

E0601 y E0602
ELECTRÓNICA DE POTENCIA
MANUAL DE PRACTICAS
(SIMULACIÓN/EXPERIMENTAL)

Facultad de Ciencias
UASLP

Dr. Daniel U. Campos Delgado
Profesor-Investigador VI
Facultad de Ciencias
UASLP



2005

1. Presentación

La electrónica de potencia ha tenido un gran desarrollo en las últimas décadas. Debido a este desarrollo, nuevos dispositivos permiten hacer ahora una mejor y más eficiente conversión de potencia para múltiples aplicaciones. Estas aplicaciones pueden variar desde: alimentaciones para equipo electrónico, control de motores, transporte de energía, calentamiento industrial, etc. Por lo que es importante que el estudiante conozca estos nuevos dispositivos y reconozca las estructuras básicas de conversión de potencia.

2. Objetivo de la Materia

Este curso busca introducir a los estudiantes a la electrónica de potencia. Las técnicas básicas de conversión de potencia serán revisadas. En especial se analizarán los convertidores de corriente alterna a directa (CA-CD) y los convertidores de corriente directa a directa (CD-CD). Aplicaciones generales serán analizadas.

3. Practicas y Experimentos

A continuación se detallan 12 prácticas que se llevarían dentro del curso. Estas prácticas se diseñaron para realizarse en simulación utilizando MATLAB/SIMULINK (SimPowerSystems Blockset) o experimentalmente en el laboratorio (Instrumentación y Control). El material experimental con el que debe contar el laboratorio es el siguiente:

1. Puntas de corriente CD/AC Tektronix AD622,
2. Puntas de voltaje diferencial Tektronix P5200,
3. Osciloscopio digital de 4 canales TDS2014 con módulo de comunicación serial,
4. Puntas de prueba BNC Tektronix,
5. Medidor de calidad de energía Fluke 43B,
6. Computadora personal,
7. Puentes rectificadores monofásicos y trifásicos,
8. 3 Diodos de potencia,
9. Resistencia de carga de potencia,
10. Capacitores de alto voltaje,
11. Rectificadores controlados monofásico y trifásico,
12. Convertidores cd-cd (reductor, elevador y reductor/elevador).

3.1. Introducción a MATLAB/SIMULINK 1

Objetivo : introducir al estudiante al uso de MATLAB como una herramienta para realizar cálculos matemáticos y desplegar resultados por medio de gráficas. Además definir el concepto de un programa en MATLAB, por medio de un *archivo-m* para ejecutar una serie de comandos de manera conjunta.

Material :

- Computadora personal,
- MATLAB/SIMULINK.

Descripción :

1. Graficar una señal senoidal de frecuencia 60 Hz y amplitud 170 V por 0.25 segundos, utilizando 500 puntos intermedios con el comando *plot*. Ejemplo:


```
>>t=linspace(0,0.5,500); < enter >
>>v=170*sin(2*pi*60*t);< enter >
>>plot(t,v) < enter >
>> xlabel('tiempo (seg)') < enter >
>> ylabel('Voltaje (V)') < enter >
```
2. Graficar la misma señal pero ahora con los comandos *stem*, *stairs*, *bar* y *area*. Ejemplo:


```
>> stairs(t,v) < enter >
>> stem(v) < enter >
>> bar(t,v) < enter >
>> area(t,v) < enter >
```
3. Realizar un *archivo-m* para graficar 3 señales de voltaje de 170 V a 60 Hz, pero desfasadas cada una 120°. Incluyendo etiquetas para los ejes y título. Ejemplo:


```
t=linspace(0,0.5,500); % Vector de tiempo
A=170; % Amplitud
W=2*pi*60; % Frecuencia Angular en rad/seg
O=120*pi/180; % Desfasamiento en radianes
v1=A*sin(W*t);
v2=A*sin(W*t-O);
v3=A*sin(W*t+O);
figure;
subplot(3,1,1);
plot(t,v1,'b');
xlabel('tiempo (seg)'); ylabel('Voltaje 1 (V)');
title('Grafica de 3 Voltajes Desfasados 120^o');
subplot(3,1,2);
plot(t,v2,'r');
xlabel('tiempo (seg)'); ylabel('Voltaje 2 (V)');
subplot(3,1,3);
```

```
plot(t,v3,'g');  
xlabel('tiempo (seg)'); ylabel('Voltaje 3 (V)');
```

Resultados : el estudiante analizará la ventajas de utilizar a MATLAB como herramienta computacional, y aprenderá a realizar programas dentro del editor interno.

3.2. Introducción a MATLAB/SIMULINK 2

Objetivo : introducir al estudiante al uso de SIMULINK como una herramienta para realizar diagramas de simulación utilizando bloques de funciones. Utilizar los comandos internos para definir las condiciones de simulación.

Material :

- Computadora personal,
- MATLAB/SIMULINK.

Descripción :

1. Realizar un diagrama de bloques donde se tenga una fuente senoidal de amplitud unitaria a 60 Hz:

$$V(t) = \text{sen}(2\pi 60t)$$

e incluir bloques que implementen las siguientes funciones:

$$V1(t) = V\left(t - \frac{0.3}{60}\right)$$

$$V2(t) = (2\pi 60) \int V(t) dt$$

$$V3(t) = \text{sign}(V(t))$$

$$V4(t) = \text{sat}(V(t))$$

$$V5(t) = |V(t)|$$

2. Multiplexar de manera individual la señal de salida de cada bloque con la entrada, y visualizar las 6 señales a través de un *Scope*.
3. Definir la simulación con los siguientes parámetros:

<i>Start time</i>	0.0
<i>Stop time</i>	0.1
<i>Solver</i>	ode15s
<i>Relative tolerante</i>	1e-6
<i>Absolute tolerante</i>	1e-6
4. Correr la simulación y visualizar las señales en *Scope*.
5. Explicar a los estudiantes la manera de personalizar los diagramas de Simulink, para dar color a los bloques utilizar las funciones *Background Color* y *Foreground Color* por medio del botón derecho del ratón. Además de incluir etiquetas de texto para agregar títulos utilizando el ratón.
6. Guardar el diagrama de Simulink como una imagen en formato BMP, por medio del comando:


```
>> print -s -dbitmap nombre.bmp < enter >
```
7. Enviar todas las señales de salida al *Workspace* por medio de los bloques *To Workspace* para cada una de la variables. Tomar también la señal de tiempo de los bloques fuente *Source* y enviar la salida al espacio de trabajo

8. Graficar las señales directamente en MATLAB utilizando la información generada durante la simulación. Ejemplo:

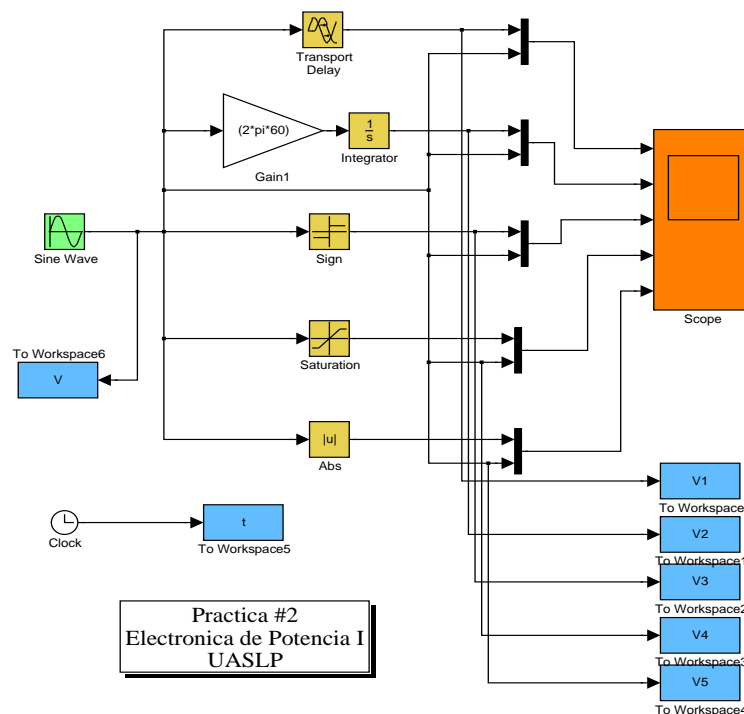
```
>> plot(t, V, 'b') < enter >
>> hold on < enter >
>> plot(t, V1, 'r') < enter >
>> plot(t, V2, 'g') < enter >
>> plot(t, V3, 'b-.' ) < enter >
>> plot(t, V4, 'r-.' ) < enter >
>> plot(t, V5, 'g-.' ) < enter >
>> grid on < enter >
>> axis([0 0.1 -1.25 1.25]); < enter >
>> legend('V', 'V1', 'V2', 'V3', 'V4', 'V5'); < enter >
```

9. Salvar el archivo en Simulink: *nombre.mdl*. Cerrar el diagrama y limpiar la memoria de MATLAB con el comando *clear*.

10. Correr la simulación desde la línea de comandos con la función *sim* y graficar algunas variables. Ejemplo:

```
>> sim('nombre') < enter >
>> plot(t, V, 'b', t, V1, 'r', t, V2, 'g') < enter >
```

Resultados : que el estudiante aprenda a utilizar SIMULINK para realizar diagrama de bloques para simulación, y realice un diseño por si mismo.



3.3. Obtención de la Serie de Fourier a través de MATLAB

Objetivo : que el estudiante realice el calculo numérico de la serie de Fourier de un onda cuadrada de voltaje con amplitud de 170 V y frecuencia de 60 Hz.

Material :

- Computadora personal,
- MATLAB/SIMULINK.

Descripción :

1. Abrir el editor de MATLAB y definir las variables de amplitud, periodo y frecuencia angular, y los vectores de tiempo y voltaje. Considerar 100,000 muestras en las señales. Ejemplo:

```
T=1/60;
fo=60;
wo=2*pi/T;
A=170;
N=10e4; % Número de muestras en la señal
t=linspace(0,T,N);
v(1:N/2-1)=A;
v(N/2:N)=-A;
```

2. Calcular los primeros 10 coeficientes de Fourier utilizando una integración numérica de tipo trapezoidal (*trapz*), y guardar los coeficientes en vectores.

