-angle(B(3,4)));
p(4)=V(4)*(V(3)*abs(B(4,3))*cos(del(4)-del(3)-angle(B(4,3)))+V(4)*abs(B(4,4))*cos(-
angle(B(4,4))));
q(2)=V(2)*(V(1)*abs(B(2,1))*sin(del(2)-del(1)-angle(B(2,1)))+V(2)*abs(B(2,2))*sin(-
angle(B(2,2)))+V(3)*abs(B(2,3))*sin(-del(2)-del(3)-angle(B(2,3))));
q(3)=V(3)*(V(1)*abs(B(3,1))*sin(del(3)-del(1)-angle(B(3,1)))+V(2)*abs(B(3,2))*sin(-
del(3)-del(2)-angle(B(3,2)))+V(3)*abs(B(3,3))*sin(-
angle(B(3,3)))+V(4)*abs(B(3,4))*cos(-del(3)-del(4)-angle(B(3,4)));
q(4)=V(4)*(V(3)*abs(B(4,3))*sin(del(4)-del(3)-angle(B(4,3)))+V(4)*abs(B(4,4))*sin(-
angle(B(4,4))));
% INCREMENTO DE POTENCIAS
for i=1:MA
    p(i)=p1(i)-p(i);
end
for i=1:MA
    q(i)=q1(i)-q(i);
end
p1=[p(2); p(3); p(4)];
q1=[q(2); q(3); q(4)];
pq=[p1; q1];
devo=jaci*pq;
del1=[0.0; devo(1); devo(2); devo(3)];
V1=[0.0; devo(4); devo(5); devo(6)];
% INCREMENTO DE ANGULOS Y VOLTAJE
for i=1:MA
    del(i)=del(i)+del1(i);
end
for i=1:MA
    V(i)=V(i)+V1(i);

```

```
end
del=[del(1); del(2); del(3); del(4)]
V=[V(1); V(2); V(3); V(4)]
p1=[p(1); p(2); p(3); p(4)]
q1=[q(1); q(2); q(3); q(4)]
pause
end
keyboard
quit
end
```

Cuya solución nos conduce a:

```
j =
    0 + 1.0000i
itera =
    1
del =
    0
   -0.7821
    0.1085
    0.2448
V =
    1.0500
    0.1663
   -0.2483
   -0.1360
p1 =
    0
   -0.5260
   -0.2773
    0.5000
```

q1 =

0
-0.0098
-3.4188
-0.3667

itera =

2

del =

0
-14.8977
-11.6447
57.7261

V =

1.0500
-8.2260
8.1669
59.5513

p1 =

0
-0.1586
-0.1980
0.4847

q1 =

0
0.0062
-2.2880
-0.3168

itera =

3

