

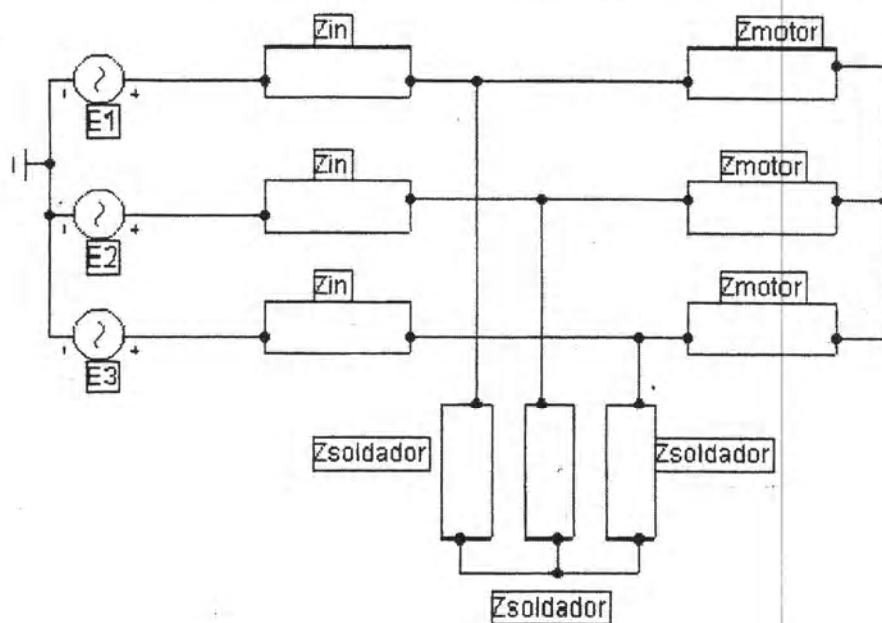
## *Análisis de un sistema trifásico*

### OBJETIVOS

El objetivo de esta práctica es que el alumno se familiarice con las relaciones entre los valores eficaces y fases de las principales magnitudes eléctricas de un sistema trifásico (tensión e intensidad de línea/fase), así como el concepto de corrección de la potencia reactiva y su importancia desde un punto de vista práctico, en las redes eléctricas. Asimismo el alumno tendrá que aprender a caracterizar receptores eléctricos en forma de impedancia a partir de sus consumos de potencia activa y potencia reactiva.

### CUESTIONES TEORICAS A RESOLVER

El circuito que se muestra en la Figura representa una instalación eléctrica de una planta industrial que se alimenta con un generador trifásico conectado en estrella y de valor:



$$E_1(t) = \sqrt{2}220 \text{sen}(100\pi t)$$

$$E_2(t) = \sqrt{2}220 \text{sen}\left(100\pi t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$E_3(t) = \sqrt{2}220 \text{sen}\left(100\pi t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

conectados a través de una línea trifásica cuyos conductores tiene unas impedancias de:

$$Z_m = 0.1 + 0.2j \text{ } \Omega/\text{fase}$$

Al final de la línea hay conector en paralelo dos receptores (cargas) trifásicos:

1. Un soldador de arco, en estrella, que consume una potencia  $P=8,07$  Kw y  $Q=8,07$  KVAR, cuando se le aplica una tensión, de fase de 220 V(valor eficaz).
2. Un motor eléctrico, en estrella, que consume una potencia  $P=16,67$  Kw y tiene un factor de potencia  $\cos \theta=0.85$ , cuando se le aplica una tensión eficaz de 220 V

Con estos datos, caracterizar y calcular los valores de los componentes que simularán el comportamiento de:

1. La línea de transmisión
2. La impedancia por fase del motor
3. La impedancia por fase del soldador.

## REALIZACION

Usando el programa Micro-Cap, se desea calcular en régimen permanente sinusoidal:

1. Tensiones de línea, intensidades de línea, tensiones de fase en las cargas (motor y soldador) e intensidades de fase en las cargas, determinando los valores eficaces:

$I_{L1}$	$I_{L2}$	$I_{L3}$	$I_{f1m}$	$I_{f2m}$	$I_{f3m}$	$I_{f1s}$	$I_{f2s}$	$I_{f3s}$	$V_{L1}$	$V_{L2}$	$V_{L3}$	$V_{f1m}$	$V_{f2m}$	$V_{f3m}$	$V_{f1s}$	$V_{f2s}$	$V_{f3s}$

Gráfica de las tres intensidades de línea:

Gráfica de las tres intensidades de fase del motor:

Gráfica de las tres tensiones de línea:

Gráficas de las tres tensiones en fase del motor:

2. Representar la potencia instantánea en la resistencia de la línea. Deducir la potencia media disipada en toda la línea.