Ejemplo:

```
a0=trapz(t,v);
a=[]; b=[];
M=10; % Número de armónicos
for i=1:M;
a(i)=2*trapz(t,v.*cos(i*wo*t))/T;
b(i)=2*trapz(t,v.*sin(i*wo*t))/T;
end;
n=[0 1:M]; % Arreglo de indices de armónicos
c=[a0 sqrt(a.^2+b.^2)]; % Amplitud total de loa armónicos
```

3. Graficar las señales originales y el espectro en una solo figura utilizando los comandos *area* y *stem*. Ejemplo:

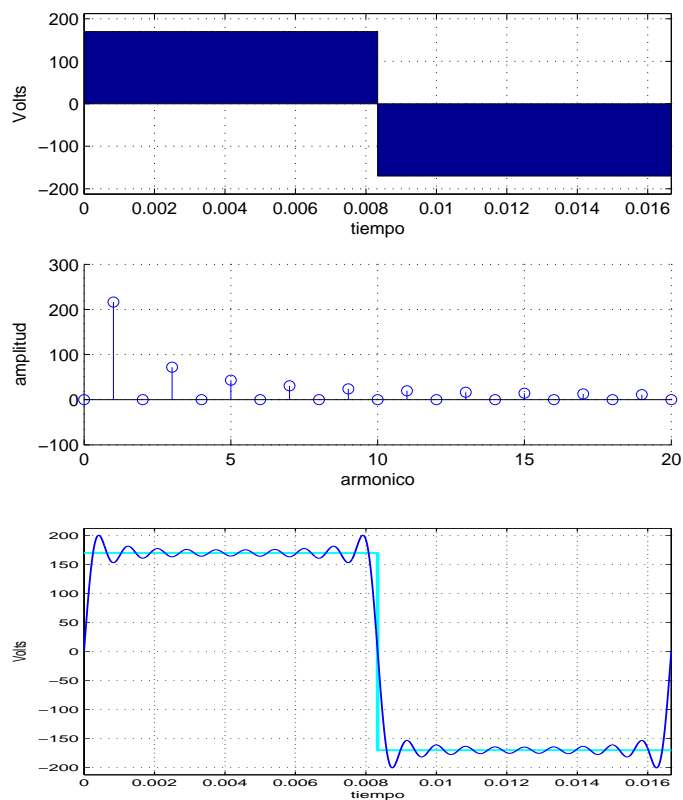
```
figure;
subplot(2,1,1); area(t,v); grid on;
xlabel('tiempo'); ylabel('Volts');
axis([0 1/fo -1.25*A 1.25*A]);
subplot(2,1,2);
stem(n*fo,c); grid on;
xlabel('frecuencia (Hz)'); ylabel('amplitud');
```

4. Realizar una película donde se vea el efecto la aproximación de la serie de Fourier en función del número de armónicos. Utilizar los comandos *getframe* y *movie*. Ejemplo:

```
figure;
vf=a0*ones(1,N);
for i=1:M;
vf=vf+a(i)*cos(i*wo*t)+b(i)*sin(i*wo*t);
plot(t,v,'c','t,vf','b'); grid on;
xlabel('tiempo'); ylabel('Volts');
axis([0 1/fo -1.25*A 1.25*A]);
Mov(i)=getframe;
end;
movie(Mov,[],1);
```

5. Incrementar el número de armónicos a considerar y correr de nuevo la simulación. Observar como se mejora la aproximación al incrementar este número.

Resultados : el estudiante realizará un programa en MATLAB para calcular la series de Fourier de una onda cuadrada, y visualizará una animación la aproximación dependiendo del número de armónicos considerados.



3.4. Simulación de Circuitos Monofásicos RLC

Objetivo : utilizar la librería *SimPower Systems* de SIMULINK para simular diferentes tipos de cargas (resistiva e inductiva) en un circuito monofásico y revisar los conceptos generales de potencia.

Material :

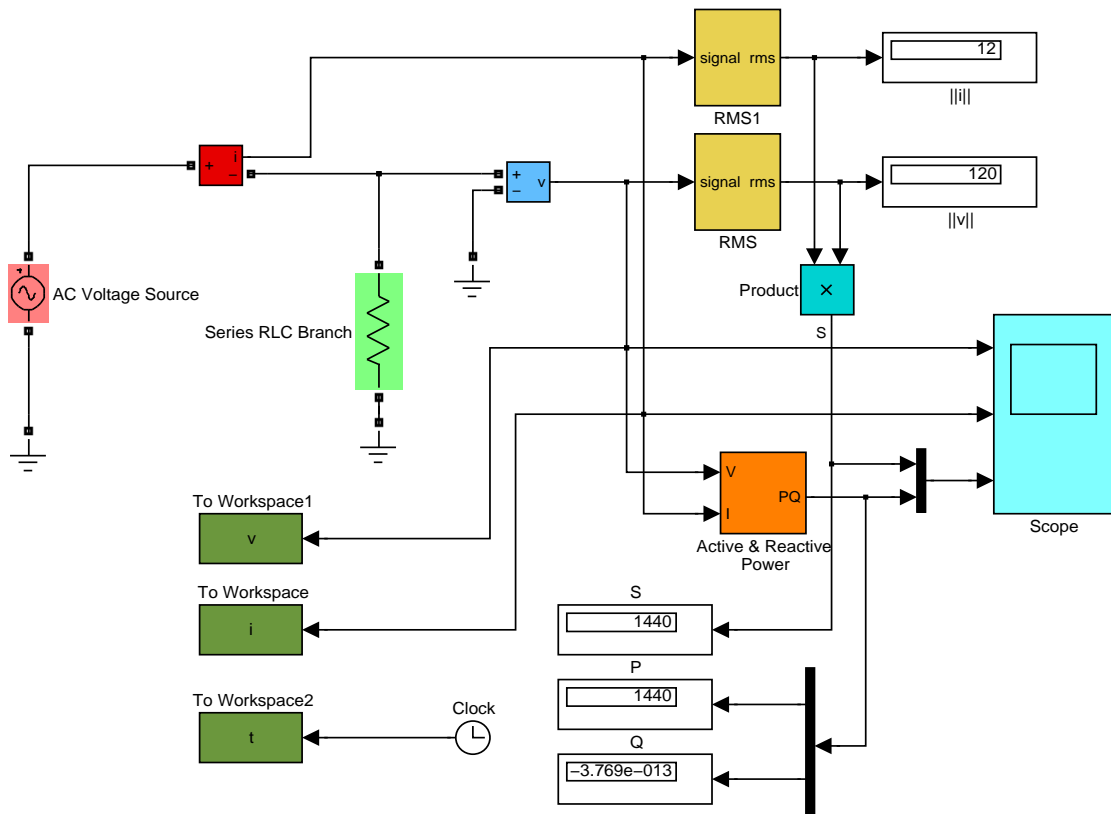
- Computadora personal,
- MATLAB/SIMULINK.

Descripción :

- Realizar un diagrama de bloques en SIMULINK que incluya un fuentes de voltaje sinusoidal de 169.7 V a 60 Hz , con una carga en serie RLC. Incluir bloques de medición para voltaje y corriente.
- Añadir medidores de valor RMS para la corriente y voltaje de la fuente, y un analizador de potencia activa y reactiva.
- Calcular en base a los valores RMS de voltaje y corriente, la potencia aparente de la fuente.
- Utilizar *Displays* para visualizar los valores de potencia, y bloques *To Workspace* para enviar a MATLAB los valores instantáneos de voltaje y corriente.
- Definir la simulación con los siguientes parámetros:

<i>Start time</i>	0.0
<i>Stop time</i>	0.1
<i>Solver</i>	ode15s
<i>Relative tolerante</i>	1e-6
<i>Absolute tolerante</i>	1e-6
- Para una carga puramente resistiva $R = 10\ \Omega$, correr la simulación y visualizar los valores de potencia. Graficar el voltaje y corriente resultantes. ¿Existe desfaseamiento entre voltaje y corriente?. Reportar los valores de potencia promedio o activa P , aparente S y reactiva Q .
- Para una carga puramente reactiva $L = 100\text{ mH}$, correr la simulación y visualizar los valores de potencia. Graficar el voltaje y corriente resultantes. ¿Existe desfaseamiento entre voltaje y corriente?. Reportar los valores de potencia promedio o activa P , aparente S y reactiva Q .
- Para una carga resistiva-inductiva $R = 10\ \Omega$ y $L = 100\text{ mH}$, correr la simulación y visualizar los valores de potencia. Graficar el voltaje y corriente resultantes. ¿Existe desfaseamiento entre voltaje y corriente?. Reportar los valores de potencia promedio o activa P , aparente S y reactiva Q .
- Para la carga resistiva-inductiva $R = 10\ \Omega$ y $L = 100\text{ mH}$, conectar en paralelo un capacitor de $C = 66\ \mu\text{F}$ con una pequeña resistencia en serie de $0.001\ \Omega$. Correr la simulación y visualizar ahora los valores de potencia. Graficar el voltaje y corriente resultantes. ¿Existe desfaseamiento entre voltaje y corriente?. Reportar los valores de potencia promedio o activa P , aparente S y reactiva Q .

Resultados : el estudiante comenzará a familiarizarse con el uso de SIMULINK para simular circuitos en electrónica de potencia, y analizará las relaciones entre los diferentes tipos de cargas y valores de potencia activa, aparente y reactiva en un circuito monofásico. Entenderá la relación entre los tipos de carga y el factor de potencia.



3.5. Potencia y Cargas No-lineales en Circuitos Monofásicos (Experimental)

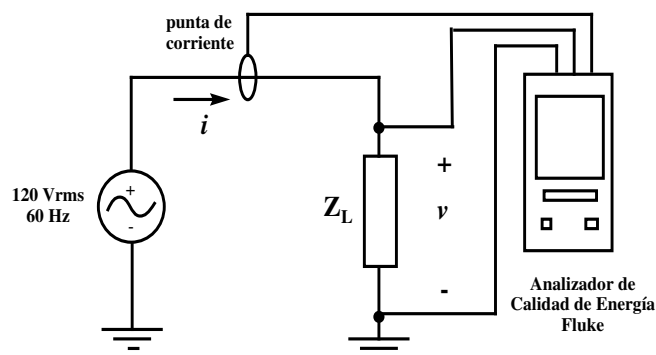
Objetivo : observar las gráficas de corriente y voltaje con diferentes tipos de cargas (resistiva, carga no lineal y carga inductiva-resistiva) para observar la potencia promedio, la potencia reactiva y la aparente que presenta cada tipo de carga en un circuito monofásico.

Material :

- 3 Focos de Iluminación 150 W,
- 3 Focos Ahorradores de 20 W,
- Punta Diferencial de Voltaje Tektronix P5200,
- Punta de Corriente CD/CA Tektronix A622,
- Medidor de Calidad de Energía Fluke 43B,
- Motor Monofásico de Inducción,

Descripción :

- Medir la resistencia de cada foco de iluminación $R = \text{_____} \Omega$.
- Conectar **un foco de iluminación** a la alimentación monofásica de $\|v\| = 120 \text{ Vrms}$, medir y visualizar la corriente demandada y calcular la potencia aparente. ¿Existe algún desfaseamiento entre corriente y voltaje ?
 1. $\|i\| = \text{_____} \text{ Arms}$
 2. $S = \text{_____} \text{ VA}$.
- Utilizar el medidor de calidad de energía Fluke 43B para calcular la potencia promedio, reactiva, aparente y el factor de potencia para la carga resistiva.
 1. $S = \text{_____} \text{ VA}$.
 2. $P = \text{_____} \text{ W}$.
 3. $Q = \text{_____} \text{ VAR}$.
 4. $FP = \text{_____}$.



- Conectar ahora **tres focos en paralelo** y calcular la resistencia equivalente $R = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$.
- Utilizar de nuevo el medidor de calidad de energía Fluke 43B para calcular la potencia promedio, reactiva, aparente y el factor de potencia para la carga resistiva.
 1. $\|i\| = \underline{\hspace{2cm}} Arms$.
 2. $S = \underline{\hspace{2cm}} VA$.
 3. $P = \underline{\hspace{2cm}} W$.
 4. $Q = \underline{\hspace{2cm}} VAR$.
 5. $FP = \underline{\hspace{2cm}}$.
- Reemplazar los focos de iluminación por **tres focos ahorradores (carga no-lineal) en paralelo**, medir y visualizar la corriente demandada y calcular la potencia aparente. ¿Existe algún desfaseamiento entre corriente y voltaje ?
 1. $\|i\| = \underline{\hspace{2cm}} Arms$
 2. $S = \underline{\hspace{2cm}} VA$.
- Utilizar el medidor de calidad de energía Fluke 43B para calcular la potencia promedio, reactiva, aparente y el factor de potencia para la carga no-lineal.
 1. $S = \underline{\hspace{2cm}} VA$.
 2. $P = \underline{\hspace{2cm}} W$.
 3. $Q = \underline{\hspace{2cm}} VAR$.
 4. $FP = \underline{\hspace{2cm}}$.
- Conectar enseguida el **motor de inducción monofásico** a una alimentación de $\|v\| = 120 Vrms$, medir y visualizar la corriente demandada y calcular la potencia aparente. ¿Existe algún desfaseamiento entre corriente y voltaje ? ¿ La señal de corriente es senoidal ?
 1. $\|i\| = \underline{\hspace{2cm}} Arms$
 2. $S = \underline{\hspace{2cm}} VA$.
- Utilizar el medidor de calidad de energía Fluke 43B para calcular la potencia promedio, reactiva, aparente y el factor de potencia para la carga resistiva-inductiva.
 1. $S = \underline{\hspace{2cm}} VA$.
 2. $P = \underline{\hspace{2cm}} W$.
 3. $Q = \underline{\hspace{2cm}} VAR$.
 4. $FP = \underline{\hspace{2cm}}$.
- Para el motor calcular el tamaño del capacitor necesario para lograr un factor de potencia unitario ($FP = 1.0$) en la carga $C = Q/(\|v\|^2 2\pi f_o) = \underline{\hspace{2cm}} F$ y probar en el circuito. Medir los siguientes valores con compensación capacitiva:
 1. $S = \underline{\hspace{2cm}} VA$.
 2. $P = \underline{\hspace{2cm}} W$.