```

del =
    0
   -11.5967
   -11.7673
    57.1558

V =
    1.0500
   -7.3966
   17.0844
   37.0060

p1 =
    0
   65.0132
  301.8581
 -409.6713

q1 =
  1.0e+004 *
    0
   -0.0369
    0.0056
   -1.0253

```

4.2. FORMACIÓN DE ALGORITMO PARA SISTEMAS LINEALES.

Otras de las utilizaciones de MatLab es la de graficar sistemas lineales en el tiempo, y por medio de las gráficas saber como se comportará el sistema, si es estable o no lo es. Ya que por contrario a los circuitos eléctricos y a sistemas de comunicación, las entradas de muchos sistemas de control prácticos no se conocen con anticipación, ya que pueden variar en forma aleatoria con respecto al tiempo.

Sea el polinomio característico dado por:

$$p(s) = c_0 + c_1 s + c_2 s^2 + \dots + c_n s^n \quad \text{Ec. 4.18}$$

Cuyos parámetros son:

$$\{q_1, q_2, \dots, q_n\}$$

$$q_1 \in [q_{1\min}, q_{1\max}]$$

$$q_2 \in [q_{2\min}, q_{2\max}] \implies Q = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \dots \\ q_n \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 4.19}$$

$$q_n \in [q_{n\min}, q_{n\max}]$$

Donde q está contenido en Q ; y Q es la caja que contiene al conjunto de vectores. Estos vectores forman una incertidumbre y están contenido dentro de la caja. Ahora tenemos una familia polinomial, por lo tanto, $P(S) = \{p(s,q) \mid q \in Q\}$. Gráficamente se puede representar como en la Fig. 4.7 en donde q es un elemento de la caja.

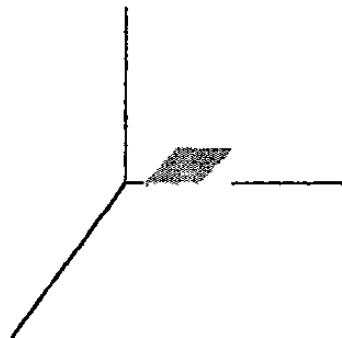


Fig. 4.7. Representación de una familia polinomial.

Mikhailov nos dice que si un polinomio de la forma de la Ec. 4.19 es estable si y solo si el argumento se incrementa en $\Pi/2$. Y en el plano complejo el polinomio es estable si su gráfica rodea al origen en "n" cuadrantes.

El teorema de Hermite-Biehler, propone que un polinomio de la forma (4.19) se puede descomponer en su parte real e imaginaria de la forma: $P(S) = P_R(s) + P_I(s)$, de donde, manejado en la forma $(j\omega)$, tenemos:

$$P_R(j\omega) = C_0 - C_2\omega^2 + C_4\omega^4 - \dots$$

$$P_I(j\omega) = C_1 - C_3\omega^3 + C_5\omega^5 - \dots \quad \text{Ec. 4.20}$$

Donde las raíces son: $P_R(j\omega) = \{\omega_{R1}, \omega_{R2}, \omega_{R3}, \dots\}$ & $P_I(j\omega) = \{0, \omega_{I1}, \omega_{I2}, \omega_{I3}, \dots\}$, este teorema no dice que el polinomio es estable si y solo si $0 < \omega_{R1} < \omega_{I1} < \omega_{R2} < \omega_{I2} < \dots$, si cumple entrelazamientos es estable. La condición que debe de satisfacer es que todos los coeficientes sean del mismo signo, esta es una condición necesaria pero no suficiente.

Los polinomios se clasifican de acuerdo a su incertidumbre y pueden ser: polinomio Intervalo, Afin, multilineal y polinómico. En el polinomio de Intervalo, el parámetro que entra en un coeficiente no entra en los otros; en el Afin, puede haber relación de coeficientes; en el Multilineal, también los parámetros entran en cualquier coeficiente pero no se admiten potencias; y, finalmente, en el Polinómico pueden haber potencias y productos.

A continuación analizaremos con MatLab algunos de estos casos en la cual uno será para un sistema inestable.

EJERCICIO [14]: (UN MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA CON UNA CARGA RESONANTE): La meta en este ejercicio es aplicar la teoría del conjunto de valores polinomiales usando el modelo de un motor de corriente directa. Considera la incertidumbre de los parámetros siguientes $0.5 \cdot 10^{-2} \leq J \leq 1.5 \cdot 10^{-2}$ y $2 \cdot 10^{-3} \leq B \leq 4 \cdot 10^{-1}$. El resto de los parámetros son fijos en $L = 5 \cdot 10^{-3}$, $R = 1$, $J_m = 2 \cdot 10^{-3}$, $B_m = 2 \cdot 10^{-3}$, $K = 0.5$ y $K_s = 2 \cdot 10^3$. En otros estudios la localización de los polos como una función de los parámetros de incertidumbre, se toma $q_1 = J$ y $q_2 = B$ y se concentra la función de transferencia del voltaje de armadura a la velocidad del contacto de eje. Esta función de transferencia es obtenida por

$$P(s) = \frac{kJLs^2 + KBs + Ks}{\Delta(s)}$$

Donde

$$\Delta(s) = J_m J L s^4 + (B_m J L + B J_m L + J_m J R) s^3 + (B_m B L + J_m K_s L + k_s J L)$$

$$\begin{aligned}
 &+BmJIR + BIJmR + K^2J)s^2 \\
 &+(BmKsL + BIKsL + BmBLR \\
 &+ JmKsR + KsJIR + K^2BL)s \\
 &+ (BmKsR + BlksR + K^2Ks).
 \end{aligned}$$

(a) verificar que la incertidumbre del denominador del polinomio es obtenida por:

$$\begin{aligned}