POTENCIA MEDIA DISIPADA EN LA RESISTENCIA	POTENCIA DISIPADA EN LA LÍNEA

Gráfica de la potencia disipada en una resistencia de línea:

3. Coloque un nuevo conductor, modelado por una impedancia análoga a la de los otros tres  $Z=0.1+0.2j$  uniendo los neutros del generador y de las cargas. Calcule la intensidad que circula por este conductor.

3. Sustituya el sistema trifásico por uno monofásico equivalente. Edite este circuito y verifique que son equivalentes calculando la intensidad del circuito monofásico. Representela.

4. Coloque un condensador en paralelo a la carga y compruebe (con la función STEP) como varía la intensidad de la línea. Representela.

## APÉNDICE

### 1. *INTRODUCCIÓN AL MICRO CAP V.*

Micro-Cap V es una aplicación informática que nos permite tanto dibujar el esquema de un circuito electrónico como el de simular su comportamiento. Debido a que Micro-Cap V incluye un simulador analógico, compatible con SPICE y con PSPICE, integrado con un simulador digital, puede tratar tanto circuitos analógicos como digitales o mezcla de ambos.

El programa Micro-Cap V nos permite, como la mayoría de los simuladores de circuitos, realizar tres tipos de análisis:

1. Análisis en el tiempo (**Transient Analysis**)
2. Análisis en frecuencia (**AC analysis**)
3. Análisis en continua (**DC analysis**)

Además para cada uno de estos análisis podemos seleccionar la opción de análisis **probe**, en este modo de análisis el cursor se convierte en una sonda de un osciloscopio virtual con el que podemos ver la evolución de cada variable del circuito en nuestra faceta de análisis particular.

Micro-Cap V consta de varios editores, entre los que se encuentran el editor de circuitos (el más usado por nosotros), el editor de componentes, el editor de modelos, el editor de formas, y el editor de variables de estado. En el editor de circuitos vamos situando los distintos componentes que necesitaremos, dividiéndose estos en componentes primarios (activos, pasivos, fuentes de tensión y corriente, etc.) y en componentes de biblioteca (transistores, diodos y amplificadores operacionales). A su vez ambos tipos pueden ser analógicos o digitales.

En esta versión de demostración, la simulación está limitada a un circuito de 50 componentes, y a su vez la librería incluida es una versión reducida de la versión profesional. Tampoco se incluye el editor de modelos.

Como la mayoría de los programas que corren bajo Windows dispone de una ayuda en línea accesible a través del menú **help**, y también, a través de botones colocados en los cuadros de dialogo, que nos dan información sobre el contenido del cuadro de dialogo y sus opciones. Dispone además de una **demo** de sus características principales, **demo** accesible a través de la opción **demo** del menú **help**.

### 2. *UTILIZACION DEL EDITOR DE ESQUEMAS.*


Inicialmente cuando ejecutamos por primera vez la aplicación, nos encontraremos con el editor de esquemas y una ventana abierta, y vacía, para empezar a dibujar nuestro esquema. Por lo tanto podemos empezar a seleccionar los componentes que formaran parte de nuestro estudio.

En el caso de que debamos crear un esquema nuevo, entonces deberemos seleccionar la opción **new** dentro del menú **file** y elegir el botón correspondiente a **Schematic**, pulsando el botón de comando **Ok**.


En cualquiera de los casos, una vez que ya tenemos la ventana del editor de esquemas abierta para comenzar el dibujo de nuestro circuito, deberemos ir seleccionando los diferentes componentes de éste del menú **Component**, de este menú seleccionaremos nuestros componentes primarios (o de librería) y los posicionaremos en

la ventana del editor. Si nos interesara cambiar la orientación de estos componentes podemos cambiar su orientación por medio del botón derecho del ratón o mediante la barra espaciadora. Si deseamos conocer más sobre el modelo del componente podemos acudir a la ayuda y dentro de la opción **Topics Contents** elegimos **Analog Device Models** que nos da información acerca del significado de los parámetros del modelo.