3. $Q = \text{_____} VAR.$

4. $FP = \text{_____}.$

Resultados : el estudiante visualizará la diferencias entre las corrientes demandadas por diferentes tipos de carga (resistiva, resistiva-inductiva, y no-lineal), y su relación con la potencia activa, aparente y reactiva.

3.6. Simulación de Circuitos Trifásicos RLC

Objetivo : utilizar la librería *SimPower Systems* de SIMULINK para simular diferentes tipos de cargas (resistiva e inductiva) en un circuito trifásico para una configuración en estrella.

Material :

- Computadora personal,
- MATLAB/SIMULINK.

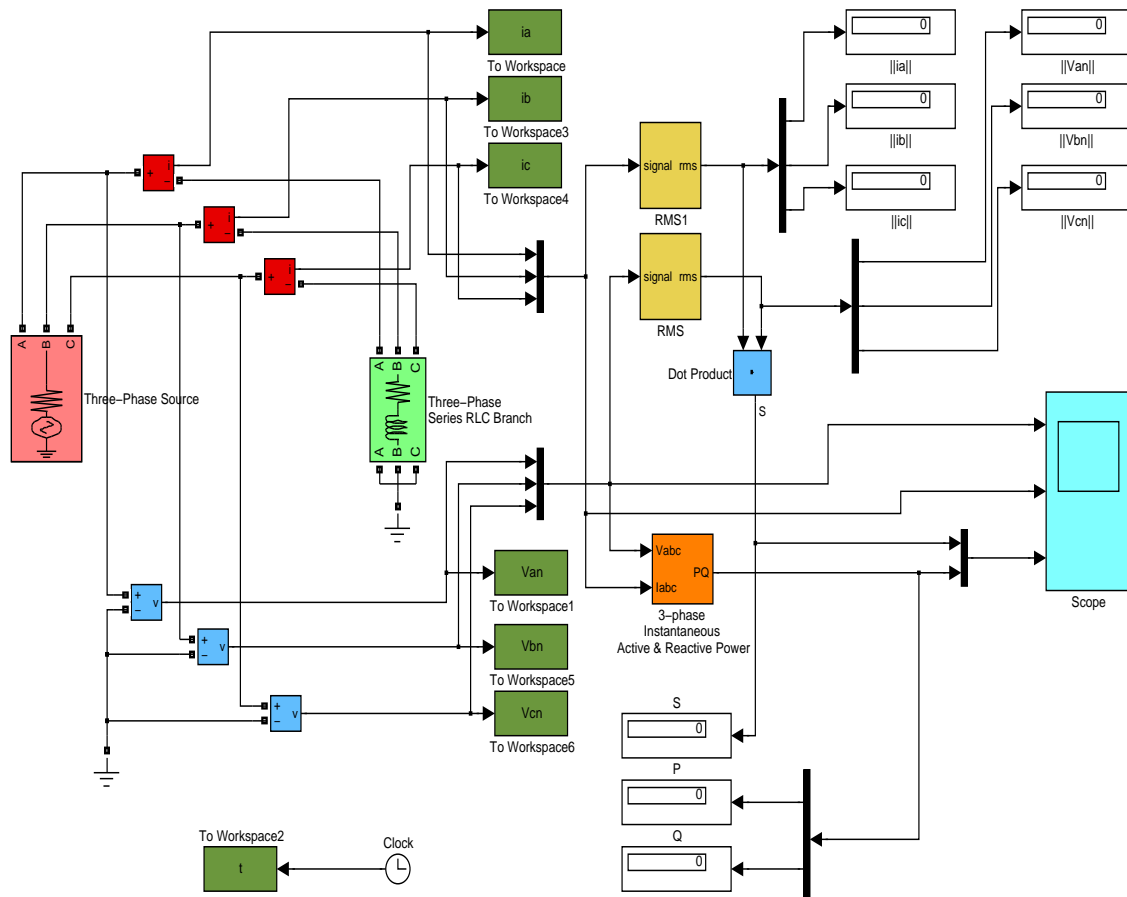
Descripción :

- Realizar un diagrama de bloques en SIMULINK que incluya 3 fuentes de voltaje sinusoidal balanceadas de 120 V RMS a 60 Hz, con una carga en serie RLC. Incluir bloques de medición para voltaje y corriente.
- Añadir medidores de valor RMS para la corriente y voltaje por fase, y un analizador de potencia activa y reactiva trifásica.
- Calcular en base a los valores RMS de voltaje y corriente, la potencia aparente de las fuentes.
- Utilizar *Displays* para visualizar los valores de potencia, y bloques *To Workspace* para enviar a MATLAB los valores instantáneos de voltaje y corriente por fase.
- Definir la simulación con los siguientes parámetros:

<i>Start time</i>	0.0
<i>Stop time</i>	0.1
<i>Solver</i>	ode15s
<i>Relative tolerante</i>	1e-6
<i>Absolute tolerante</i>	1e-6
- Para una carga puramente resistiva $R = 10 \Omega$ por fase, correr la simulación y visualizar los valores de potencia. Graficar el voltaje y corriente resultantes. ¿Existe desfasamiento entre voltaje y corriente?. Reportar los valores de potencia promedio o activa P , aparente S y reactiva Q .
- Para una carga puramente reactiva $L = 100 \text{ mH}$ en cada fase, correr la simulación y visualizar los valores de potencia. Graficar el voltaje y corriente resultantes. ¿Existe desfasamiento entre voltaje y corriente?. Reportar los valores de potencia promedio o activa P , aparente S y reactiva Q .
- Para una carga resistiva-inductiva $R = 10 \Omega$ y $L = 100 \text{ mH}$, correr la simulación y visualizar los valores de potencia. Graficar el voltaje y corriente resultantes. ¿Existe desfasamiento entre voltaje y corriente?. Reportar los valores de potencia promedio o activa P , aparente S y reactiva Q .
- Para la carga resistiva-inductiva $R = 10 \Omega$ y $L = 100 \text{ mH}$, conectar en paralelo por fase un capacitor de $C = 66 \mu\text{F}$ con una pequeña resistencia en serie de 0.001Ω . Correr la simulación y visualizar ahora los valores de potencia.

Graficar el voltaje y corriente resultantes. ¿Existe desfase entre voltaje y corriente?. Reportar los valores de potencia promedio o activa P , aparente S y reactiva Q .

Resultados : el estudiante utilizará SIMULINK para simular circuitos trifásicos de potencia, y analizará las relaciones entre los diferentes tipos de cargas y valores de potencia activa, aparente y reactiva en un circuito trifásico balanceado.



3.7. Potencia en Circuitos Trifásicos (Experimental)

Objetivo : observar las gráficas de corriente y voltaje con diferentes tipos de cargas (resistiva y carga inductiva-resistiva) en configuraciones de estrella y delta, observar la potencia promedio, la potencia reactiva y la aparente que presenta cada tipo de carga en un circuito trifásico.

Material :

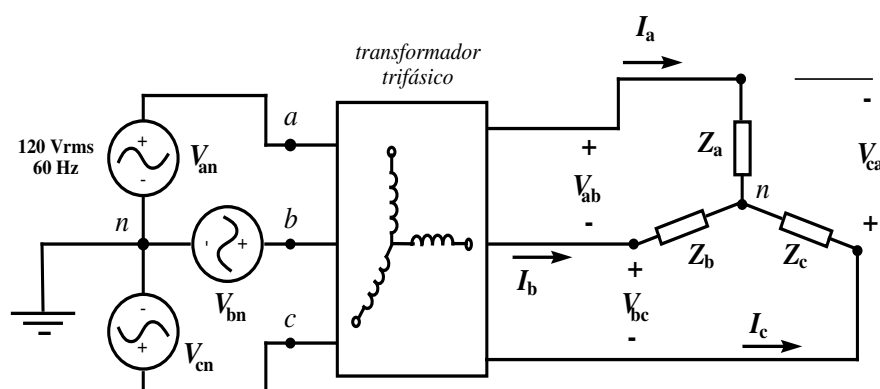
- 3 Resistencias de Potencia 27 Ω ,
- 2 Puntas Diferenciales de Voltaje Tektronix P5200,
- 2 Puntas de Corriente CD/CA Tektronix A622,
- Osciloscopio Color Tektronix TDS2014,
- Medidor de Calidad de Energía Fluke 43B,
- Transformador Variable Trifásico,
- Motor Trifásico de Inducción 1 HP.

Descripción :

- Utilizar tres resistencias de potencia en configuración de **estrella**, y fijar el voltaje fase-a-neutro a $\|V_{an}\| = 60 V_{rms}$ por medio del transformador trifásico. Visualizar los voltajes y corrientes en el circuito por medio de las puntas diferenciales de voltaje y las puntas de corriente. Medir los valores rms de los voltajes fase-a-fase:

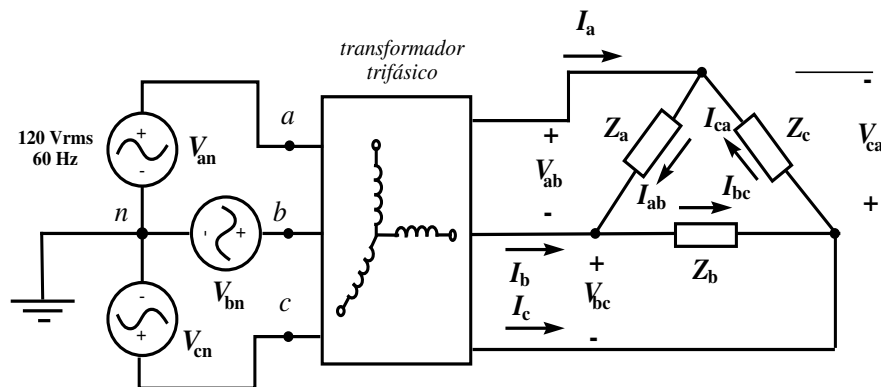
1. $\|V_{ab}\| = \underline{\hspace{2cm}} V_{rms}$.
2. $\|V_{bc}\| = \underline{\hspace{2cm}} V_{rms}$.
3. $\|V_{ca}\| = \underline{\hspace{2cm}} V_{rms}$.

¿Cual es la relación entre los voltajes fase-a-neutro y fase-a-fase?



- Enseguida medir los valores rms de las corrientes por fase:
1. $\|I_a\| = \underline{\hspace{2cm}} A_{rms}$.