 p(s,q) = 10^{-5}q_1s^4 + (2 * 10^{-3}q_1 + 10^{-5}q_2)s^3 \\
 + (10.252q_1 + 2 * 10^{-3}q_2 + 2 * 10^{-2})s^2 \\
 + (4.02 + 2 * 10^3q_1 + 10.252q_2)s \\
 + 5.04 * 10^2 + 2 * 10^3q_2.
 \end{aligned}$$

(b) Limitando el conjunto de incertidumbre:

$$Q = \{q \in \mathbb{R}^2 : 0.005 \leq q_1 \leq 0.015; 0.002 \leq q_2 \leq 0.4\}$$

Obteniendo de los datos de arriba, tomar los polos deseados en la región D a ser un cono con el ángulo $\emptyset = 45^\circ$, generando un valor apropiado de conjuntos $p(z,Q)$ y usar la condición exclusiva cero para determinar si P es robustamente Estable. Determinar si la especificación de amortiguamiento es robustamente satisfecha.

SOLUCIÓN:

(a) Verificamos que:

$$\begin{aligned}
 \Delta(s,q) = 2*10^{-3}*q_1 * 5*10^{-3}s^4 + & \left[\frac{2*10^{-3}*q_1 * 5*10^{-3} + q_2 * 2*10^{-3} * 5*10^{-3} +}{2*10^{-3}*q_1 * 1} \right] s^3 \\
 + & \left[\frac{2*10^{-3}*q_2 * 5*10^{-3} + 2*10^{-3} * 2*10^3 * 5*10^{-3} + 2*10^3 * q_1 * 5*10^{-3} +}{2*10^{-3}*q_1 * 1 + q_2 * 2*10^{-3} * 1 + 0.5^2 * q_1} \right] s^2 \\
 + & \left[\frac{2*10^{-3} * 2*10^3 * 5*10^{-3} + q_2 * 2*10^3 * 5*10^{-3} + 2*10^3 * q_2 * 1 + 2*10^{-3} *}{2*10^3 * 1 + 2*10^3 * q_1 * 1 + 0.5^2 * q_2} \right] s \\
 + & \left[2*10^{-3} * 2*10^3 * 1 + q_2 * 2*10^3 * 1 + 0.5^2 * 2*10^3 \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \therefore \Delta(s,q) = 10^{-5}q_1s^4 + (2 * 10^{-3}q_1 + 10^{-5}q_2)s^3 \\
 + (10.252q_1 + 2 * 10^{-3}q_2 + 2 * 10^{-2})s^2 \\
 + (4.02 + 2 * 10^3q_1 + 10.252q_2)s \\
 + 5.04 * 10^2 + 2 * 10^3q_2.
 \end{aligned}$$

Y por lo tanto $P(s,q) \approx \Delta(s,q)$, $\Rightarrow Q = \{q \in \mathbb{R}^2 \mid 0.005 \leq q_1 \leq 0.015; 0.002 \leq q_2 \leq 0.4\}$

(b) para encontrar la estabilidad tenemos que al sustituir los valores de q_1 y q_2 :

$$P(s, q_{00}) = 508 + 14.0405s + 0.0713s^2 + 1.007s^3 + 5 \cdot 10^{-8}s^4$$

$$P(s, q_{01}) = 1304 + 18.12085s + 0.07206s^2 + 1.405 \cdot 10^{-5}s^3 + 5 \cdot 10^{-8}s^4$$

$$P(s, q_{10}) = 508 + 34.0405s + 0.1738s^2 + 3.017 \cdot 10^{-5}s^3 + 1.5 \cdot 10^{-7}s^4$$

$$P(s, q_{11}) = 1304 + 38.1208s + 0.1746s^2 + 3.415 \cdot 10^{-5}s^3 + 1.5 \cdot 10^{-7}s^4$$

Deduciendo que:

$$P(j\omega, q_{00}) = (508 - 0.0713\omega^2 + 5 \cdot 10^{-8}\omega^4) + j(14.0405\omega - 1.007 \cdot 10^{-5}\omega^3)$$

$$P(j\omega, q_{01}) = (1304 - 0.07206\omega^2 + 5 \cdot 10^{-8}\omega^4) + j(18.1208\omega - 1.007 \cdot 10^{-5}\omega^3)$$

$$P(j\omega, q_{10}) = (508 - 0.0713\omega^2 + 1.05 \cdot 10^{-7}\omega^4) + j(34.0405\omega - 3.017 \cdot 10^{-5}\omega^3)$$

$$P(j\omega, q_{11}) = (1304 - 0.1746\omega^2 + 1.5 \cdot 10^{-7}\omega^4) + j(38.1208\omega - 3.415 \cdot 10^{-5}\omega^3)$$

Resultando la programación en MatLab:

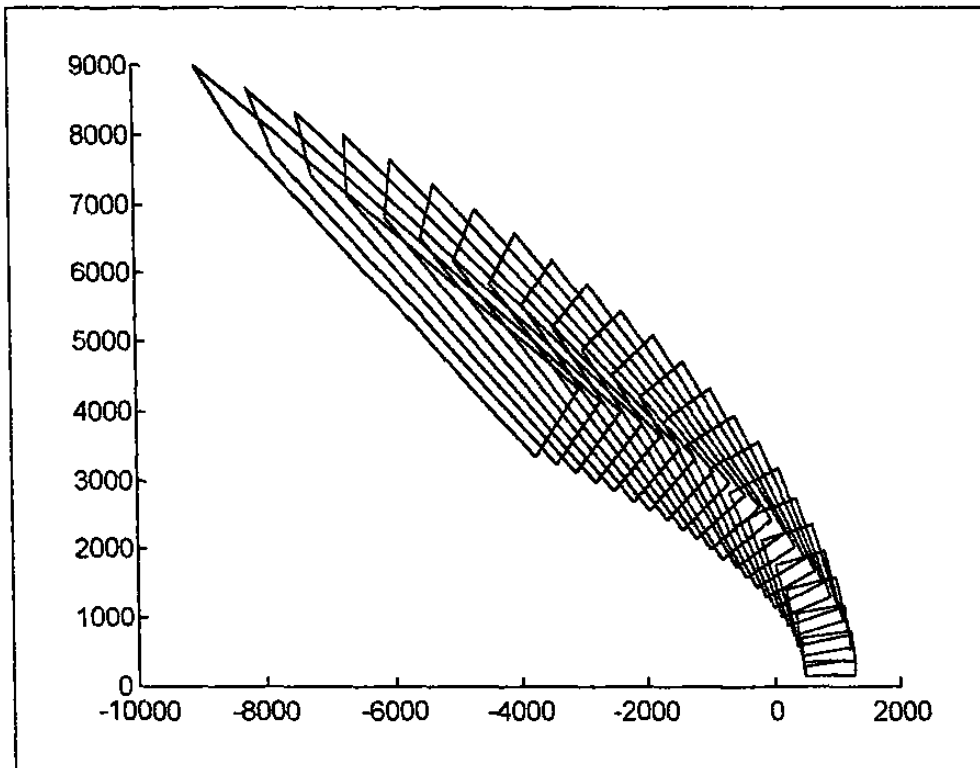
```
%EJMPLO1
hold on
np=25;
wa=0;
wb=5;
dw=(wb-wa)/(np-1);
Xmin=99e99;
Xmax=-99e99;
Ymin=99e99;
Ymax=-99e99;
for n=1:np
    w=wa+(n-1)*dw;
    x1=508-0.0713*w^2+5e-8*w^4;
    y1=14.0405*w-1.007e-5*w^3;
    x2=1304-0.0726*w^2+5e-8*w^4;
    y2=18.1208*w-1.405e-5*w^3;
    x3=508-0.1738*w^2+5e-7*w^4;
    y3=34.0405*w-3.017e-5*w^3;
    x4=1304-0.1746*w^2+1.5e-7*w^4;
```

```

y4=38.1208*w-3.415e-5*w^3;
if x1>(x2|x3|x4);x=x1;end
if x2>(x3|x4|x1);x=x2;end
if x3>(x4|x1|x2);x=x3;end
if x4>(x1|x2|x3);x=x4;end
if x>Xmax;Xmax=x;end
if x1<(x2|x3|x4);x=x1;end
if x2<(x3|x4|x1);x=x2;end
if x3<(x4|x1|x2);x=x3;end
if x4<(x1|x2|x3);x=x4;end
if x<Xmin;Xmin=x;end
if y1>(y2|y3|y4);y=y1;end
if y2>(y3|y4|y1);y=y2;end
if y3>(y4|y1|y2);y=y3;end
if y4>(y1|y2|y3);y=y4;end
if y>Ymax;Ymax=y;end
if y1<(y2|y3|y4);y=y1;end
if y2<(y3|y4|y1);y=y2;end
if y3<(y4|y1|y2);y=y3;end
if y4<(y1|y2|y3);y=y4;end
if y<Ymin;Ymin=y;end
plot([x1 x2],[y1 y2],'R')
plot([x2 x4],[y2 y4],'R')
plot([x4 x3],[y4 y3],'R')
plot([x3 x1],[y3 y1],'R')
end
» plot([Xmin Xmax],[0 0],'B')
» plot([0 0],[Ymin Ymax],'B')

```

En la figura podemos observar que el motor se comportará en forma estable a cualquier frecuencia



PROBLEMA DE MULTILINEAL INESTABLE

$$P(S, q) = 50q_1 + 5q_2 S + (10q_1 + 5q_1q_2) S^2 + 20q_1q_2 S^3$$

$$P(jw; q) = 50q_1 - (10q_1 + 5q_1q_2) w^2 + J(5q_2 w - 20q_1q_2 w^3)$$

$$q_1 \in [0.1, 0.2] \text{ \& } q_2 \in [0.01, 0.02]$$

$$P(S; q) = (5 - 1.005 w^2) + J(0.05 w - 0.02 w^3)$$

$$P(S; q) = (5 - 1.01 w^2) + J(0.1 w - 0.04 w^3)$$

$$P(S; q) = (10 - 2.01 w^2) + J(0.1 w - 0.04 w^3)$$

$$P(S; q) = (10 - 2.02 w^2) + J(0.1 w - 0.08 w^3)$$

PROGRAMACION