Una vez orientado correctamente el componente nos aparece un cuadro de dialogo en donde deberemos introducir información relacionada con el componente, variando la información a introducir según el componente pero como mínimo deberemos introducir un nombre (aunque Micro-Cap nos elegirá un nombre por defecto) y un valor.

Una vez orientados correctamente y seleccionados los distintos componentes debemos unirlos por medio de cable, y eso es lo que hacemos cuando seleccionamos el botón de la barra de herramientas **wire**  y unimos los distintos componentes.

Debemos tener en cuenta que deberemos añadir una tierra para que el programa pueda realizar la simulación.

Podemos añadir texto a nuestro esquema para nombrar un nodo de interés para nuestro análisis, para ello usaremos el botón de la barra de herramientas de texto  y pulsaremos a continuación con el ratón en el nodo al que queremos nombrar (el nombre no puede contener espacios en blanco).

Además con el editor tenemos disponibles la función de copiar y pegar.

### 3. ANÁLISIS TRANSITORIO

Para realizar un análisis transitorio debemos seleccionar la opción **Transient Analysis** del menú **Analysis**, a continuación se nos presenta el cuadro de dialogo **Transient Analysis Limits** que se utiliza para especificar los parámetros de la simulación y de las formas de onda que queremos estudiar.

Para añadir nuevas formas de ondas a las existentes debemos pulsar el botón **Add**, mientras que si lo que queremos es eliminar una onda existente entonces pulsaremos el botón **Delete**

En este cuadro de dialogo nos aparecen unos límites numéricos que describiremos a continuación:

**Time Range:** extremo superior del intervalo de simulación ( en segundos ). En donde podemos utilizar múltiplos ( K = 1E3, MEG = 1E6, G = 1E9, T=1E12 ) o submúltiplos (M = 1E-3, U=1E-6, N=1E-9, P=1E-12, F=1E-15).

**Maximum Time Step:** especifica el tamaño de paso máximo que Micro-Cap podrá utilizar durante la simulación.

**Number of points:** indica cuantos puntos se imprimiran si habilitamos la salida numérica. Es en número de filas de la tabla de salida.

**Temperature:** es la temperatura que se usará para la simulación.

A su vez en el cuadro de dialogo podremos seleccionar unas opciones relacionadas con la representación de las formas de onda con las que podremos hacer que la representación sea lineal o logarítmica para el eje X y/o el eje Y, guardar el resultado en un fichero, hacer que el resultado sea numérico, o elegir el color con el que queremos que aparezca. Finalmente mencionar el uso del cuadro **P**, en donde podremos elegir en que gráfico o grupo de gráficos ( del 1 al 9, 0 no se dibuja ) queremos que aparezca la forma de onda.

Los últimos campos del cuadro de dialogo que vamos a comentar son los que Micro-Cap denomina **Expressions**, y que se denominan así son capaces de aceptar expresiones como entradas. Aunque normalmente estas expresiones son sencillas como T (tiempo), V(1) (tensión en el nodo 1), pueden ser, sin embargo, expresiones complicadas como :  $V(2)*I(V1)*\sin(2*PI*1E6*T)$

**X expression:** Los campos de esta columna se utilizan para especificar las expresiones utilizadas para las variables del eje X. Normalmente esta columna contiene la expresión simple T para el tiempo.

**Y expression:** Los campos de esta columna se utilizan para especificar las expresiones que queremos que sea la variable Y. Los campos de esta columna pueden ser expresiones sencillas, V(12,11) (caída de tensión entre nodos), o I(V1) (corriente de la fuente V1), pero se suelen usar expresiones más complejas como V(VCC)\*I(VCC) (flujo de potencia de la fuente VCC).

**X range:** Los campos de esta columna especifican el margen en que queremos representar la expresión X. Podemos utilizar la palabra clave AUTO para que Micro-Cap nos elija el margen automáticamente.

