

TECNOLOGÍA ELÉCTRICA
COLECCIÓN DE PROBLEMAS Y PRÁCTICAS

Segunda edición.

Ramón M^a Mujal Rosas.
Xavier Alabern Morera.



Departament d'Enginyeria Elèctrica
Escola Tècnica Superior d'Enginyers
Industrials de Terrassa



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA.

PRÓLOGO.

La idea de crear un libro con enunciados de problemas (con sus respectivas soluciones), y con los enunciados de prácticas de tecnología eléctrica, surgió ante la necesidad de disponer de una recopilación de material para esta disciplina, que permitiera a los interesados ejercitarse en su resolución y aprendizaje, coordinando lo aprendido en la teoría, de la cual existen buenos libros, con la parte más experimental, parte en la que escasean las publicaciones.

Esta obra, es pues, eminentemente práctica, sin más pretensiones que las de ofrecer la posibilidad de tener en un solo libro tanto enunciados de problemas, o con sus respectivas soluciones, como informes de prácticas, todos ellos ordenados y estructurados por temas que permitan complementar la parte teórica de la materia.

El primer capítulo está dedicado a los enunciados de las prácticas, las cuales están ordenadas de forma gradual, lo que permitirá al lector de forma progresiva, adquirir conocimiento y destreza en el manejo de los distintos componentes y materiales utilizados para su realización en el laboratorio (osciloscopio, generador de funciones, fuentes de continua, polímetros, paneles de montaje, o elementos discretos tanto activos como pasivos).

El segundo capítulo lo forman los enunciados de los problemas propuestos, estando dividido éste capítulo en dos secciones: la primera está formada por los enunciados de los primeros cuarenta problemas, los cuales disponen de sus respectivas soluciones dadas en el anexo primero; mientras que la segunda sección la forman los enunciados de los últimos cuarenta problemas (del problema 41 al problema 80) de los cuales sólo se ofrece el enunciado, dejándose para el lector la verificación de los mismos por otros medios (simulación con Pspice, Matlab, etc).

En el primer anexo se detallan las soluciones de los cuarenta primeros problemas, permitiendo al lector ganar seguridad en la realización de los mismos, así como facultándole para acometer con más garantías de éxito, la resolución de forma individual de otros problemas similares.

En el segundo anexo se expone un resumen del programa informático Pspice V-8, herramienta potente para la simulación de circuitos eléctricos y electrónicos, que complementará el aprendizaje teórico y práctico de la materia. Como se indica en el anexo, este apartado es sólo una introducción y no un manual para el manejo del programa, por lo que el lector deberá consultar obras específicas sobre el tema para su más completa comprensión.

En importante recordar, sin embargo, que el uso de programas de simulación nunca debe sustituir al proceso de montaje y experimentación realizado en los laboratorios, más bien estos programas, deben ser considerados como una herramienta complementaria para verificar la bondad de los resultados obtenidos de forma práctica o por métodos de cálculo.

Ramón M^a Mujal.

Terrassa. Febrero del 2001.

CONTENIDO.

<i>Prólogo.....</i>	<i>3</i>
<i>Índice.....</i>	<i>4</i>

CAPÍTULO PRIMERO.

<i>Prácticas de Tecnología Eléctrica.....</i>	<i>6</i>
• <i>Práctica nº 1. Condensadores. Características.....</i>	<i>7</i>
• <i>Práctica nº 2. Bobinas. Características.....</i>	<i>12</i>
• <i>Práctica nº 3. Inductancia. Regímenes transitorios.....</i>	<i>18</i>
• <i>Práctica nº 4. Transitorios. Circuitos de primer orden.....</i>	<i>24</i>
• <i>Práctica nº 5. Transitorios. Circuitos de segundo orden.....</i>	<i>30</i>
• <i>Práctica nº 6. Circuitos oscilantes.....</i>	<i>35</i>
• <i>Práctica nº 7. Filtros. Tipos de oscilación.....</i>	<i>41</i>

CAPÍTULO SEGUNDO.

<i>Problemas con solución de Tecnología Eléctrica.....</i>	<i>47</i>
• <i>Problemas del nº 1 hasta el nº 40.....</i>	<i>Pág 48 hasta la Pág 73</i>
<i>Problemas propuestos de Tecnología Eléctrica.....</i>	<i>74</i>
• <i>Problemas del nº 41 hasta el nº 80.....</i>	<i>Pág 75 hasta la Pág 100</i>

ANEXOS..... *101*

Anexo I. Soluciones de los problemas (del nº 1 al nº 40)..... *102*

- *Soluciones de los problemas (del nº1 al nº 40).Pág 103 hasta la pág 109*

Anexo II. Introducción al Pspice..... *110*

- *1.- Introducción.....* *111*
- *2.- Pspice Versión nº 8.....* *111*
- *3.- Instrucciones del Programa.....* *112*
 - *3.1.- Programa Schematics.....* *112*
 - *3.1.1.- Menú del Programa Schematics.....* *112*
 - *3.2.- Programa Pspice.....* *116*
 - *3.2.1.- Menú del Programa Pspice.....* *116*
 - *3.2.2.- Ficheros generados en el Diseño del circuito.....* *117*

• 3.3.- Programa Procesador Gráfico Probe.....	118
• 3.3.1.- Menús del Programa Probe.....	118
• 3.3.2.- Operadores matemáticos del Programa Probe.....	122
• 3.4.- Programa Parts.....	122
• 3.5.- Programa Stimulus Editor.....	123
• 4.- Construcción del Circuito.....	124
• 4.1.- Emplazamiento de componentes en el circuito.....	124
• 4.2.- Interconexión de componentes.....	125
• 4.3.- Asignación de valores a los componentes del circuito.....	125
• 5.- Componentes disponibles en el programa.....	127
• 5.1.- Librerías de componentes.....	127
• 5.2.- Características de los componentes más comunes.....	128
• 5.2.1.- Elementos Pasivos.....	128
• 5.2.2.- Elementos Activos.....	131
• 5.2.3.- Fuentes Independientes.....	131
• 5.2.4.- Fuentes Dependientes.....	133
• 6.- Análisis disponibles del Programa.....	135
• 6.1.- Análisis Bias Point Detail.....	135
• 6.2.- Análisis DC Sweep.....	135
• 6.3.- Análisis Sensitivity.....	136
• 6.4.- Análisis Transfer Function.....	136
• 6.5.- Análisis AC Sweep.....	136
• 6.6.- Análisis Noise.....	137
• 6.7.- Análisis de Temperatura.....	137
• 6.8.- Análisis Transient.....	137
• 6.9.- Análisis de Fourier.....	138
• 6.10.- Análisis Análisis Parametric.....	138
• 6.11.- Análisis de Montecarlo.....	139
• 6.12.- Análisis Worst Case.....	140
• 6.13.- Análisis Save Bias Point.....	140
• 6.14.- Análisis Load Bias Point.....	141
• 6.15.- Digital Setup.....	141
• 6.16.- Options.....	141
• Bibliografía.....	142

CAPÍTULO PRIMERO.

PRACTICAS DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA

PRÁCTICA N° 1. **CONDENSADORES. CARACTERÍSTICAS.**

1- OBJETIVOS:

En esta práctica se inicia el estudio de las características que definen los componentes eléctricos de un circuito en régimen transitorio, en concreto del condensador, del cuál se tratará: características y comportamiento que definen a un condensador en la conexión y desconexión de la tensión continua. Comportamiento de los condensadores si se conectan a tensión continua, o bien en alterna, y finalmente, analizar el efecto capacidad y resistencia interna de los mismos en un circuito RC cuando están conectados a tensión continua.

2.- INTRODUCCIÓN TEÓRICA.

2.1 Condensadores. Características principales.

No se entrará en la formulación de los mismos en esta introducción teórica, dejándose está para prácticas posteriores. En esta práctica se dará una visión global de los condensadores, así como de los materiales constructivos y características que los definen.

Los condensadores son unos componentes eléctricos cuya misión principal es la de almacenar energía eléctrica en su forma electrostática. Las partes principales de su construcción son las armaduras y el dieléctrico: las primeras dan la forma final al condensador así como participan en el valor de la capacidad, mientras que el tipo de dieléctrico empleado influye más en la respuesta final de los mismos. Su clasificación pues, obedece más a la forma final, al tipo de dieléctrico empleado en su construcción y a los valores de la capacidad, que a otras características del mismo.

Las tres formas más empleadas de condensadores en la actualidad son la esférica la cilíndrica y la plana, en cuanto al material empleado para la construcción del dieléctrico son muy usados los de papel y poliéster, así como los electrolíticos, siendo estos últimos, cuando se conectan en tensión continua, los únicos que ofrecen polaridad en sus terminales.

Los condensadores electrolíticos, gracias a una reacción química, son capaces de almacenar energía eléctrica. Constan de una placa negativa que es de aluminio y una positiva también de aluminio pero esta vez protegida con una capa de óxido de aluminio, material no conductor. Entre las dos capas hay un electrolito que produce oxígeno cuando se pone en contacto con la electricidad, transformándose en óxido sobre la placa positiva. Esta capa de óxido permite grandes capacidades en poco volumen. En este tipo de condensadores hay que conservar la polaridad con exactitud para que no se produzca la descomposición de la capa de óxido, con la consiguiente destrucción del condensador.

Para evitar este inconveniente se fabrican condensadores bipolares, que pueden ser considerados como dos condensadores polarizados conectados en forma invertida.

Finalmente cada condensador debe llevar indicado en su envoltorio la capacidad del mismo así como su tensión nominal (es la máxima admisible).

3.- MATERIAL NECESARIO.

- .- Generador de señales alternas.
- .- Fuente de alimentación de continua.
- .- Osciloscopio.
- .- Panel con resistencias.
- .- Panel con condensadores.
- .- Dos polímetros digitales.
- .- Cables y conectores para el conexionado.

4.- REALIZACIÓN PRÁCTICA.

4.1 Condensador en carga y descarga conectado a una fuente de potencial continuo.

1.- Montar el circuito RC mostrado en la figura nº 1, con los valores siguientes:

$$U_e=12V \text{ (DC)}. \quad R=1200\Omega. \quad C=4700\mu F.$$

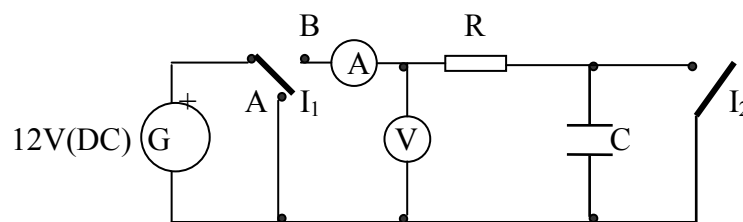


Figura nº 1.

Se debe tener presente que el condensador es electrolítico, respetándose por consiguiente la polaridad del mismo cuando se conecta a potencial continuo.

2.- Situar el conmutador I_1 en la posición “B”, y cerrar el interruptor I_2 . Con el condensador en cortocircuito ajustar la fuente de alimentación hasta que el voltímetro marque 4V. Abrir el interruptor I_2 y anotar como evoluciona el amperímetro y el voltímetro. ¿Cómo afecta el condensador al comportamiento de la intensidad?. ¿Qué nombre recibe esta experiencia?. Realizar una tabla con los valores obtenidos.

3.- Cambiar el conmutador I_1 a la posición “A”, en esta situación se cierra el circuito sin la fuente. ¿Qué efecto produce ahora el condensador?. ¿Cómo se comporta el voltímetro a lo largo del proceso?, dar valores extremos. ¿Indicar como responde la intensidad a lo largo de la experiencia?. ¿Se puede identificar con un nombre lo que ocurre en el circuito?. Repítase el proceso varias veces para dar los valores medios confeccionándose, como en el caso anterior, la correspondiente tabla.

4.- Si ahora cambiamos el condensador de $4700\ \mu\text{F}$ por uno de $2200\ \mu\text{F}$, y repetimos el proceso anterior, ¿influye la capacidad del condensador en la respuesta del circuito?. Confeccionar la tabla correspondiente a los valores hallados.

5.- Con el conmutador I_1 en la posición "B", y el interruptor I_2 abierto, variar la tensión de la fuente de alimentación entre 0V y 12V , primero de forma lenta para hacerlo posteriormente de forma rápida, observar como evoluciona el amperímetro. Cada vez que se repita la experiencia descargar el condensador conmutando I_1 .

4.2 Condensador en carga y descarga conectado a una generador de señales alternas senoidales.

1.- Montar el circuito RC mostrado en la figura nº 2, con los valores siguientes:

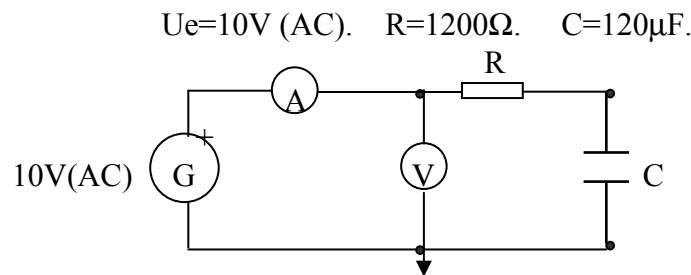


Figura nº 2.

2.- Con este montaje determinar:

- Aplicando la ley de Ohm, hallar la impedancia del circuito.
- ¿Llega a cargarse por completo el condensador conectado de esta forma?. Si no es así, indicar la carga máxima que puede alcanzar el condensador.
- ¿Se consigue que la intensidad alcance al valor cero?. Si no es así, ¿qué valor mínimo adopta esta?.
- ¿Qué diferencias se observan respecto al montaje anterior (tensión continua) en los polímetros de medición (amperímetro y voltímetro)?.

3.- Si ahora cambiamos el condensador por uno de $22\ \mu\text{F}$, sin variar la resistencia: buscar los datos que se indican en la tabla nº 1. Indicar a que conclusiones nos lleva el cambio del condensador, manteniendo el valor de la resistencia. Razona la respuesta.

4.- Finalmente mantén el valor del condensador a $22\ \mu\text{F}$, y cambia el de la resistencia a $120\ \Omega$. Anota los resultados obtenidos en la misma tabla. Respecto a los montajes anteriores como influye el cambio de resistencia manteniéndose el valor del condensador.

Anotar todos los valores obtenidos en los apartados anteriores, en la siguiente tabla. Rellenándola por completo y sacando las conclusiones pertinentes.

VALORES DE		CORRIENTE ALTERNA.		
R	C	$U_{pp}(\text{V})$	$I_{pp}(\text{A})$	$Z(\Omega)$
$1200\ \Omega$	$120\ \mu\text{F}$			
$1200\ \Omega$	$22\ \mu\text{F}$			
$120\ \Omega$	$22\ \mu\text{F}$			

Tabla nº 1.

4.3 Relación entre la velocidad de variación de la tensión la intensidad y la capacidad.

1.- Montar el circuito RC mostrado en la figura n° 3, con los valores siguientes:

$$U_e=6V_{pp}(\text{AC}). \quad F=150\text{Hz}. \quad R=50\Omega. \quad C=0.5\mu\text{F}.$$

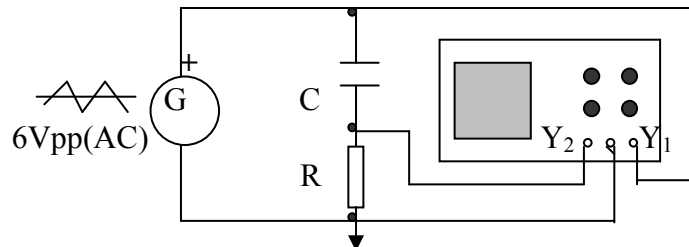


Figura n° 3

Recordar que para poder visualizar cualquier señal en el osciloscopio es necesario que está sea periódica. Si aplicamos una señal triangular que cambia periódicamente de signo y conectamos los canales del osciloscopio de la forma que se indica en la figura, obtendremos en el canal I del osciloscopio la tensión aplicada al circuito, mientras que en el canal II se obtendrá la tensión en bornes de la resistencia. Esta tensión es proporcional a la corriente que circula por el circuito.

2.- Dibujar las formas de onda que se obtienen en sendos canales del osciloscopio, razonando la respuesta.

3.- Cambiar los valores del condensador por uno de $1\mu\text{F}$, manteniendo los valores de la resistencia y la frecuencia. Obtener las nuevas formas de onda. Explicar razonadamente las ondas obtenidas.

4.- Cambiar ahora el valor de la resistencia a 120Ω , manteniendo el valor del condensador y de la frecuencia. Obtener las nuevas formas de onda. Explicar razonadamente las ondas obtenidas.

5.- EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA.

1.- ¿Cuál es la resistencia de un condensador conectado a tensión continua?.

2.- Disponemos de un condensador que esta conectado a un ohmímetro, si este marca cero. ¿Qué le ocurre al condensador?.

3.- Si alimentamos un circuito RC con una señal triangular. ¿Por qué la intensidad del circuito se corresponde con una onda cuadrada?.

4.- Cuando se aumenta la tensión en un condensador cargado a potencial continuo: ¿cómo se modifica la intensidad del circuito?. Una vez cargado el condensador volvemos a fijarnos en la intensidad, ¿cómo evoluciona la misma?. ¿Existe alguna relación entre la carga del condensador y el estado de carga de la fuente de

alimentación?. Si variamos de forma rápida la velocidad de variación de la tensión de la fuente de alimentación, ¿qué función desempeña el condensador?.

5.- Qué características debe reunir una señal de alimentación cuadrada para permitir que un condensador se cargue y descargue completamente en un circuito RC con $R=125\Omega$ y $C=232\mu\text{F}$ (Dar valores de periodo y frecuencia).

6.- Simular con PSpice el apartado 4.1 de la realización práctica. Entregar gráficas de los resultados obtenidos comparándolos con los hallados de forma experimental.

7.- Simular con PSpice el apartado 4.2 de la realización práctica. Entregar gráficas de los resultados obtenidos comparándolos con los hallados de forma experimental.

8.- Simular con PSpice el apartado 4.3 de la realización práctica. Entregar gráficas de los resultados obtenidos comparándolos con los hallados de forma experimental.

PRÁCTICA N° 2. **BOBINAS. CARACTERÍSTICAS.**

1- OBJETIVOS:

Esta práctica completa el estudio de las características que definen los componentes eléctricos de un circuito en régimen transitorio, en concreto la bobina, de la cuál se estudiará: conocer las características y comportamiento que definen a una bobina en la conexión y desconexión cuando se conecta a tensión continua. Comportamiento de la bobina si se conecta a tensión continua o alterna, y finalmente analizar el efecto del campo magnético y resistencia interna de la misma en un circuito RL.

2.- INTRODUCCIÓN TEÓRICA.

2.1 Bobinas. Características principales.

No se entrará en la formulación de las mismas en esta introducción teórica, dejándose está para prácticas posteriores, dándose aquí una visión global de las mismas así como de los materiales constructivos y características que las definen.

Las bobinas son unos componentes eléctricos cuya misión principal es la de almacenar energía eléctrica en forma de campo magnético. Se caracterizan por el núcleo interior, que puede ser metálico o inexistente, por el diámetro del hilo que las envuelve y por él numero de espiras o vueltas que este hilo forma sobre el núcleo.

Una propiedad que aparece cuando se conecta una bobina a tensión alterna es la inductancia, que nos indica según la ley de Faraday-Lenz, la tensión inducida en la misma y que determina el principio de funcionamiento de la mayor parte de las máquinas eléctricas actuales. Esta tensión inducida se opone a la causa que la produce, siendo por tanto opuesto su signo al de la tensión que la origino. Otras características que se desprenden del efecto autoinducción son la capacidad de almacenar energía en forma de campo magnético y la de impedir los cambios bruscos de la intensidad, siendo esta última propiedad muy apreciada en según que circuitos eléctricos.

La inductancia de una bobina es proporcional al número de espiras o vueltas al cuadrado (N^2). El núcleo interior influye de forma notable en el valor de la inducción, variando ésta, para la misma bobina, de unos pocos milihenrios con núcleo de aire, hasta valores de henrio cuando el núcleo es de material férrico.

Finalmente para terminar la descripción general de las bobinas es importante recordar que mientras que en tensión continua el único efecto que produce una bobina es el de ofrecer una oposición al paso de la corriente eléctrica, es decir crear una resistencia; en tensión alterna, a parte de ésta resistencia, también es necesario tener presente la inductancia produciéndose un almacenamiento de energía magnética. La impedancia es la suma vectorial de las componentes citadas.

3.- MATERIAL NECESARIO.

- .- Generador de señales alternas.
- .- Fuente de alimentación de continua.
- .- Osciloscopio.
- .- Panel con resistencias.
- .- Panel con bobinas.
- .- Dos polímetros digitales.
- .- Cables y conectadores para el conexionado.

4.- REALIZACIÓN PRÁCTICA.

4.1 Conexión y desconexión de una bobina.

1.- Montar el circuito mostrado en la figura nº 1. La bobina llevará su correspondiente núcleo de hierro y la fuente de alimentación será continua y de valor 6V.

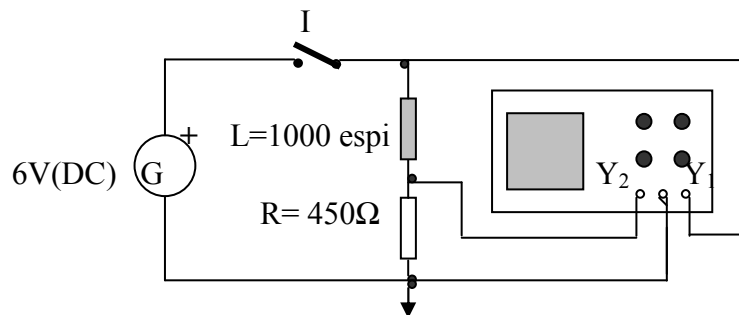


Figura nº 1.

2.- Con este montaje anterior el canal I representa la tensión aplicada a la entrada, mientras que el canal II nos muestra la tensión en bornes de la resistencia, o ha otra escala, la intensidad del circuito. Si cerramos el interruptor, dibujar la intensidad y la tensión de entrada del circuito.

3.- Sacar el núcleo de hierro de la bobina y bajar la tensión hasta valores inferiores a 2V. Con el mismo circuito de la figura nº 1, abrir y cerrar el interruptor de forma continuada. Indicar la gráfica que se observa en el osciloscopio.

4.- Permútense los elementos pasivos (resistencia y bobina) y repítanse los pasos del apartado 3. Representar la gráfica obtenida en el osciloscopio. ¿Qué muestra en esta ocasión el canal II?

5.- Explicar las diferencias halladas entre los apartados 1 (DC), y 3-4 (transitorio). ¿Qué ley eléctrica explica estos fenómenos?. Razona la respuesta.

4.2 Oscilograma de la conexión y desconexión de una bobina.

1.- El procedimiento anterior (actuar sobre un interruptor), no permite ver la imagen de la señal de forma nítida y estática en la pantalla del osciloscopio, ya que ésta, de forma aleatoria, se puede reproducir en cualquier parte de la misma. Para obtener una imagen nítida y estática se necesita que cualquier señal que visualicemos con el

osciloscopio sea periódica. Para ello alimentaremos el circuito (figura nº 2) con una señal cuadrada que podremos considerar como continua si el periodo de la misma es igual o superior a diez veces la constante de tiempo del circuito τ .

Con este montaje, en el canal I se visualiza la tensión de entrada, mientras que en el canal II, visualizamos la tensión en bornes del resistor, o ha otra escala, la intensidad que circula por el circuito.

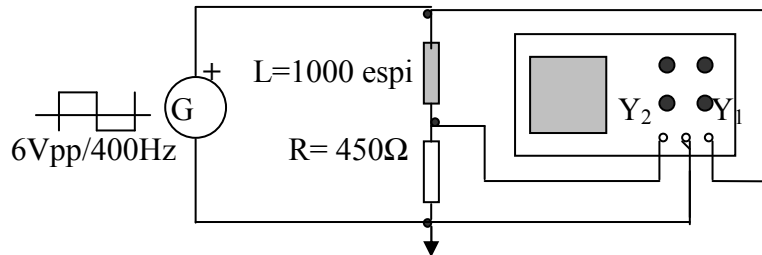


Figura nº 2.

2.- Sin núcleo de hierro en el interior de la bobina. Visualizar las gráficas de la tensión en bornes de la resistencia (intensidad del circuito), y de la tensión de entrada.

3.- Permútense ahora los elementos pasivos del circuito anterior. Visualizar la tensión en bornes de la bobina.

4.- Representéense gráficamente la tensión de entrada, la tensión en bornes de la bobina y la tensión en bornes de la resistencia.