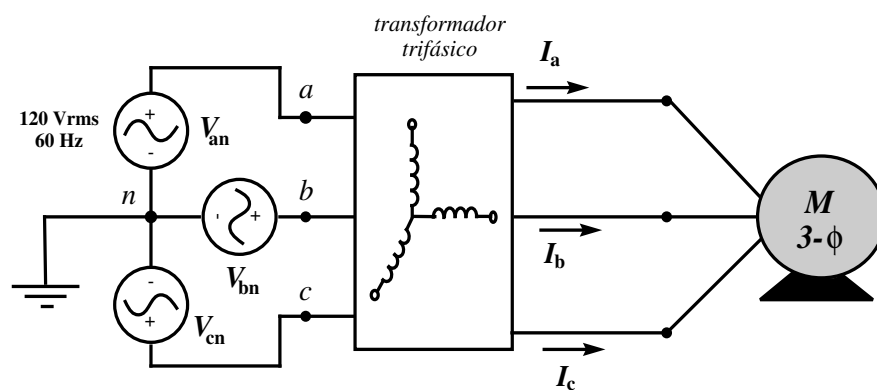
2. $\|I_b\| = \underline{\hspace{2cm}} Arms.$
 3. $\|I_c\| = \underline{\hspace{2cm}} Arms.$
- Utilizar el medidor de calidad de energía Fluke 43B para estimar la potencia activa, aparente y reactiva, y el factor de potencia de la fuente trifásica:
 1. $S = \underline{\hspace{2cm}} VA.$
 2. $P = \underline{\hspace{2cm}} W.$
 3. $Q = \underline{\hspace{2cm}} VAR.$
 4. $FP = \underline{\hspace{2cm}}.$
 - Ahora considerar las tres resistencias de potencia en configuración de **delta**, y visualizar los voltajes y corrientes en el circuito por medio de las puntas diferenciales de voltaje y las puntas de corriente.
 - Enseguida medir los valores rms de las corrientes por fase y en la carga
 1. $\|I_{ab}\| = \underline{\hspace{2cm}} Arms.$
 2. $\|I_{bc}\| = \underline{\hspace{2cm}} Arms.$
 3. $\|I_{ca}\| = \underline{\hspace{2cm}} Arms.$
 4. $\|I_a\| = \underline{\hspace{2cm}} Arms.$
 5. $\|I_b\| = \underline{\hspace{2cm}} Arms.$
 6. $\|I_c\| = \underline{\hspace{2cm}} Arms.$
- ¿Cual es la relación entre las corrientes?



- Utilizar el medidor de calidad de energía Fluke 43B para estimar la potencia activa, aparente y reactiva, y el factor de potencia de la fuente trifásica:
 1. $S = \underline{\hspace{2cm}} VA.$
 2. $P = \underline{\hspace{2cm}} W.$
 3. $Q = \underline{\hspace{2cm}} VAR.$
 4. $FP = \underline{\hspace{2cm}}.$

- Finalmente conectar por medio del transformador trifásico un **motor de inducción** de 1 HP, visualizar los voltajes y corrientes en el circuito por medio de las puntas diferenciales de voltaje y las puntas de corriente. ¿Existe desfaseamiento entre voltaje y corriente?
- Medir los valores rms de las corrientes por fase y potencia de la fuente con el motor al vacío (**sin carga**):
 1. $\|I_a\| = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Arms.}$
 2. $\|I_b\| = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Arms.}$
 3. $\|I_c\| = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Arms.}$
 4. $S = \underline{\hspace{2cm}} \text{ VA.}$
 5. $P = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W.}$
 6. $Q = \underline{\hspace{2cm}} \text{ VAR.}$
 7. $FP = \underline{\hspace{2cm}}.$
- Medir los valores rms de las corrientes por fase y potencia de la fuente con el motor **con carga**:
 1. $\|I_a\| = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Arms.}$
 2. $\|I_b\| = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Arms.}$
 3. $\|I_c\| = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Arms.}$
 4. $S = \underline{\hspace{2cm}} \text{ VA.}$
 5. $P = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W.}$
 6. $Q = \underline{\hspace{2cm}} \text{ VAR.}$
 7. $FP = \underline{\hspace{2cm}}.$

¿Existe diferencia en la corriente y potencia demandada por el motor sin y con carga?



Resultados : el estudiante visualizará la diferencias entre las corrientes demandadas por diferentes tipos y configuraciones de la carga en un circuito trifásico, y su relación con la potencia activa, aparente y reactiva.

3.8. Simulación de un Puente Rectificador Monofásico

Objetivo : utilizar la librería *SimPower Systems* de SIMULINK para simular un puente rectificador monofásico con diferentes tipos de cargas (resistiva e inductiva) y filtro capacitivo.

Material :

- Computadora personal,
- MATLAB/SIMULINK.

Descripción :

- Realizar un diagrama de bloques en SIMULINK que incluya una fuentes de voltaje sinusoidal 120 V RMS a 60 Hz, e incluir un puente rectificador monofásico conectado en paralelo a la fuente. Incluir bloques de medición para voltaje y corriente de fuente, y otro bloque para calcular la potencia activa P y reactiva Q entregada. Utilizar un bloque de *función* para evaluar el Factor de Potencia (FP):

$$FP = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

- Conectar el puente rectificador a una carga resistiva de 54 Ω ($R = 54, L = 0, C = inf$) y colocar medidores de corriente y voltaje en la carga. Añadir medidores de valor RMS y promedio para la corriente y voltaje. Utilizar un bloque de *función* para evaluar la eficiencia del rectificador η :

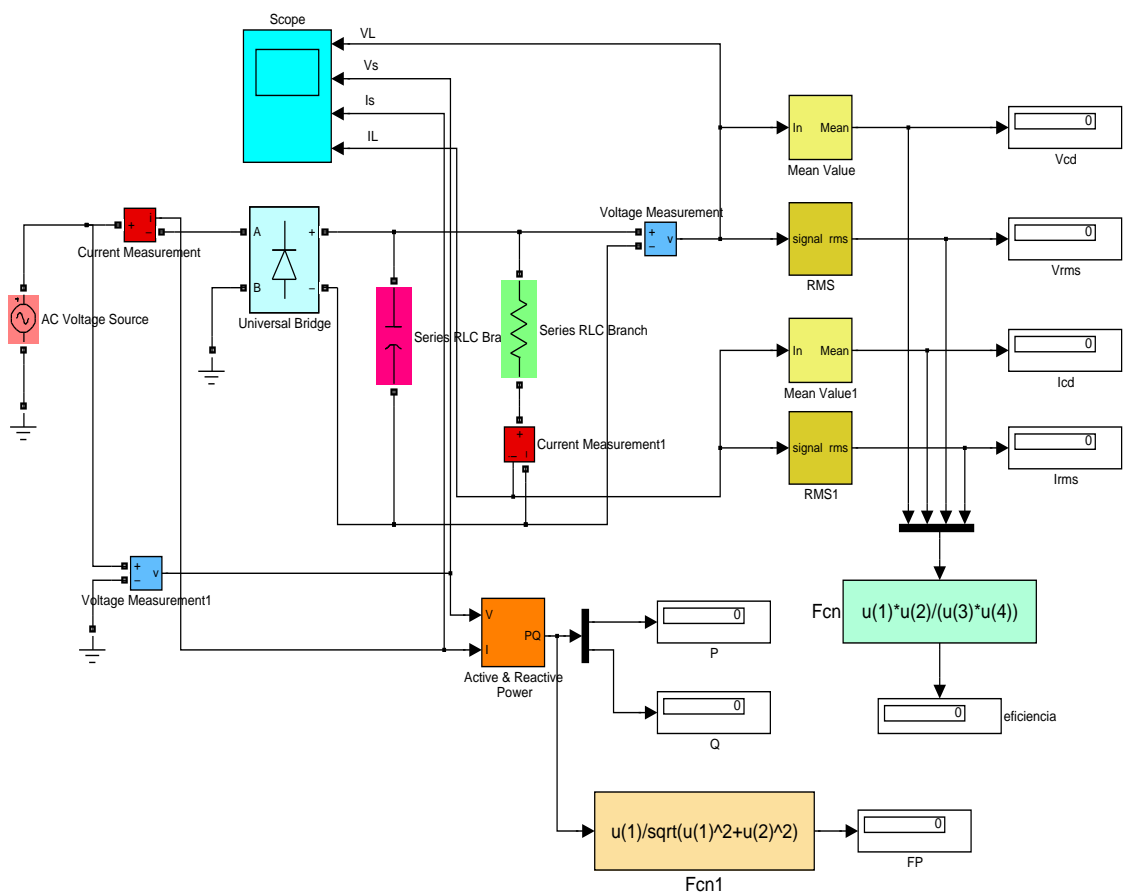
$$\eta = \frac{P_{cd}}{P_{ca}} = \frac{V_{cd}I_{cd}}{V_{rms}I_{rms}}$$

- Utilizar *Displays* para visualizar los valores de FP y η , y bloques *To Workspace* para enviar a MATLAB los valores instantáneos de voltaje y corriente.
- Definir la simulación con los siguientes parámetros:

<i>Start time</i>	0.0
<i>Stop time</i>	0.2
<i>Solver</i>	ode15s
<i>Relative tolerante</i>	1e-5
<i>Absolute tolerante</i>	1e-5
- Correr la simulación y visualizar los valores de voltaje y corriente en la fuente y carga. ¿Existe desfaseamiento entre voltaje y corriente en la fuente? Reportar los valores de FP y η .
- Agregar una parte inductiva a la carga de 250 mH ($R = 54, L = 250e - 3, C = inf$) Correr la simulación y visualizar los valores de voltaje y corriente en la fuente y carga. ¿Existe desfaseamiento entre voltaje y corriente en la fuente? ¿Existe algún cambio en el voltaje y corriente de salida? ¿Como es ahora la forma de onda de la corriente de alimentación? Reportar los valores de FP y η .

- Considerar de nuevo la carga puramente resistiva de 54Ω ($R = 54, L = 0, C = inf$) y conectar en paralelo un capacitor de $100 \mu F$ ($R = 0, L = 0, C = 100e-6$). Correr la simulación y visualizar los valores de voltaje y corriente en la fuente y carga. ¿Existe desfase entre voltaje y corriente en la fuente? ¿Como es la forma de onda de la corriente de alimentación? ¿Existe rizo en el voltaje de salida? Reportar los valores de FP y η .
- Finalmente, elevar el valor del capacitor de filtrado a $1200 \mu F$ ($R = 0, L = 0, C = 1200e-6$) y correr la simulación y visualizar los valores de voltaje y corriente en la fuente y carga. ¿Existe desfase entre voltaje y corriente en la fuente?. ¿Como es la forma de onda de la corriente de alimentación y el tamaño del rizo de salida? Reportar los valores de FP y η .

Resultados : el estudiante utilizará SIMULINK para simular un convertidor fijo cad y estudiará su comportamiento para diferentes tipos de cargas, y visualizará el compromiso entre eficiencia en la rectificación y factor de potencia.



3.9. Simulación de un Puente Rectificador Trifásico

Objetivo : utilizar la librería *SimPower Systems* de SIMULINK para simular un puente rectificador trifásico con diferentes tipos de cargas (resistiva e inductiva).

Material :

- Computadora personal,
- MATLAB/SIMULINK.