```
%multilineal 2
```

```
hold on
```

```
np=30;
```

```

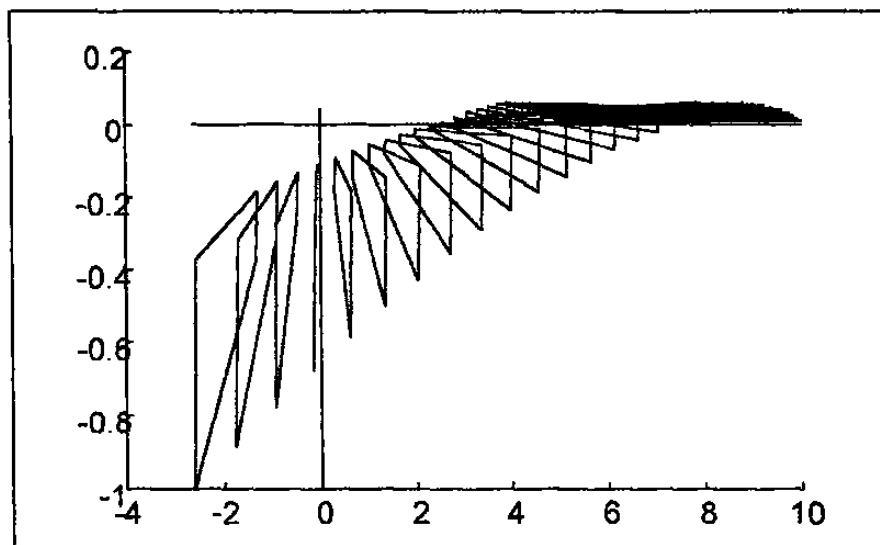
wa=0;
wb=2.5;
dw=(wb-wa)/(np-1);
Xmin=99e99;
Xmax=-99e99;
Ymin=99e99;
Ymax=-99e99;
for n=1:np
    w=wa+(n-1)*dw;
        x1=5-1.005*w^2;
        y1=.05*w-.02*w^3;
        x2=5-1.01*w^2;
        y2=.1*w-.04*w^3;
        x3=10-2.01*w^2;
        y3=.1*w-.04*w^3;
        x4=10-2.02*w^2;
        y4=.1*w-.08*w^3;
    if x1>(x2|x3|x4);x=x1;end
    if x2>(x1|x3|x4);x=x2;end
    if x3>(x1|x2|x4);x=x3;end
    if x4>(x1|x2|x3);x=x4;end
    if x>Xmax;Xmax=x;end
    if x1<(x2|x3|x4);x=x1;end
    if x2<(x1|x3|x4);x=x2;end
    if x3<(x1|x2|x4);x=x3;end
    if x4<(x1|x2|x3);x=x4;end
    if x<Xmin;Xmin=x;end
    if y1>(y2|y3|y4);y=y1;end
    if y2>(y1|y3|y4);y=y2;end
    if y3>(y1|y2|y4);y=y3;end
    if y4>(y1|y2|y3);y=y4;end

```

```

if y>Ymax;Ymax=y;end
if y1<(y2|y3|y4);y=y1;end
if y2<(y1|y3|y4);y=y2;end
if y3<(y1|y2|y4);y=y3;end
if y4<(y1|y2|y3);y=y4;end
if y<Ymin;Ymin=y;end
plot([x1 x2],[y1 y2],'R')
plot([x2 x4],[y2 y4],'R')
plot([x3 x1],[y3 y1],'R')
plot([x4 x3],[y4 y3],'R')
end
plot([Xmin Xmax],[0 0],'B')
plot([0 0],[Ymin Ymax],'B')

```



PROGRAMACIÓN PARA UN PROBLEMA CON POLIMIO AFIN ESTABLE.

```

%poli2
hold on
np=25;
wa=0;
wb=5;

```



```

dw=(wb-wa)/(np-1);
Xmin=99e99;
Xmax=-99e99;
Ymin=99e99;
Ymax=-99e99;
for n=1:np
    w=wa+(n-1)*dw;
        x1=4-1.05*w^2+24e-5*w^4;
        y1=3.5*w-16e-4*w^3;
        x2=6-6*w^2+48e-5*w^4;
        y2=4.4*w-8e-4*w^3;
        x3=6-6*w^2+48e-5*w^4;
        y3=3.5*w-16e-4*w^3;
        x4=4-1.05*w^2+24e-5*w^4;
        y4=4.4*w-8e-4*w^3;
    if x1>(x2|x3|x4);x=x1;end
    if x2>(x1|x3|x4);x=x2;end
    if x3>(x1|x2|x4);x=x3;end
    if x4>(x1|x2|x3);x=x4;end
    if x>Xmax;Xmax=x;end
    if x1<(x2|x3|x4);x=x1;end
    if x2<(x1|x3|x4);x=x2;end
    if x3<(x1|x2|x4);x=x3;end
    if x4<(x1|x2|x3);x=x4;end
    if x<Xmin;Xmin=x;end
    if y1>(y2|y3|y4);y=y1;end
    if y2>(y1|y3|y4);y=y2;end
    if y3>(y1|y2|y4);y=y3;end
    if y4>(y1|y2|y3);y=y4;end
    if y>Ymax;Ymax=y;end
    if y1<(y2|y3|y4);y=y1;end

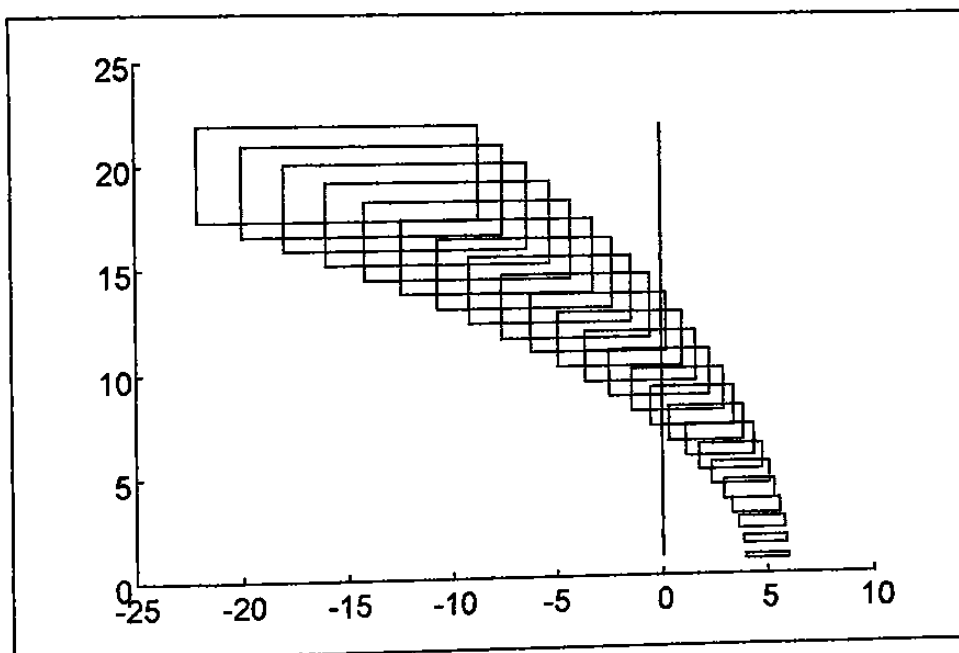
```

```
if y2<(y1|y3|y4);y=y2;end
if y3<(y1|y2|y4);y=y3;end
if y4<(y1|y2|y3);y=y4;end
if y<Ymin;Ymin=y;end
plot([x1 x4],[y1 y4],'R')
plot([x2 x3],[y2 y3],'R')
plot([x3 x1],[y3 y1],'R')
plot([x2 x4],[y2 y4],'R')
```

end