4.3 Medida de la constante de tiempo τ de un circuito RL.

1.- Con las gráficas obtenidas en el apartado anterior de la carga y descarga de una bobina. Calcular, por dos métodos distintos como mínimo, la constante de tiempo de la bobina.

4.4 influencia de la Resistencia y la Inductancia en un circuito RL.

1.- Rellenar la tabla con los valores que se indican de resistencias y bobinas. La bobina ira con o sin núcleo de hierro como se indica en la tabla. Calcular la constante de tiempo.

Constante de tiempo τ en segundos.		
Resistencia.	450 Ω	120 Ω
Bobina 500 esp. Sin núcleo.		
Bobina 1000 esp. Sin núcleo.		
Bobina 1000 esp. Con núcleo.		

Tabla nº 1.

2.- A partir de las constantes de tiempo halladas en la tabla nº 1, para las bobinas sin núcleo. Determinése el coeficiente de autoinducción de cada una de las bobinas.

3.- Dar una explicación de la influencia que la resistencia, el núcleo de hierro y la autoinducción tienen en la forma de la onda de la tensión de un circuito RL.

4.5 Bobina conectada a una fuente de tensión continua y alterna.

1.- Montar el circuito mostrado en la figura nº 3, con los valores siguientes:

$U_e=10V$ (DC). Bobina=1000 espiras y 0.5A

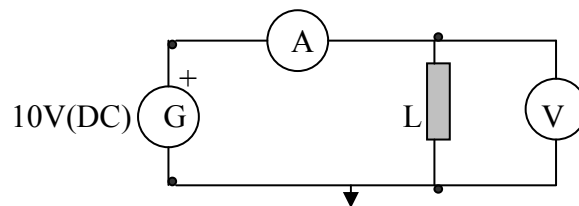


Figura nº 3.

2.- Alimentamos el circuito con una tensión continua de valor 10V. Determinar para este régimen de tensión continua como variara el comportamiento de la intensidad en los siguientes supuestos:

- La intensidad que marcará el amperímetro cuando la bobina disponga de núcleo de hierro interior abierto.
- La intensidad que marcará el amperímetro cuando la bobina disponga de núcleo de hierro interior cerrado.
- La intensidad que marcará el amperímetro cuando la bobina este sin núcleo.

Anótense los resultados en la siguiente tabla.

Bobina	Con tensión continua		
	U(V)	I(mA)	R(Ω)
Sin núcleo			
Con núcleo abierto			
Con núcleo cerrado			

Tabla nº 2.

3.- Cambiar la fuente de alimentación de tensión continua por un generador de señales alternas senoidales con una tensión de 6Vpp y una frecuencia de 500Hz, repitiendo el proceso anterior. Anótense los resultados en la siguiente tabla.

Bobina	Con tensión alterna.		
	U(V)	I(mA)	Z(Ω)
Sin núcleo			
Con núcleo abierto			
Con núcleo cerrado			

Tabla nº 3.

4.- Si ahora cambiamos el valor de la bobina por otras dos, una de 600 espiras y otra de 1200 espiras, y repetimos los procesos anteriores. Anotar en tablas similares los resultados obtenidos tanto en tensión alterna como en continua.

5.- EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA.

1.- De todos los factores que afectan al comportamiento de un circuito RL, indicar como afecta a la respuesta de un circuito RL, sí la bobina lleva incorporado núcleo de hierro o no. Razonar la respuesta.

2.- Disponemos de un circuito RL, en el cual la bobina está con o sin núcleo de hierro. Con este montaje se procede a la medición de las respectivas constantes de tiempo, τ_0 sin núcleo de hierro y τ_1 con núcleo de hierro. ¿Qué nos indica τ_1/τ_0 ? Razona la respuesta.

3.- Si de forma matemática se tuviera que representar el proceso de carga y descarga de una bobina. ¿Cuál sería está?.

4.- Aplicando los conceptos de la ley de Faraday-Lenz, explica de forma razonada la forma de las curvas obtenidas en esta práctica.

5.- Se ha efectuado la conexión de los diferentes circuitos alimentándolos con una fuente con señal cuadrada, para la obtención de la constante de tiempo de las diferentes bobinas. ¿Cuál es el motivo de esta elección?. Razona la respuesta.

6.- Si en vez de alimentar los circuitos anteriores RL con una fuente periódica con señal cuadrada, se hubiesen alimentado con una fuente periódica con señal triangular. ¿Qué forma hubiese adoptado la onda que representa la intensidad en la pantalla del osciloscopio?.

7.- Si solo disponemos de un ohmímetro para efectuar medidas. ¿Es posible conocer el valor de la resistencia de una bobina?. ¿Existe algún método para conocer el valor de la impedancia con el ohmímetro?.

8.- ¿Qué características debe reunir una señal de alimentación cuadrada,(tensión pico a pico y frecuencia), para permitir que una bobina se cargue y descargue completamente en un circuito RL, con $R=125\Omega$ y $L=10\text{mH}$, si la tensión eficaz máxima es de 5V.

9.- Deseamos medir la resistencia de una bobina. ¿Se deberá tener precaución, a la hora de efectuar la medida, de que la bobina no contenga su núcleo de hierro?. Razonar la respuesta.

10.- ¿Cuándo una bobina presentará mayor oposición a la corriente eléctrica, en corriente continua o en corriente alterna, y con núcleo o sin núcleo?. Razonar la respuesta.

11.- Simular con PSpice el apartado 4.1 de la realización práctica. Entregar gráficas comparando los resultados obtenidos con los hallados de forma práctica.

12.- Simular con PSpice el apartado 4.2 de la realización práctica. Entregar gráficas comparando los resultados obtenidos con los hallados de forma práctica.

13.- Simular con PSpice el apartado 4.3 de la realización práctica. Entregar gráficas comparando los resultados obtenidos con los hallados de forma práctica.

14.- Simular con PSpice el apartado 4.4 de la realización práctica. Entregar gráficas comparando los resultados obtenidos con los hallados de forma práctica.

15.- Simular con PSpice el apartado 4.5 de la realización práctica. Entregar gráficas comparando los resultados obtenidos con los hallados de forma práctica.

PRÁCTICA Nº 3. **INDUCTANCIA. RÉGIMENES TRANSITORIOS.**

1- OBJETIVOS:

En esta práctica se completará el estudio de las bobinas, profundizando en los siguientes temas: cálculo del coeficiente de inducción de una bobina, representando la variación de su reactancia al variar la frecuencia. Análisis de la respuesta de las bobinas a las conexiones y desconexiones, comparándolas con la respuesta de los condensadores en su proceso de carga y descarga. Consecuencias derivadas de la inclusión de una bobina en diferentes tipos de circuitos. Finalmente se completará el estudio con las propiedades que definen a las bobinas.

El estudio se realizará con el concurso de lámparas y diferentes tipos de bobinas, con y sin núcleo de hierro, conectadas a diferentes tipos de tensión y regímenes eléctricos.

2.- INTRODUCCIÓN TEÓRICA.

2.1 Autoinducción. Principios básicos.

Cuando por un circuito eléctrico circula una intensidad se crea en él un flujo magnético, el flujo asimismo crea un campo magnético, dependiendo éste de las propias características del circuito. Si la corriente que recorre el circuito es continua se formará un campo magnético continuo, mientras que si la corriente es variable también variará su correspondiente campo magnético.

Una consecuencia de la variación del campo magnético es la inducción de una fuerza electromotriz contraria a la tensión que la origina, ésta sólo aparece en corriente alterna y se denomina fuerza electromotriz autoinducida, ya que son las variaciones del propio campo magnético quienes la producen.

La formulación de esta tensión autoinducida es sencilla ya que el flujo magnético creado en una bobina de N espiras es proporcional a la corriente que por él circula.

$$\phi = k \cdot I$$

Siendo k, la constante de proporcionalidad que depende de la forma y dimensiones del circuito. Si la intensidad que circula por el circuito no es constante sino alterna, se produce una tensión autoinducida que responde a:

$$E = -N \frac{\partial \phi}{\partial t} = -N \cdot k \frac{\partial I}{\partial t} = -L \frac{\partial I}{\partial t}$$

La constante de proporcionalidad (k), multiplicada por el número de espiras de que consta la bobina (N), se le denomina coeficiente de autoinducción (L). Este coeficiente relaciona la fuerza electromotriz autoinducida con las variaciones de la intensidad y depende de la geometría del circuito: longitud (l), sección del núcleo (S), número de espiras (N), permeabilidad magnética del núcleo (μ).

El coeficiente de autoinducción se puede expresar en función del flujo magnético como:

$$L = N \frac{\phi}{I}$$

Una expresión también válida para calcular la autoinducción de una bobina es:

$$L = \mu \frac{S \cdot N^2}{l}$$

Siendo la unidad de la inducción magnética el Henrio (H)

3.- MATERIAL NECESARIO.

- .- Generador de señales alternas.
- .- Fuente de alimentación de continua.
- .- Osciloscopio.
- .- Panel con resistencias.
- .- Panel con bobinas.
- .- Dos polímetros digitales.
- .- Cables y conectadores para el conexionado.
- .- Bombillas de 24V/1A

4.- REALIZACIÓN PRÁCTICA.

4.1 Cálculo de la Reactancia Inductiva de una bobina.

1.- Con un ohmímetro, medir la resistencia eléctrica que presenta la bobina.

2.- Construir un circuito como el indicado en la figura nº 1. Ajustando el generador de funciones a una tensión alterna senoidal de 5Vpp, la cual se mantendrá constante al variar la frecuencia.

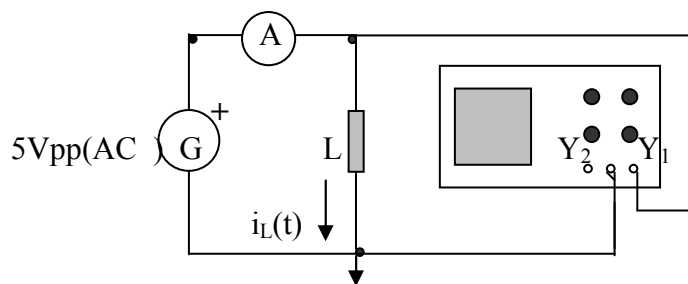


Figura nº 1.

3.- Rellénesse la tabla nº 1 con los datos que en ella se especifican a continuación.

Coeficiente de autoinducción de una bobina.									
f(kHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I _L (mA)									
Z (Ω)									
X _L (Ω)									
L(H)									

Tabla nº 1.

4.- Con un amperímetro, medir la corriente que pasa por el circuito para cada valor de la frecuencia.

5.- Calcular los valores de la impedancia para cada valor de la frecuencia, aplicando la ley de ohm dada para corriente alterna.

6.- Con los datos de la resistencia y la impedancia, determínese la reactancia inductiva para cada valor de la frecuencia.

7.- Calcular el coeficiente de autoinducción de la bobina para cada valor de la frecuencia y promediar.

8.- Representar gráficamente la reactancia inductiva, la intensidad, y la tensión de entrada en función de la frecuencia.

4.2 Tensión autoinducida.

1.- Montar el circuito mostrado en la figura nº 2, con los valores siguientes:

$U=14V$ (DC). Bombilla de 24V y 1 A. $L=500$ espiras con núcleo de hierro cerrado.

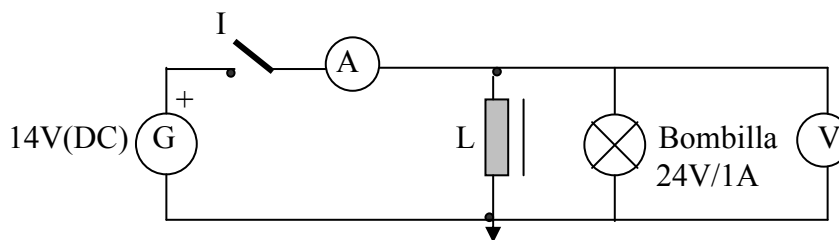


Figura nº 2.

2.- Cerrar el interruptor I, y observar la respuesta del circuito. ¿Qué tiempo tarda en conseguir un brillo estable la lámpara?. ¿Luce de forma normal?. ¿Cómo influye la inductancia en el proceso de encendido y posterior funcionamiento de la lámpara?. ¿Qué marca el amperímetro y el voltímetro?.

3- Si ahora cerramos el interruptor I, como en el punto anterior, pero actuamos sobre él abriendo y cerrando el circuito de forma rápida. ¿Cómo responde la lámpara a estas conexiones y desconexiones del circuito?. ¿Se observa una variación en el brillo de la lámpara respecto al punto nº 2?. ¿Indicar la evolución del brillo en el momento de la conexión, pasados unos instantes y al desconectar el circuito?. ¿Qué marcan el voltímetro y el amperímetro durante el encendido y posterior funcionamiento de la lámpara?. Si las lámparas son de 24V y alimentamos el circuito con una tensión de solo 14V ¿cómo se explica el buen funcionamiento de las mismas?. Repetir la experiencia tantas veces como sea necesario para una correcta observación del fenómeno.

4.3 Influencia del núcleo en el comportamiento de una bobina.

1.- Montar el circuito representado en la figura nº 3. Añadiendo una segunda bobina pero esta vez con núcleo de aire y del valor indicado en la figura.

$U_e=4V$ (DC). Bombillas de 3V y 0.3A. $L_1=500$ espiras sin núcleo. $L_2=500$ con núcleo de hierro cerrado.

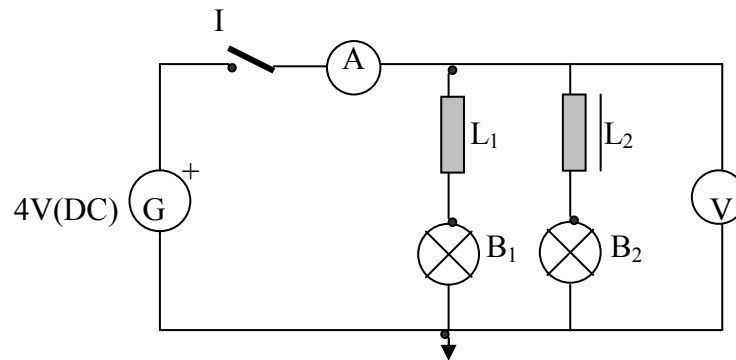


Figura n° 3.

2.- Sin el núcleo de hierro en la segunda bobina, es decir las dos bobinas sin núcleo, alimentar el circuito con 4V (DC). Abrir y cerrar el interruptor anotando como responden las lámparas en cada caso, (tiempo de encendido, brillo, duración del brillo, etc).

3.- Si en el punto anterior (bobinas sin núcleo), abrimos y cerramos el circuito primero despacio, para después ir incrementando la frecuencia cada vez más. ¿Qué se observa?

4.- Colocar ahora el núcleo en la segunda bobina cerrando el circuito magnético. Repetir el ensayo del punto n° 2 varias veces para poder sacar unas conclusiones claras. ¿Cómo responde ahora el circuito?. ¿Las dos lámparas responden igual?. Razonar las respuestas.

4.4 Efecto de la variación de la corriente con el tiempo en la tensión autoinducida.

1.- Siempre que empleamos un osciloscopio y deseamos visualizar una señal determinada, esta señal deberá ser periódica. Si no lo hacemos así, la señal aparecerá cada vez en una parte distinta de la pantalla haciendo difícil su lectura. En este caso la señal elegida es una señal triangular con las características que se indican en la figura n° 4.

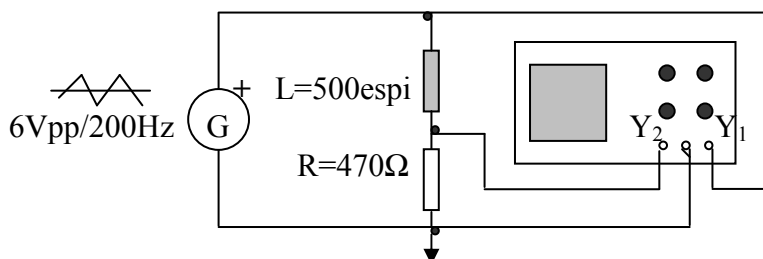


Figura n° 4.

Con este montaje en el canal I, se visualizará la señal de entrada, mientras que en el canal II, se obtendrá la caída de tensión en bornes de la resistencia, siendo ésta proporcional a la intensidad que pasa por el circuito. Anotar las gráficas obtenidas.

2.- Intercambia los elementos pasivos del circuito anterior (resistencia y bobina). En el canal I del osciloscopio se seguirá visualizando la señal de entrada, pero ahora en el canal II se obtendrá la tensión en bornes de la bobina. Anotar las gráficas obtenidas.

3.- Dibujar las gráficas resultantes en los puntos 1 y 2 indicando en las mismas: la tensión de entrada, la intensidad del circuito y la caída de tensión en la bobina.

4.- Si triplicamos la frecuencia de la tensión de entrada, manteniéndose el nivel de tensión a 6Vpp así como los elementos como se muestra en la figura nº 4. Representar las gráficas obtenidas. ¿Cómo responde la tensión en bornes de la bobina?. ¿Podemos decir que el efecto del cambio de frecuencia repercute de forma lineal sobre la tensión en bornes de la bobina?.

5.- EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA.

1.- Una bobina dispone de las siguientes características. $I_{max}=3A$, $R=3\Omega$, $L=60mH$. ¿Es posible conectarla a una tensión de 50V eficaces con una frecuencia de 50Hz?. ¿Y a una tensión de 50V en corriente continua?. ¿Y a una tensión alterna de 80V eficaces con una frecuencia de 100Hz?.

2.- Con un ensayo práctico queremos determinar el efecto inductivo de una bobina. ¿Con qué condiciones se debería llevar a cabo el ensayo para poder despreciar el efecto ohmico sin tener apenas error?.

3.- Se ha utilizado una señal periódica triangular para realizar la experiencia 4.4 de la práctica y así estudiar la variación de la intensidad en la autoinducción. ¿Indicar el motivo?. ¿Qué diferencias habrían existido si se hubiera utilizado como señal de entrada una periódica pero de forma cuadrada?.

4.- Si triplicamos la frecuencia, como se ha realizado en el punto 4, de la cuarta experiencia (4.4). ¿Cómo ha influido este cambio en el nivel y forma de la tensión en bornes de la inductancia?. ¿Podemos decir que existe una relación lineal entre la tensión en bornes de la bobina y la frecuencia de la señal de entrada?. ¿Y una relación cuadrática?. Razonar las respuestas.

5.- En el apartado 4.2, indicar las diferencias observadas en la conexión de la lámpara en tensión continua, o por el contrario cuando se acciona el interruptor. Cuando accionamos el interruptor (activación o desactivación) ¿por qué se observa un brillo mayor en la bombilla?. ¿A que ley obedece este efecto?.

6.- En el apartado 4.3, se ha incluido el núcleo en una de las bobinas, incorporándose otra sin núcleo. ¿Cómo influye el núcleo de hierro de la bobina en la lámpara conectada a ésta?. ¿Se encienden al mismo tiempo las dos lámparas?. ¿Qué marcan el amperímetro y el voltímetro durante el proceso?. Razonar las respuestas.

7.- Simular con el PSpice el punto 4.1 de la realización práctica. Representando las gráficas correspondientes al apartado 8.

8.- Simular con el PSpice el punto 4.2 de la realización práctica. Representando las gráficas correspondientes a los apartados 2 y 3.

9.- Simular con el PSpice el punto 4.3 de la realización práctica. Representando las gráficas correspondientes a los apartados 2, 3 y 4.

10.- Simular con el PSpice el punto 4.4 de la práctica. Representando las gráficas correspondientes a los apartados 3 y 4.

PRACTICA N° 4.
TRANSITORIOS. CIRCUITOS DE PRIMER ORDEN.

1- OBJETIVOS:

Comprobar la respuesta de un circuito de primer orden durante el régimen transitorio. La aplicación particular la realizaremos sobre un circuito R-C contemplando tanto el régimen de carga como el de descarga.

2.- INTRODUCCIÓN TEÓRICA.

2.1.- Carga de un condensador en un circuito R-C.

Disponemos de un circuito como el mostrado en la figura n° 1, formado por un generador de tensión continua, una resistencia y un condensador. El condensador está inicialmente sin carga a una tensión $u_C(0)$. En el instante $t=0$ cerramos el interruptor, procediéndose la carga del mismo con las siguientes ecuaciones:

$$e_1 = u_C(t) + R \cdot i_C(t) \quad \text{con} \quad i_C(t) = C \cdot \frac{\partial u_C}{\partial t}$$

De estas igualdades resulta una ecuación diferencial, con una solución que es:

$$u_C(t) = U_C(0) \cdot e^{-t/\tau} + e_1(1 - e^{-t/\tau})$$

$$i_C(t) = \frac{1}{R}(e_1 - u_C(0)) \cdot e^{-t/\tau}$$

Estas ecuaciones nos llevan al comportamiento del condensador inicialmente descargado, haciendo $u_C=0$. La constante $\tau=R \cdot C$ recibe el nombre de constante de tiempo.

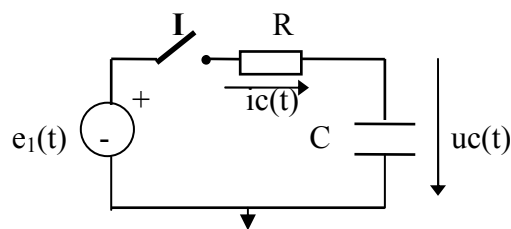


Figura n° 1.

2.2 Descarga de un condensador en un circuito R-C.

Vamos ahora a suponer el caso contrario, nos lo muestra el circuito de la figura n° 2. El condensador en este caso está cargado a una tensión $u_C(t)$. En $t=0$ cerramos el interruptor y se produce la descarga de cargas eléctricas sobre la resistencia, dando paso a una intensidad y a una caída de tensión en el condensador y en la resistencia. Las

ecuaciones serán las mismas que para la carga del circuito nº 1, haciendo $e_1=0$, quedando pues definido el proceso por:

$$u_C(t) = u_C(0) \cdot e^{-t/\tau}$$

$$i_C(t) = -u_C(0) \cdot e^{-t/\tau}$$

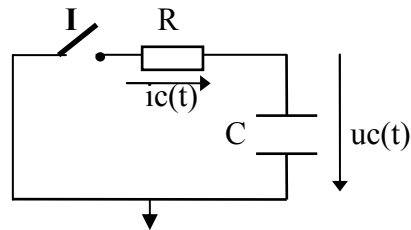


Figura nº 2.

2.3.- Visualización de una señal mediante el osciloscopio.

Para poder reproducir cualquier señal en un osciloscopio es necesario que ésta sea periódica. Por ello para poder visualizar conjuntamente el proceso de carga y descarga de un condensador, alimentaremos el circuito con una tensión cuadrada, que cambia periódicamente de signo, realizando por tanto la conexión y desconexión automática de un circuito de carga y descarga. Para el estudio de este proceso es posible considerar esta señal como continua si el periodo de la misma es igual o superior a 10 veces la constante de tiempo del circuito. La figura muestra el circuito para visualizar en el osciloscopio la carga y descarga de un condensador:

- a) Canal I: tensión aplicada $u_G(t)$. Canal II: tensión resistencia $u_R(t)$.
 b) Canal I: tensión aplicada $u_G(t)$. Canal II: tensión condensador $u_C(t)$.

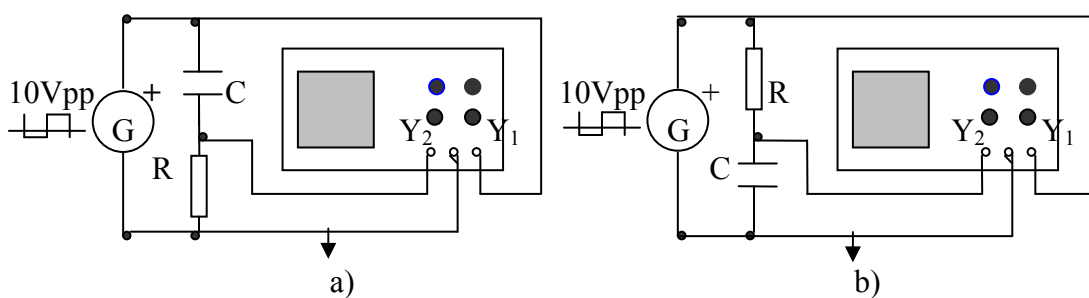


Figura nº 3.

3.- MATERIAL NECESARIO.

- .- Osciloscopio.
- .- Voltímetro digital.
- .- Cronómetro o reloj con segundero.
- .- Conectores y cables diversos.
- .- Fuente de alimentación de corriente continua.
- .- Generador de funciones en alterna.
- .- Panel con resistencias.
- .- Panel con condensadores.

4.- REALIZACIÓN PRÁCTICA.