**Y range:** Los campos de esta columna especifican el margen en que queremos representar la expresión Y.


**Fmt:** Este campo determina la representación numérica de las expresiones. (dígitos.decimales).


Del resto de posibilidades solo mencionaremos el cuadro **Auto Scale Ranges**: Con esta opción elegimos los márgenes para X e Y a 'AUTO' para cada nuevo análisis. Si deshabilitamos esta opción entonces se utilizan los valores de los campos **X range** e **Y range**.


Recordaremos que podremos consultar la ayuda del cuadro para conocer el significado del resto de opciones.

Una vez que hemos realizado la simulación, después de pulsar el botón **Run**, podremos examinar las formas de onda utilizando el **Scope**. **Scope** es un termino utilizado para designar un conjunto de herramientas para presentar, analizar y realizar anotaciones en los gráficos y sus formas de onda.

El **Scope** está disponible en todos los modos de análisis y nos permitirá expandir, contraer, encuadrar (pan), y manipular las formas de onda y presentar sus valores numéricos. Podremos disponer de dos cursores que junto con unas funciones para localizar los extremos locales de la forma de onda ( máximos, mínimos, puntos de inflexión etc.). Podremos poner etiquetas, texto y gráficos para realizar anotaciones y documentar el gráfico.


Por medio de las herramientas disponibles a través de Scope, podremos ampliar la parte del gráfico que nos interese , pudiendo desplazar el gráfico en cualquier dirección con la ayuda del ratón o del teclado.

También podremos marcar todos los puntos que Micro-Cap ha calculado en la simulación. 

Podremos añadir una etiqueta con el valor numérico del punto. 

Marcar diferencias tanto horizontales como verticales por medio de los botones:



En cualquier momento podemos añadir texto, tanto relativo como absoluto. La diferencia entre ambos es que mientras el texto relativo permanece fijo con relación a la forma de onda, el texto absoluto mantiene su posición con respecto al gráfico. 

Cuando activamos los cursores entonces nos aparece en pantalla los valores numéricos de las formas de onda en donde estén posicionados los cursores así como la pendientes en esos puntos como la diferencia de valores entre el cursor derecho y el izquierdo. Las funciones de utilidad (máximos, mínimos etc.) son accesibles a través del menú **Scope**, submenú **Cursor Functions**.

#### 4. ANÁLISIS AC

Este análisis es muy similar al anterior. En este análisis lo que se hace es cambiar la frecuencia de excitación, manteniendo constante su amplitud (el programa la fija a un valor relativo de 1V por comodidad)

El análisis AC, es un análisis de pequeña señal o análisis lineal. En este tipo de análisis los dispositivos lineales mantienen su modelo, mientras que en los dispositivos no lineales su modelo se cambia para linealizar cada dispositivo entorno al punto de operación. Estos modelos lineales de dispositivos no lineales solo son validos para pequeños cambios en la señal alrededor del punto de linealización, es decir el punto de operación DC.

El algoritmo para el análisis AC es:

1. Calcular el punto de operación en continua.
2. Obtención del equivalente lineal para cada dispositivo.
3. Construcción de un conjunto de ecuaciones del circuito linealizado.
4. frecuencia = fmin.
5. Resolver todas las tensiones y corrientes del circuito linealizado.
6. Dibujar o imprimir la variables pedidas.
7. Incrementar la frecuencia.
8. Si frecuencia = fmax, terminar, sino incrementar la frecuencia e ir al paso 5.

En el menu limits nos aparecen unas opciones similares a las de análisis transitorio, por lo que solo describiremos las siguientes:

**Frequency Range:** extremo superior de frecuencias, extremo inferior.

**X expression:** F (frecuencia)

**Y expression:** re( ). Parte real de una magnitud ( el programa trabaja con versores)

El resto de las opciones se pueden hallar en la ayuda, como por ejemplo las reglas de las expresiones, que operadores podemos utilizar para crear expresiones etc.

#### 5. ANÁLISIS DC

Este análisis evalua la relación entre entrada/salida en condiciones de continua. La entrada puede ser una tensión en un nodo, o la caída de tensión entre dos nodos. Alternativamente, la entrada puede ser una fuente de corriente. El programa calcula la salida en continua, la cual puede ser una tensión o una intensidad. Micro-Cap reemplaza en un análisis en continua todas las bobina por cortocircuitos y todos los condensadores por circuitos abiertos. A continuación aplica una fuente continua en la entrada y calcula la salida.