Descripción :

- Realizar un diagrama de bloques en SIMULINK que incluya una fuente de voltaje trifásica sinusoidal balanceada 120 V RMS a 60 Hz con una resistencia e inductancia internas de 0.1 Ω y 10 μH . Incluir un puente rectificador trifásico conectado a la fuente. Incluir bloques de medición para voltaje y corriente por fase de la fuente, y otro bloque para calcular la potencia activa P y reactiva Q entregada. Utilizar un bloque de *función* para evaluar el Factor de Potencia (FP) resultante:

$$FP = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

- Conectar el puente rectificador a una carga resistiva de 54 Ω ($R = 54, L = 0, C = inf$) y colocar medidores de corriente y voltaje en la carga. Añadir medidores de valor RMS y promedio para la corriente y voltaje. Utilizar un bloque de *función* para evaluar la eficiencia del rectificador η :

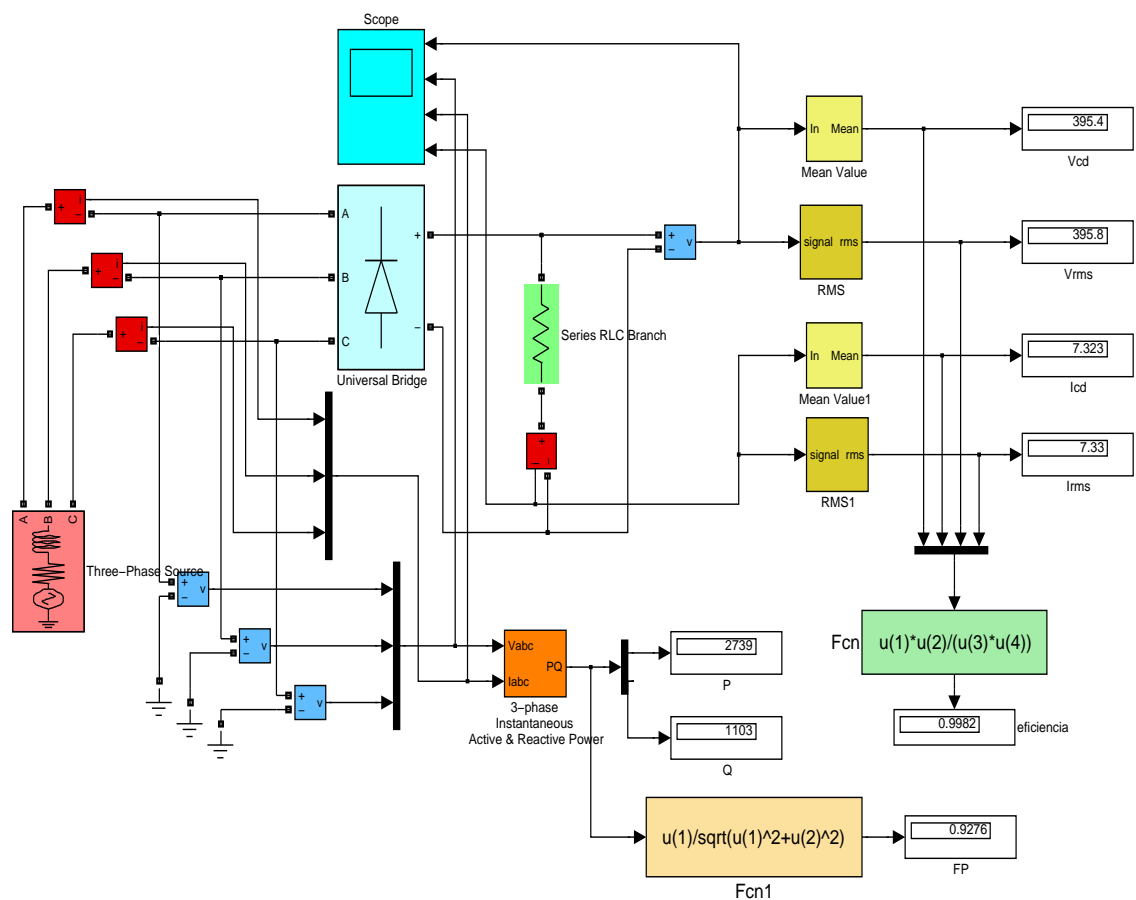
$$\eta = \frac{P_{cd}}{P_{ca}} = \frac{V_{cd}I_{cd}}{V_{rms}I_{rms}}$$

- Utilizar *Displays* para visualizar los valores de FP y η , y bloques *To Workspace* para enviar a MATLAB los valores instantáneos de voltaje y corriente.
- Definir la simulación con los siguientes parámetros:

<i>Start time</i>	0.0
<i>Stop time</i>	0.2
<i>Solver</i>	ode15s
<i>Relative tolerante</i>	1e-5
<i>Absolute tolerante</i>	1e-5
- Correr la simulación y visualizar los valores de voltaje y corriente en la fuente y carga. ¿Existe desfaseamiento entre voltaje y corriente en la fuente? Reportar los valores de FP y η .
- Agregar una parte inductiva a la carga de 250 mH ($R = 54, L = 250e - 3, C = inf$) Correr la simulación y visualizar los valores de voltaje y corriente en la fuente y carga. ¿Existe desfaseamiento entre voltaje y corriente en la fuente? ¿Existe algún cambio en el voltaje y corriente de salida? ¿Como es ahora la forma de onda de la corriente de alimentación? Reportar los valores de FP y η .

- Considerar de nuevo la carga puramente resistiva de 54Ω ($R = 54, L = 0, C = inf$) y conectar en paralelo un capacitor de $450 \mu F$ ($R = 0, L = 0, C = 450e-6$). Correr la simulación y visualizar los valores de voltaje y corriente en la fuente y carga. ¿Existe desfase entre voltaje y corriente en la fuente? ¿Como es la forma de onda de la corriente de alimentación? ¿Existe rizo en el voltaje de salida? Reportar los valores de FP y η .

Resultados : el estudiante utilizará SIMULINK para simular un convertidor trifásico ca-cd y estudiará su comportamiento para diferentes tipos de cargas, y visualizará el compromiso entre eficiencia en la rectificación y factor de potencia.



3.10. Rectificadores Monofásico y Trifásico (Experimental)

Objetivo : observar las formas de onda de voltaje y corriente de manera experimental en rectificadores monofásicos y trifásicos con diferentes tipos de carga (resistiva e inductiva).

Material :

- 2 Resistencias de Potencia 27 Ω ,
- Capacitor de 1200 μF a 450V.
- 3 Diodos de Potencia,
- Puente Rectificador Monofásico 25 A,
- Puente Rectificador Trifásico 25 A,
- Punta Diferencial de Voltaje Tektronix P5200,
- Punta de Corriente CD/CA Tektronix A622,
- Osciloscopio Color Tektronix TDS2014,
- Medidor de Calidad de Energía Fluke 43B,
- Transformador Variable Trifásico,
- Motor de Corriente Directa de Imán Permanente.

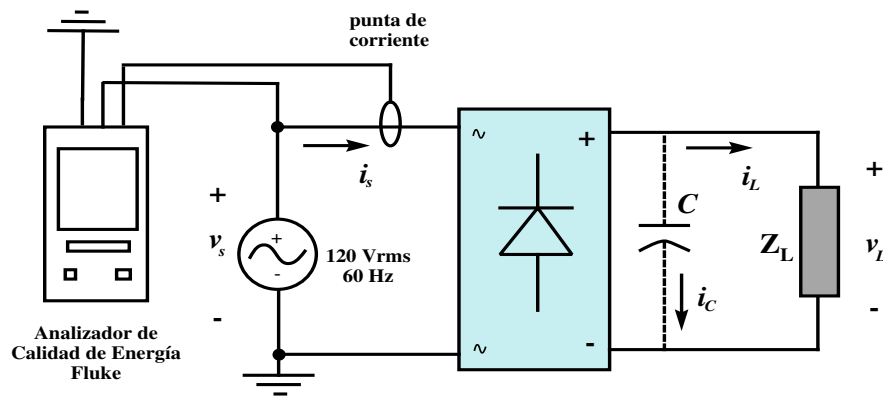
Descripción :

- Utilizar el rectificador monofásico con una carga resistiva de 54 Ω , visualizar las corriente demandas en el circuito y voltaje en la carga. Medir los siguientes valores:

1. $\|v_s\| = \underline{\hspace{2cm}} V_{rms}$.
2. $\|i_s\| = \underline{\hspace{2cm}} A_{rms}$.
3. $V_{cd} = \underline{\hspace{2cm}} V$.
4. $I_{cd} = \underline{\hspace{2cm}} A$.
5. $V_{rms} = \|v_L\| = \underline{\hspace{2cm}} V_{rms}$.
6. $I_{rms} = \|i_L\| = \underline{\hspace{2cm}} A_{rms}$.

y calcular los parámetros de desempeño

1. $\eta = \underline{\hspace{2cm}}$.
 2. $FF = \underline{\hspace{2cm}}$.
 3. $RF = \underline{\hspace{2cm}}$.
- Ahora utilizar el medidor de calidad de energía para medir en la fuente monofásica:
 1. $S = \underline{\hspace{2cm}} VA$.
 2. $P = \underline{\hspace{2cm}} W$.
 3. $Q = \underline{\hspace{2cm}} VAR$.



4. $FP = \underline{\hspace{2cm}}$.

- Enseguida agregar un filtro capacitivo en la carga de $1200 \mu F$. Visualizar las corriente demandas en el circuito y voltaje en la carga. Medir los siguientes valores:

1. $\|v_s\| = \underline{\hspace{2cm}} V_{rms}$.
2. $\|i_s\| = \underline{\hspace{2cm}} A_{rms}$.
3. $V_{cd} = \underline{\hspace{2cm}} V$.
4. $I_{cd} = \underline{\hspace{2cm}} A$.
5. $V_{rms} = \|v_L\| = \underline{\hspace{2cm}} V_{rms}$.
6. $I_{rms} = \|i_L\| = \underline{\hspace{2cm}} A_{rms}$.

y calcular los parámetros de desempeño

1. $\eta = \underline{\hspace{2cm}}$.
2. $FF = \underline{\hspace{2cm}}$.
3. $RF = \underline{\hspace{2cm}}$.

¿Mejóro el desempeño del rectificador con el filtro capacitivo?

- Utilizar el medidor de calidad de energía para medir en la fuente monofásica:

1. $S = \underline{\hspace{2cm}} VA$.
2. $P = \underline{\hspace{2cm}} W$.
3. $Q = \underline{\hspace{2cm}} VAR$.
4. $FP = \underline{\hspace{2cm}}$.

¿El factor de potencia en la fuente monofásica decrece o aumenta con el filtro capacitivo en la carga? Explica.

- Considerar ahora una carga resistiva-inductiva en el rectificador con un Motor CD de Imán Permanente. Medir la inductancia y resistencia de la carga:

1. $R = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$.
2. $L = \underline{\hspace{2cm}} H$.

Visualizar las corriente demandas en el circuito y voltaje en la carga. Medir los siguientes valores:

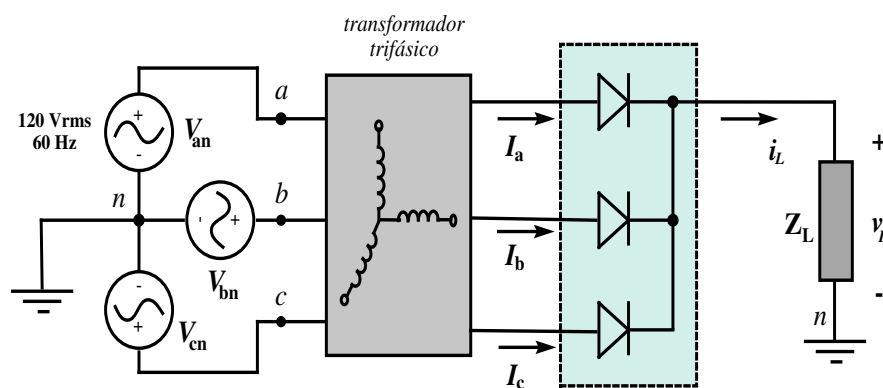
1. $\|v_s\| = \text{_____} V_{rms}$.
2. $\|i_s\| = \text{_____} A_{rms}$.
3. $V_{cd} = \text{_____} V$.
4. $I_{cd} = \text{_____} A$.
5. $V_{rms} = \|v_L\| = \text{_____} V_{rms}$.
6. $I_{rms} = \|i_L\| = \text{_____} A_{rms}$.

y calcular los parámetros de desempeño

1. $\eta = \text{_____}$.
2. $FF = \text{_____}$.
3. $RF = \text{_____}$.

- Medir en la fuente monofásica:

1. $S = \text{_____} VA$.
2. $P = \text{_____} W$.
3. $Q = \text{_____} VAR$.
4. $FP = \text{_____}$.