4.1. Carga de un condensador en corriente continua a través una resistencia.

1.- Montar un circuito serie R-C (figura nº 1), con los siguientes valores: $R=470k\Omega$, $C=100\mu F$ y $E_1=10V$ (DC).

2.- Comprobar que las condiciones iniciales del condensador son $IC=0V$. Medir con un voltímetro la tensión de carga del condensador cada 30s, hasta que está se complete. Realizar una tabla con los valores obtenidos.

4.2. Descarga de un condensador sobre una resistencia.

1.- Montar un circuito serie R-C (figura nº 2), con los siguientes valores: $R=470k\Omega$, $C=100\mu F$.

2.- Comprobar que las condiciones iniciales del condensador son $IC=10V$. Medir con un voltímetro la tensión de descarga del condensador cada 30s, hasta que está se complete. Realizar una tabla con los valores obtenidos.

4.3 Cálculo experimental de la resistencia de fuga del condensador.

1.- Montar el circuito mostrado en la figura nº 4, con $E_1=10V$ (DC), $C=1\mu F$ (inicialmente debe estar descargado), y DM (Multímetro digital) con $Z_{DM}= 20M\Omega$.

2.- Colocar el conmutador en la posición D, y ajustar "E₁" hasta que DM indique 10V (DC). Seguidamente, pasar el conmutador a la posición B.

3.- A medida que el condensador se va cargando el potencial del multímetro digital va disminuyendo. Anotar el valor que indique DM (diferencia de potencial en bornes de su resistencia interna) cuando se estabilice su lectura, (es conveniente cambiar de escala a medida que el valor de la tensión va disminuyendo para tener así una mayor resolución). ¿Cuánto tiempo es necesario para la completa carga del condensador?.

4.- Con el valor de la resistencia del multímetro y la diferencia de potencial final en sus bornes, hallar la intensidad que circula por el mismo.

5.- Calcular la resistencia de fuga del condensador R_f , a partir del valor anterior de la intensidad y la tensión bornes del condensador.

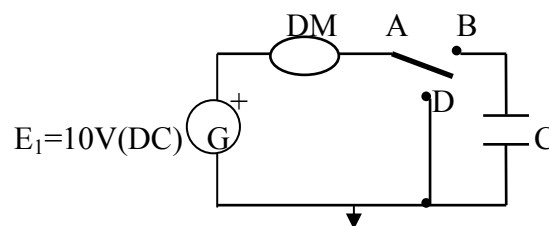


Figura nº 4.

6.- Repetir dos veces el proceso y promediar.

4.4 Respuesta de un condensador ante ondas cuadradas. (figura nº 3).

4.4.1.- Montar el circuito serie R-C, con los siguientes valores: $R=220\Omega$ y $C=1\mu F$.

1.- Situar el generador de funciones en el modo de onda cuadrada, con una $u_{pp}=10V$.

2.- Tomando la frecuencia que corresponde a un periodo de $T=12\tau$. Comprobar con el osciloscopio las señales $u_C(t)$, e $i_R(t)$. Anotar los valores que toman las citadas señales en cuatro puntos del escalón de subida y de bajada.

3.- Validar los valores experimentales de $u_C(t)$, tomados en el punto nº 2, mediante el empleo de las fórmulas teóricas dadas en la figura nº 1. (Dar algunos valores).

4.4.2.- Montar el circuito serie R-C, con los siguientes valores: $R=1k\Omega$ y $C=1.47\mu F$.

1.- Sin modificar ni la amplitud, ni la frecuencia, ni el tipo de señal del generador. Comprobar, de nuevo con el osciloscopio, la $u_C(t)$, y la $i_R(t)$, en cuatro puntos del escalón de subida y de bajada de ambas señales.

2.- Hallar por dos métodos gráficos diferentes, como mínimo, la constante de tiempo experimental del circuito comparándola con la obtenida de forma teórica.

4.4.3.- Montar el circuito serie R-C, con los siguientes valores: $R=10k\Omega$ y $C=0.47\mu F$.

1.- Sin modificar ni la amplitud, ni la frecuencia, ni el tipo de señal del generador. Comprobar con el osciloscopio la $u_C(t)$, y la $i_R(t)$, en cuatro puntos del escalón de subida y de bajada de la señal obtenida.

2.- Dibujar la curva teórica de la tensión en bornes del condensador $u_C(t)$, y comparar los resultados obtenidos en dicha curva, con los resultados hallados de forma práctica.

5.- EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA.

1.- ¿Cuándo se considerará cargado un condensador?. En esta situación, ¿Cuál será la corriente y la tensión en el mismo?. ¿Qué marcaría un Ohmímetro?.

2.- ¿Por qué en la gráfica de la descarga, la tensión del condensador permanece en la parte positiva, mientras que la corriente cambia a la parte negativa?. Razonar la respuesta.

3.- Compara las gráficas de la corriente de carga y descarga obtenidas con las gráficas de la carga y descarga dadas en las figuras siguientes. ¿Que diferencias y analogías observas?.

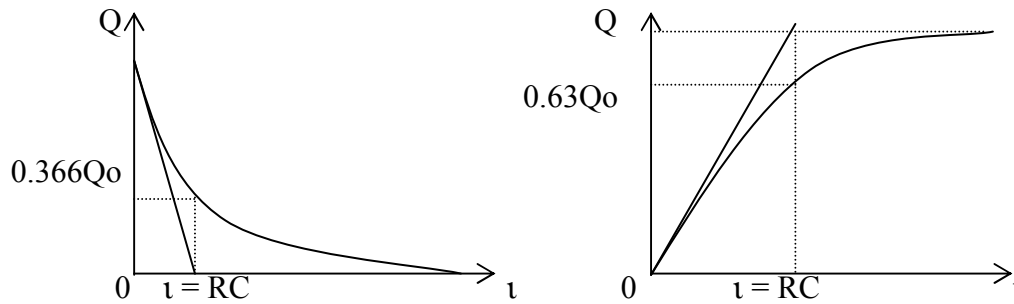


Figura nº 5.

4.- Describe algunas aplicaciones prácticas de estos circuitos R-C.

5.- Calcula los valores de un circuito R-C, que alimentado con una tensión continua de 20V, tarde 10s en alcanzar una tensión de 10V, con una intensidad máxima de 15mA

6.- Se dispone de un circuito R-C con unos valores de $R=10K\Omega$ y $C=5\mu F$. Se desea diseñar dos circuitos, uno que tenga una constante de tiempo 15 veces mayor, y el segundo con una constante de tiempo 15 veces menor. Indicar como conseguirlo.

7.- La figura corresponde a una lámpara de neón conectada como carga de un circuito R-C. Se sabe que la lámpara de neón se ilumina para una tensión mayor de 66V. Con este valor la resistencia de la misma pasa de un valor elevado a un valor bajo. Explicar cómo funciona el citado circuito cuando se le aplica una tensión de 100V. ¿Que efecto produce la resistencia?. Dar valores a R y C, indicando cuando tardaría la lámpara en iluminarse, (Simular el circuito con PSpice y comparar valores característicos).

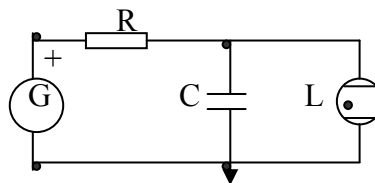


Figura nº 6.

8.- En un condensador cargado. ¿Cuál es la intensidad y la tensión cuando se alimenta en continua?. ¿Y cuando se alimenta en alterna?.

9.- Si alimentamos un circuito R-C con una onda cuadrada de 250Hz. ¿Qué forma tendrá el oscilograma obtenido de la corriente de carga y descarga?.

10.- Simular con PSpice los apartados 4.1 y 4.2, comparando los resultados obtenidos con los prácticos. Entregar gráficas, dando algunos valores característicos para los tiempos (τ , 2τ , 3τ , 4τ , 5τ).

11.- Simular con el PSpice el apartado 4.3. Indicar mediante gráfica el valor del tiempo transcurrido desde el inicio de la carga del condensador hasta que se estabiliza el valor de la $u_R(t)$ (indicando también este valor). Compara los resultados obtenidos con los prácticos.

12.- Simular con PSpice el apartado 4.4.1. Comparar los resultados obtenidos de forma experimental (cuatro puntos de la señal para el flanco de subida y cuatro puntos para el flanco de bajada), de las magnitudes $u_R(t)$, $u_C(t)$, e $i_R(t)$, con los obtenidos por simulación. Entregar gráficas.

13.- Simular con PSpice el apartado 4.4.2. Entregar gráficas de las siguientes magnitudes $u_R(t)$, $u_C(t)$, e $i_R(t)$, dando valores para los tiempos característicos. (0.5τ , τ , 1.5τ , 2τ). Comparar los datos de la simulación, con los obtenidos de las gráficas realizadas de forma experimental.

14.- Simular con PSpice el apartado 4.4.3. ¿Cuál será el valor de las siguientes magnitudes $u_R(t)$, $u_C(t)$, e $i_R(t)$, al inicio, mitad y final de cada semiperiodo? Entregar gráficas experimentales y de la simulación. ¿Con estas condiciones se completa la carga o descarga del condensador? (indicar el %). ¿Cuál debería ser la frecuencia para producirse una carga y descarga completa del condensador?.

15.- El REBT (Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión), impone que un condensador una vez puesto fuera de funcionamiento, por seguridad, al cabo de 5 minutos la tensión en sus bornes no tiene que ser superior a 50V. En el caso de un condensador de $74\mu\text{F}$, (caso típico para una batería de 10kVAR a 380V en conexión Δ). ¿Cuál sería la resistencia mínima a colocar en paralelo para asegurar que en cualquier caso se cumpla la norma anterior?. Contrastar los valores obtenidos mediante la simulación con PSpice. Entregar gráfica.

PRÁCTICA Nº 5.
TRANSITORIOS. CIRCUITOS DE SEGUNDO ORDEN.

1- OBJETIVOS:

Comprobar la respuesta de un circuito de segundo orden durante el régimen transitorio. La aplicación particular la realizaremos sobre un circuito R-L-C, contemplando diversos valores de los elementos pasivos para así obtener los tipos de factores de amortiguamiento más representativos.

2.- INTRODUCCIÓN TEÓRICA.

Un sistema de segundo orden es aquel que queda definido por una ecuación diferencial del tipo:

$$\frac{\partial^2 s(t)}{\partial t^2} + 2 \cdot w_n \cdot Z \cdot \frac{\partial s(t)}{\partial t} + w \cdot s(t) = k \cdot w \cdot N^2 \cdot e(t)$$

Donde $e(t)$ es la entrada, $s(t)$ la salida, y K la ganancia estática del sistema, es decir la relación entre la salida y la entrada cuando se anula la segunda derivada.

La constante Z es el factor de amortiguamiento que nos define el comportamiento transitorio que tendrá el circuito, de forma que sí:

- $Z=0$ el circuito se comportará como un sistema oscilante.
- $0 < Z < 1$ el circuito se comportará como oscilante amortiguado.
- $Z > 1$ el circuito será amortiguado, sin ser oscilante.

El coeficiente w_n , es la pulsación propia no amortiguada, siendo la pulsación de la oscilación de salida cuando $Z=0$.

En el caso de que $0 < Z < 1$ la pulsación propia amortiguada, o pulsación del transitorio será:

$$w_p = w_n \cdot \sqrt{1 - Z^2}$$

La última pulsación que debemos definir es la de resonancia w_R , qué es la pulsación que ha de tener una entrada senoidal permanente para conseguir que el módulo de la salida sea máximo. La fórmula que la define es:

$$w_R = w_n \cdot \sqrt{1 - 2 \cdot Z^2}$$

Para determinar analíticamente la expresión de la salida $s(t)$ debida a una entrada dada, se pueden seguir dos procedimientos:

1.- Resolver directamente la ecuación diferencial, es decir, buscar la ecuación característica encontrando la solución de la parte homogénea, ensayar una solución particular de la solución completa, sumarlas, y buscar las constantes de integración mediante el análisis de las condiciones iniciales del circuito.

2.- Resolución a través de la transformada de Laplace. Este método exige conocer la función de transferencia, que en este caso resulta ser:

$$H(p) = \frac{k}{\left[\left(\frac{p}{\omega_n} \right)^2 + 2 \cdot Z \left(\frac{p}{\omega_n} \right) + 1 \right]}$$

Este método permite, una vez hallada la función de transferencia, realizar el análisis frecuencial mediante la confección de los diagramas de Bode.

3.- MATERIAL NECESARIO.

- .- Generador de señales.
- .- Osciloscopio.
- .- Panel con resistencias.
- .- Panel con condensadores.
- .- Panel con bobinas.
- .- Cables y conectadores para el conexionado.

4.- REALIZACIÓN PRÁCTICA.

4.1.- Circuito de primer orden R-C, serie.

1.- Montar el circuito RC de la figura, alimentado con un generador de funciones.

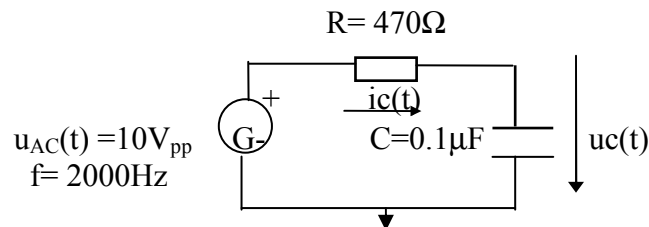


Figura nº 1.

2.- Ajustar el generador de señales a la posición de onda cuadrada con una amplitud de $10V_{pp}$, y una frecuencia de 2000Hz. Introducir en el canal I del osciloscopio la señal del generador $u_{AC}(t)$, y en canal II la tensión en bornes del condensador $u_C(t)$. Dibujar ambas señales, e indicar el valor máximo que adquiere $u_C(t)$.

2.1.- Cambiar el valor de la resistencia a: $R = 2.2k\Omega$ y $R = 15k\Omega$. Con estos nuevos valores realizar de nuevo las observaciones del apartado nº 2.

3.- Si ajustamos ahora el valor de la frecuencia (para el mismo tipo de señal con onda cuadrada y amplitud) a 1000Hz, mantenemos la resistencia fija a un valor de $R = 200\Omega$, y

variemos las capacidades a los siguientes valores: $C=0.47\mu\text{F}$, $C=2.2\mu\text{F}$, $C=4.7\mu\text{F}$. Realícense las mismas observaciones que en el apartado nº 2.

4.- Finalmente, si adoptamos como valores para la resistencia $R=200\Omega$, y para el condensador $C=1\mu\text{F}$, y variamos el valor de la frecuencia a: $f=500\text{Hz}$, $f=2\text{kHz}$ y $f=15\text{kHz}$. Realizar las mismas observaciones que en el apartado nº 2.

4.2 Circuito de segundo orden R-L-C serie.

1.- Montar el circuito R-L-C de la figura nº 2. Con onda cuadrada de $10V_{pp}$ y una frecuencia de 200Hz .

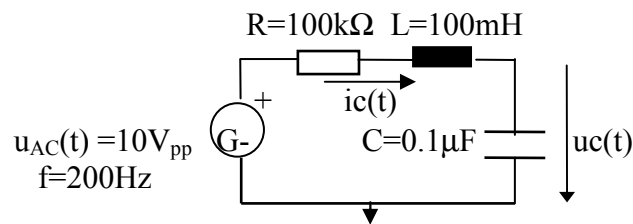


Figura nº 2.

2.- Introducir en el canal I, del osciloscopio la señal del generador $u_{AC}(t)$, y en canal II la señal de tensión en bornes de la resistencia $u_R(t)$. En estas condiciones dibujar la señal $u_{AC}(t)$ (vista de un periodo completo). Dibujar también la señal $u_R(t)$ en los siguientes supuestos: vista general (que abarque un periodo completo), y vista en detalle (que abarque solo la parte del transitorio). Asimismo, de la vista en detalle, tomar para la misma señal $u_R(t)$ los siguientes valores: tiempo transcurrido para el amortiguamiento del transitorio, y valor máximo de la tensión (de la primera oscilación) que alcanza la señal del transitorio.

2.1.- Variar el valor de R a $25\text{k}\Omega$. Repetir el apartado nº 2.

3.- Colocar: $R = 100\text{k}\Omega$, y $L = 27\text{mH}$. Repetir el apartado nº 2.

3.1.- Realizar el mismo procedimiento con $R=25\text{k}\Omega$, y $L=27\text{mH}$.

3.2.- Indicar las diferencias entre los apartados 2 y 3.

4.- Ajustar el generador de funciones a la forma de onda cuadrada con una $f=5000\text{Hz}$, manteniendo la amplitud de la señal a $10V_{pp}$.

4.1.- Con $R=100\text{k}\Omega$ y $L=100\text{mH}$. Repetir el apartado nº 2.

4.2.- Variar R al valor de $470\text{k}\Omega$. Indicar las diferencias entre 4.1 y 4.2.

5.- Repetir el apartado 4, para una frecuencia de 15000Hz .

5.- EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA.

1.- ¿Cuál sería la constante de tiempo de un circuito R-L, cuando le aplicamos una tensión de onda cuadrada de 300Hz obteniéndose el oscilograma representado en la figura?. ¿Cuál sería la sensibilidad de calibrado de la base de tiempo del osciloscopio?. ¿Y la tensión de la onda?.

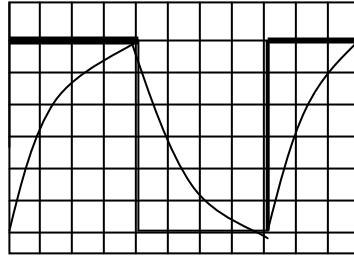


Figura nº 3.

2.- ¿Se puede medir la resistencia de una bobina con un ohmímetro?. ¿Y la impedancia?

3.- ¿Cuándo una bobina presenta mayor resistencia a la corriente, en tensión continua o en alterna?

4.- Con una bobina de 1500 espiras, con una longitud y sección respectivamente de $L=20\text{cm}$ y $S=12\text{cm}^2$ (con núcleo de aire), se forma un circuito RL. El valor de la resistencia es de 200Ω . ¿Cuál es la constante de tiempo del circuito?

5.- Simular con el PSpice el apartado 4.1.2 de la realización práctica. Compara los resultados con los experimentales obtenidos. Indicar, en cada caso, el tanto por ciento que ha alcanzado la carga del condensador, razonando la respuesta.

6.- Simular con el PSpice el apartado 4.1.3 de la realización práctica. Compara los resultados con los experimentales obtenidos. Indicar, en cada caso, el tanto por ciento que ha alcanzado la carga del condensador, razonando la respuesta.

7.- Simular con el PSpice el apartado 4.1.4 de la realización práctica. Compara los resultados con los experimentales obtenidos. Indicar, en cada caso, el tanto por ciento que ha alcanzado la carga del condensador, razonando la respuesta.

8.- Simular con PSpice el apartado 4.1.3 de la realización práctica, manteniendo todos los valores de los elementos, pero con los siguientes supuestos: con fuente de señal triangular y con fuente de señal senoidal (en los dos casos mantener tanto la frecuencia como la amplitud que figura en el citado apartado). Indicar, en cada caso, el tanto por ciento que ha alcanzado la carga del condensador, razonando la respuesta.

9.- Simulación con PSpice. Disponemos de un circuito serie R-L-C. Los valores que lo definen son los siguientes: $R=560\Omega$, $L=100\text{mH}$ ($I_C=0$), y un condensador de $C=0.1\mu\text{F}$ inicialmente cargado con unas condiciones iniciales de $I_C=100\text{V}$. ¿Qué tipo de respuesta dará el circuito?. Dar la distribución temporal de $i(t)$ para $t>0\text{s}$. Igualmente representar la función $u_C(t)$. Finalmente comprobar la $u_R(t)$ y la intensidad que circula por la bobina en los instantes. (0.25ms, 0.5ms, 1.5ms, y 2ms). (En la simulación se aconseja adoptar un Print Step de $100\mu\text{s}$, un Final Time de 2.5ms y un Step Ceiling de $10\mu\text{s}$. No olvidar de indicar las condiciones iniciales del condensador, (Use Initial Conditions).

10.- Si el condensador del apartado anterior (nº 9), en vez de valer $0.1\mu\text{F}$, pasa a tomar el valor de $100\mu\text{F}$ ($IC=100\text{V}$). ¿Qué tipo de respuesta dará ahora el circuito?. Realícense las mismas operaciones que en el apartado nº 7, pero con el nuevo valor del actual condensador, y con los tiempos siguientes: 10ms, 20ms, 25ms, y 30ms. En la simulación adoptar un Print Step de $100\mu\text{s}$, un Final Time de 30ms y un Step Ceiling de $10\mu\text{s}$. No olvidar de indicar las condiciones iniciales del condensador, (Use Initial Conditions).

11.- Simular con PSpice un circuito R-L-C serie, con $R=560\Omega$ y $L=100\text{mH}$, adoptando un valor de C que permita que el circuito tenga una respuesta amortiguada crítica ($ICc=100\text{V}$). Comprobar para cuatro valores de tiempo estándar (0.25ms, 0.5ms, 1.5ms, 2ms, 3ms) los valores que adquieren $u_c(t)$, e $i_c(t)$.

12.- Simular con PSpice un circuito R-L-C serie, con $R=800\Omega$, y $C=14\mu\text{F}$ ($IC=100\text{V}$). Hallar L, de forma que el circuito tenga una respuesta subamortiguada. Representar la evolución temporal de $u_c(t)$, así como de la intensidad que recorre el circuito $i(t)$. Comprobar la tensión $u_c(t)$ y la intensidad $i(t)$, para cuatro valores de tiempo estándar. En la simulación adoptar un Print Step de $10\mu\text{s}$, un Final Time de 0.5s y un Step Ceiling de $10\mu\text{s}$.

13.- Qué resistencia se deberá colocar en paralelo con una bobina de 12H, para que una intensidad inicial de $i_L(t)=10\text{A}$, alcance en dos minutos un valor de 3A. Hallar también la tensión de la resistencia en estas condiciones. Resolverlo analíticamente y comprobarlo con el PSpice.

14.- Disponemos de un circuito formado por una $R=2.5\Omega$ y una bobina de $L=50\text{mH}$ colocados en serie. La bobina dispone de unas condiciones iniciales de $IC_L=100\text{A}$. Hallar analíticamente, y después mediante simulación con PSpice, los valores de $i_L(t)$, así como de $u_L(t)$ de la bobina, para los siguientes valores de tiempo (20ms, 40ms y 60ms).

15.- Simular mediante el PSpice la evolución temporal de la intensidad y la tensión en bornes de una inductancia, en un circuito formado por una fuente de tensión de 12V en tensión continua, una $R=5\Omega$, y una $L=10\text{mH}$ colocados en serie con unas condiciones iniciales de $IC_L=1\text{A}$.

PRÁCTICA Nº 6. CIRCUITOS OSCILANTES.

1- OBJETIVOS:

Comprobar la respuesta de un circuito de segundo orden durante el régimen oscilatorio. La aplicación particular la realizaremos sobre un circuito RLC serie y paralelo, contemplando diversos valores de los elementos pasivos para obtener los tipos de factores de oscilación más representativos.

2.- INTRODUCCIÓN TEÓRICA.

2.1 Circuitos oscilantes.

Los circuitos oscilantes son aquellos que están formados por un condensador y una bobina. En ellos se transforma la energía eléctrica magnética en electrostática de forma cíclica.

Si cargamos un condensador mediante una fuente de corriente continua y una vez cargado y desconectado de la misma, lo conectamos a una bobina se producirán unas oscilaciones empezando por un máximo, ya que el condensador está cargado inicialmente. Los períodos de estas oscilaciones T son iguales y las amplitudes decrecen hasta anularse, es decir son oscilaciones amortiguadas. El amortiguamiento se debe a la resistencia óhmica del circuito, que transforma la energía eléctrica en calor por el efecto Joule, siendo la frecuencia de oscilación o propia del circuito:

$$f_o = \frac{1}{T}$$

Para que la oscilación de un circuito LC no se amortigüe, es necesario suministrar una energía exterior con una fuente de tensión que posea la misma frecuencia que la frecuencia propia " f_o " del circuito. Entonces se dice que el circuito está en resonancia, y a la frecuencia " f_o " se le denomina frecuencia de resonancia. Este fenómeno es muy frecuente en el mundo que nos rodea, desde aparatos de música hasta los relojes de péndulo, utilizan el principio de la resonancia para su funcionamiento.

Para un circuito serie RLC, la frecuencia que lo definirá se obtendrá igualando las reactancias:

$$X_C = X_L$$

O sea:

$$\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_o \cdot C} = 2 \cdot \pi \cdot f_o \cdot L$$

De donde:

$$f_o = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

A esta fórmula se le denomina fórmula de Thomson para resonancia serie.