```
plot([Xmin Xmax],[0 0],'B')
```

```
plot([0 0],[Ymin Ymax],'B')
```



CAPÍTULO 5.

SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE SISTEMAS DE POTENCIA.

Este paquete se compone de nueve programas compatible para windos o DOS, propio para profesionales o estudiantes para resolver problemas relacionados con el texto [15], para el análisis de conducta de los SEP y para el estudio de diseño. Estos nueve programas cubren los siguientes tópicos: Componentes Simétricas; Constantes de Líneas; Líneas de Transmisión; Operación de Estado Estable; Cortos Circuitos Simétricos; Cortos Circuitos Asimétricos; Transitorios en Líneas de Transmisión; y Estabilidad Transitoria (todos en formato DOS); Operaciones Matriciales; y Flujo de Potencia (en Windows).

En esta Tesis se analizaran exclusivamente los chaps de fallas, flujo de potencia y estabilidad, realizando varias simulaciones para una mejor comprensión del paquete. Y se cargan en forma convencional en la PC. En todos ellos, los datos de entrada se incluyen las máquinas, líneas de transmisión y transformadores.

5.1. PROGRAMA DE CORTO CIRCUITO.

Para calcular la corriente de falla subtransitoria para un corto circuito trifásico en un SEP. Asumiremos lo siguiente [21]:

- Los transformadores están representados por sus reactancias de enlace. La resistencia del devanado, la admitancia shunt, y la inversión de fase Δ -Y se desprecian.
- Las líneas de transmisión están representadas por su reactancia serie equivalente de secuencia positiva. La resistencia serie y la admitancia shunt se desprecian.
- Las máquinas síncronas están representadas por una fuente de voltaje constante atrasada con respecto a la reactancia subtransitoria. La resistencia de la armadura, del núcleo saliente, y, la saturación se desprecian.
- Todas las impedancias de carga no rotatorias se desprecian.
- Los motores de inducción se desprecian (especialmente los motores pequeños con razón menor a 50 HP) o se representan en la misma forma como para las máquinas síncronas.

Esto se hace para simplificar al SEP, pero en la práctica puede no hacerse para todos los casos. Por ejemplo, en sistemas de distribución, las resistencias de las líneas de distribución primarias y secundarias pueden en algunos casos reducir significativamente las magnitudes de las corrientes de falla.

Iniciaremos nuestro cálculo con el programa Chap8 el cual ya trae un programa típico en su memoria para correrlo, efectuando dos simulaciones, la primera simulación con un voltaje de prefalla de 1.05 PU y la segunda con un valor de 1.25 PU, y posteriormente realizaremos algunos cambios en el arreglo del SEP, como abrir o adherir una línea de transmisión, adherir otra máquina síncrona y un transformador.

Consideremos el sistema de potencia [21] representado en la Fig. 5.1. Los datos de las máquinas, transformadores y líneas de transmisión se dan en la tabla 5.1, 5.2 y 5.3. Los neutros de ambos transformadores y del generador 1 están sólidamente aterrizados,

y el generador 2 por medio de una reactancia de 0.001 pu. El voltaje de prefalla es de 1.05 pu. Todos los valores estan en PU.

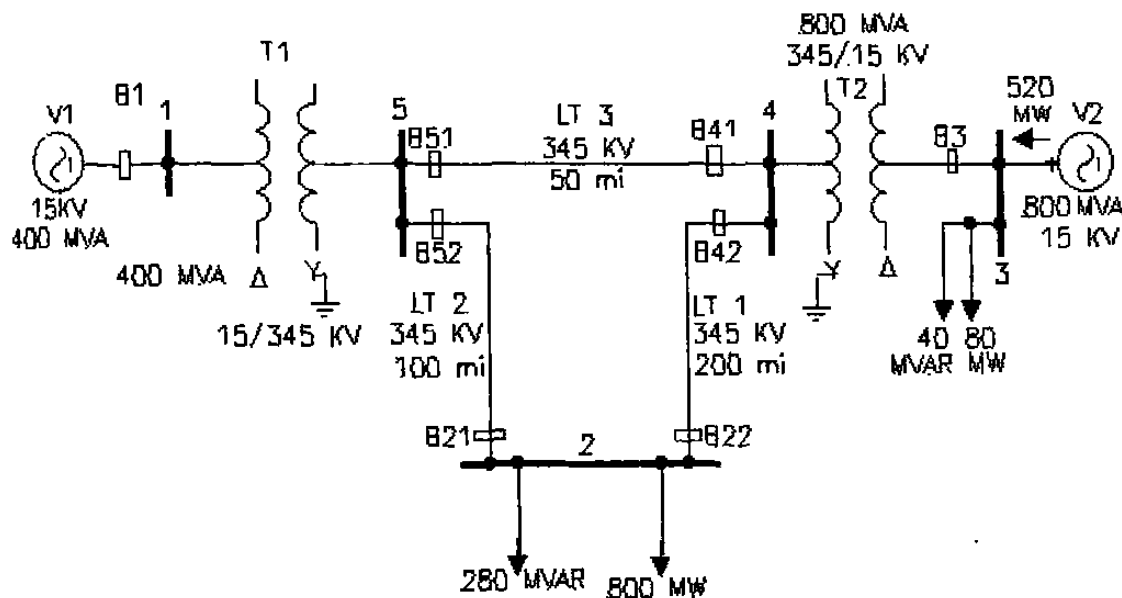


Fig. 5.1. Diagrama del sistema de potencia para el cálculo de falla.

TABLA 5.1

DATOS DE LAS MÁQUINAS SINCRONAS.

BUS	X_0	$X_1 = X_d''$	X_2	X_n
1	0.05	0.18	0.18	0
2	0.02	0.09	0.09	0.01

TABLA 5.2

DATOS DE LAS LINEAS DE TRANSMISIÓN.

BUS A BUS	X_0	X_1
2-4	1.2	0.4
2-5	0.6	0.2
4-5	0.3	0.1

TABLA 5.3
DATOS DEL TRANSFORMADOR.

BAJO VOLTAJE CONEXIÓN AL BUS	ALTO VOLTAJE CONEXIÓN AL BUS	REACTANCIA DE ENLACE	REACTANCIA DEL NEUTRO
1(Δ)	5(Y)	0.08	0
3(Δ)	4(Y)	0.04	0

$S_{base} = 400$ MVA; $V_{base} = 15$ KV en el bus 1 y 3, y, 345 Kv en el bus 2, 4 y5.

Los resultados de la corrida del programa se anexan a continuación, seleccionando el caso 1 ↵, después le damos el nombre de fallas ↵ y efectuamos la corrida del programa en 2 ↵, y con ctrl + printscreen mandamos a imprimir los resultados, los cuales resultaron ser:

YOU CAN SAVE THE INPUT DATA FOR UP TO FIVE CASES

ENTER YOUR CASE NUMBER (1, 2, 3, 4 OR 5) 1

ENTER YOUR CASE NAME (ANY ALPHANUMERIC SEQUENCE) FALLAS

SELECTIONS :

1. UPDATE THE INPUT DATA
2. RUN THE PROGRAM
3. STOP

ENTER YOUR SELECTION (1, 2 OR 3) 3

THE NUMBER OF MACHINES IS NG = 2

SYNCHRONOUS MACHINE DATA

1	1	.18
2	3	.09

THE NUMBER OF LINES IS NL = 6

TRANSMISSION LINE DATA

1	2	4	.4
2	2	4	.4
3	2	5	.2
4	2	5	.2
5	4	5	.1
6	4	5	.1

THE NUMBER OF TRANSFORMERS IS NT = 2

TRANSFORMER DATA

1	1	5	.08
2	3	4	.04

THE LARGEST BUS NUMBER IS 5

NOW CALCULATING THE Z BUS MATRIX

Add generator on bus	1			
1	TYPE1	1	.18	
add transformer on bus	5			
1	type2	1	5	.08
add generator on bus	3			
2	TYPE1	3	.09	
add line on bus	2			
3	type2	2	2	.2
add line on buses	2	5		
4	TYPE4	4	2	.2
add line on bus	4			
4	type2	2	4	.1

add lines on buses		4	5	
5	TYPE4	5	2	.1
add transformer on buses		3	4	
5	TYPE4	3	5	.04
add line on buses		2	4	
5	TYPE4	4	5	.4
add line on buses		2	4	
5	TYPE4	4	5	.4

WHAT IS THE PREFault VOLTAGE (per unit)? 1
 DISPLAY THE FAULT CURRENT (Y OR N)? Y
 DISPLAY THE BUS VOLTAGES DURING THE FAULT (Y OR N)? Y
 DISPLAY THE BUS IMPEDANCE MATRICES (Y OR N)? Y
 DO YOU WANT THE OUTPUTS PRINTED IN EXPONENTIAL FORMAT (Y OR N)? Y
 DO YOU WANT TO CONTINUE (Y) OR RESET THE DATA (N)? Y
 USE THE ctrl PRINT SCREEN OPTION NOW IF YOU WANT TO PRINT RESULTS
 PRESS RETURN TO CONTINUE

FAULT CURRENT FOR FALLAS

FAULT BUS	THREE-PHASE FAULT CURRENT	GEN	BUS TO BUS LINE OR TRSF	CONTRIBUTIONS TO FAULT CURRENT
	Per unit			per unit
1	9.99E+00			
		G 1	GRND - 1	5.83E+00
		T 1	5 - 1	4.15E+00

2	6.66E+00				
		L 1	4 - 2	1.25E+00	
		L 2	4 - 2	1.25E+00	
		L 3	5 - 2	2.08E+00	
		L 4	5 - 2	2.08E+00	
3	1.47E+01				
		G 2	GRND - 3	1.17E+01	
		T 2	4 - 3	3.06E+00	
4	1.15E+01				
		L 1	2 - 4	2.48E-01	
		L 2	2 - 4	2.48E-01	
		L 5	5 - 4	1.49E+00	
		L 6	5 - 4	1.49E+00	
		T 2	3 - 4	8.08E+00	
5	1.01E+01				
		L 3	2 - 5	4.34E-01	