- Enseguida utilizar la fuente trifásica para implementar el **rectificador en estrella** con una carga resistiva de 54Ω , visualizar las corriente demandas en el circuito y voltaje en la carga. Medir los siguientes valores:

1. $\|V_{an}\| = \text{_____} V_{rms}$.
2. $\|V_{bn}\| = \text{_____} V_{rms}$.
3. $\|V_{cn}\| = \text{_____} V_{rms}$.
4. $\|i_a\| = \text{_____} A_{rms}$.
5. $\|i_b\| = \text{_____} A_{rms}$.
6. $\|i_c\| = \text{_____} A_{rms}$.
7. $V_{cd} = \text{_____} V$.

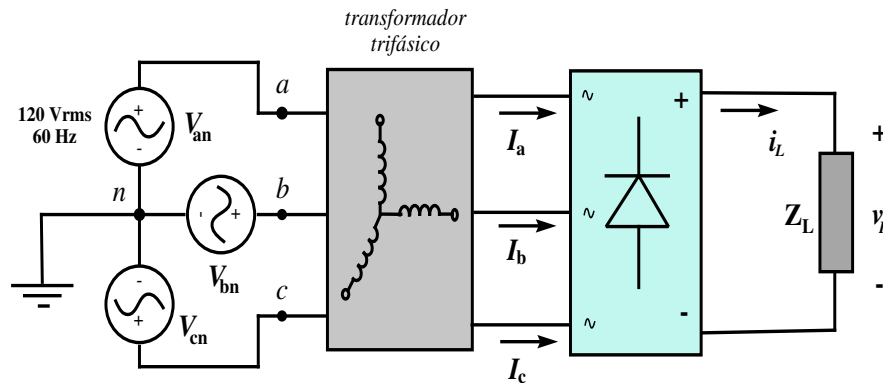
8. $I_{cd} = \text{_____} A.$
9. $V_{rms} = ||v_L|| = \text{_____} V_{rms}.$
10. $I_{rms} = ||i_L|| = \text{_____} A_{rms}.$

y calcular los parámetros de desempeño

1. $\eta = \text{_____}.$
2. $FF = \text{_____}.$
3. $RF = \text{_____}.$

■ Medir en la fuente trifásica:

1. $S = \text{_____} VA.$
2. $P = \text{_____} W.$
3. $Q = \text{_____} VAR.$
4. $FP = \text{_____}.$



■ Finalmente implementar el **rectificador en puente** con una carga resistiva de 54Ω , visualizar las corriente demandas en el circuito y voltaje en la carga. Medir los siguientes valores:

1. $||V_{an}|| = \text{_____} V_{rms}.$
2. $||V_{bn}|| = \text{_____} V_{rms}.$
3. $||V_{cn}|| = \text{_____} V_{rms}.$
4. $||i_a|| = \text{_____} A_{rms}.$
5. $||i_b|| = \text{_____} A_{rms}.$
6. $||i_c|| = \text{_____} A_{rms}.$
7. $V_{cd} = \text{_____} V.$
8. $I_{cd} = \text{_____} A.$
9. $V_{rms} = ||v_L|| = \text{_____} V_{rms}.$
10. $I_{rms} = ||i_L|| = \text{_____} A_{rms}.$

y calcular los parámetros de desempeño del rectificador trifásico:

1. $\eta = \underline{\hspace{2cm}}$.

2. $FF = \underline{\hspace{2cm}}$.

3. $RF = \underline{\hspace{2cm}}$.

- Medir en la fuente trifásica:

1. $S = \underline{\hspace{2cm}} VA$.

2. $P = \underline{\hspace{2cm}} W$.

3. $Q = \underline{\hspace{2cm}} VAR$.

4. $FP = \underline{\hspace{2cm}}$.

Resultados : para un puente rectificador monofásico, el estudiante visualizará las diferencias entre las corrientes demandadas sin y con filtro capacitivo. Además comprenderá la relación que existe entre el tipo de rectificador y la eficiencia resultante.

3.11. Simulación de un Semiconvertidor Monofásico

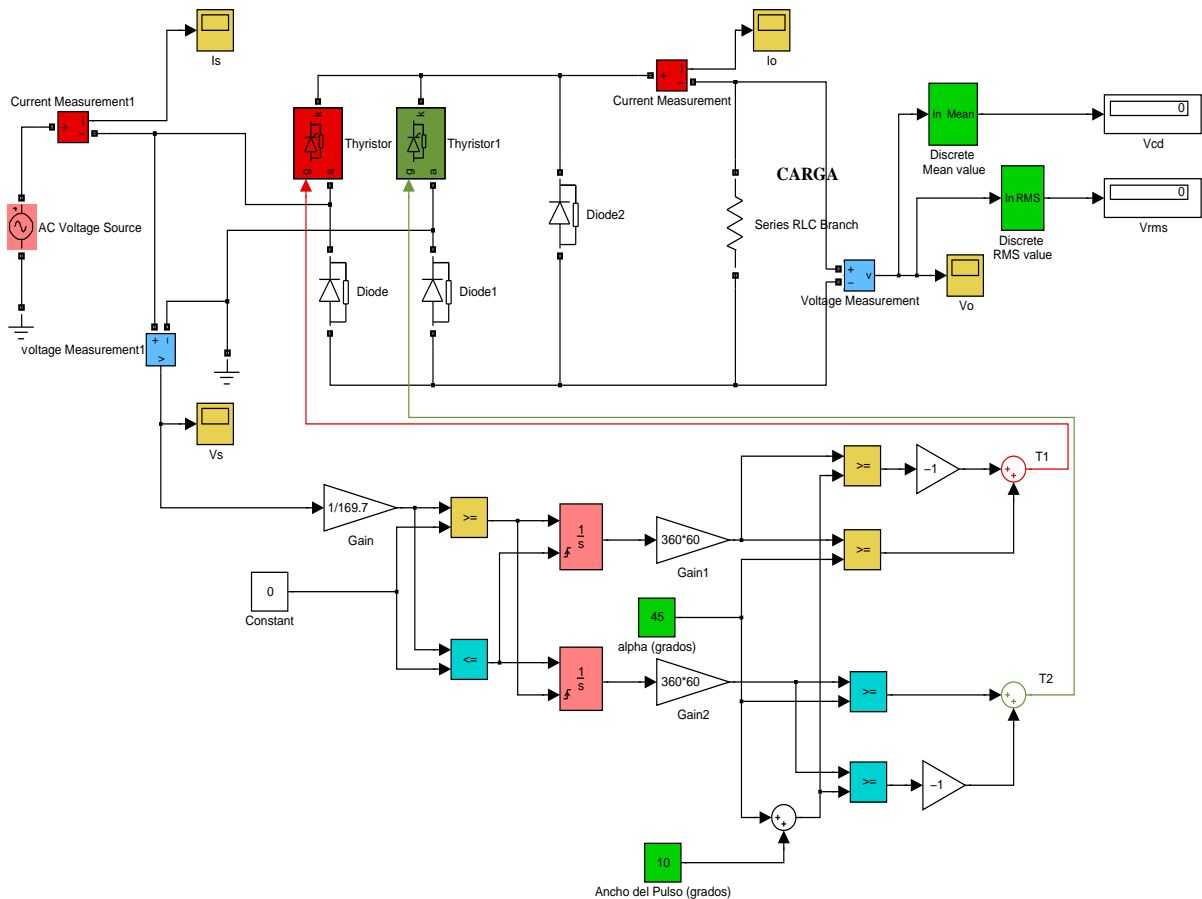
Objetivo : utilizar la librería *SimPower Systems* de SIMULINK para simular un semi-convertidor monofásico con 2 SCR's y 3 diodos, para una carga resistiva y resistiva-inductiva.

Material :

- Computadora personal,
- MATLAB/SIMULINK.

Descripción :

- Implementar el siguiente diagrama de simulación que representa un semiconvertidor con 2 SCR's y 3 diodos de potencia.



El circuito de disparo se encuentra construido por las siguientes partes:

1. Sensor de voltaje de línea,
2. Comparación para determinar los semi-ciclos positivo y negativo,

3. Generación de rampas normalizadas a $0 - 180^\circ$,
 4. Comparación con el ángulo de disparo α (grados) y $\alpha + \Delta\alpha$, donde $\Delta\alpha$ define el ancho de cada pulso,
 5. Comparación de la rampa con las referencia para formar los pulsos de disparo de cada tiristor.
- Considerar primero una carga resistiva de 10Ω y visualizar los voltajes y corrientes en el circuito para los ángulos de disparo $\alpha = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ y 180° . ¿Cual es el efecto en la potencia activa y aparente provista por la fuente monofásica? Llenar la siguiente tabla:

Parámetro	α				
	0°	45°	90°	135°	180°
V_{cd}					
V_{rms}					
P					
Q					

¿Cual sería el comportamiento de V_{cd} y V_{rms} en función de α ? Graficar también P y Q en función del ángulo de disparo α .

- Simular ahora una carga resistiva-inductiva con 10Ω y $3 mH$ y visualizar los voltajes y corrientes en el circuito para los ángulos de disparo $\alpha = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ y 180° . ¿Cual es el efecto en la potencia activa y aparente provista por la fuente monofásica? Se modifica la forma de onda de la corriente de línea al agregar parte inductiva en la carga ? Llenar la siguiente tabla:

Parámetro	α				
	0°	45°	90°	135°	180°
V_{cd}					
V_{rms}					
P					
Q					

Resultados : el estudiante visualizará la manera de implementar un circuito de disparo para un semiconvertidor monofásico por medio de los bloques de SIMULINK. Además reconocerá el compromiso y deterioro del factor de potencia de las fuente de alimentación al variar el ángulo de disparo.

3.12. Simulación de un Rectificador Monofásico Controlado

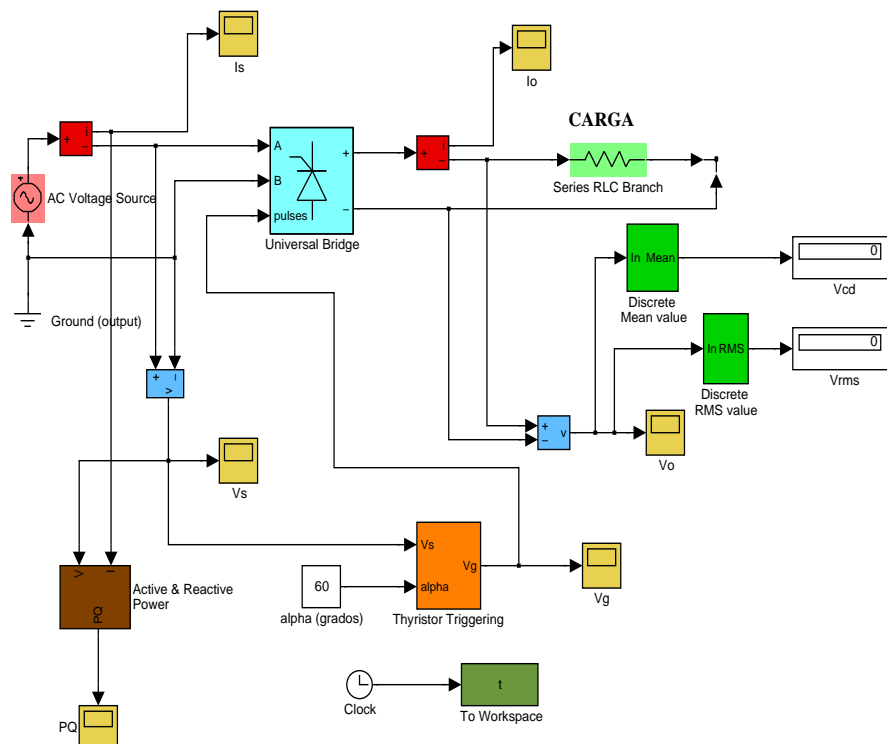
Objetivo : utilizar la librería *SimPower Systems* de SIMULINK para simular un puente rectificador controlado monofásico con SCR's, para una carga resistiva y motor de CD.