En este circuito serie, en resonancia se producirá una sobretensión en las tensiones parciales por lo que se conoce a ésta como resonancia de tensión.

Para un circuito paralelo RLC, la frecuencia que lo definirá se obtendrá igualando las susceptancias:

$$B_C = B_L$$

O sea:

$$\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_o \cdot L} = 2 \cdot \pi \cdot f_o \cdot C$$

De donde:

$$f_o = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

A esta fórmula se le denomina fórmula de Thomson para resonancia en paralelo.

En este circuito paralelo, en resonancia se producirá una sobreintensidad en la bobina y en el condensador, este es el motivo por la que se la denomina resonancia de corriente.

3.- MATERIAL NECESARIO.

- .- Generador de señales alternas.
- .- Fuente de alimentación de continua.
- .- Osciloscopio.
- .- Panel con resistencias.
- .- Panel con condensadores.
- .- Panel con bobinas.
- .- Polímetro digital.
- .- Cables y conectadores para el conexionado.

4.- REALIZACIÓN PRÁCTICA.

4.1 Circuitos Oscilantes.

1.- Montar el circuito RLC de la figura, alimentándolo con una fuente de tensión continua.

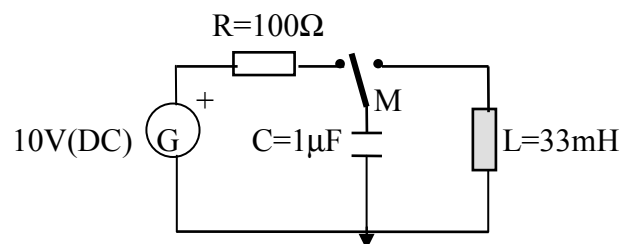


Figura nº 1.

2.- Ajustar la fuente de continua al valor de 10V. Seguidamente mediante el conmutador "M", cargar el condensador a la tensión de la fuente de alimentación. Una vez el condensador esté cargado cambiar el conmutador "M" a la otra posición, efectuándose la desconexión de la fuente de alimentación y la descarga del mismo sobre la bobina. Para visualizar la variación de la tensión con el tiempo, conectar los extremos de la bobina al canal I del osciloscopio. Dibujar la señal obtenida indicando a que tipo de sistema obedece (amortiguado, subamortiguado, oscilante), la frecuencia de oscilación del circuito, así como la tensión máxima alcanzada.

4.2 Circuito Oscilante Serie.

1.- Montar el circuito RLC de la figura, alimentándolo con generador de funciones senoidal.

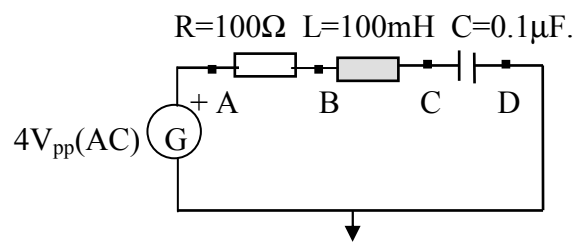


Figura nº 2.

2.- Ajustar el generador de funciones a una tensión de $4V_{pp}$ y señal senoidal, verificándola durante todas las mediciones con el osciloscopio. Conectar al canal I del osciloscopio la entrada de la señal (puntos AD), y el canal II a los extremos del resistor (puntos AB) para medir $u_R(t)$. Esta caída de tensión es proporcional a la intensidad del circuito. Calcular la Intensidad para cada una de las frecuencias representadas en la tabla siguiente, asimismo calcular y anotar los valores de la impedancia.

Frecuencia de oscilación de un circuito RLC serie.											
F(kHz)	0.1	0.2	0.3	0.6	1	2	3	4	6	10	15
$U_{Rpp}(V)$											
$U_R(V)$											
$I(\text{mA})$											
$Z(\Omega)$											

Tabla nº 1.

3.- Seleccionar en el generador de funciones una tensión senoidal de $u_G(t) = 4V_{pp}$ a la frecuencia de resonancia (en la cual no existirá desfase entre las tensiones de entrada y de la resistencia). Con la ayuda de voltímetros hallar las tensiones de $u_G(t)$, $u_R(t)$, $u_C(t)$ y $u_L(t)$, comprobando la existencia de resonancia.

4.- Medir con un ohmímetro el valor de la resistencia de la bobina.

4.3.- Circuito Oscilante Paralelo.

1.- Montar el circuito RLC de la figura, alimentándolo con generador de funciones senoidal.

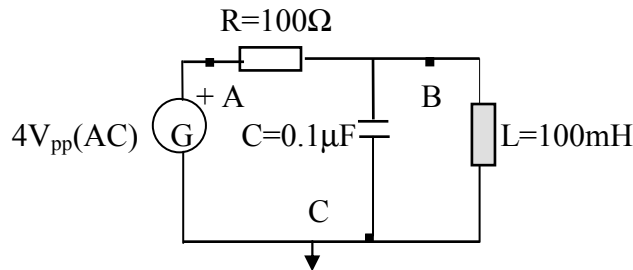


Figura nº 3.

2.- Ajustar el generador de funciones a una tensión de $4V_{pp}$ y señal senoidal, verificándola durante todas las mediciones con el osciloscopio. Conectar al canal I del osciloscopio la entrada de la señal (puntos AC), y al canal II los extremos del resistor (puntos AB) para medir $u_R(t)$, esta caída de tensión es proporcional a la intensidad del circuito. Calcular la intensidad para cada una de las frecuencias representadas en la tabla siguiente, asimismo calcular y anotar los valores de la impedancia.

Frecuencia de oscilación de un circuito RLC paralelo.											
F(kHz)	0.1	0.2	0.3	0.5	1	2	4	8	12	16	20
$U_{Rpp}(V)$											
$U_R(V)$											
$I(mA)$											
$Z(\Omega)$											

Tabla nº 2.

3.- Seleccionar en el generador de funciones la frecuencia de oscilación, (en la cual la tensión en la resistencia será mínima), con una tensión del generador de $u_G(t)=4V_{pp}$, y con la ayuda de amperímetros, determinar las intensidades $i_L(t)$, $i_C(t)$ y $i_T(t)$.

5.- EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA.

1.- Existen dos tipos fundamentales de oscilación dependiendo del comportamiento de los parámetros de un circuito, cuando se le aplica la frecuencia natural de oscilación al mismo. ¿A qué tipo de oscilación se le denomina oscilación de tensión?. ¿Cuál es la denominada oscilación en corriente?. Razonar las respuestas.

2.- Disponemos de un circuito serie RLC al cual se le aplica una tensión $u(t)$ a la frecuencia de oscilación. ¿Qué valor adoptará la tensión en bornes de la resistencia?.

¿Qué valor adoptaran las tensiones en bornes de la bobina y del condensador?. ¿ Indicar qué valor adoptará la suma vectorial de $\underline{U}_L + \underline{U}_C$?. Razonar las respuestas.

3.- ¿Indicar otro método para detectar, aparte del método usado en la práctica, el régimen de resonancia en un circuito RLC serie, mediante el uso del osciloscopio?.

4.- Si colocamos una bombilla con impedancia prácticamente nula en serie con la resistencia del circuito RLC paralelo. ¿Cómo cambiará su intensidad luminosa cuando el circuito entre en resonancia?.

5.- ¿Cómo se verían afectados los resultados obtenidos, si en los dos circuitos realizados experimentalmente no se tuviera en cuenta el valor de la resistencia de la bobina?. Razonar la respuesta.

6.- ¿Coincide el valor de la frecuencia de resonancia hallado experimentalmente en el circuito serie RLC, con el obtenido de forma teórica?. ¿Por qué?.

7.- La resonancia no sólo es importante en electricidad, ya que afecta a otras muchas disciplinas de la ciencia. Indicar algunos fenómenos en los que la resonancia es decisiva, anotando sus aplicaciones más comunes.

8.- ¿Cómo se interpretan las lecturas de los voltímetros en el apartado 4.2.3 de la realización práctica? ¿Coinciden plenamente las tensiones en bornes de la resistencia y del generador?

9.- ¿Cómo se interpretan las lecturas de los amperímetros en el apartado 4.3.3 de la realización práctica?. ¿Se anula completamente la intensidad total del circuito?. Razonar las respuestas.

10.- Representar, con los valores obtenidos en la realización práctica del circuito serie (tabla nº 1), la intensidad y la impedancia total en función de la frecuencia.

11.- Representar, con los valores obtenidos en la realización práctica del circuito paralelo (tabla nº 2), la intensidad y la impedancia total en función de la frecuencia.

12.- Simular con el Pspice el circuito oscilante serie. Representar el valor de la impedancia del circuito en función de la frecuencia. Representar el valor de la intensidad del circuito en función de la frecuencia. Representar las tensiones de la bobina y del condensador conjuntamente con la tensión de la resistencia. Analizar las gráficas anteriores comparándolas con las obtenidas en el apartado nº 9, de esta evaluación práctica. Determinar a partir de las gráficas la frecuencia de oscilación. (Para realizar este apartado es necesario que la fuente de tensión sea una VAC, y el análisis elegido sea el AC Sweep, asimismo se tendrá presente el valor de la resistencia de la bobina).

13.- Simular con el Pspice el circuito oscilante paralelo. Representar el valor de la impedancia del circuito en función de la frecuencia. Representar el valor de la intensidad total conjuntamente con la intensidad de la bobina y del condensador. Analizar las gráficas anteriores comparándolas con las obtenidas en el apartado nº 10, de

esta evaluación práctica. Determinar a partir de las gráficas la frecuencia de oscilación. (Para realizar este apartado es necesario que la fuente de tensión sea una VAC, y el análisis elegido sea el AC Sweep, asimismo se tendrá presente el valor de la resistencia de la bobina).

14.- Simular con el PSpice el punto 4.2 de la realización práctica. Representar conjuntamente las señales de la tensión de entrada y de la tensión en bornes de la resistencia. Representar conjuntamente las señales de la tensión en bornes del condensador y de la bobina. Realizar las representaciones anteriores para la frecuencia de resonancia, para una frecuencia inferior a la de resonancia, y finalmente para una frecuencia mayor a la de resonancia. Indicar cómo se comportan las tensiones y desfases en los tres supuestos anteriores. Razonar los aspectos que definen las curvas obtenidas en las simulaciones anteriores. Comparar los valores obtenidos por simulación con los hallados experimentalmente. (Para realizar este apartado es necesario que la fuente de tensión sea una VSIN, y el análisis elegido sea el TRANSIENT, asimismo se tendrá presente el valor de la resistencia de la bobina).

15.- Simular con el PSpice el punto 4.3 de la realización práctica. Representar conjuntamente las señales de la tensión del condensador, de la resistencia y del generador. Representar conjuntamente las intensidades de la resistencia, de la bobina y del condensador. Realizar las representaciones anteriores para la frecuencia de resonancia, para una frecuencia menor a la de resonancia, y finalmente para una frecuencia mayor a la de resonancia. Razonar los aspectos que definen las curvas obtenidas en las simulaciones anteriores. Comparar los valores obtenidos por simulación con los hallados experimentalmente. (Para realizar este apartado es necesario que la fuente de tensión sea una VSIN, y el análisis elegido sea el TRANSIENT, asimismo se tendrá presente el valor de la resistencia de la bobina).

PRÁCTICA N° 7. FILTROS PASIVOS. TIPOS DE OSCILACIÓN.

1- OBJETIVOS:

Actualmente debido a la gran profusión de frecuencias con las que se trabaja es importante y necesario poder elegir entre una gama de las mismas, impidiendo el paso de las restantes, evitando así interferencias molestas. En esta práctica se analizarán los filtros pasivos básicos, determinando, en cada caso, su frecuencia de corte o paso. Asimismo se efectuará una clasificación de los mismos atendiendo a sus principales características eléctricas lo que conlleva una serie de aplicaciones específicas.

2.- INTRODUCCIÓN TEÓRICA.

Los filtros son circuitos que permiten el paso a determinadas frecuencias, impidiéndoselo a otras, es decir, su impedancia depende de la frecuencia. Son pasivos si únicamente están formados por asociaciones de resistencias, condensadores y bobinas. Son activos si en su estructura se encuentran algún transistor, amplificador, u otra fuente dependiente. En esta práctica se analizarán los filtros pasivos.

Se denomina frecuencia de corte de un filtro, a la frecuencia tal que la reactancia del condensador, o la bobina en un filtro RL, sea igual a la resistencia R. Es decir:

$$X_C = R$$

Como además se sabe que:

$$I = \frac{U_o}{Z_S} = \frac{U_o}{\sqrt{X_C^2 + R^2}} \quad \text{y} \quad X_C = R \quad \text{tendremos:}$$

$$I = \frac{U_o}{\sqrt{2 \cdot R^2}} = \frac{U_o}{R \cdot \sqrt{2}}$$

La tensión de salida será entonces:

$$I_S = R \cdot I = \frac{R \cdot U_o}{R \cdot \sqrt{2}} = \frac{U_o}{\sqrt{2}} = 0.707 \cdot U_o$$

Expresado en tanto por ciento podemos definir la frecuencia de corte de un circuito como aquella para la cual la tensión de salida es el 70% de la tensión de entrada. La potencia de salida de un circuito a la frecuencia de corte suele corresponder a la mitad de la potencia de entrada del mismo.

$$P_S = (U_S \cdot I_e) = \frac{U_e \cdot I_e}{2} = \frac{P_e}{2}$$

Para el caso de un circuito RC, tendremos:

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

Y para el caso de un circuito RL, tendremos:

$$f_c = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$$

Los filtros más comunes actualmente utilizados, se exponen en la siguiente tabla, en la cual se detallan: el símbolo eléctrico, la gráfica correspondiente y una breve reseña teórica para su mejor comprensión.

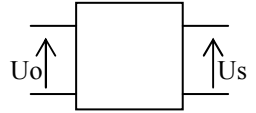
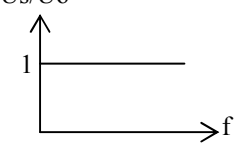
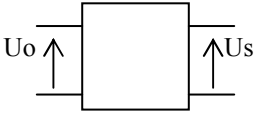
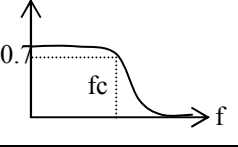
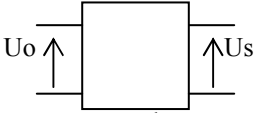
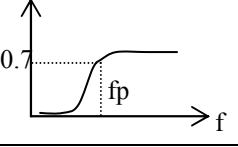
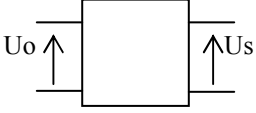
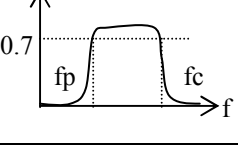
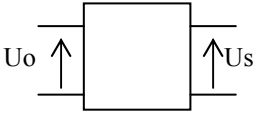
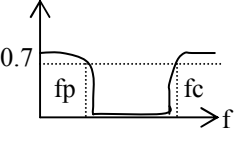
Filtros pasivos más usuales.		
Símbolos	Bandas de frecuencia	Explicación
 <p>Sin filtro.</p>		La frecuencia no hace variar la relación entre la tensión de salida con respecto a la tensión de entrada.
 <p>Pasa bajo.</p>		No pasan las frecuencias superiores a la frecuencia de corte f_c .
 <p>Pasa alto.</p>		Pasan solo las frecuencias superiores a la frecuencia de paso f_p .
 <p>Pasa bandas.</p>		Pasan solo las frecuencias comprendidas entre la frecuencia de paso (f_p) y la de corte (f_s).
 <p>Elimina banda.</p>		Elimina la banda de frecuencias comprendidas entre las frecuencias de paso y la de corte.

Tabla nº 1.

3.- MATERIAL NECESARIO.

- .- Generador de señales alternas.
- .- Panel con condensadores.
- .- Fuente de alimentación de continua.
- .- Panel con bobinas.

- Osciloscopio.
- Polímetros digitales.
- Panel con resistencias.
- Cables y conectadores para el conexionado.

4.- REALIZACIÓN PRÁCTICA.

1.- Montar el circuito RC mostrado en la figura, alimentándolo con el generador de funciones senoidal y la fuente de alimentación de tensión continua.

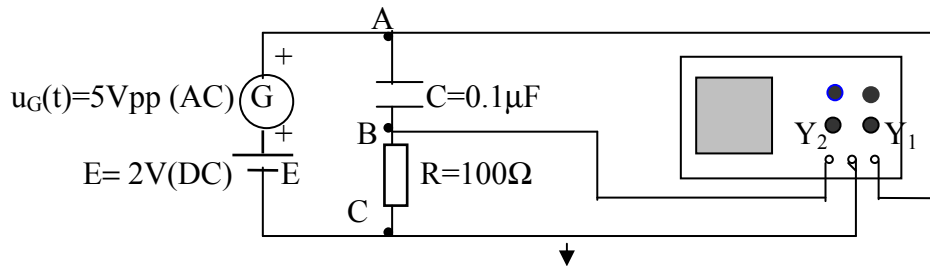


Figura nº 1.

2.- Ajustar el generador de funciones a una tensión de 5Vpp con onda senoidal, así como la fuente de alimentación al valor continuo de 2V. Visualizar con el osciloscopio las señales de entrada y salida ($u_{AC}(t)$ en el canal I, y $u_{BC}(t)$ en el canal II). ¿Como influye C sobre la componente continua de la salida?. Recordar que el conmutador del osciloscopio (AC, DC) permite medir la componente continua de una señal. Con este montaje determinar la frecuencia a la cual la ganancia de tensión ($A_v = u_s(t)/u_o(t)$) es igual a 0.7. Determinar la ganancia de tensión para 10 valores más de frecuencia: 5 superiores y 5 inferiores a la frecuencia de ganancia de 0.7. Comprobar que tipo de filtro se obtiene.

3.- Manteniendo los valores de los elementos pasivos, realizar las mismas operaciones del apartado 2, pero ahora con un circuito RC serie. Es decir, la salida será en éste caso la tensión en bornes de la resistencia.

4.- Repetir el proceso anterior. Pero con un circuito RL serie, con $R=4.7k\Omega$, y con $L=100mH$.

5.- Repetir el punto 4º, pero ahora con un circuito LR serie. Es decir, la salida será ahora la tensión en bornes de la resistencia. Mantener los valores de los elementos pasivos.

6.- Repetir las mismas operaciones de los puntos precedentes, pero ahora con un circuito LCR serie. Siendo la salida en este caso la tensión en bornes de la resistencia. Los valores son $R= 4.7k\Omega$, $L=27mH$, $C=0.1\mu F$.

7.- Con la ayuda de un ohmímetro, hallar las resistencias de las bobinas empleadas en la práctica.

5.- EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA.

1.- ¿Qué tipo de filtros se obtienen en cada uno de los apartados de la realización práctica?

2.- Indicar algunas de las aplicaciones actuales más comunes de los filtros activos.

3.- Indicar algunas de las aplicaciones actuales más comunes de los filtros pasivos.

4.- De los elementos más utilizados en la construcción de filtros en general (bobinas, condensadores y resistencias). ¿Cuál es el que ofrece una mayor dificultad para ser incluido en un circuito integrado?. ¿Qué elemento activo actualmente sustituye satisfactoriamente al elemento problema anterior?.

5.- Supongamos que en la línea de alimentación de una máquina eléctrica trifásica se conecta, en paralelo, una batería de condensadores a tierra. Si el suministro de energía que alimenta a esta máquina contiene armónicos a alta frecuencia. ¿Cómo actuarían los condensadores en su función de filtro?.

6.- Si se emplea un filtro pasa-bajo y un filtro pasa-alto. ¿Se puede obtener un filtro pasa-banda?. Dibujar el esquema correspondiente en caso afirmativo, comprobando su funcionamiento mediante la simulación con Pspice (utilizar la fuente alterna VAC, y el análisis AC Sweep). Si no es posible, indicar por qué. ¿Cuáles son las aplicaciones más frecuentes para este tipo de filtros?.

7.- Representar en un diagrama de bloques la estructura de un filtro elimina-banda. Obtener su correspondiente esquema eléctrico, verificando con el PSpice su correcto funcionamiento (utilizar la fuente alterna VAC, y el análisis AC Sweep). Indicar las aplicaciones más frecuentes a las que se destinan este tipo de filtros.

8.- Justificar mediante formulación el apartado nº 2, de la realización práctica. (Impedancia de entrada y ganancia de tensión).

9.- Justificar mediante formulación el apartado nº 6, de la realización práctica. (Impedancia de entrada y ganancia de tensión).

10.- Realizar las representaciones gráficas, mediante los datos obtenidos en los diversos apartados de la realización práctica, de las diversas ganancias de tensión en función de la frecuencia.

11.- Simular con PSpice el apartado 2º, de la realización práctica, entregando gráficas. Recordar que la simulación tiene que efectuarse con la ganancia de tensión (eje de ordenadas), en función de la frecuencia (eje de abcisas). Para ello la fuente más adecuada será la VAC, y el análisis escogido el AC Sweep, asimismo se tendrá presente al valor de la resistencia de la bobina. Comprobar los valores obtenidos por simulación (tipo de filtro, frecuencia de corte o paso, valores de ganancia para cada una de las 10 frecuencias escogidas, etc.), con los hallados de forma experimental. Simular también la impedancia de entrada en función de la frecuencia, razonando él por qué de su forma.

12.- Simular con PSpice el apartado 3º, de la realización práctica entregando gráficas. (Deben tenerse presentes las consideraciones dadas en el apartado 11º de esta evaluación práctica).

13.- Simular con PSpice el apartado 4º, de la realización práctica entregando gráficas. (Deben tenerse presentes las consideraciones dadas en el apartado 11º de esta evaluación práctica).

14.- Simular con PSpice el apartado 5º, de la realización práctica entregando gráficas. (Deben tenerse presentes las consideraciones dadas en el apartado 11º de esta evaluación práctica).

15.- Simular con PSpice el apartado 6º, de la realización práctica entregando gráficas. (Deben tenerse presentes las consideraciones dadas en el apartado 11º de esta evaluación práctica).

CAPÍTULO II.

PROBLEMAS DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA

PROBLEMAS CON SOLUCIÓN DE
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA

Problema n° 1.

Disponemos de un circuito eléctrico como el mostrado en la figura, formado por una fuente de tensión en continua, una resistencia y un condensador. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

Un interruptor permite interrumpir el flujo eléctrico, permitiendo al circuito funcionar en régimen transitorio. Si cerramos el interruptor “I” en el instante $t=0s$, y el condensador esta inicialmente descargado, hallar:

- La expresión temporal de la corriente que circula por la resistencia para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador para $t \geq 0s$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

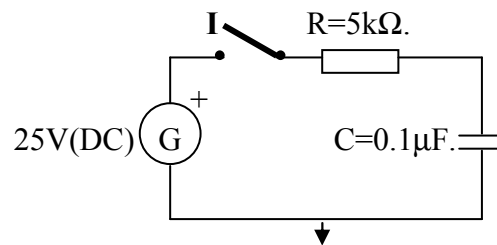


Figura n° 1.

Problema n° 2.

El circuito de la figura representa un sistema eléctrico formado por una fuente de tensión en continua que suministra energía a los componentes pasivos del sistema: una resistencia y un condensador en disposición serie. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

Un interruptor es el encargado de controlar el sistema, abriendo o cerrando el circuito. Si cerramos el interruptor “I” en el instante $t=0s$, y el condensador esta inicialmente cargado con una tensión inicial de 10V, hallar:

- La expresión temporal de la corriente que circula por la resistencia para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la corriente que circula por el condensador para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la resistencia para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador para $t \geq 0s$.
- El tiempo transcurrido para que la tensión en bornes del condensador alcance el valor de 15V.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

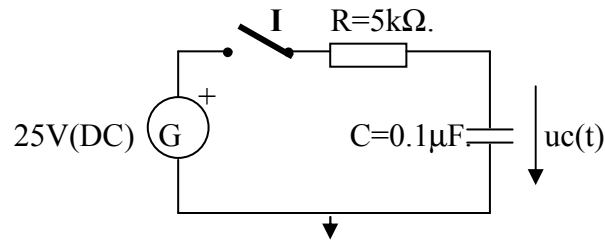


Figura nº 2.

Problema nº 3.