		L 4	2 - 5	4.34E-01	
		L 5	4 - 5	2.60E+00	
		L 6	4 - 5	2.60E+00	
		T 1	1 - 5	4.04E+00	

VF = 1.05 PER -UNIT BUS VOLTAGES DURING FAULTS

FALLAS

FAULT	BUS1(6..)	BUS2(7..)	BUS3(8..)	BUS4(9..)	BUS5(10..)
BUS					
1	0.00E+00	3.29E-01	6.76E-01	5.10E-01	3.32E-01
2	6.11E-01	0.00E+00	6.70E-01	5.01E-01	4.16E-01

3	4.99E-01	2.10E-01	0.00E+00	1.23E-01	2.54E-01
4	4.26E-01	9.91E-02	3.23E-01	0.00E+00	1.49E-01
5	3.23E-01	8.68E-02	5.03E-01	2.60E-01	0.00E+00

PER-UNIT ZBUS FOR FALLAS

ROW 1	1.051E-01	6.594E-02	3.743E-02	5.406E-02	7.188E-02
ROW 2	6.594E-02	1.576E-01	5.703E-02	8.238E-02	9.525E-02
ROW 3	3.743E-02	5.703E-02	7.129E-02	6.297E-02	5.406E-02
ROW 4	5.406E-02	8.238E-02	6.297E-02	9.096E-02	7.809E-02
ROW 5	7.188E-02	9.525E-02	5.406E-02	7.809E-02	1.038E-01

REMOVE THE ctrl PRINT SCREEN OPTION AND PRESS RETURN TO CONTINUE

SELECTIONS :

1. UPDATE THE INPUT DATA
2. RUN THE PROGRAM
3. STOP

ENTER YOUR SELECTION (1, 2 OR 3) 1

FAULT CURRENT FOR FALLAS

FAULT	THREE-PHASE	CONTRIBUTIONS TO		
BUS	FAULT CURRENT	GEN	BUS TO BUS	FAULT CURRENT
		LINE		
		OR		
		TRSF		
	Per unit			per unit

1	1.19E+01			
		G 1	GRND - 1	6.49E+00
		T 1	5 - 1	4.94E+00
2	7.93E+00			
		L 1	4 - 2	1.49E+00
		L 2	4 - 2	1.49E+00
		L 3	5 - 2	2.47E+00
		L 4	5 - 2	2.47E+00
3	1.75E+01			
		G 2	GRND - 3	1.39E+01
		T 2	4 - 3	3.65E+00
4	1.37E+01			
		L 1	2 - 4	2.95E-01
		L 2	2 - 4	2.95E-01
		L 5	5 - 4	1.77E+00
		L 6	5 - 4	1.77E+00
		T 2	3 - 4	9.62E+00
5	1.20E+01			
		L 3	2 - 5	5.17E-01
		L 4	2 - 5	5.17E-01
		L 5	4 - 5	3.10E+00
		L 6	4 - 5	3.10E+00
		T 1	1 - 5	4.81E+00

VF = 1.25 PER -UNIT BUS VOLTAGES DURING FAULTS

FALLAS

FAULT	BUS1(6..)	BUS2(7..)	BUS3(8..)	BUS4(9..)	BUS5(10..)
BUS					
1	0.00E+00	4.66E-01	8.05E-01	6.07E-01	3.95E-01
2	7.27E-01	0.00E+00	7.98E-01	5.97E-01	4.95E-01
3	5.94E-01	2.50E-01	0.00E+00	1.46E-01	3.02E-01
4	5.07E-01	1.18E-01	3.85E-01	0.00E+00	1.77E-01
5	3.85E-01	1.03E-01	5.99E-01	3.10E-01	0.00E+00

PER-UNIT ZBUS FOR FALLAS

ROW 1	1.051E-01	6.594E-02	3.743E-02	5.406E-02	7.188E-02
ROW 2	6.594E-02	1.576E-01	5.703E-02	8.238E-02	9.525E-02
ROW 3	3.743E-02	5.703E-02	7.129E-02	6.297E-02	5.406E-02
ROW 4	5.406E-02	8.238E-02	6.297E-02	9.096E-02	7.809E-02
ROW 5	7.188E-02	9.525E-02	5.406E-02	7.809E-02	1.038E-01

REMOVE THE ctrl PRINT SCREEN OPTION AND PRESS RETURN TO CONTINUE

SELECTIONS :

1. UPDATE THE INPUT DATA
2. RUN THE PROGRAM
3. STOP

ENTER YOUR SELECTION (1, 2 OR 3) 3

Observamos con estas corridas que el voltaje influye mucho en la corriente de falla, se puede decir que con el valor de voltaje de prefalla de 1.05 PU, el sistema es más robusto que con un voltaje de prefalla de 1.25 PU. A continuación eliminaremos una

línea de transmisión a las ya existentes y observaremos como se comporta nuestro SEP, pasaremos por alto varios comando del programa, ya que las instrucciones se van dando según se corra el programa.

CHOICES:

1. INITIALIZE FILE
2. ADD A NEW LINE OR CHANGE AN EXISTING LINE
3. REMOVE A LINE
4. DISPLAY ONE LINE
5. DISPLAY ALL LINES AFTER A GIVEN LINE
6. DONE WHIT TRANSMISSION LINE DATA

ENTER YOUR CHOICE (1, 2, 3, 4, 5 OR 6) : 2

WHAT IS THE LINE NUMBER (ENTER AN INTEGER) ? 6

WHAT BUS NUMBERS IS THIS LINE CONNECTED TO
(ENTER TWO INTEGERS SEPARATED BY A COMMA) ? 2,4

ENTER THE LINE POSITIVE-SEQUENCE REACTANCE (per unit) 0.3

CHOICES:

1. INITIALIZE FILE
2. ADD A NEW LINE OR CHANGE AN EXISTING LINE
3. REMOVE A LINE
4. DISPLAY ONE LINE
5. DISPLAY ALL LINES AFTER A GIVEN LINE
6. DONE WHIT TRANSMISSION LINE DATA

ENTER YOUR CHOICE (1, 2, 3, 4, 5 OR 6) : 6

THESE ARE YOUR INPUT DATA SELECTIONS:

1. UPDATE THE SYNCHRONOUS MACHINE INPUT DATA
2. UPDATE THE TANSMISSION LINE DATA
3. UPDATE THE TRANSFORMER INPUT DATA

4. DONE WITH INPUT DATA

ENTER YOUR SELECTION (1, 2, 3 OR 4) 4

1. UPDATE THE INPUT DATA
2. RUN THE PROGRAM
3. STOP

ENTER YOUR SELECTION (1, 2 OR 3) 2

THE NUMBER OF MACHINES IS NG = 2

SYNCHRONOUS MACHINE DATA

1	1	.18
2	3	.09

THE NUMBER OF LINES IS NL = 1

TRANSMISSION LINE DATA

6	2	4	.3
---	---	---	----

THE NUMBER OF TRANSFORMERS IS NT = 2

TRANSFORMER DATA

1	1	5	.08
2	3	4	.04

THE LARGEST BUS NUMBER IS 5

NOW CALCULATING THE Z BUS MATRIX

Add generator on bus	1			
1	TYPE1	1	.18	
add transformer on bus	5			
1	type2	1	5	.08

add generator on bus	3			
2 TYPE1	3		.09	
add transformer on bus	4			
3 type2	3	4		.04
add line on bus	2			
4 type	4	2		.3

WHAT IS THE PREFault VOLTAGE (per unit)? 1.05
 DISPLAY THE FAULT CURRENT (Y OR N)? Y
 DISPLAY THE BUS VOLTAGES DURING THE FAULT (Y OR N)? Y
 DISPLAY THE BUS IMPEDANCE MATRICES (Y OR N)? Y
 DO YOU WANT THE OUTPUTS PRINTED IN EXPONENTIAL FORMAT (Y OR N)? Y
 DO YOU WANT TO CONTINUE (Y) OR RESET THE DATA (N)? Y
 USE THE ctrl PRINT SCREEN OPTION NOW IF YOU WANT TO PRINT RESULTS
 PRESS RETURN TO CONTINUE

FAULT CURRENT FOR FALLAS

FAULT BUS	THREE-PHASE FAULT CURRENT	CONTRIBUTIONS TO FAULT CURRENT		
		GEN	BUS TO BUS LINE OR TRSF	per unit
	Per unit			
1	5.83E+00			
		G 1	GRND -- 1	5.83E+00
		T 1	5 - 1	0.00E+00
2	2.44E+00			
		L 6	4 - 2	2.44E+00

3 1.17E+01

G 2	GRND - 3	1.17E+01
T 2	4 - 3	0.00E+00

4 8.08E+01

L 6	2 - 4	0.00E+00
T 2	3 - 4	8.08E+00

5 4.04E+01

T 1	1 - 5	4.04E+00
-----	-------	----------

VF = 1.05 PER -UNIT BUS VOLTAGES DURING FAULTS

FALLAS

FAULT

BUS	BUS1(6..)	BUS2(7..)	BUS3(8..)	BUS4(9..)	BUS5(10..)
1	0.00E+00	1.05E+00	1.05E+00	1.05E+00	0.00E+00
2	1.05E+00	0.00E+00	8.30E-01	7.33E-01	1.05E+00
3	1.05E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.05E+00
4	1.05E+00	0.00E+00	3.23E-01	0.00E+00	1.05E+00
5	3.23E-01	1.05E+00	1.05E+00	1.05E+00	0.00E+00

PER-UNIT ZBUS FOR FALLAS

ROW 1	1.800E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.800E-01
ROW 2	0.000E+00	4.300E-01	9.000E-02	1.300E-01	0.000E+00
ROW 3	0.000E+00	9.000E-02	9.000E-02	9.000E-02	0.000E+00

ROW 4	0.000E+00	1.300E-01	9.000E-02	1.300E-01	0.000E+00
ROW 5	1.800E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.600E-01

REMOVE THE ctrl PRINT SCREEN OPTION AND PRESS RETURN TO CONTINUE

SELECTIONS :