Material :

- Computadora personal,
- MATLAB/SIMULINK.

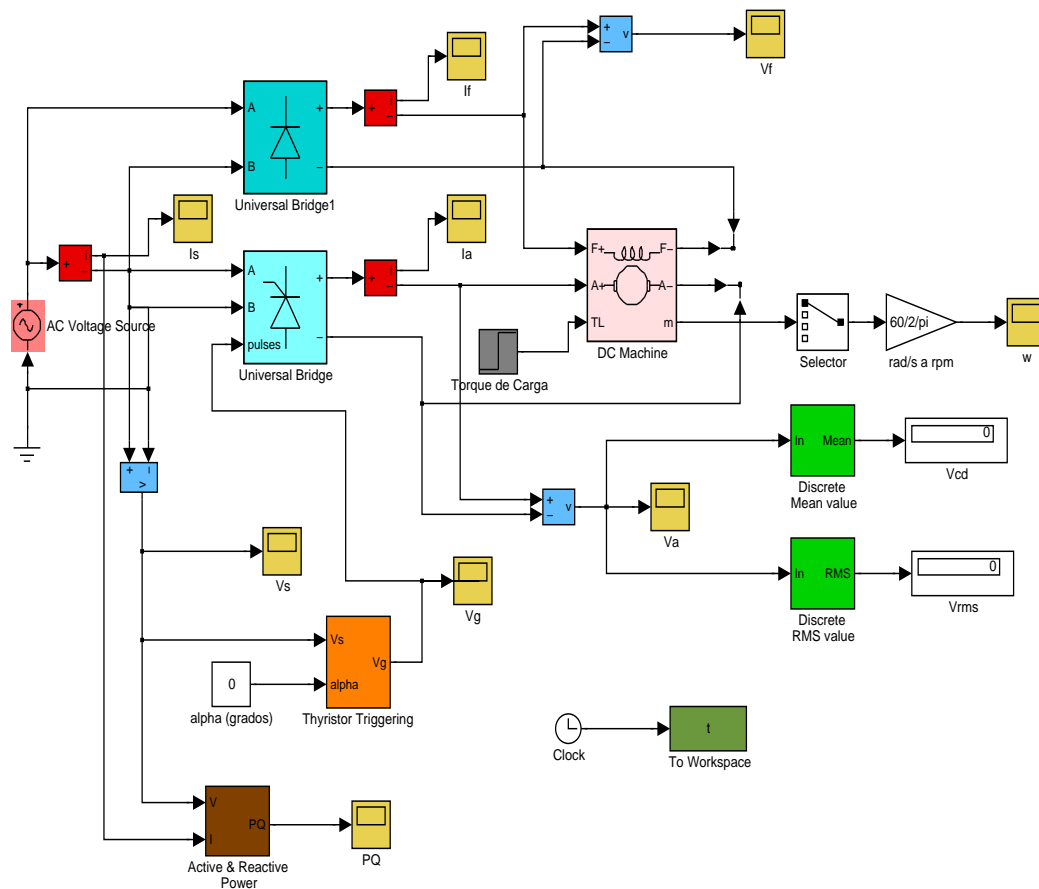
Descripción :

- Implementar el siguiente diagrama de simulación que representa un rectificador controlado con 4 SCR's y circuito de control de fase. Considerar primero una carga resistiva de 54Ω y visualizar los voltajes y corrientes en el circuito para los ángulos de disparo $\alpha = 0^\circ, 45^\circ$ y 90° . ¿Cual es el efecto en la potencia activa y aparente provista por la fuente monofásica?



- Simular ahora una carga resistiva-inductiva con 20Ω y 3 mH y visualizar los voltajes y corrientes en el circuito para los ángulos de disparo $\alpha = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ y 120° . ¿Cual es el efecto en la potencia activa y aparente provista por la fuente monofásica? El voltaje instantáneo en la carga puede ser negativo, que valores de α le corresponden ?

- Implementar el circuito de potencia para un motor CD tipo Shunt. Así considerar un puente rectificador fijo para alimentar el campo del motor, y un puente rectificador controlado para variar el voltaje CD en la armadura y controlar la velocidad de giro ω . Visualizar los voltajes y corrientes en el circuito para los ángulos de disparo $\alpha = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ y 120° . ¿Como varía la velocidad de giro ω en estado estable en función del ángulo de disparo α ? ¿Cual es el efecto en la potencia activa y reactiva demandada a la fuente?.



Resultados : el estudiante visualizará los retos que implica el llevar a la práctica un rectificador controlado monofásico. Comprenderá las implicaciones de variar el ángulo de disparo con respecto del factor de potencia de la alimentación. Además de comprender las posibles aplicaciones de estos circuitos en variadores de velocidad para motores de CD.

3.13. Simulación de un Rectificador Trifásico Controlado

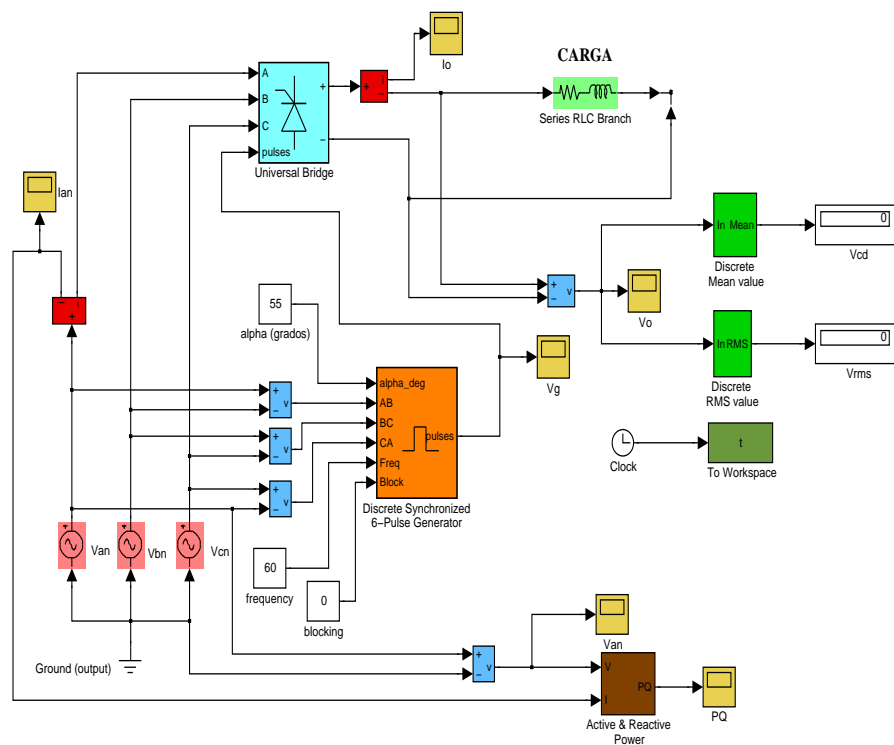
Objetivo : utilizar la librería *SimPower Systems* de SIMULINK para simular un puente rectificador controlado trifásico con SCR's, para una carga resistiva y motor de CD.

Material :

- Computadora personal,
- MATLAB/SIMULINK.

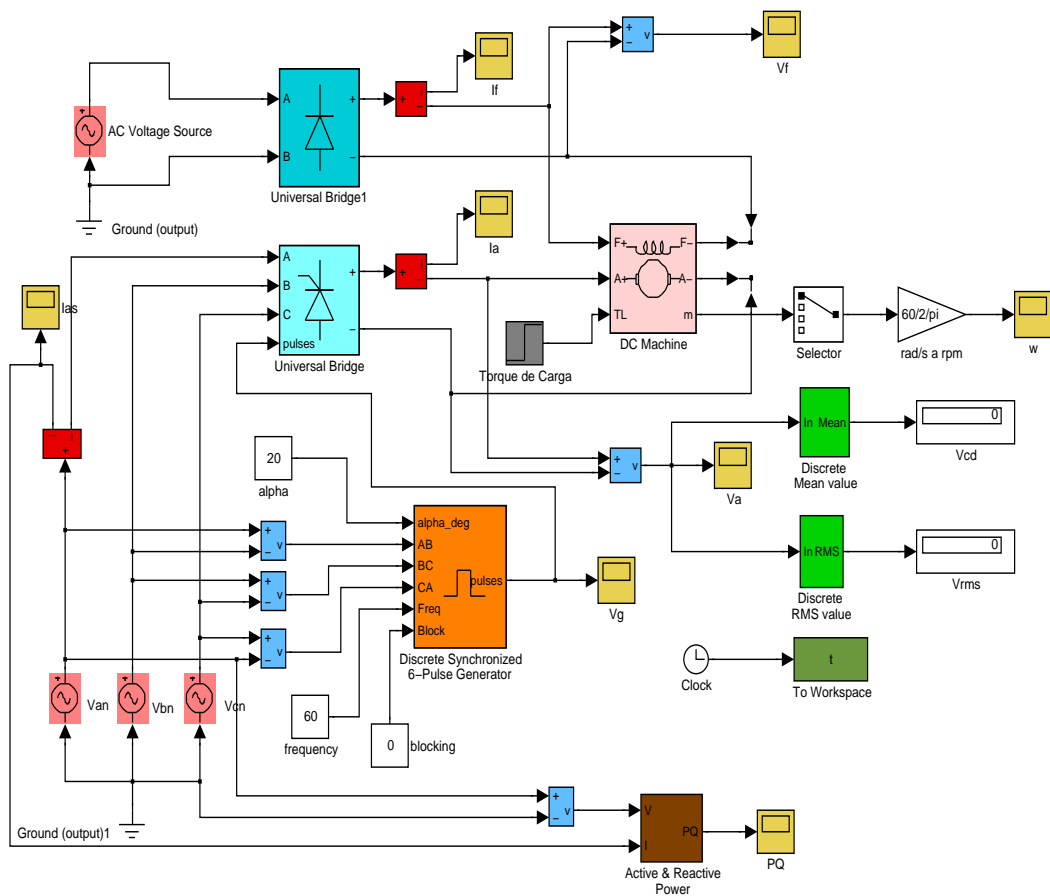
Descripción :

- Implementar el siguiente diagrama de simulación que representa un rectificador controlado con 6 SCR's y circuito de control de fase. Considerar primero una carga resistiva de 54Ω y visualizar los voltajes y corrientes en el circuito para los ángulos de disparo $\alpha = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ y 120° . ¿Cual es el efecto en la potencia activa y aparente provista por la fuente trifásica?



- Simular ahora una carga resistiva-inductiva con 20Ω y 3 mH y visualizar los voltajes y corrientes en el circuito para los ángulos de disparo $\alpha = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ y 120° . ¿Cual es el efecto en la potencia activa y aparente provista por la fuente trifásica? El voltaje instantáneo en la carga puede ser negativo, que valores de α le corresponden ?

- Implementar el circuito de potencia para un motor CD tipo Shunt. Así considerar un puente rectificador monofásico fijo para alimentar el campo del motor, y un puente rectificador controlado trifásico para variar el voltaje CD en la armadura y controlar la velocidad de giro ω . Visualizar los voltajes y corrientes en el circuito para los ángulos de disparo $\alpha = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ y 120° . ¿Como varía la velocidad de giro ω en estado estable en función del ángulo de disparo α ? ¿Cual es el efecto en la potencia activa y reactiva demandada a la fuente trifásica?.