El circuito mostrado en la figura representa un sistema eléctrico formado por un generador de funciones, una resistencia y un condensador. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

La gráfica anexa permite observar la forma de onda que entrega el generador (a partir de 1ms la tensión vale 0V). Del circuito en cuestión, hallar:

- La expresión temporal de la corriente que circula por la resistencia.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la resistencia.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

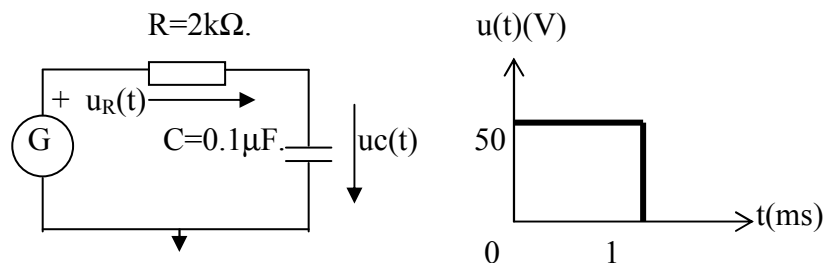


Figura nº 3.

Problema nº 4.

El circuito eléctrico mostrado en la figura, representa una fuente de tensión en continua conectada a un sistema paralelo formado por dos ramas: en una de ellas se halla una resistencia, mientras que en la otra se encuentra un circuito serie que contiene un condensador y una resistencia. Los valores de los componentes se detallan en el esquema. Se dispone de un conmutador que permite seleccionar la rama que se conectara en serie con la fuente de alimentación.

El condensador inicialmente dispone de un potencial de 10V. En $t=0$ s el conmutador pasa de la posición "A" a la "B", pasando al cabo de 10ms a la posición "C". De este circuito se pide:

- La expresión temporal de la corriente que circula por el condensador entre $0 \leq t \leq 0.01s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador entre $0 \leq t \leq 0.01s$.
- Valor de la tensión en bornes del condensador en $t=0s$.
- La expresión temporal de la corriente que circula por el condensador para $t \geq 0.01s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador para $t \geq 0.01s$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

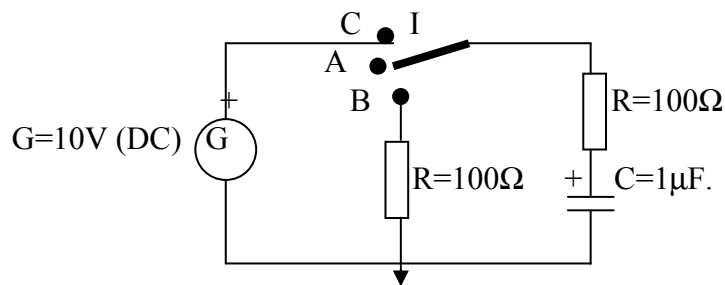


Figura nº 4.

Problema nº 5.

La figura representa un circuito eléctrico compuesto por dos fuentes de tensión en continua, colocadas en derivación, que alimentan a una tercera rama formada por un circuito serie RC. Un conmutador de tres posiciones permite conectar cada una de las fuentes por separado al circuito RC, o en la tercera posición, dejar el circuito abierto. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

El condensador está inicialmente descargado. En $t=0s$ el conmutador pasa de la posición “A” a la “B”, pasando al cabo de $4ms$ de la posición “B” a la posición “C”. De este circuito se pide:

- La expresión temporal de la corriente que circula por el condensador entre $0 \geq t \leq 0.004s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador entre $0 \leq t \leq 0.004s$.
- Valor de la tensión en bornes del condensador para $t=0.004s$.
- La expresión temporal de la corriente que circula por el condensador para $t \geq 0.004s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador para $t \geq 0.004s$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

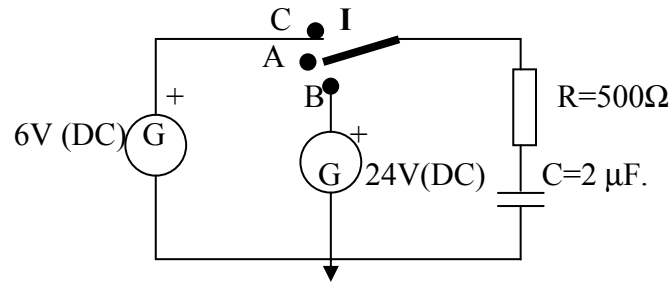


Figura nº 5.

Problema nº 6.

Disponemos de un circuito eléctrico como el mostrado en la figura, formado por una fuente de alimentación de tensión en continua, una resistencia y unos condensadores colocados de la forma indicada. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

Un interruptor permite conectar o dejar sin fluido eléctrico al circuito. Si cerramos el interruptor "I" en el instante $t=0s$, y todos los condensadores esta inicialmente descargados, hallar:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la resistencia para $t \geq 0s$.
- Las expresiones temporales de las intensidades que circulan por todos los condensadores para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la resistencia para $t \geq 0s$.
- Las expresiones temporales de las tensiones en bornes de todos los condensadores para $t \geq 0s$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

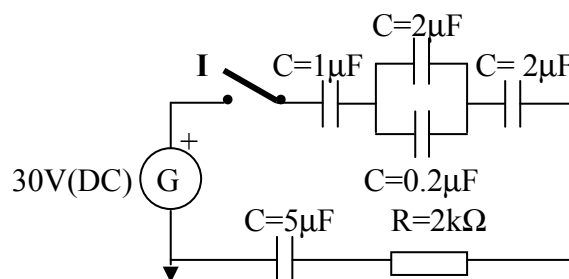


Figura nº 6.

Problema nº 7.

El circuito eléctrico mostrado en la figura esta formado por una fuente de alimentación de tensión en continua que proporciona la energía necesaria para que unos

condensadores y un conjunto de resistencias funcionen de forma correcta. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

Un interruptor permite conectar o desconectar el circuito de la fuente de alimentación. Si cerramos el interruptor “I” en el instante $t=0s$, y todos los condensadores están inicialmente descargados, hallar:

- Las expresiones temporales de las intensidades que circulan por todas las resistencias para $t \geq 0s$.
- Las expresiones temporales de las tensiones en bornes de todas las resistencias para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la intensidad que circula por el condensador de $0.5\mu F$ para $t \geq 0s$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

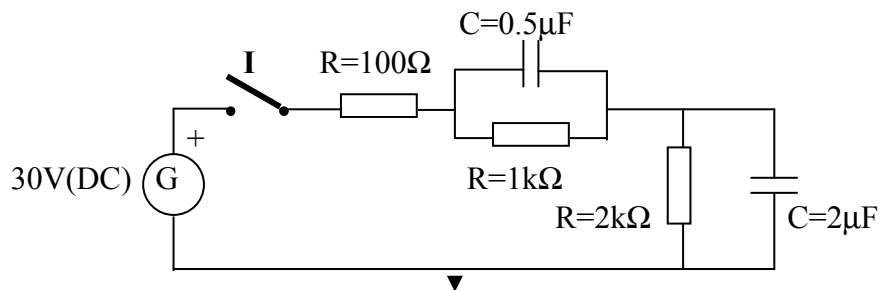


Figura nº 7.

Problema nº 8.

La figura muestra un sistema eléctrico formado por un generador de funciones periódicas que suministra energía a una resistencia y un condensador conectados en serie con el mismo. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

La gráfica anexa permite observar la forma de onda que entrega el generador (una onda cuadrada). Para cuatro ciclos completos, calcular:

- La expresión temporal de la tensión en bornes de la resistencia.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador.
- Comprobar que la suma de las tensiones en bornes de la resistencia más la del condensador coincide con la tensión proporcionada por el generador.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

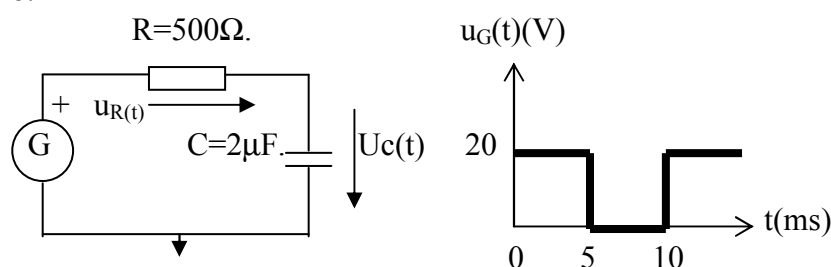


Figura nº 8.

Problema n° 9.

Un sistema eléctrico formado por un generador de funciones periódicas, esta conectado a unos elementos pasivos de la forma mostrada en la figura. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

La gráfica anexa permite observar la forma de onda que entrega el generador (una onda cuadrada). Para cuatro ciclos completos, calcular:

- La expresión temporal de la tensión en bornes de la resistencia.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador.
- Comprobar que la suma de las tensiones en bornes de la resistencia más la del condensador, coincide con la tensión suministrada por el generador.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

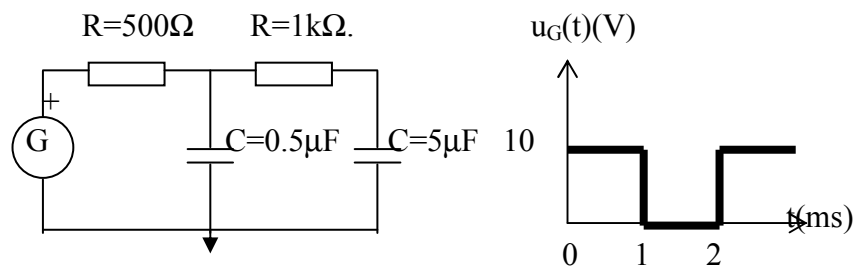


Figura n° 9.

Problema n° 10.

El circuito eléctrico mostrado en la figura esta formado por una resistencia y unos condensadores colocados de la forma indicada. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

El circuito incorpora un interruptor que permite conectar o desconectar el sistema. Inicialmente el interruptor "I" esta abierto y la tensión inicial en el condensador de $12\mu\text{F}$ es de 10V. Si cerramos el interruptor en el instante $t=0\text{s}$, hallar:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la resistencia para $t \geq 0\text{s}$.
- Las expresiones temporales de las intensidades que circulan por todos los condensadores para $t \geq 0\text{s}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la resistencia para $t \geq 0\text{s}$.
- Las expresiones temporales de las tensiones en bornes de todos los condensadores para $t \geq 0\text{s}$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

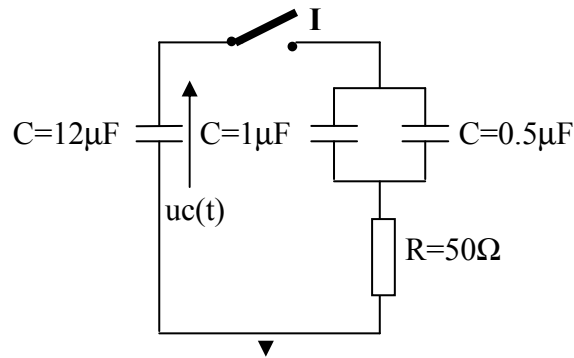


Figura nº 10.

Problema nº 11.

Se dispone de un circuito eléctrico formado por un conjunto de elementos pasivos: condensadores y resistencias, conectados a una fuente de tensión en continua que se encarga de suministrar la energía al sistema. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

El circuito incorpora un conmutador de tres posiciones: en una de estas posiciones deja al sistema sin energía, las dos posiciones restantes, permiten conectar la fuente de alimentación, o cerrar el circuito sobre la rama RC. Los condensadores están inicialmente descargados. Si en el instante $t=0s$ se conmuta el conmutador de la posición “A” a la posición “B” y al cabo de $t=2\tau$ se pasa de la “B” a la “C”, hallar:

- La expresión temporal de las tensiones en bornes de los elementos pasivos entre $0 \leq t \leq 2\tau$
- La expresión temporal de las tensiones en bornes de los elementos pasivos para $t \geq 2\tau$
- Las expresiones temporales de las intensidades que circulan por los elementos pasivos del circuito entre $0 \leq t \leq 2\tau$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

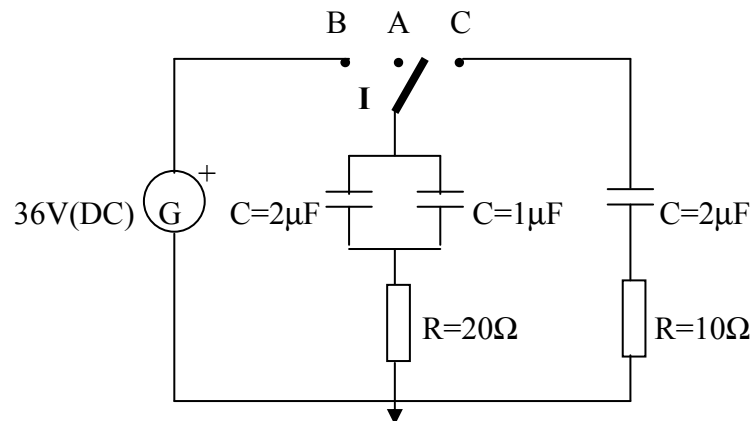


Figura nº 11.

Problema n° 12.

El circuito eléctrico mostrado en la figura consta de una fuente de tensión en continua, unos elementos pasivos y una fuente de intensidad ideal. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema. El circuito inicialmente se encuentra trabajando en régimen permanente.

Un interruptor es el responsable de las maniobras eléctricas del circuito, desconectando, cuando permanece en la posición de abierto, el conjunto formado por las ramas RC. Sí en el instante $t=0s$ se actúa sobre el interruptor, inicialmente cerrado, abriéndolo, hallar:

- Condiciones iniciales del condensador para $t = 0^+$ s.
- Constante de tiempo del circuito.
- La expresión temporal de la intensidad del condensador para $t \geq 0s$
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador para $t \geq 0s$
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

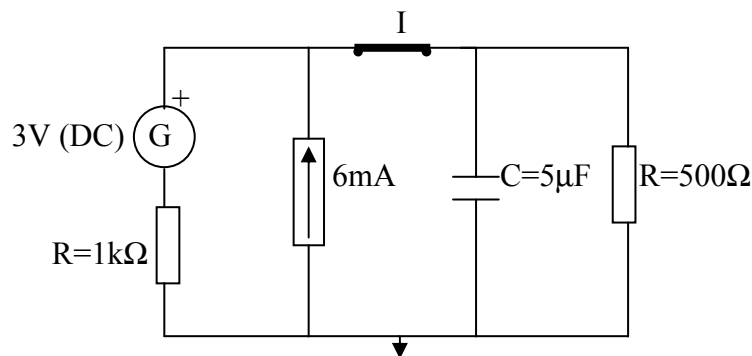


Figura n° 12.

Problema n° 13.

La figura muestra un circuito eléctrico formado por un condensador y dos resistencias situadas cada una en ramas paralelas al mismo. Una fuente dependiente de tensión está conectada en serie con una de las dos resistencias. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

El circuito se comanda a través de un interruptor encargado de conectar o desconectar el condensador del resto del circuito. Sí inicialmente los bornes del condensador se hallan a una tensión de 12V y en el instante $t=0s$ se actúa sobre el interruptor cerrando el circuito, se pide:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por el condensador para $t \geq 0$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador para $t \geq 0$.
- La expresión temporal de la potencia instantánea del condensador para $t \geq 0$.

- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

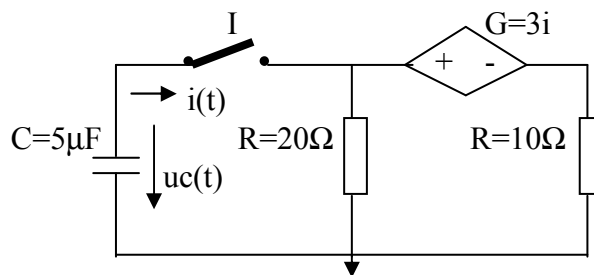


Figura nº 13.

Problema nº 14.

El esquema eléctrico representado en la figura, esta formado por una serie de elementos pasivos, condensadores y resistencias, así como de una fuente de intensidad independiente. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

Un interruptor situado en la parte central del circuito es el encargado de dividir a éste en dos subcircuitos cerrados. Si en el instante $t=0s$ se actúa sobre el interruptor, inicialmente cerrado, abriéndolo, hallar:

- Las expresiones temporales de las tensiones en bornes de los condensadores para $t \geq 0s$.
- Las expresiones temporales de las intensidades de los condensadores para $t \geq 0$.
- Las expresiones temporales de las energías correspondientes a los condensadores para $t \geq 0$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

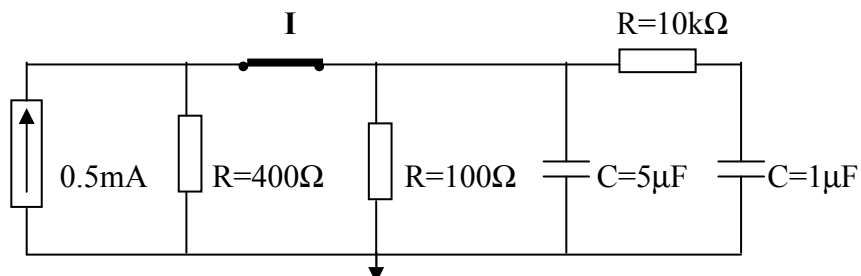


Figura nº 14.

Problema n° 15.

La figura muestra un circuito eléctrico formado por una bobina y tres resistencias situadas, dos en ramas paralelas del circuito y una, en serie con la fuente de alimentación de tensión en continua, que es la encargada de suministrar la energía al circuito. Los valores de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

El circuito se controla a través de un interruptor encargado de conectar o desconectar la fuente de alimentación del resto del circuito. Sí en el instante $t=0s$ se actúa sobre el interruptor, que estaba abierto, cerrando el circuito, se pide:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina $t \geq 0$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 0$.
- Determinar la constante de tiempo del circuito.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

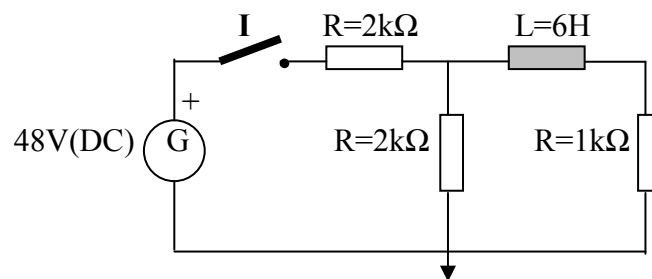


Figura n° 15.

Problema n° 16.

El circuito representado en la figura muestra dos fuentes de alimentación de tensión en continua, alimentando a dos subcircuitos formados por resistencias y una bobina central que es común a los dos. Los valores de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

El circuito se controla a través de dos interruptores encargados de conectar o desconectar respectivamente a sus correspondientes fuentes de alimentación del resto del circuito. Sí en el instante $t=0s$ se actúa sobre el interruptor “ I_1 ” cerrándolo, y posteriormente, en $t=10ms$, se cierra también el interruptor “ I_2 ” (inicialmente los dos interruptores estaban abiertos), Hallar:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $0 \leq t \leq 10ms$.
- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 10ms$.
- La expresión temporal de la potencia instantánea en la bobina entre $0 \leq t \leq 10ms$.

- La expresión temporal de la potencia instantánea en la bobina entre $10\text{ms} \leq t \leq 20\text{ms}$.
- Determinar la constante de tiempo de cada circuito.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

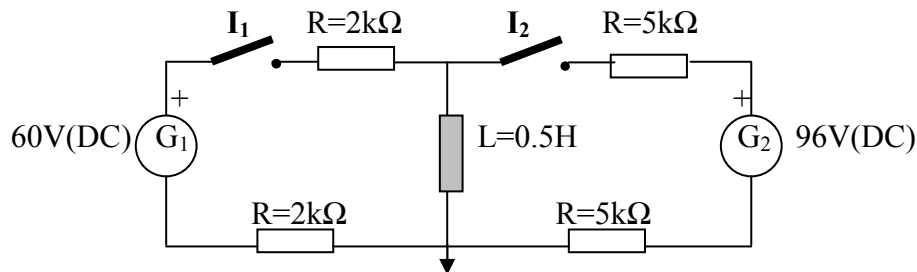


Figura nº 16.

Problema nº 17.

La figura muestra un circuito eléctrico formado por dos bobinas y dos resistencias situadas formando dos ramas paralelas entre sí. La alimentación del circuito corre a cargo de una fuente de tensión en continua. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

El circuito lleva incorporado un interruptor encargado de conectar o desconectar la fuente de alimentación del resto del circuito. Si en el instante $t=0\text{s}$ se actúa sobre el interruptor, cerrando el circuito, se pide:

- Las expresiones temporales de las intensidades que circula por las bobinas para $t \geq 0$.
- Las expresiones temporales de las tensiones en bornes de las bobinas para $t \geq 0$.
- Las expresiones temporales de las energías almacenadas en las bobinas para $t \geq 0$.
- Las expresiones temporales de las potencias instantáneas en las bobinas para $t \geq 0$.
- Determinar la constante de tiempo del circuito.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

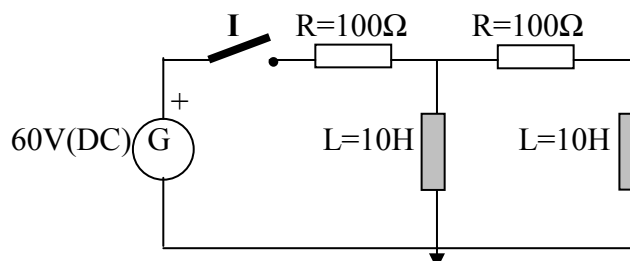


Figura nº 17.

Problema n° 18.

El esquema representado, nos muestra un circuito eléctrico formado por un conjunto de resistencias y una bobina, en disposición paralelo respecto a una fuente de alimentación de tensión en continua, que es la encargada de suministrar la energía necesaria para el buen funcionamiento del circuito. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

La maniobra del circuito se efectúa desde un interruptor, el cual permite desconectar el circuito del suministro eléctrico. Sí en el instante $t=0s$ se cierra el interruptor y posteriormente en $t=3ms$ se vuelve a abrir el mismo, Hallar:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $0 \leq t \leq 3ms$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina entre $0 \leq t \leq 3ms$.
- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 3ms$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 3ms$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

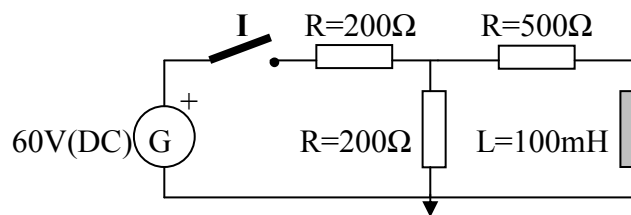


Figura n° 18.

Problema n° 19.

Un circuito eléctrico formado por una bobina y dos resistencias, en disposición mixta, se alimenta mediante una fuente de tensión en continua. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

El circuito dispone de dos interruptores encargados de conectar o desconectar diferentes secciones del circuito. Sí en el instante $t=0s$, se cierra el interruptor “ I_1 ” y posteriormente en $t=3ms$ se cierra “ I_2 ”, Hallar:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $0 \leq t \leq 0.003s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina entre $0 \leq t \leq 0.003s$.
- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 0.003s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 0.003s$.
- La expresión temporal de la energía almacenada en la bobina para $t \geq 0.003s$.
- La expresión temporal de la potencia instantánea en la bobina para $t \geq 0.003s$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

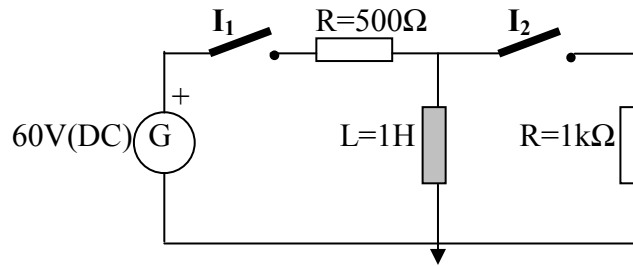


Figura n° 19.

Problema n° 20.

La figura nos muestra un circuito eléctrico formado por la combinación de una bobina y tres resistencias situadas formando un conjunto paralelo de dos ramas. La alimentación del circuito la suministra una fuente de tensión en continua. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

Un interruptor es el encargado de controlar las funciones del circuito. En el instante $t=0s$, y con el interruptor abierto, circula una intensidad por la bobina de $100mA$. Si en $t=2ms$, se actúa sobre el interruptor cerrando el circuito, Hallar:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $0 \leq t \leq 2ms$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina entre $0 \leq t \leq 2ms$.
- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $2ms \leq t \leq 8ms$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina entre $2ms \leq t \leq 8ms$.
- La expresión temporal de la energía almacenada en la bobina para $t > 2ms$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

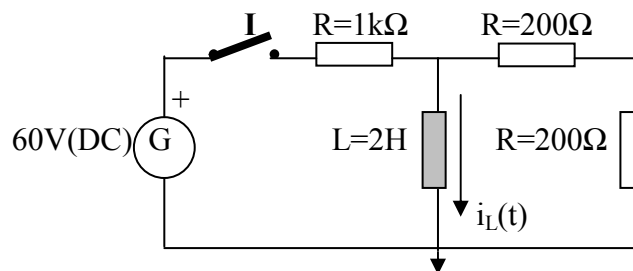


Figura n° 20.