4. UPDATE THE INPUT DATA
5. RUN THE PROGRAM
6. STOP

ENTER YOUR SELECTION (1, 2 OR 3) 3

5.2. PROGRAMA DE FLUJO DE POTENCIA.

Al igual que el programa anterior el Chap 8, el programa de flujo de potencia Chap 7, se requiere de correr previamente para poder caceras el programa de estabilidad Chap 12. Los siguientes medios son utilizados para el sistema de control de flujo de potencia:

- Control del primomotor y excitador del generador.
- Interrupción del banco de capacitores en paralelo, reactores en paralelo y sistemas de var estáticos.
- Control del cambio de tap y regulación de transformadores.

Consideraremos la misma figura del caso anterior para correr este programa con los datos modificados, pero el análisis que se pide es el de calcular la magnitud y ángulo de fase de las máquinas, siendo los datos de salida los siguientes:

THE NUMBER OF LINE IS : 6

1	2	4	0.36	.4	0	.43	3
2	2	4	0.36	.4	0	.43	3
3	2	5	.018	.2	0	.22	3
4	2	5	.018	.2	0	.22	3
5	4	5	.009	.1	0	.11	3
6	4	5	.009	.1	0	.11	3

THE LARGEST BUS IS: 5

1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0	2	.2	0	0
3	2	1.04	0	1.3	0	.2	.1	1	-.7
4	1	1	0	0	0	0	0	0	0
5	3	1.02	0	0	0	0	0	0	0

THE NUMBER OF TRANSFORMERS IS 2

1	1	5	.006	.08	1.5	1.2
2	3	4	.003	.04	2.5	1.2

DO ANY OF THE TRANSFORMERS HAVE TAP-CHANGERS WITH FIXED TAP
SETTING (Y OR N)? N

THE TOLERANCE LEVEL IS .0001

DO YOU WANT TO CHANGE THE TOLERANCE LEVEL (Y OR N)? N

THE MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS IS 20

DO YOU WANT TO CHANGE THE NUMBER OF ITERATIONS (Y OR N)? N

SELECTION OF INITIAL BUS VOLTAGE MAGNITUDES AND ANGLES :

1. FLAT START
2. OUTPUT VALUES FROM THE PREVIOUS RUN

ENTER YOUR SELECTION (1 OR 2) 1

STARTING VALUES

1 0

1 0

1.04 0

1 0

1.02 0

AT(1) = 1

AT(1) = 1

****THE PROGRAM IS RUNNING****

BUS ADMITTANCES MATRIX, REAL PARTS

0.932	0.000	0.000	0.000	-0.932
0.000	1.339	0.000	-0.446	-0.893
0.000	0.000	1.865	-1.865	0.000
0.000	-0.446	-1.865	4.096	-1.786
-0.932	-0.893	0.000	-1.786	3.611

BUS ADMITTANCES MATRIX, IMAGINARY PARTS

-12.430	0.000	0.000	0.000	12.430
0.000	-14.229	0.000	4.960	9.920
0.000	0.000	-24.860	24.860	0.000
0.000	4.960	24.860	-49.119	19.839
12.430	9.920	0.000	19.839	-41.859

***** PLEASE WAIT . . . PROGRAM IS RUNNING *****

ITERATION # 1

***** PLEASE WAIT . . . PROGRAM IS RUNNING *****

THE NUMBER OF ROWS IN THE JACOBIAN MATRIX = 7

ITERATION # 1

MISMATCH = 3.84E+00

ITERATION # 2

***** PLEASE WAIT . . . PROGRAM IS RUNING *****

THE NUMBER OF ROWS IN THE JACOBIAN MATRIX = 7

ITERATION # 2

MISMATCH = 1.30E+00

ITERATION # 3

***** PLEASE WAIT . . . PROGRAM IS RUNING *****

THE NUMBER OF ROWS IN THE JACOBIAN MATRIX = 7

ITERATION # 3

MISMATCH = 1.29E-01

ITERATION # 4

***** PLEASE WAIT . . . PROGRAM IS RUNING *****

THE NUMBER OF ROWS IN THE JACOBIAN MATRIX = 7

ITERATION # 4

MISMATCH = 2.39E-03

QG = -.3637394 AT 1 = .98

RESET ONE OR MORE TRANSFORMER TAPS.

BUS ADMITTANCES MATRIX, REAL PARTS

0.932	0.000	0.000	0.000	-0.951
0.000	1.339	0.000	-0.446	-0.893

0.000	0.000	1.865	-1.865	0.000
0.000	-0.446	-1.865	4.096	-1.786
-0.951	-0.893	0.000	-1.786	3.649

BUS ADMITTANCES MATRIX, IMAGINARY PARTS

-12.430	0.000	0.000	0.000	12.684
0.000	-14.229	0.000	4.960	9.920
0.000	0.000	-24.860	24.860	0.000
0.000	4.960	24.860	-49.119	19.839
12.684	9.920	0.000	19.839	-41.859

***** PLEASE WAIT ... PROGRAM IS RUNING *****

ITERATION # 5

***** PLEASE WAIT ... PROGRAM IS RUNING *****

THE NUMBER OF ROWS IN THE JACOBIAN MATRIX = 7

ITERATION # 5

MISMATCH = 3.48E+00

ITERATION # 6

***** PLEASE WAIT ... PROGRAM IS RUNING *****

THE NUMBER OF ROWS IN THE JACOBIAN MATRIX = 7

ITERATION # 6

MISMATCH = 3.47E-01

ITERATION # 7

***** PLEASE WAIT ... PROGRAM IS RUNING *****

THE NUMBER OF ROWS IN THE JACOBIAN MATRIX = 7

ITERATION # 7

MISMATCH = 1.13E-01

ITERATION # 8

***** PLEASE WAIT . . . PROGRAM IS RUNING *****

THE NUMBER OF ROWS IN THE JACOBIAN MATRIX = 7

ITERATION # 8

MISMATCH = 1.15E-03

QG 3 = -.2066158 AT 1 = .96

RESET ONE OR MORE TRANSFORMER TAPS.

BUS ADMITTANCES MATRIX, REAL PARTS

0.932	0.000	0.000	0.000	-0.971
0.000	1.339	0.000	-0.446	-0.893
0.000	0.000	1.865	-1.865	0.000
0.000	-0.446	-1.865	4.096	-1.786
-0.971	-0.893	0.000	-1.786	3.649

BUS ADMITTANCES MATRIX, IMAGINARY PARTS

-12.430	0.000	0.000	0.000	12.948
0.000	-14.229	0.000	4.960	9.920
0.000	0.000	-24.860	24.860	0.000
0.000	4.960	24.860	-49.119	19.839
12.948	9.920	0.000	19.839	-41.859

***** PLEASE WAIT . . . PROGRAM IS RUNING *****

ITERATION # 9

***** PLEASE WAIT ... PROGRAM IS RUNING *****

THE NUMBER OF ROWS IN THE JACOBIAN MATRIX = 7

ITERATION # 9

MISMATCH = 3.47E+00

ITERATION # 10

***** PLEASE WAIT ... PROGRAM IS RUNING *****

THE NUMBER OF ROWS IN THE JACOBIAN MATRIX = 7

ITERATION # 10

MISMATCH = 3.62E-01

ITERATION # 11

***** PLEASE WAIT ... PROGRAM IS RUNING *****

THE NUMBER OF ROWS IN THE JACOBIAN MATRIX = 7

ITERATION # 11

MISMATCH = 1.15E-01

ITERATION # 12

***** PLEASE WAIT ... PROGRAM IS RUNING *****

THE NUMBER OF ROWS IN THE JACOBIAN MATRIX = 7

ITERATION # 12

MISMATCH = 1.18E-03

QG 3 = -4.375496E-0.2

ITERATION # 13

***** PLEASE WAIT . . . PROGRAM IS RUNING *****

THE NUMBER OF ROWS IN THE JACOBIAN MATRIX = 7

ITERATION # 13

MISMATCH = 7.59E-06

QG 3 = -4.375877E-02

TOTAL NUMBER OF ITERATIONS = 13

MISMATCH = 7.59E-06

PRESS RETURN TO CONTINUE

THE RESULTS ARE NOW BEING SENT TO OUTPUT DATA FILE.

WOULD YOU LIKE TO :

1. UPDATE THE INPUT DATA FILES
2. RUN THE PROGRAM
3. DISPLAY THE OUTPUT DATA
4. STOP

ENTER YOUR SELECTION (1, 2, 3 OR 4) 3

DO YOU WANT TO DISPLAY THE BUS OUTPUT DATA (Y OR N)? Y

DO YOU WANT TO DISPLAY THE LINE OUTPUT DATA (Y OR N)? Y

DO YOU WANT TO DISPLAY THE TRANSFORMER OUTPUT DATA (Y OR N)
? Y

DO YOU WANT TO DISPLAY THE OUTPUT DATA IN EXPONENTIAL FORMAT
(Y OR N)? Y

USE THE ctrl PRINT SCREEN OPTION NOW IF YOU WANT TO PRINT THE
RESULTS.

PRESS RETURN TO CONTINUE.

POWER FLOW BUS OUTPUT DATA FOR FLUJODEPOT