Resultados : el estudiante visualizará los retos que implica el llevar a la práctica un rectificador controlado trifásico. Además comprenderá la relación que existe entre el factor de potencia de la fuente trifásico con respecto a la variación del voltaje promedio a la salida del convertidor. El estudiante comparará los beneficios y desventajas con respecto al rectificador controlado monofásico.

3.14. Puentes Rectificadores Controlados (Experimental)

Objetivo : observar las formas de onda de voltaje y corriente de manera experimental en puentes rectificadores controlados monofásicos y trifásicos con diferentes tipos de carga (resistiva e inductiva) en función del ángulo de disparo.

Material :

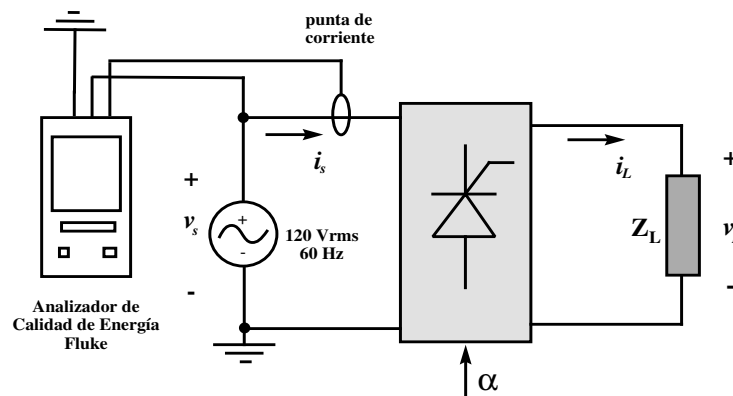
- 2 Resistencias de Potencia 27Ω ,
- Prototipo de un Puente Rectificador Controlado Monofásico,
- Prototipo de un Puente Rectificador Controlado Trifásico,
- Punta Diferencial de Voltaje Tektronix P5200,
- Punta de Corriente CD/CA Tektronix A622,
- Osciloscopio Color Tektronix TDS2014,
- Medidor de Calidad de Energía Fluke 43B,
- Multímetro LCR Wavetek,
- Transformador Variable Trifásico,
- Motor de Corriente Directa de Imán Permanente,
- Tacómetro 50 V/1000 RPM.

Descripción :

- Utilizar el puente rectificador controlado monofásico con una carga resistiva de 54Ω , visualizar las corriente demandas en el circuito y voltaje en la carga para los ángulos de disparo $\alpha \approx 0^\circ, 45^\circ$ y 90° . Medir los siguientes valores de la tabla utilizando el medidor de calidad de energía.

Parámetro	α		
	0°	45°	90°
$ v_s $			
$ i_s $			
V_{cd}			
I_{cd}			
V_{rms}			
I_{rms}			
S			
P			
Q			
FP			

Graficar los valores de V_{cd} y V_{rms} en función del ángulo de disparo α . ¿Como cambia el FP de la fuente con α ?



- Considerar ahora una carga resistiva-inductiva en el rectificador con un Motor CD de Imán Permanente. Medir la inductancia y resistencia de la carga:
 1. $R = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$.
 2. $L = \underline{\hspace{2cm}} H$.

Visualizar las corriente demandas en el circuito y voltaje en la carga para los ángulos de disparo $\alpha \approx 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ y 120° . Utilizar el tacómetro acoplado a la flecha del motor para medir la velocidad angular ω del motor. Medir entonces los siguientes valores de la tabla.

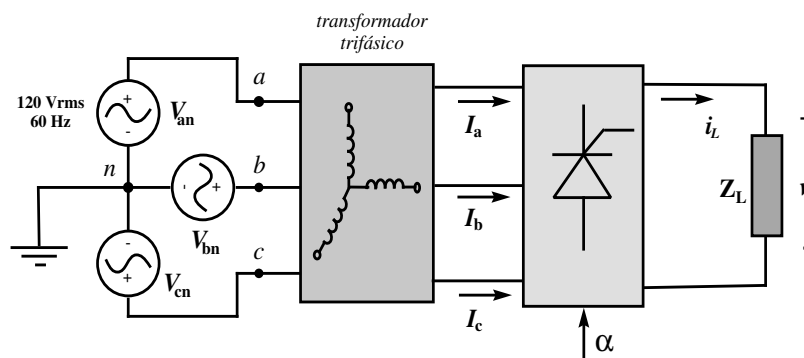
Parámetro	α			
	0°	45°	90°	120°
$ v_s $				
$ i_s $				
V_{cd}				
I_{cd}				
V_{rms}				
I_{rms}				
ω				
S				
P				
Q				
FP				

Graficar los valores de V_{cd} , V_{rms} , y ω en función del ángulo de disparo α . ¿Como cambia el FP de la fuente con α ?

- Finalmente utilizar el prototipo del rectificador controlado trifásico con una carga resistiva de 54Ω , visualizar las corriente demandas en el circuito y voltaje en la carga para los ángulos de disparo $\alpha \approx 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ y 120° . Medir los siguientes valores de la tabla.

Parámetro	α			
	0°	45°	90°	120°
$\ V_{an}\ $				
$\ V_{ab}\ $				
$\ V_{bc}\ $				
$\ V_{ca}\ $				
$\ I_a\ $				
$\ I_b\ $				
$\ I_c\ $				
V_{cd}				
I_{cd}				
V_{rms}				
I_{rms}				
ω				
S				
P				
Q				
FP				

Graficar los valores de V_{cd} y V_{rms} en función del ángulo de disparo α . ¿Cómo cambia el FP de la fuente con α ?



Resultados : el estudiante visualizará el uso de los rectificadores controlados como convertidores de potencia CA a CD variable a través del control del ángulo de disparo. Además entenderá el compromiso que existe con respecto de la degradación del factor de potencia en la alimentación.

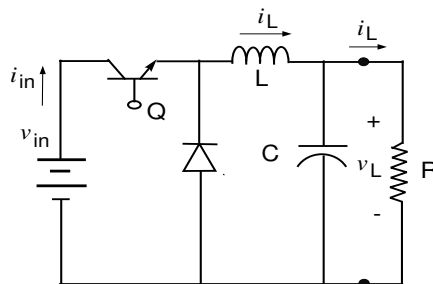
3.15. Convertidores CD-CD (Experimental)

Objetivo : el estudiante visualizará experimentalmente el desempeño de convertidores CD-CD, y sus características de funcionamiento.

Material :

- Resistencias de Potencia 5 y 10 Ω ,
- Prototipo de un Convertidor Reductor (Buck),
- Prototipo de un Convertidor Elevador (Boost),
- Prototipo de un Convertidor Reductor/Elevador (Buck/Boost),
- 2 Puntas Diferenciales de Voltaje Tektronix P5200,
- 2 Puntas de Corriente CD/CA Tektronix A622,
- Osciloscopio Color Tektronix TDS2014,
- Fuente CD Variable de Potencia 0 – 30 V,
- Fuente CD Variable 0 – 15 V.

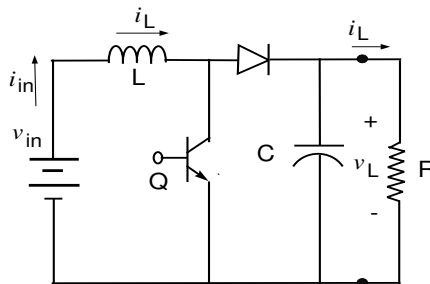
Descripción :



- Tomar el **Convertidor Reductor** y considerar un carga resistiva de 5 Ω . Fijar la alimentación de entrada $V_{in} = 25 V$. Visualizar las corrientes y voltajes de entrada y salida en el convertidor para diferentes ciclos de trabajo U . Completar la siguiente tabla.

Parámetro	U			
	0 %	25 %	75 %	100 %
$\ i_{in}\ $				
i_{in}^{cd}				
V_{cd}				
I_{cd}				
V_{rms}				
I_{rms}				

Graficar el voltaje de salida promedio V_{cd} y eficaz V_{rms} en función del ciclo de trabajo U .



- Tomar el **Convertidor Elevador** y considerar un carga resistiva de 10Ω . Fijar la alimentación de entrada $V_{in} = 10 V$. Visualizar las corrientes y voltajes de entrada y salida en el convertidor para diferentes ciclos de trabajo U . Completar la siguiente tabla.

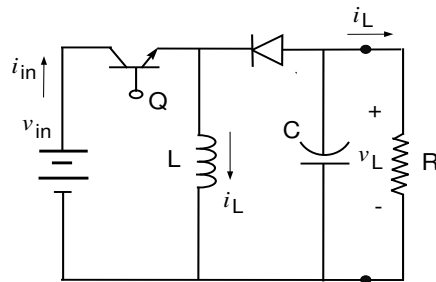
Parámetro	U			
	0 %	25 %	50 %	75 %
$ i_{in} $				
i_{in}^{cd}				
V_{cd}				
I_{cd}				
V_{rms}				
I_{rms}				

Graficar el voltaje de salida promedio V_{cd} y eficaz V_{rms} en función del ciclo de trabajo U . De manera visual, como cambia el tamaño del rizo de salida con respecto del ciclo de trabajo U ?

- Finalmente usar el **Convertidor Reductor/Elevador** y considerar un carga resistiva de 10Ω . Fijar la alimentación de entrada $V_{in} = 15 V$. Visualizar las corrientes y voltajes de entrada y salida en el convertidor para diferentes ciclos de trabajo U . Completar la siguiente tabla.

Parámetro	U			
	0 %	25 %	50 %	75 %
$ i_{in} $				
i_{in}^{cd}				
V_{cd}				
I_{cd}				
V_{rms}				
I_{rms}				

Graficar el voltaje de salida promedio V_{cd} y eficaz V_{rms} en función del ciclo de trabajo U . ¿Cual sería el compromiso entre el rizo de salida y el ciclo de trabajo U ?



Resultados : el estudiante entenderá el compromiso entre la potencia de entrada y salida en los convertidores CD-CD. Así como el rango limitado de operación de cada convertidor, en función de la potencia máxima de entrada y pérdidas en el circuito.

4. Conclusiones

Las practicas que se llevan a lo largo del curso buscan que el estudiante relacione los conceptos teóricos con aplicaciones de los mismos. Ya sea por medio de simulación, en una primera instancia, así como experimentalmente por medio de sesiones en el laboratorio. De esta manera se busca mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje en las materias de Electrónica de Potencia. Además de que el estudiante comprenda y reconozca los retos que se tienen al llevar los conceptos teóricos a la práctica.

5. Agradecimientos

Se agradece el apoyo de la SESIC a través de los proyectos PIFI 2.0 y 3.0, los cuales permitieron la compra del equipo de medición para desarrollar las prácticas experimentales y la compra del software de simulación MATLAB/SIMULINK. Además se reconoce el dedicación y desarrollo de los prototipos experimentales por parte de Gabriela Gallejos, Abraham Mendoza, Perla Gisel Hernandez, Jonatan Campos, Gabriel Luna Mejía, Gregorio Moctezuma y Victor Compean, a través de proyectos finales o trabajos de tesis.

Referencias

- [1] *Electrónica de Potencia: Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones*. M.H. Rashid. Tercera Edición, Prentice Hall, 2004.
- [2] *Análisis de Circuitos en Ingeniería*. W.H. Hayt y J.E. Kemmerly, Ed. Mc Graw-Hill, 1993.
- [3] *Electrónica de Potencia: Teoría y Aplicaciones*. J.M. Benavente, A. Abellán y E. Figueres, Ed. Alfaomega, 2000.
- [4] *El ABC del Control Electrónico de las Máquinas Eléctricas*. E. Harper, Ed. Limusa, 2002.
- [5] *Power Electronics: Converters, Applications and Design*. N. Mohan, T.M. Undeland y W.P. Robbins, John Wiley & Sons, 2003.
- [6] *Power Electronics Handbook*. M.H. Rashid, Ed. Academic Press, 2001.