Problema n° 21.

Un sistema eléctrico formado por un generador de funciones periódicas, está conectado a unos elementos pasivos de la forma que muestra la figura. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

La gráfica anexa permite observar la forma de onda periódica que entrega el generador (una onda cuadrada). Para los tiempos comprendidos entre $0 \leq t \leq 100\text{ms}$, calcular:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $0 \leq t \leq 100\text{ms}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina entre $0 \leq t \leq 100\text{ms}$.
- La expresión temporal de la energía almacenada en la bobina entre $0 \leq t \leq 100\text{ms}$.
- La expresión temporal de la potencia instantánea en la bobina entre $0 \leq t \leq 100\text{ms}$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compararlos con las gráficas obtenidas por cálculo.

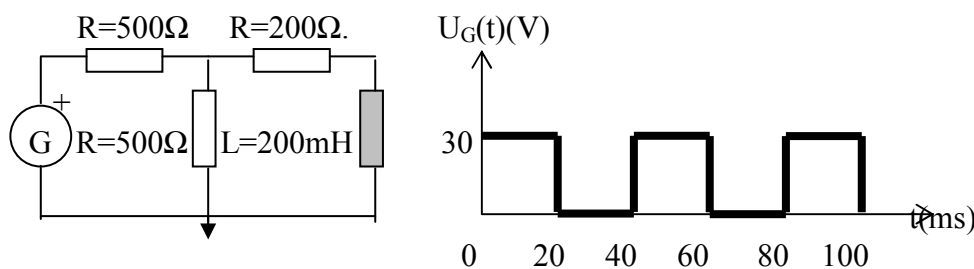


Figura n° 21.

Problema n° 22.

La figura nos muestra un circuito eléctrico formado por un generador de funciones periódicas que está conectado a unos elementos pasivos (resistencias y una bobina) de la forma que muestra la figura. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

La gráfica anexa permite observar la forma de onda periódica que entrega el generador (una onda cuadrada con valores positivos y negativos). Para los tiempos comprendidos entre $0 \leq t \leq 100\text{ms}$, calcular:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $0 \leq t \leq 100\text{ms}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina entre $0 \leq t \leq 100\text{ms}$.
- La expresión temporal de la energía almacenada en la bobina entre $0 \leq t \leq 100\text{ms}$.
- La expresión temporal de la potencia instantánea en la bobina entre $0 \leq t \leq 100\text{ms}$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

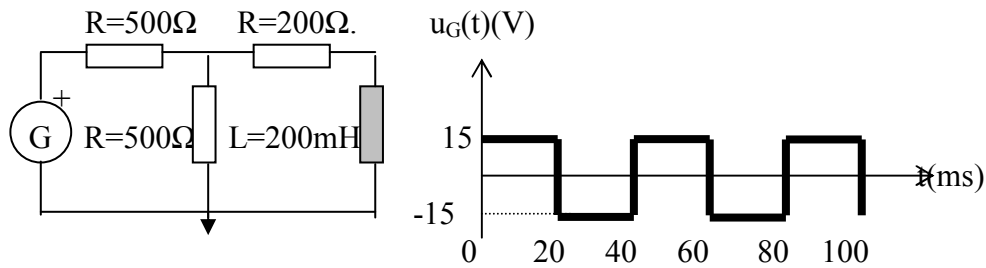


Figura n° 22.

Problema n° 23.

Un sistema eléctrico está formado por unos elementos pasivos (resistencias y una bobina en la rama central), y dos generadores de funciones encargados de proporcionar tensión al sistema. Los valores y disposición de los componentes se detallan en el esquema.

Las gráficas anexas permiten observar la forma de las ondas periódicas que entregan los respectivos generadores (una onda cuadrada y una onda en diente de sierra). Para los tiempos comprendidos entre $0 \leq t \leq 100\text{ms}$, calcular:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $0 \leq t \leq 100\text{ms}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina entre $0 \leq t \leq 100\text{ms}$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.
-

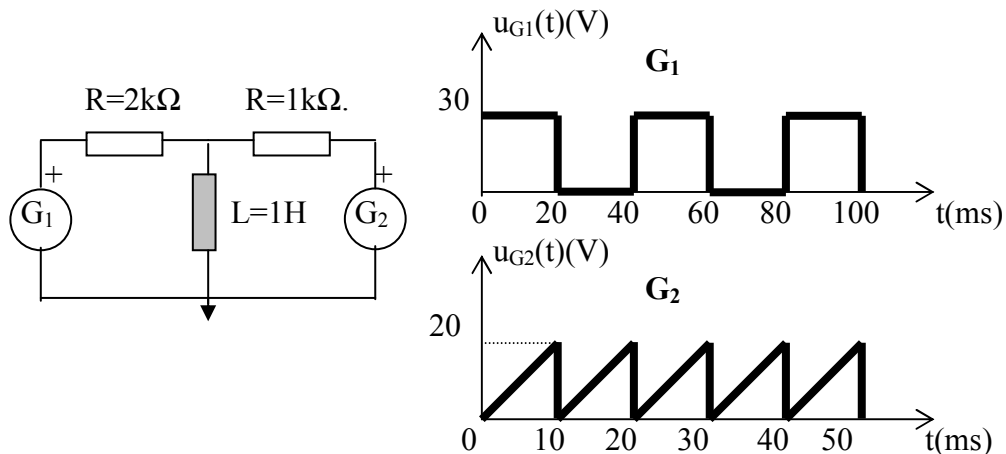


Figura n° 23.

Problema n° 24.

El circuito eléctrico mostrado en la figura consta de una resistencia y una bobina conectadas en serie a un generador de funciones periódicas, que se encarga de proporcionar energía al sistema. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

La gráfica anexa permite observar la forma de la onda periódica que entrega el generador (una onda en diente de sierra). Para los tiempos comprendidos entre $0 \leq t \leq 100\text{ms}$, calcular:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $0 \leq t \leq 100\text{ms}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina entre $0 \leq t \leq 100\text{ms}$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

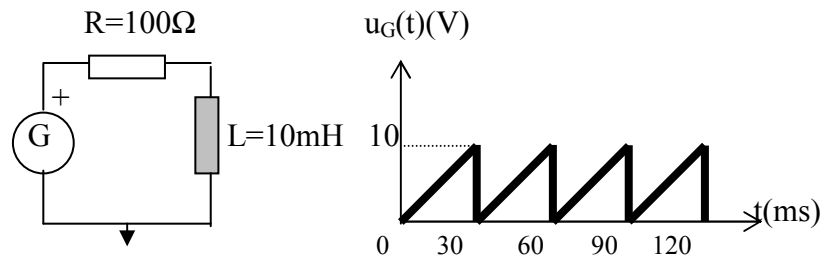


Figura nº 24.

Problema nº 25.

El esquema representado, nos muestra un circuito eléctrico formado por una resistencia conectada en serie a una bobina. Dos fuentes de tensión en continua suministran el fluido eléctrico al sistema mediante el concurso de un conmutador de tres posiciones: una es de reposo, dejando al circuito sin energía, mientras que las otras dos sirven para seleccionar que fuente será la que suministre la energía al sistema. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

Sí en el instante $t=0\text{s}$ el interruptor, que se halla en la posición “A”, se cierra sobre el terminal “B”, y al cabo de $t=1\text{s}$, se cambia a la posición “C”, determinar:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $0 \leq t \leq 1\text{s}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina entre $0 \leq t \leq 1\text{s}$.
- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $1 \leq t \leq 1.1\text{s}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina entre $1 \leq t \leq 1.1\text{s}$.
- La expresión temporal de la energía almacenada en la bobina entre $1 \leq t \leq 1.1\text{s}$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

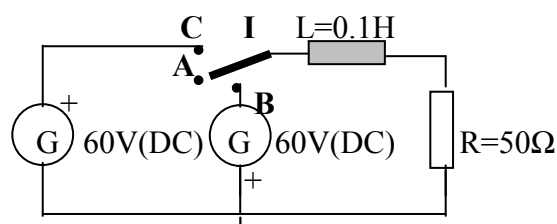


Figura nº 25.

Problema n° 26.

La figura nos muestra un circuito eléctrico formado por una fuente de alimentación de tensión en continua que abastece a un circuito serie RL. La existencia de un interruptor nos permite acoplar una rama resistiva en paralelo con el circuito anterior. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

Sí en el instante $t=0s$ se cierra el interruptor, quedando el circuito formado por las dos ramas en paralelo, calcular:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la energía almacenada en la bobina para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la potencia instantánea de la bobina para $t \geq 0s$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

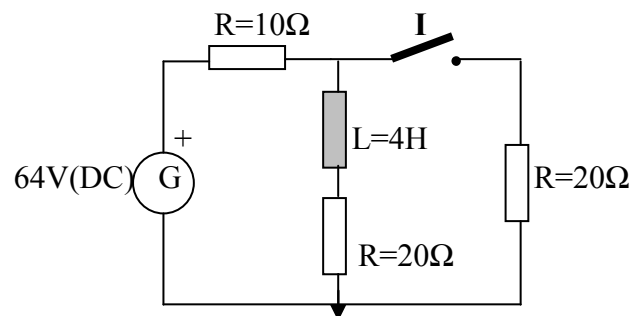


Figura n° 26.

Problema n° 27.

El esquema representado en la figura, nos muestra un circuito eléctrico formado por un conjunto de elementos pasivos (resistencias y bobina) alimentados por una fuente ideal de intensidad. Un conmutador de dos posiciones permite elegir dos configuraciones distintas para el sistema eléctrico. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

Sí el circuito se encuentra funcionando en régimen permanente y en el instante $t=0s$ el conmutador, que se halla en la posición “A”, se cierra sobre el terminal “B”. Determinar:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la energía almacenada en la bobina para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la potencia instantánea en la bobina para $t \geq 0s$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

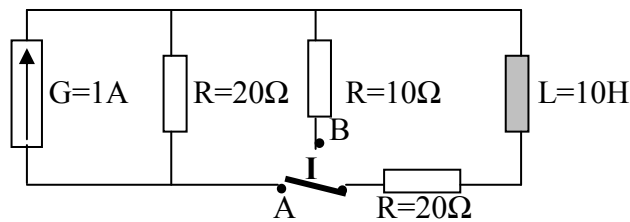


Figura n° 27.

Problema n° 28.

La figura nos muestra un circuito eléctrico formado por la combinación de una bobina y tres resistencias, todos estos elementos forman un circuito serie con una fuente de alimentación de tensión en continua. El accionamiento de dos interruptores permite obtener diversas configuraciones respecto del sistema inicial. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

Inicialmente los dos interruptores permanecen abiertos. Si en el instante $t=0s$, cerramos el interruptor “ I_1 ”, y en $t=0.05s$ se cierra el interruptor “ I_2 ”, Determinar:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $0 \leq t \leq 0.05s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina entre $0 \leq t \leq 0.05s$.
- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 0.05s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 0.05s$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

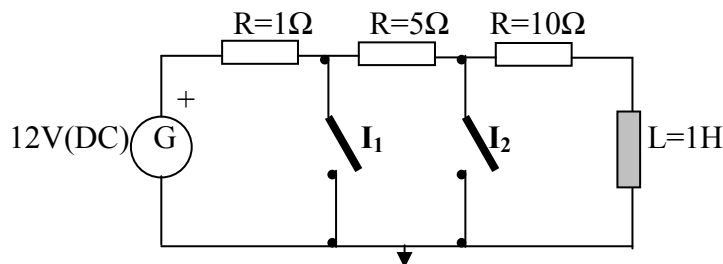


Figura n° 28.

Problema n° 29.

Un circuito eléctrico como el mostrado en la figura, esta compuesto por una serie de elementos pasivos que mediante dos conmutadores se pueden conectar, en diferentes configuraciones, a una fuente de alimentación de tensión en continua. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

El circuito inicialmente trabaja en régimen permanente y con los conmutadores, “ I_1 ” e “ I_2 ”, colocados en las posiciones “A” y “B” respectivamente. Sí en el instante $t=0s$ se cambian simultáneamente los dos conmutadores pasando de las posiciones “A” y “B” a la posición “C”. Calcular:

- Las expresiones temporales de las intensidades que circulan por las bobinas para $t \geq 0s$.
- Las expresiones temporales de las tensiones en bornes de las bobinas para $t \geq 0s$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

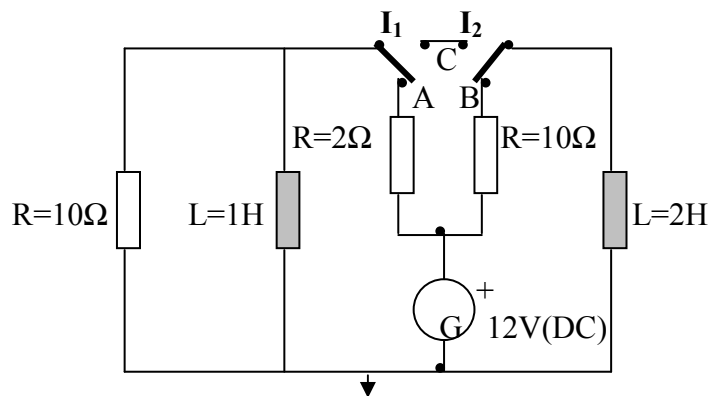


Figura nº 29.

Problema nº 30.

Un circuito eléctrico está formado por una bobina, un condensador y una resistencia conectados en serie. Un interruptor, también colocado en serie con estos elementos, permite la maniobra del sistema. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

Sí inicialmente la tensión en bornes del condensador es de 100V, y en el instante $t=0s$ se cierra el interruptor. Calcular:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la resistencia para $t \geq 0$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 0$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador para $t \geq 0$.
- La expresión temporal de la energía almacenada en la bobina para $t \geq 0$.
- La expresión temporal de la potencia instantánea en el condensador para $t \geq 0$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

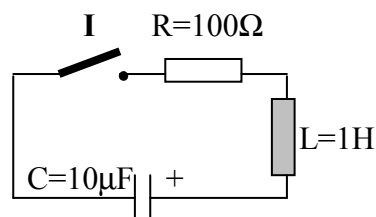


Figura nº 30.

Problema n° 31.

La disposición de los elementos pasivos eléctricos en un circuito se disponen formando un circuito serie RLC. Un interruptor permite incorporar al sistema una fuente de alimentación de tensión en continua, en serie con una resistencia, transformando el circuito inicial serie en un circuito mixto alimentado. Los valores de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

Si inicialmente tanto el condensador como la bobina carecen de carga, y en el instante $t=0s$ se cierra el interruptor. Calcular:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por el condensador para $t \geq 0$.
- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 0$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 0$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador para $t \geq 0$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

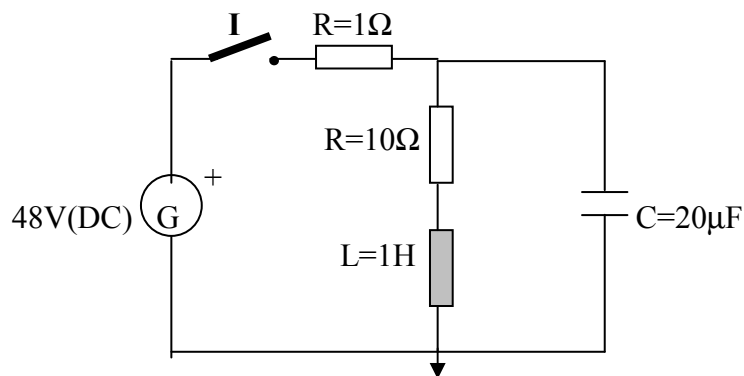


Figura n° 31.

Problema n° 32.

El esquema representado en la figura, nos muestra un circuito eléctrico formado por un conjunto de elementos pasivos (resistencias y bobinas) alimentados por una fuente independiente de intensidad. Un conmutador de dos posiciones permite elegir dos configuraciones distintas para el sistema eléctrico. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

Si en el instante $t=0s$ el conmutador, que se halla en la posición “A”, se cierra sobre el terminal “B”. Determinar:

- El valor de las intensidades que circulan por las bobinas de 5H y 2.5H, para $t=30ms$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina de 2.5H para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la intensidad que circula por la resistencia de 100Ω , para $t \geq 0s$.

- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

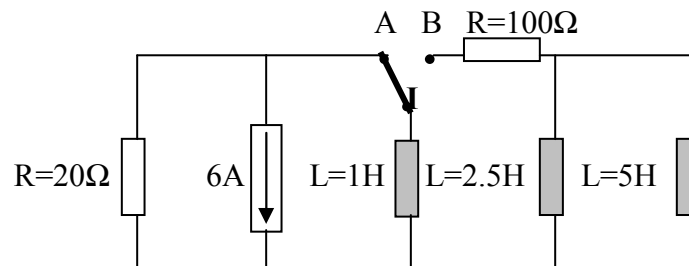


Figura n° 32.

Problema n° 33.

Un circuito eléctrico está formado por una bobina, que acompaña a dos condensadores y dos resistencias. Un interruptor, colocado en serie con estos elementos, permite la maniobra del sistema. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

El circuito inicialmente trabaja en régimen permanente con el interruptor “I”, abierto. Si en el instante $t=0s$ se cierra el interruptor, calcular las siguientes expresiones:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 0$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 0$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

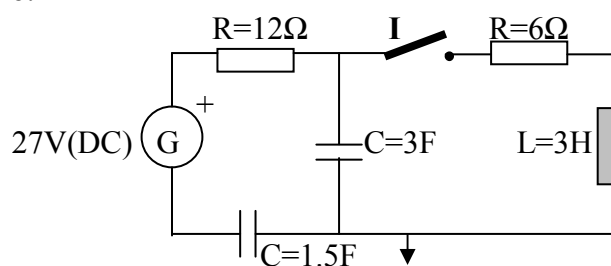


Figura n° 33.

Problema n° 34.

Un circuito eléctrico como el mostrado en la figura, está compuesto por una serie de elementos pasivos que mediante dos conmutadores se pueden conectar, en diferentes configuraciones, a una fuente de alimentación de tensión en continua y a una fuente de

intensidad también en continua. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

El circuito inicialmente trabaja en régimen permanente y con los conmutadores “I₁” en la posición “B”, e “I₂” cerrado. Sí en el instante $t=0s$ se cambian simultáneamente los dos conmutadores pasando a las posiciones “A” (I₁) y abierto (I₂). Calcular:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la resistencia de $10k\Omega$ para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la energía almacenada en la bobina para $t \geq 0s$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

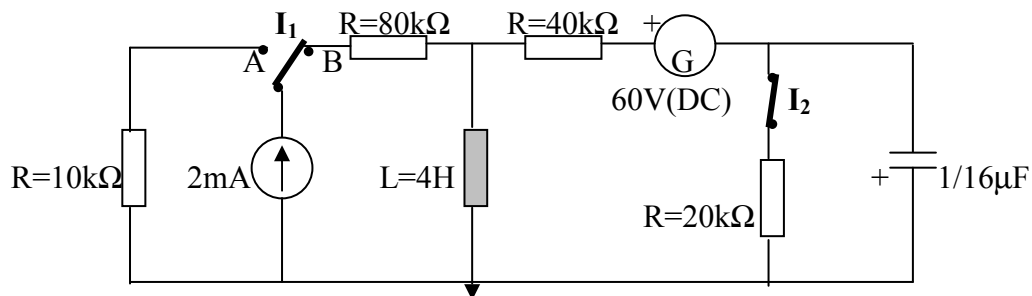


Figura n° 34.

Problema n° 35.

La figura nos muestra unos componentes eléctricos pasivos formando un circuito serie RLC. Estos elementos pasivos pueden funcionar mediante tres configuraciones distintas gracias al concurso de un conmutador de tres posiciones que permite conectar: la fuente de tensión en continua, el generador de funciones o bien interrumpir el suministro eléctrico. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

En el instante $t=0s$, el conmutador que inicialmente se halla en la posición “C”, se pasa a la posición “B”, y posteriormente en $t=10ms$ se cambia de la posición “B” a la posición “D”. Con las condiciones expuestas, se pide:

- La expresión temporal de la intensidad del condensador entre $0 \leq t \leq 10ms$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes en el condensador entre $0 \leq t \leq 10ms$.
- La expresión temporal de la intensidad que circula por el condensador para $t \geq 10ms$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes en el condensador para $t \geq 10ms$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

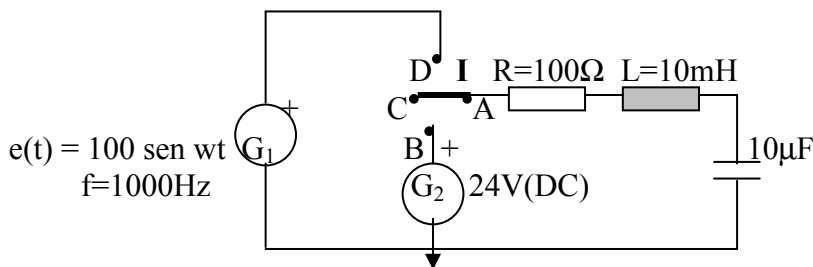


Figura n° 35.

Problema n° 36.

Un circuito eléctrico está formado por unos elementos pasivos conectados a dos generadores alternos que entregan diferentes funciones periódicas. Dos interruptores permiten obtener diversas configuraciones del sistema inicial, dependiendo del accionamiento de los mismos. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

Inicialmente los dos interruptores están abiertos y el condensador carece de potencial en sus bornes. Si en el instante $t=0$ s se cierra el interruptor “ I_1 ”, y posteriormente en el instante $t=100$ ms, se cierra también el interruptor “ I_2 ”, calcular las siguientes expresiones:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por el condensador entre $0 \leq t \leq 100$ ms.
- La expresión temporal de la tensión en bornes en el condensador entre $0 \leq t \leq 100$ ms
- La expresión temporal de la intensidad que circula por el condensador para $t \geq 100$ ms
- La expresión temporal de la tensión en bornes en el condensador para $t \geq 100$ ms.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

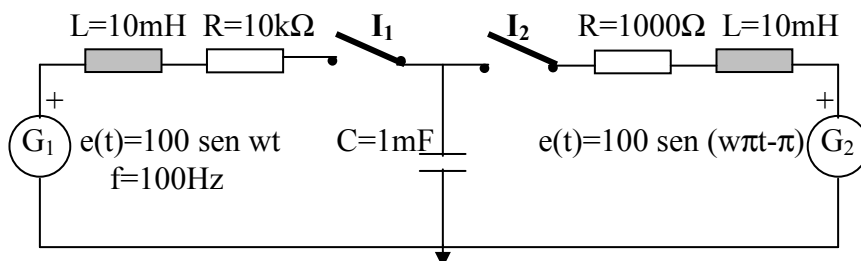


Figura n° 36.

Problema n° 37.

Un generador periódico alterno alimenta a un circuito eléctrico serie RLC. El circuito dispone de un interruptor que permite obtener un diseño diferente al del sistema inicial. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

Inicialmente el circuito funciona con el interruptor abierto. Si transcurrido un tiempo de $t=50\text{ms}$ se cierra el interruptor, calcular las siguientes expresiones:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 50\text{ms}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes en la bobina para $t \geq 50\text{ms}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes en el condensador para $t \geq 50\text{ms}$.
- Las expresiones temporales de las tensiones en bornes de las resistencias para $t \geq 50\text{ms}$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

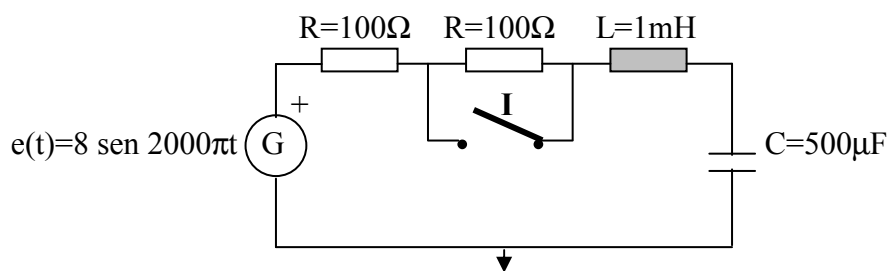


Figura n° 37.

Problema n° 38.