```

-----
                                GENERATION          LOAD
                                -----
      VOLTAGE  PHASE      PG      QG      PL      QL .
      MAG.     ANGLE
      -----
BUS#  pu          degress      pu      pu      pu      pu
-----
1     1.00E+00   0.00E+00   9.38E-01  -8.44E-01  0.00E+00  0.00E+00
2     1.04E+00  -1.13E+01   0.00E+00   0.00E+00  2.00E+00  2.00E-01
3     1.04E+00  -1.12E+00   1.30E+00  -4.38E-02  2.00E-01  1.00E-01
4     1.04E+00  -3.46E+00   0.00E+00   0.00E+00  0.00E+00  0.00E+00
5     1.02E+00  -4.31E+00   0.00E+00   0.00E+00  0.00E+00  0.00E+00
-----
                                TOTAL      2.24E+00  -8.88E-01  2.20E+00  3.00E-01

```

MISMATCH = 7.59E-06

POWER FLOW LINE OUTPUT DATA FOR FLUJODEPOT

```

-----
LINE#  BUS TO BUS      P      Q      S RATING EXCED.
-----
1      2    4      -3.67E-01  -1.79E-01  4.08E-01
      4    2      3.72E-01  -2.38E-01  4.41E-01
2      2    4      -3.67E-01  -1.79E-01  4.08E-01
      4    2      3.72E-01  -2.38E-01  4.41E-01
3      2    5      -6.33E-01  7.86E-02  6.38E-01
      5    2      6.40E-01  -2.32E-01  6.81E-01

```

4	2	5	-6.33E-01	7.86E-02	6.38E-01
	5	2	6.40E-01	-2.32E-01	6.81E-01
5	4	5	1.77E-01	1.43E-01	2.27E-01
	5	4	-1.76E-01	-2.54E-01	3.09E-01
6	4	5	1.77E-01	1.43E-01	2.27E-01
	5	4	-1.76E-01	-2.54E-01	3.09E-01

POWER FLOW TRANSFORMER OUTPUT DATA FOR FLUJODEPOT

TRAN.#	BUS TO BUS	P	Q	S	TAP SETTING	RATING
						EXCEEDED

1	1	5	9.38E-01	-8.44E-01	1.26E+00	9.6E-01
		5	1	-9.28E-01	9.72E-01	1.34E+00
2	3	4	1.10E00	-1.44E-01	1.11E+00	1.00E+00
		4	3	-1.10E-01	1.89E-01	1.11E+00

REMOVE Ctrl PRINT SCREEN AND THEN PRESS RETURN TO CONTINUE.

WOULD YOUR LIKE TO :

1. UPDATE THE INPUT DATA FILES
2. RUN THE PROGRAM
3. DISPLAY THE OUTPUT DATA
4. STOP

ENTER YOUR SELECTION (1, 2, 3 OR 4) 4

5.3. PROGRAMA DE ESTABILIDAD.

Consideraremos la corrida del programa anterior para efectuar la simulación del Chap12, el paquete de estabilidad, pero el análisis que se pide es el de calcular el ángulo de salida de cada máquina, la frecuencia de salida, la potencia y el voltaje en cada bus.

WOULD YOU LIKE TO:

1. UPDATE THE SYNCHRONOUS MACHINE INPUT DATA
2. SET DISTURBANCES AND RUN THE PROGRAM
3. STOP

ENTER YOUR SELECTION (1, 2 OR 3) 2

THERE ARE 3 SYNCHRONOUS MACHINES

SYNCHRONOUS MACHINE DATA :

1	2	.8	5	1
3	5	5	5	1
5	4	.1	3	1

NUMBER OF LINES = 0

LINE DATA :

THERE ARE 2 TRANSFORMERS.

TRANSFORMER DATA :

1	1	5	.006	.08
2	3	4	.003	.04

THERE ARE 5 BUSES

POWER FLOW BUS OUTPUT DATA :

1	0	.9379407	-.8443785	0	0
1.041746	-11.33282	0	0	2	.2
1.04	-1.115999	1.3	-4.375877E-02	.2	.1
1.043231	-3.46302	0	0	0	0
1.022342	-4.31367	0	0	0	0

TRANSFORMER TAP SETTINGS :

AT (1) = .96

AT (2) = 1

ENTER THE INTEGRATION TIME INTERVAL (SECONDS) .01

ENTER THE FINAL TIME (SECONDS) .1

ENTER THE NUMBER OF DISTURBANCE TIMES (1, 2, 3 OR 4) 2

FIRST DISTURBANCE

ENTER THE FIRST DISTURBANCE TIME (SECONDS) .01

IS THERE A SHORT CIRCUIT AT THE FIRST DISTURBANCE TIME (Y OR N) Y

ENTER THE SHORT CIRCUIT BUS NUMBER 1

DO GENERATOR BREAKERS OPEN AT THE FIRST DISTURBANCE (Y OR N) Y

HOW MANY GENERATOR BREAKERS OPEN? 2

GENERATOR OPENING CIRCUIT BREAKER 2

ENTER THE GENERATOR NUMBER 1

DO LINE BREAKERS OPEN AT THE FIRST DISTURBANCE (Y OR N)? N

DO TRANSFORMER BREAKERS OPEN AT THE FIRST DISTURBANCE (Y OR N)? Y

HOW MANY TRANSFORMER BREAKERS OPEN? 2

TRANSFORMER OPENING CIRCUIT BREAKER 2

ENTER THE TRANSFORMER NUMBER 2

ENTER THE BUS NUMBER 5

SECOND DISTURBANCE

ENTER THE FIRST DISTURBANCE TIME (SECONDS) .03

IS THERE A SHORT CIRCUIT AT THE FIRST DISTURBANCE TIME (Y OR N) N

IS THE SHORT CIRCUIT AT THE FIRST DISTURBANCE EXTINGUISHED (Y OR N)? Y

DO GENERATOR BREAKERS OPEN AT THE SECOND DISTURBANCE (Y OR N)? N

DO GENERATOR BREAKERS RECLOSE AT THE SECOND DISTURBANCE (Y OR N)? N

DO LINE BREAKERS OPEN AT THE SECOND DISTURBANCE (Y OR N)? N

DO TRANSFORMER BREAKERS OPEN AT THE SECOND DISTURBANCE (Y OR N)? Y

HOW MANY TRANSFORMER BREAKERS OPEN 2

TRANSFORMER OPENING CIRCUIT BREAKER 2

ENTER THE TRANSFORMER NUMBER 2

ENTR THE BUS NUMBER 5

DO TRANSFORMER BREAKERS RECLOSE AT THE SECOND DISTURBANCE (Y OR N)? Y

HOW MANY TRANSFORMER BREAKERS CLOSE? 2

TRANSFORMER CLOSING CIRCUIT BREAKER 2

ENTER THE TRANSFORMER NUMBER 2

ENTER THE BUS NUMBER 5

FOR OUTPUT LABELLING

ENTER THE FIRST DISTURBANCE NAME (ANY ALPHANUMERIC SEQUENCE)

ALFREDO

ENTER THE SECOND DISTURBANCE NAME ALGOMEL

YOU MAY PRINT FROM 1 TO 5 OUTPUTS

ENTER THE NUMBER OF OUTPUTS (1 TO 5) 4

OUTPUT 1

SELECTIONS :

1. MACHINE POWER ANGLE
2. MACHINE FREQUENCY
3. MACHINE REAL POWER OUTPUT
4. BUS VOLTAGE

ENTER YOUR SELECTION (1, 2, 3 OR 4) 1

ENTER THE MACHINE NUMBER 1

OUTPUT 2

SELECTIONS :

1. MACHINE POWER ANGLE
2. MACHINE FREQUENCY
3. MACHINE REAL POWER OUTPUT
4. BUS VOLTAGE

ENTER YOUR SELECTION (1, 2, 3 OR 4) 2

ENTER THE MACHINE NUMBER 1

OUTPUT 3

SELECTIONS :

1. MACHINE POWER ANGLE
2. MACHINE FREQUENCY
3. MACHINE REAL POWER OUTPUT
4. BUS VOLTAGE

ENTER YOUR SELECTION (1, 2, 3 OR 4) 3

ENTER THE MACHINE NUMBER 1

OUTPUT 4

SELECTIONS :

1. MACHINE POWER ANGLE
2. MACHINE FREQUENCY
3. MACHINE REAL POWER OUTPUT
4. BUS VOLTAGE

ENTER YOUR SELECTION (1, 2, 3 OR 4) 4

ENTER THE BUS NUMBER 1

THE OUTPUT ARE PRINTED EVERY KTH TIME INTERVAL

ENTER THE PRINTOUT INTEGER K ($K \geq 1$) 1

DO YOU WANT THE OUTPUTS EXPONENTIAL FORMAT (Y OR N)? Y
 CONTINUE (Y) OR RESET THE DISTURBANCE (N)? Y
 USE Ctrl PRINT SCREEN OPTION NOW IF YOU WANT TO PRINT THE
 OUTPUTS
 PRESS RETURN TO CONTINUE

TRANSIENT STABILITY OUTPUT FOR 1

TIME	DELTA 1	OMEGA 1	PG 1	V 1
Seconds	degrees	rad/seg	per unit	per unit
0.000	-1.13E+01	3.77E+02	5.73E-01	1.06E+00
ALFREDO				
ALGOMEL				
0.050	-1.19E+01	3.77E+02	0.00E+00	0.00E+00
0.100	-1.25E+01	3077E+02	0.00E+00	0.00E+00

REMOVE Ctrl PRINT SCREEN AND THEN PRESS RETURN TO CONTINUE

En otra corrida que se le hizo al Chap12, con H = 10 (la naterior se efectuo con H = 5), y seleccionando mayor cantidad de paso nos dio los siguientes resultados:

TRANSIENT STABILITY OUTPUT FOR 1

TIME	DELTA 1	OMEGA 1	PG 1	V 1
Seconds	degrees	rad/seg	per unit	per unit
0.000	-1.13E+01	3.77E+02	5.90E-01	8.00E+00
ALFREDO				
0.020	-1.15E+01	3.77E+02	0.00E+00	0.00E+00

ALGOMEL

0.040	-1.17E+01	3.77E+02	0.00E+00	0.00E+00
0.060	-1.20E+01	3.77E+02	0.00E+00	0.00E+00
0.080	-1.22E+01	3.77E+02	0.00E+00	0.00E+00
0.100	-1.25E+01	3.77E+02	0.00E+00	0.00E+00
0.120	-1.27E+01	3.77E+02	0.00E+00	0.00E+00
0.140	-1.30E+01	3.77E+02	0.00E+00	0.00E+00
0.160	-1.32E+01	3.77E+02	0.00E+00	0.00E+00
0.180	-1.35E+01	3.77E+02	0.00E+00	0.00E+00
0.200	-1.38E+01	3.77E+02	0.00E+00	0.00E+00
0.220	-1.40E+01	3.77E+02	0.00E+00	0.00E+00
0.240	-1.43E+01	3.77E+02	0.00E+00	0.00E+00

REMOVE Ctrl PRINT SCREEN AND THEN RETURN TO CONTINUE

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES.

En la presente Tesis se ha presentado el uso de los paquetes computacionales para el análisis de circuitos eléctricos, electrónicos, de control y de sistemas de potencia en estado estable y en estado transitorio. Por medio de estas herramientas es posible simular con gran flexibilidad y de fácil manejo sistemas lineales de potencia, seleccionando los diferentes paquetes que permita al usuario una forma de comprensión y ganar experiencia con circuitos demasiados grandes que a menudo al resolverlos en forma manual resultan ser catastróficos por el tiempo utilizado para su resolución. Se puso especial énfasis en la selección de los problemas por su grado de complejidad para que resultaran atractivos para su análisis, así como el empleo de entrada/salida de los algoritmos empleados.

En fin, la investigación realizada para la utilización de los simuladores comprendió la consideración de diversos aspectos relevantes que llevaron a las siguientes conclusiones:

- El empleo de los paquetes computacionales y la simulación realizada de las redes y circuitos, nos permiten una operación segura y de alta confiabilidad.

- La selección apropiada del paquete define las características de software a utilizar en su implementación.
- La implementación de PC's en los centros educativos y de trabajo representan un desarrollo con mayor accesibilidad, tanto por su costo como por su capacidad de velocidad de procesamiento de datos.
- La flexibilidad e interacción brindada por los simuladores digitales representan factores determinantes en la aplicación real.
- Como los modernos SEP han crecido enormemente y se están expandiendo más, la planeación apropiada, la operación y el control de estos sistemas a gran escala requieren de técnicas computacionales avanzadas.
- La cobertura de la Tesis incluye la carga de los paquetes computacionales a la PC.
- Se demostraron la formulación de las ecuaciones y se describen los diagramas asociados.

6.2. APORTACIONES.

Es importante establecer las bases necesarias para establecer la aplicación de los simuladores digitales sin importar el lenguaje de programación en que fueron desarrollados. De esta forma se aprovechan los algoritmos desarrollados con anterioridad, así como las aplicaciones que han tenido y de haber sido probados ampliamente. Esto nos permite crear nuevas aplicaciones que puedan interactuar con los ya existentes, integrando los paquetes para el análisis de los SEP, tanto en estado estable como en estado transitorio, aunque este último no sea deseado, y conocer la robustez del sistema analizado.

La aportación principal de este trabajo es la implementación de los simuladores, el cual nos brinda la interacción y permite realizar los análisis necesarios en forma directa y ajustar las componentes del SEP, así como sus parámetros, siendo lo más importante que todo se encuentra integrado en un mismo ambiente interactivo.

6.3. RECOMENDACIONES.

La principal recomendación que se tiene, es que se integren los paquetes computacionales a los programas de estudios para incrementar el manejo de la información entre las aplicaciones reales y de diseño, con el fin de lograr una interacción más completa con mayor diversidad de aplicaciones, la cual lo convertirán en una herramienta versátil y de poderoso análisis.