Un circuito eléctrico como el mostrado en la figura, está compuesto por bobinas y una resistencia. Un generador y una fuente de alimentación son los encargados de suministrar la energía al circuito, de forma alterna (generador de ondas de tensión periódicas senoidales), o continua (fuente de alimentación). Un conmutador (I), permite obtener diferentes configuraciones del sistema inicial. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

El conmutador inicialmente ocupa la posición "A". En $t=0\text{s}$, se conmuta a la posición "B", y finalmente al cabo de $t=20\text{ms}$, se vuelve a accionar el conmutador pasándose ahora a la posición "C". Con estas condiciones calcular:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $0 \leq t \leq 20\text{ms}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina entre $0 \leq t \leq 20\text{ms}$.
- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 20\text{ms}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 20\text{ms}$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.

- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

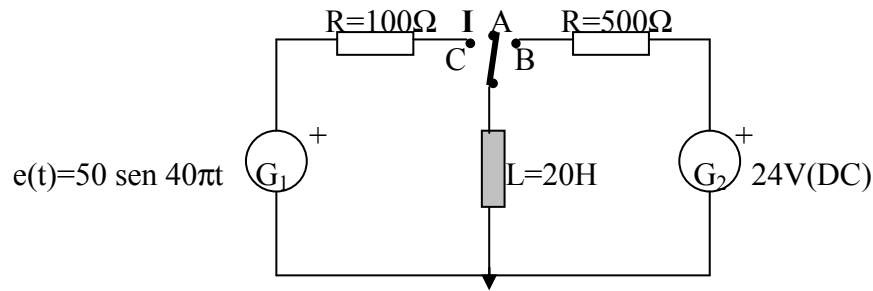


Figura nº 38.

Problema nº 39.

La figura nos muestra un circuito eléctrico formado por condensadores y una resistencia. La alimentación la proporciona un generador de tensión de funciones alternas periódicas, conectado en serie al circuito inicial RC. Un interruptor permite la incorporación de un segundo condensador, al circuito inicial RC serie. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

Inicialmente el interruptor esta abierto. Si en el instante $t=0s$ se cierra el interruptor "I", calcular las siguientes expresiones:

- Las expresiones temporales de las intensidades que circulan por los condensadores entre $0 \leq t \leq 100ms$.
- Las expresiones temporales de las tensiones en bornes de los condensadores entre $0 \leq t \leq 100ms$
- Las expresiones temporales de las intensidades que circulan por los condensadores para $t \geq 100ms$
- Las expresiones temporales de las tensiones en bornes de los condensadores para $t \geq 100ms$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

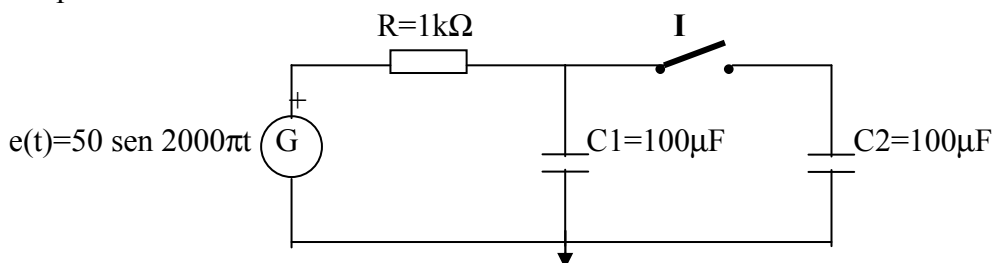


Figura nº 39.

Problema n° 40.

Un circuito eléctrico como el mostrado en la figura, está compuesto por una serie de elementos pasivos. Dos fuentes: una de tensión continua y una de intensidad, se encargan de proporcionar la energía necesaria al sistema. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

El circuito inicialmente trabaja en régimen permanente. En el instante $t=0s$ la fuente de tensión pasa de forma instantánea, de 50V a 12.5V, mientras que la fuente de intensidad, en el mismo intervalo de tiempo, cambia de sentido. Con estas condiciones descritas, calcular:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por el condensador entre $0 \leq t \leq 500ms$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador entre $0 \leq t \leq 500ms$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

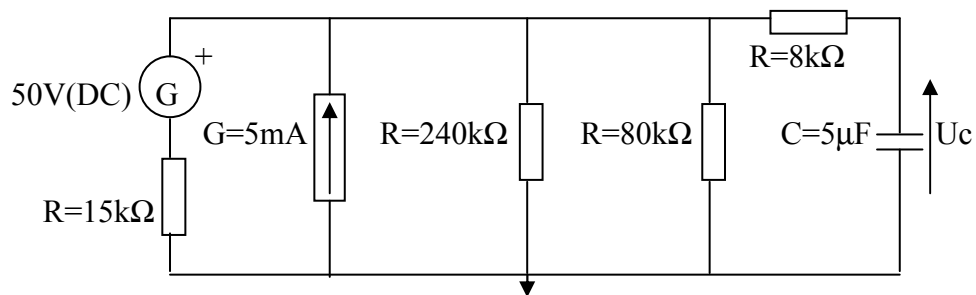


Figura n° 40.

PROBLEMAS PROPUESTOS DE
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA.

Problema n° 41.

La figura representa un circuito eléctrico compuesto por dos fuentes de tensión en continua, colocadas en derivación, que alimentan a una tercera rama formada por un circuito serie RC. Un conmutador de tres posiciones permite conectar cada una de las fuentes por separado al circuito RC, o en la tercera posición, dejar el circuito abierto. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

El condensador está inicialmente descargado. En $t=0s$ el conmutador pasa de la posición “A” a la “B”, pasando al cabo de $8ms$ de la posición “B” a la posición “C”. De este circuito se pide:

- La expresión temporal de la corriente que circula por el condensador entre $0 \leq t \leq 0.008s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador entre $0 \leq t \leq 0.008s$.
- Valor de la tensión en bornes del condensador para $t=0.008s$.
- La expresión temporal de la corriente que circula por el condensador para $t \geq 0.008s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador para $t \geq 0.008s$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

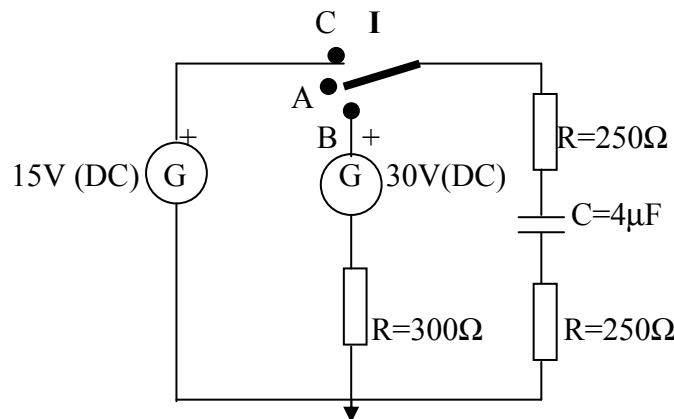


Figura n° 41.

Problema n° 42.

El esquema eléctrico representado en la figura, está formado por una serie de elementos pasivos, condensadores y resistencias, así como de una fuente de intensidad independiente. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

Un interruptor situado en la parte central del circuito es el encargado de dividir a éste en dos subcircuitos cerrados. Si en el instante $t=0s$ se actúa sobre el interruptor, inicialmente cerrado, abriéndolo, hallar:

- Las expresiones temporales de las tensiones en bornes de los condensadores para $t \geq 0s$.

- Las expresiones temporales de las intensidades de los condensadores para $t \geq 0$.
- Las expresiones temporales de las energías correspondientes a los condensadores para $t \geq 0$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

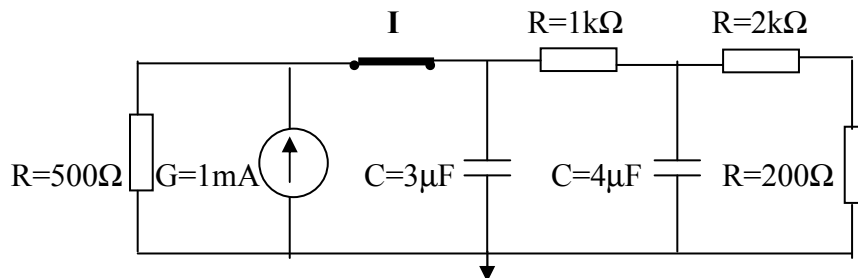


Figura nº 42.

Problema nº 43.

El circuito eléctrico mostrado en la figura consta de una fuente de tensión en continua, unos elementos pasivos y una fuente de intensidad ideal. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema. El circuito inicialmente se encuentra trabajando en régimen permanente.

Un interruptor es el responsable de las maniobras eléctricas del circuito, desconectando, cuando permanece en la posición de abierto, el conjunto formado por las ramas RC. Sí en el instante $t=0$ s se actúa sobre el interruptor, inicialmente cerrado, abriéndolo, hallar:

- Condiciones iniciales del condensador para $t = 0^+$ s.
- Constante de tiempo del circuito.
- La expresión temporal de la intensidad del condensador para $t \geq 0$ s
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador para $t \geq 0$ s
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

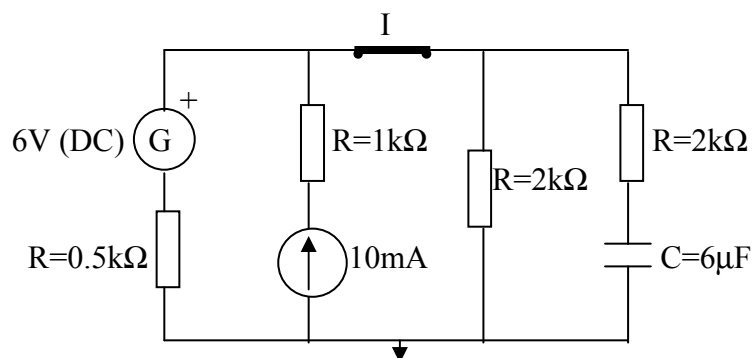


Figura nº 43.

Problema n° 44.

La figura nos muestra un circuito eléctrico formado por la combinación de una bobina y unas resistencias situadas formando un conjunto paralelo de dos ramas. La alimentación del circuito la suministra una fuente de tensión en continua. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

Un interruptor es el encargado de controlar las funciones del circuito. En el instante $t=0s$, y con el interruptor abierto, circula una intensidad por la bobina de $250mA$. Si en $t=4ms$, se actúa sobre el interruptor cerrando el circuito, Hallar:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $0 \leq t \leq 4ms$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina entre $0 \leq t \leq 4ms$.
- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 4ms$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 4ms$.
- La expresión temporal de la energía almacenada en la bobina para $t > 4ms$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

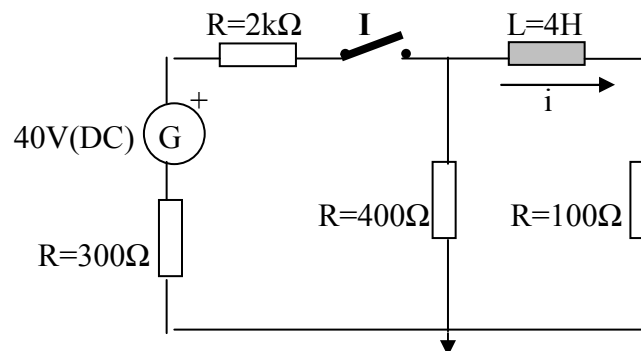


Figura n° 44.

Problema n° 45.

La disposición de los elementos pasivos eléctricos forman un circuito serie RLC. Un interruptor permite incorporar al sistema una fuente de alimentación de tensión en continua, en serie con una resistencia, transformando el circuito inicial serie en un circuito mixto alimentado. Los valores de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

Si inicialmente tanto el condensador como la bobina carecen de carga, y en el instante $t=0s$ se cierra el interruptor. Calcular:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por el condensador para $t \geq 0$.
- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 0$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 0$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador para $t \geq 0$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.

- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

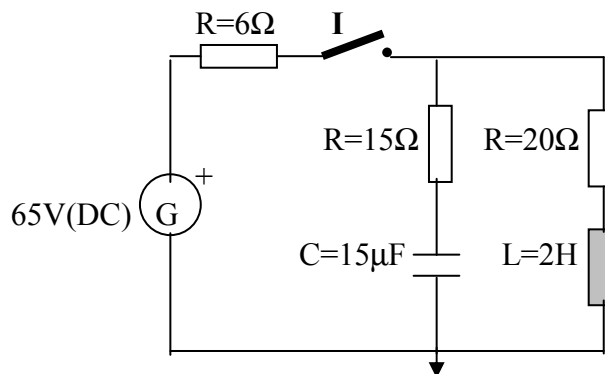


Figura nº 45.

Problema nº 46.

Un sistema eléctrico está formado por unos elementos pasivos (resistencias y una bobina en la rama central), y dos generadores de funciones que son los encargados de proporcionar tensión al sistema. Los valores y disposición de los componentes se detallan en el esquema.

Las gráficas anexas permiten observar la forma de las ondas periódicas que entregan los respectivos generadores (una onda en diente de sierra y una onda cuadrada). Para los tiempos comprendidos entre $0 \leq t \leq 30$ ms, calcular:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $0 \leq t \leq 30$ ms.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina entre $0 \leq t \leq 30$ ms.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.
-

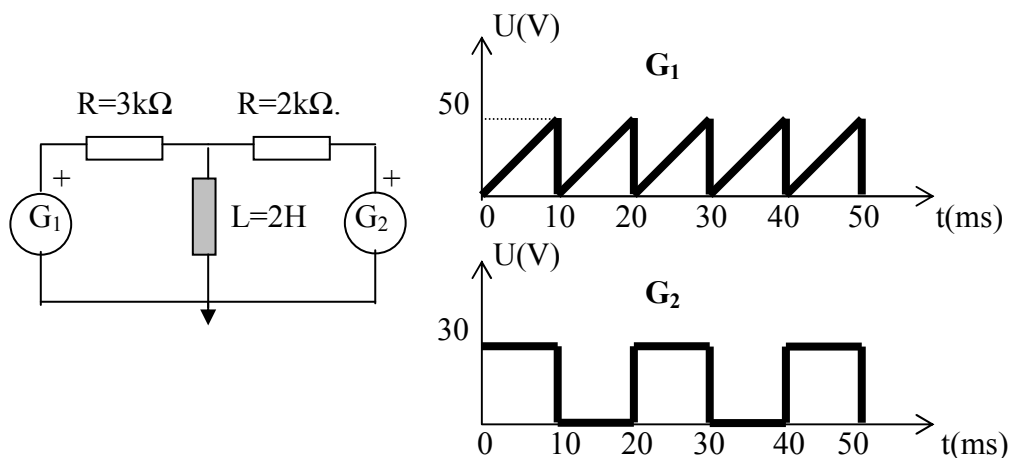


Figura nº 46.

Problema n° 47.

Un circuito eléctrico como el mostrado en la figura, esta compuesto por una serie de elementos pasivos que mediante dos conmutadores se pueden conectar, en diferentes configuraciones, a una fuente de alimentación de tensión en continua. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

El circuito inicialmente trabaja en régimen permanente y con los conmutadores, “ I_1 ” e “ I_2 ”, colocados en las posiciones “A” y “B” respectivamente. Sí en el instante $t=0s$ se cambian simultáneamente los dos conmutadores pasando de las posiciones “A” y “B” a la posición “C”. Calcular:

- Las expresiones temporales de las intensidades que circulan por las bobinas para $t \geq 0s$.
- Las expresiones temporales de las tensiones en bornes de las bobinas para $t \geq 0s$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

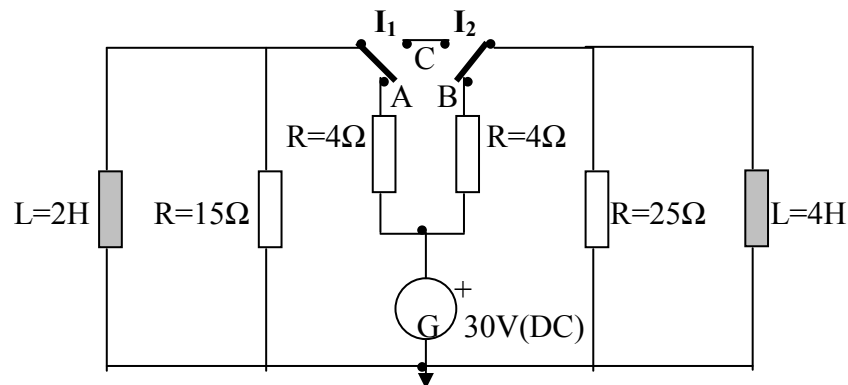


Figura n° 47.

Problema n° 48.

Un circuito eléctrico como el mostrado en la figura, esta compuesto por una serie de elementos pasivos. Dos fuentes, una de tensión continua y una de intensidad independiente, se encargan de proporcionar la energía necesaria al sistema. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

El circuito inicialmente trabaja en régimen permanente. En el instante $t=0s$ la fuente de tensión pasa de forma instantánea, de 80V a 20V, mientras que la fuente de intensidad, en el mismo intervalo de tiempo, cambia de sentido. Con estas condiciones descritas, calcular:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por el condensador entre $0 \leq t \leq 250ms$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador entre $0 \leq t \leq 250ms$.

- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

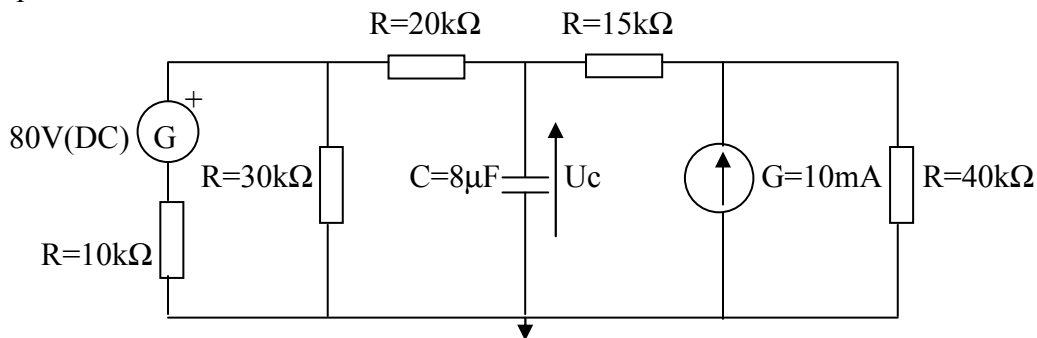


Figura nº 48.

Problema nº 49.

El circuito mostrado en la figura representa un sistema eléctrico formado por un generador de funciones, dos resistencias y un condensador. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

La gráfica anexa permite observar la forma de onda que entrega el generador (a partir de 1ms la tensión vale 0V). Del circuito en cuestión, hallar:

- La expresión temporal de la corriente que circula por las resistencias.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador.
- Las expresiones temporales de las tensiones en bornes de las resistencias.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

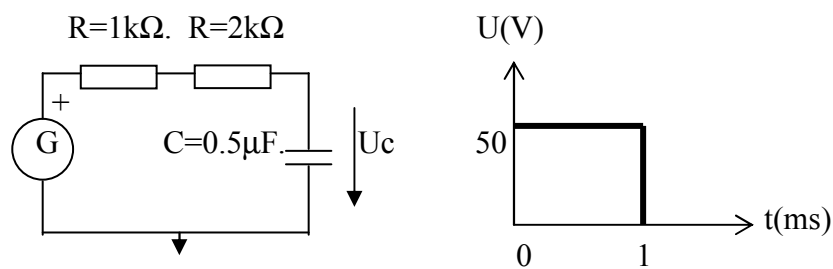


Figura nº 49.

Problema nº 50.

Un circuito eléctrico formado por una bobina y unas resistencias, en disposición mixta, se alimenta mediante una fuente de tensión en continua. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

El circuito dispone de dos interruptores encargados de conectar o desconectar diferentes secciones del circuito. Sí en el instante $t=0s$, se cierra el interruptor “ I_1 ” y posteriormente en $t=6ms$ se cierra “ I_2 ”, Hallar:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $0 \leq t \leq 0.006s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina entre $0 \leq t \leq 0.006s$.
- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 0.006s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 0.006s$.
- La expresión temporal de la energía almacenada en la bobina para $t \geq 0.006s$.
- La expresión temporal de la potencia instantánea en la bobina para $t \geq 0.006s$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

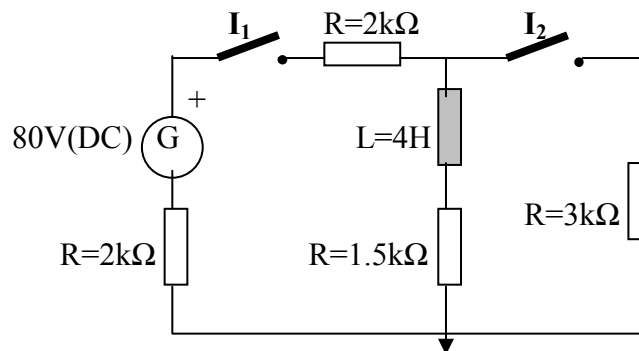


Figura nº 50.

Problema nº 51.

Disponemos de un circuito eléctrico como el mostrado en la figura, formado por una fuente de tensión en continua, dos resistencias y un condensador. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

Un interruptor permite interrumpir el flujo eléctrico, permitiendo al circuito funcionar en régimen transitorio. Sí cerramos el interruptor “ I ” en el instante $t=0s$, y el condensador esta inicialmente descargado, hallar:

- La expresión temporal de la corriente que circula por las resistencias para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador para $t \geq 0s$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

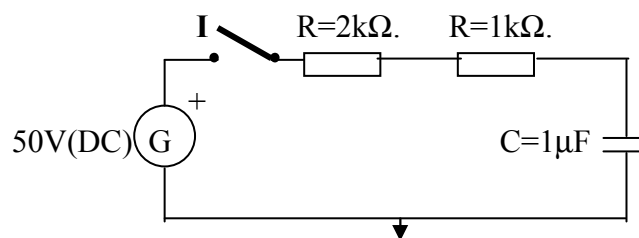


Figura nº 51.

Problema n° 52.

Un sistema eléctrico formado por un generador de funciones periódicas, esta conectado a unos elementos pasivos de la forma mostrada en la figura. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

La gráfica anexa permite observar la forma de onda que entrega el generador (una onda cuadrada). Para un ciclo completo, calcular:

- Las expresiones temporales de las tensiones en bornes de las resistencias.
- Las expresiones temporales de las tensiones en bornes de los condensadores.
- Comprobar que la suma de las tensiones en bornes de las resistencias y condensadores adecuados, coincide con la tensión suministrada por el generador.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

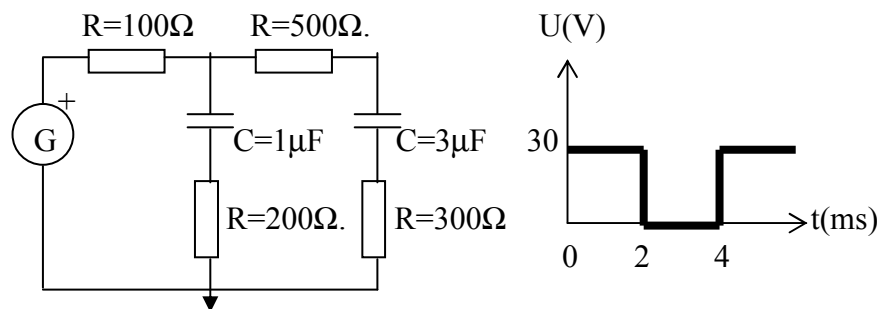


Figura n° 52.

Problema n° 53.

El esquema representado, nos muestra un circuito eléctrico formado por un conjunto de resistencias y una bobina, en disposición serie respecto a una fuente de alimentación de tensión en continua, que es la encargada de suministrar la energía necesaria para el buen funcionamiento del circuito. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

La maniobra del circuito se efectúa desde un interruptor, el cual permite desconectar el circuito del suministro eléctrico. Sí en el instante $t=0\text{s}$ se cierra el interruptor y posteriormente en $t=5\text{ms}$ se vuelve a abrir el mismo, Hallar:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $0 \leq t \leq 5\text{ms}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina entre $0 \leq t \leq 5\text{ms}$.
- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 5\text{ms}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 5\text{ms}$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

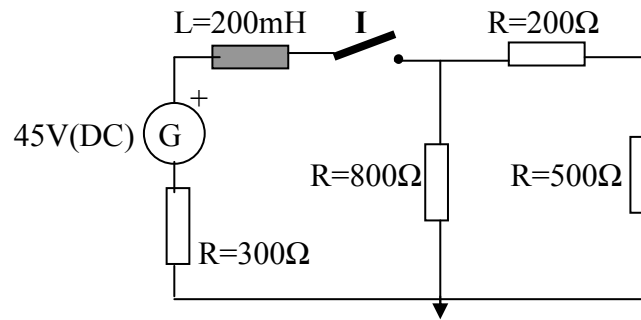


Figura n° 53.

Problema n° 54.

El esquema representado en la figura, nos muestra un circuito eléctrico formado por un conjunto de elementos pasivos (resistencias y bobinas) alimentados por una fuente ideal de intensidad. Un conmutador de dos posiciones permite elegir dos configuraciones distintas para el sistema eléctrico. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

Sí en el instante $t=0s$ el conmutador, que se halla en la posición “A”, se cierra sobre el terminal “B”. Determinar:

- El valor de las intensidades que circulan por las bobinas, para $t=30ms$.
- Las expresiones temporales de las tensiones en bornes de las bobinas para $t \geq 0s$.
- Las expresiones temporales de las intensidades que circulan por las resistencias, para $t \geq 0s$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

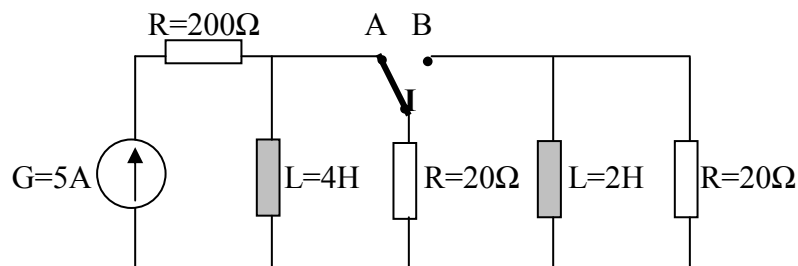


Figura n° 54.

Problema n° 55.

La figura nos muestra un circuito eléctrico formado por un generador de funciones periódicas que está conectado a unos elementos pasivos (resistencias y una bobina) de la forma que muestra la figura. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

La gráfica anexa permite observar la forma de onda periódica que entrega el generador (una onda cuadrada con valores positivos y negativos). Para los tiempos comprendidos entre $0 \leq t \leq 30\text{ms}$, calcular:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $0 \leq t \leq 30\text{ms}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina entre $0 \leq t \leq 30\text{ms}$.
- La expresión temporal de la energía almacenada en la bobina entre $0 \leq t \leq 30\text{ms}$.
- La expresión temporal de la potencia instantánea en la bobina entre $0 \leq t \leq 30\text{ms}$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

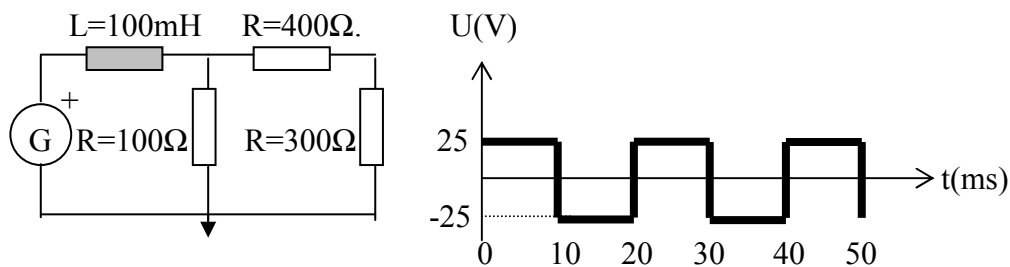


Figura nº 55.

Problema nº 56.

La figura nos muestra unos componentes eléctricos pasivos formando un circuito serie RLC. Estos elementos pasivos pueden funcionar mediante tres configuraciones distintas gracias al concurso de un conmutador de tres posiciones que permite conectar la fuente de tensión en continua, el generador de funciones o bien interrumpir el suministro eléctrico. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

En el instante $t=0\text{s}$, el conmutador que inicialmente se halla en la posición “C”, se pasa a la posición “B”, y posteriormente en $t=40\text{ms}$ se cambia de la posición “B” a la posición “D”. Con las condiciones expuestas, se pide:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por el condensador entre $0 \leq t \leq 40\text{ms}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes en el condensador entre $0 \leq t \leq 40\text{ms}$.
- La expresión temporal de la intensidad que circula por el condensador para $t \geq 40\text{ms}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes en el condensador para $t \geq 40\text{ms}$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

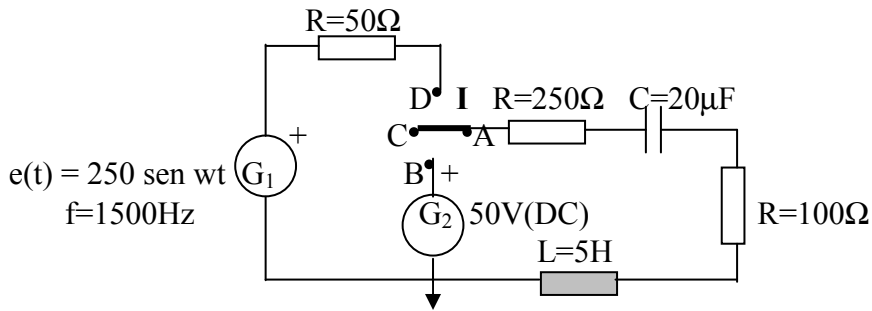


Figura n° 56.

Problema n° 57.

La figura muestra un circuito eléctrico formado por dos bobinas y unas resistencias situadas formando dos ramas paralelas entre sí. La alimentación del circuito corre a cargo de una fuente de tensión en continua. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

El circuito lleva incorporado un interruptor encargado de conectar o desconectar la fuente de alimentación del resto del circuito. Si en el instante $t=0s$ se actúa sobre el interruptor, cerrando el circuito, se pide:

- Las expresiones temporales de las intensidades que circula por las bobinas para $t \geq 0$.
- Las expresiones temporales de las tensiones en bornes de las bobinas para $t \geq 0$.
- Las expresiones temporales de las energías almacenadas en las bobinas para $t \geq 0$.
- Las expresiones temporales de las potencias instantáneas en las bobinas para $t \geq 0$.
- Determinar la constante de tiempo del circuito.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

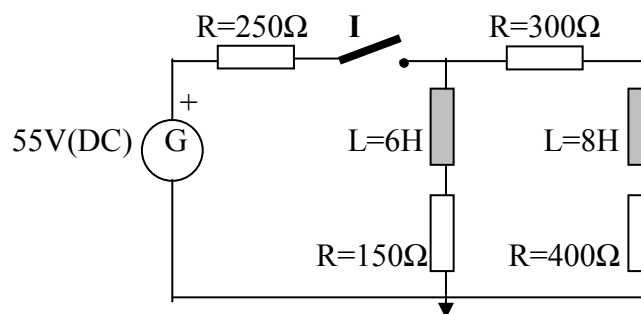


Figura n° 57.

Problema n° 58.

Un generador periódico alterno alimenta a un circuito eléctrico serie RLC. El circuito dispone de un interruptor que permite obtener un diseño diferente al del sistema inicial. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

Inicialmente el circuito funciona con el interruptor abierto. Si transcurrido un tiempo de $t=100\text{ms}$ se cierra el interruptor, calcular las siguientes expresiones:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 100\text{ms}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes en la bobina para $t \geq 100\text{ms}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes en el condensador para $t \geq 100\text{ms}$.
- Las expresiones temporales de las tensiones en bornes de las resistencias para $t \geq 100\text{ms}$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

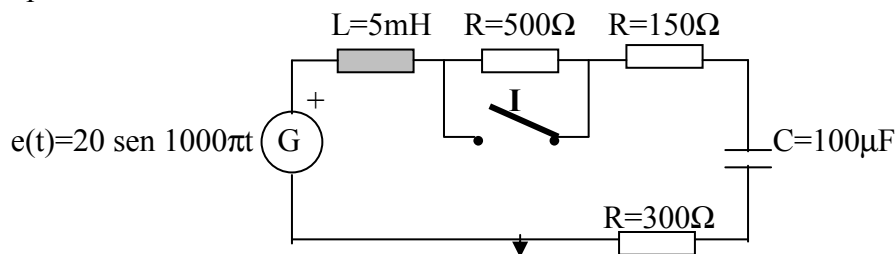


Figura n° 58.

Problema n° 59.

Disponemos de un circuito eléctrico como el mostrado en la figura, formado por una fuente de alimentación de tensión en continua, una resistencia y unos condensadores colocados en serie. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

Un interruptor permite conectar o dejar sin fluido eléctrico al circuito. Si cerramos el interruptor "I" en el instante $t=0\text{s}$, y todos los condensadores esta inicialmente descargados, hallar:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la resistencia para $t \geq 0\text{s}$.
- La expresión temporal de la intensidad que circula por todos los condensadores para $t \geq 0\text{s}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la resistencia para $t \geq 0\text{s}$.
- Las expresiones temporales de las tensiones en bornes de todos los condensadores para $t \geq 0\text{s}$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

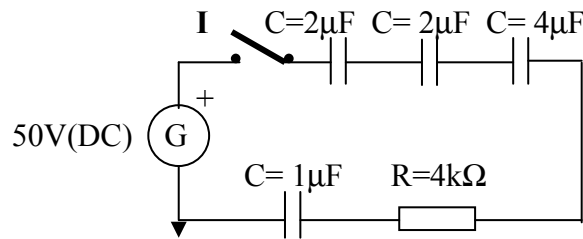


Figura n° 59.

Problema n° 60.

Un sistema eléctrico formado por un generador de funciones periódicas, esta conectado a unos elementos pasivos de la forma que muestra la figura. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

La gráfica anexa permite observar la forma de onda periódica que entrega el generador (una onda cuadrada). Para los tiempos comprendidos entre $0 \leq t \leq 30\text{ms}$, calcular:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $0 \leq t \leq 30\text{ms}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina entre $0 \leq t \leq 30\text{ms}$.
- La expresión temporal de la energía almacenada en la bobina entre $0 \leq t \leq 30\text{ms}$.
- La expresión temporal de la potencia instantánea en la bobina entre $0 \leq t \leq 30\text{ms}$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

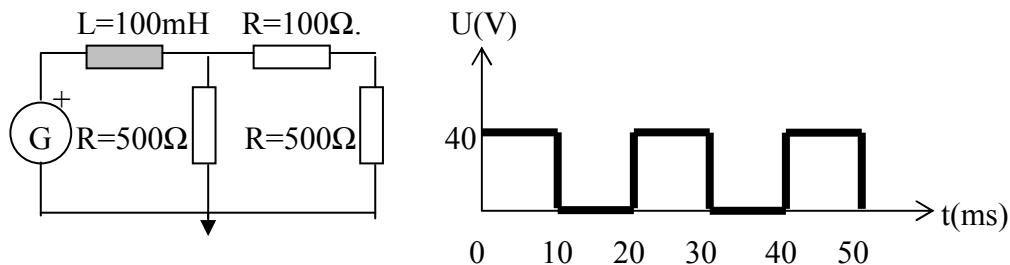


Figura n° 60.

Problema n° 61.

Un circuito eléctrico esta formado por unos elementos pasivos conectados a dos generadores alternos que entregan diferentes funciones periódicas. Dos interruptores permiten obtener diferentes configuraciones del sistema inicial, dependiendo del accionamiento de los mismos. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

Inicialmente los dos interruptores están abiertos y el condensador carece de potencial en sus bornes. Sí en el instante $t=0\text{s}$ se cierra el interruptor “I₁”, y posteriormente en el

instante $t=60\text{ms}$, se cierra también el interruptor “ I_2 ”, calcular las siguientes expresiones:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por el condensador entre $0 \leq t \leq 60\text{ms}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes en el condensador entre $0 \leq t \leq 60\text{ms}$
- La expresión temporal de la intensidad que circula por el condensador para $t \geq 60\text{ms}$
- La expresión temporal de la tensión en bornes en el condensador para $t \geq 60\text{ms}$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

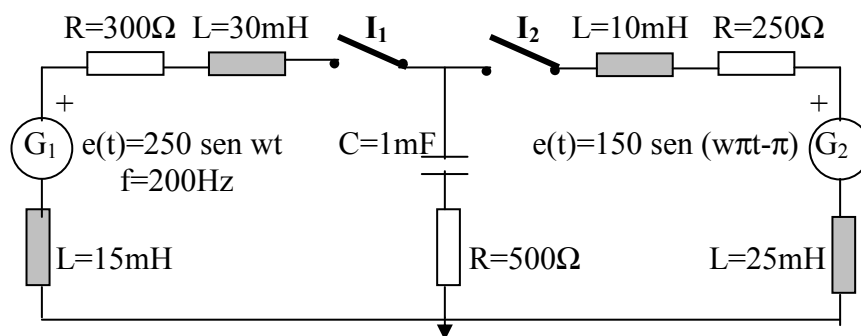


Figura nº 61.

Problema nº 62.

El esquema representado en la figura, nos muestra un circuito eléctrico formado por un conjunto de elementos pasivos (resistencias y bobina) alimentados por una fuente ideal de intensidad. Un conmutador de dos posiciones permite elegir dos configuraciones distintas para el sistema eléctrico. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

Sí el circuito se encuentra funcionando en régimen permanente y en el instante $t=0\text{s}$ el conmutador, que se halla en la posición “A”, se cierra sobre el terminal “B”. Determinar:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 0\text{s}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 0\text{s}$.
- La expresión temporal de la energía almacenada en la bobina para $t \geq 0\text{s}$.
- La expresión temporal de la potencia instantánea en la bobina para $t \geq 0\text{s}$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

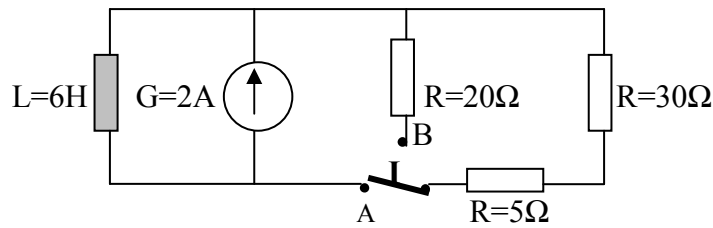


Figura nº 62.

Problema nº 63.

El circuito eléctrico mostrado en la figura esta formado por una fuente de alimentación de tensión en continua que proporciona la energía necesaria para que unos condensadores y un conjunto de resistencias funcionen de forma correcta. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

Un interruptor permite conectar o desconectar el circuito de la fuente de alimentación. Si cerramos el interruptor “I” en el instante $t=0s$, y todos los condensadores esta inicialmente descargados, hallar:

- Las expresiones temporales de las intensidades que circulan por todas las resistencias para $t \geq 0s$.
- Las expresiones temporales de las tensiones en bornes de todas las resistencias para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la intensidad que circula por el condensador de $2\mu F$ para $t \geq 0s$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

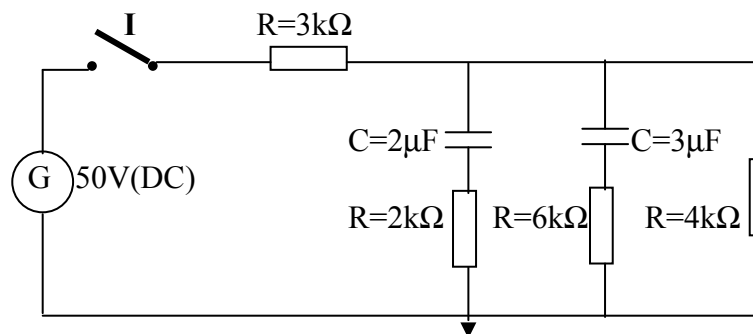


Figura nº 63.

Problema nº 64.

Un circuito eléctrico como el mostrado en la figura, esta compuesto por bobinas y resistencias. Un generador y una fuente de alimentación son los encargados de suministrar la energía al circuito, de forma alterna (generador de ondas de tensión

periódicas senoidales), o continua (fuente de alimentación). Un conmutador (I), permite obtener diferentes configuraciones del sistema inicial. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

El conmutador inicialmente ocupa la posición “A”. En $t=0s$, se conmuta a la posición “B”, y finalmente al cabo de $t=80ms$, se vuelve a accionar el conmutador pasándose ahora a la posición “C”. Con estas condiciones Calcular:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $0 \leq t \leq 80ms$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina entre $0 \leq t \leq 80ms$.
- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 80ms$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 80ms$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

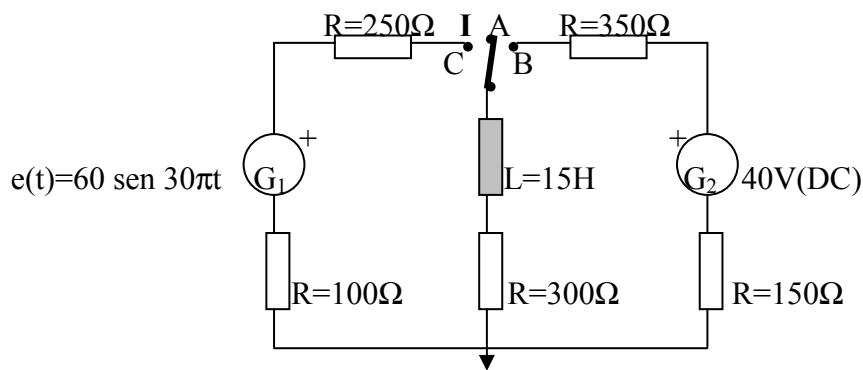


Figura nº 64.

Problema nº 65.

Un circuito eléctrico como el mostrado en la figura, esta compuesto por una serie de elementos pasivos que mediante dos conmutadores se pueden conectar, en diferentes configuraciones, a una fuente de alimentación de tensión en continua y a una fuente de intensidad independiente. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

El circuito inicialmente trabaja en régimen permanente y con los conmutadores “I₁” en la posición “B”, e “I₂” cerrado. Sí en el instante $t=0s$ se cambian simultáneamente los dos conmutadores pasando a las posiciones “A” (I₁) y abierto (I₂). Calcular:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la resistencia de $60k\Omega$ para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la energía almacenada en la bobina para $t \geq 0s$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.

- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

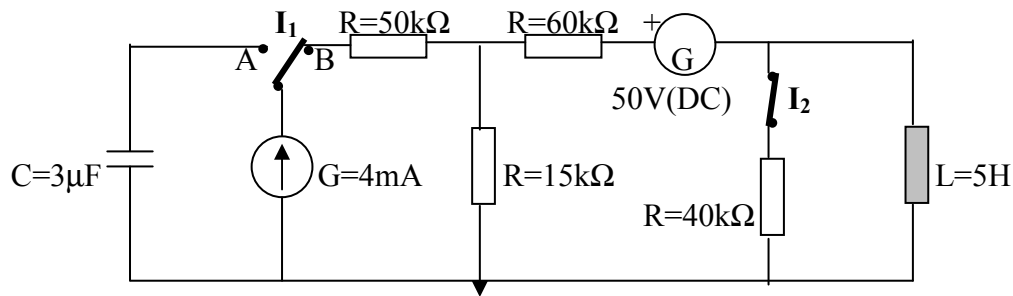


Figura nº 65.

Problema nº 66.

Se dispone de un circuito eléctrico formado por un conjunto de elementos pasivos: condensadores y resistencias, conectados a una fuente de tensión en continua que se encarga de suministrar la energía al sistema. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

El circuito incorpora un conmutador de tres posiciones: en una de estas posiciones deja al sistema sin energía; las dos restantes, permiten conectar la fuente de alimentación, o bien cerrar el circuito sobre la rama RC. Los condensadores están inicialmente descargados. Si en el instante $t=0s$ se conmuta el conmutador de la posición “A” a la posición “B” y al cabo de $t=4\tau$ se pasa de la “B” a la “C”, hallar:

- La expresión temporal de las tensiones en bornes de los elementos pasivos entre $0 \leq t \leq 4\tau$
- La expresión temporal de las tensiones en bornes de los elementos pasivos para $t \geq 4\tau$
- Las expresiones temporales de las intensidades que circulan por los elementos pasivos del circuito entre $0 \leq t \leq 4\tau$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

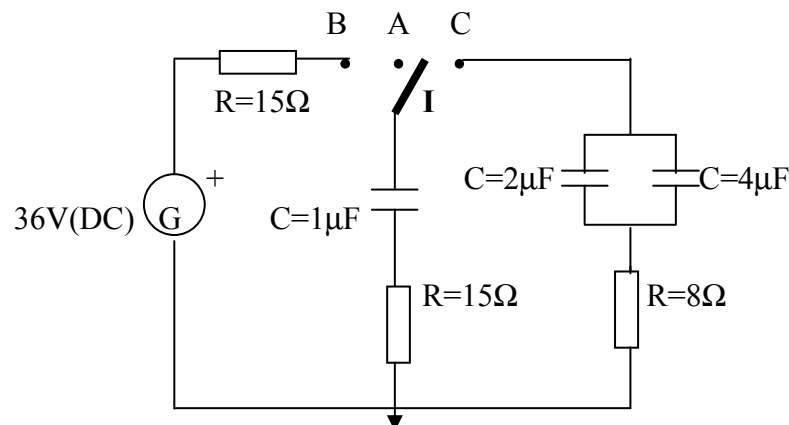


Figura nº 66.

Problema n° 67.

La figura muestra un sistema eléctrico formado por un generador de funciones periódicas que suministra energía a dos resistencias y un condensador conectados en serie con el mismo. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

La gráfica anexa permite observar la forma de onda que entrega el generador (una onda cuadrada). Para cuatro ciclos completos, calcular:

- Las expresiones temporales de las tensiones en bornes de las resistencias.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador.
- Comprobar que la suma de las tensiones en bornes de las resistencias más la del condensador coincide con la tensión proporcionada por el generador.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

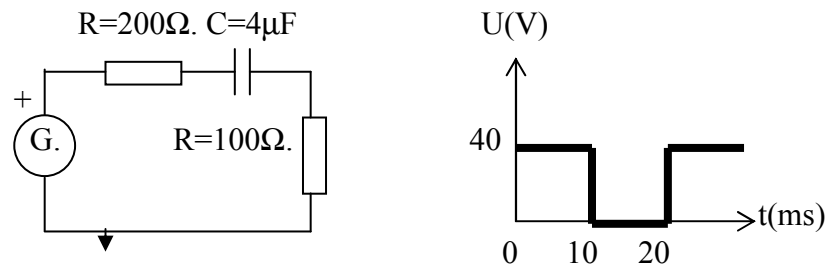


Figura n° 67.

Problema n° 68.

La figura nos muestra un circuito eléctrico formado por la combinación de una bobina y unas resistencias. La bobina y tres de las resistencias forman un circuito serie con una fuente de alimentación de tensión en continua. El accionamiento de dos interruptores permite obtener diversas configuraciones respecto del sistema inicial. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

Inicialmente los dos interruptores permanecen abiertos. Si en el instante $t=0s$ cerramos el interruptor “ I_1 ”, y en $t=0.1s$ se cierra el interruptor “ I_2 ”, Determinar:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $0 \leq t \leq 0.1s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina entre $0 \leq t \leq 0.1s$.
- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 0.1s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 0.1s$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

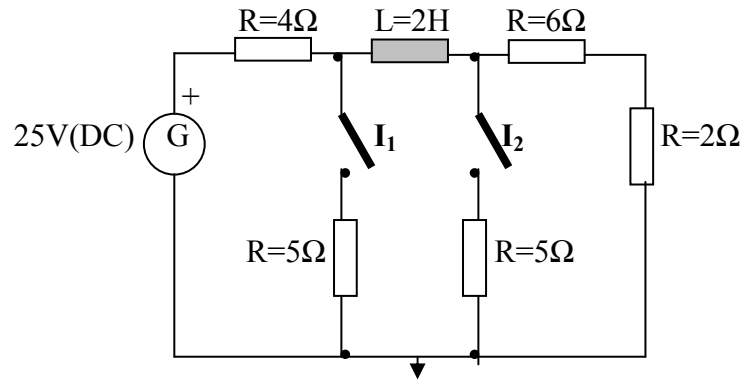


Figura nº 68.

Problema nº 69.

La figura nos muestra un circuito eléctrico formado por condensadores y resistencias. La alimentación la proporciona un generador de tensión de funciones alternas periódicas, conectado en serie al circuito inicial RC. Un interruptor permite la incorporación de un segundo condensador, al circuito inicial RC serie. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

Inicialmente el interruptor está abierto. Si en el instante $t=40\text{ms}$ se cierra el interruptor "I", calcular las siguientes expresiones:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por el condensador entre $0 \leq t \leq 40\text{ms}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes en el condensador entre $0 \leq t \leq 40\text{ms}$
- La expresión temporal de la intensidad que circula por el condensador para $t \geq 40\text{ms}$
- La expresión temporal de la tensión en bornes en el condensador para $t \geq 40\text{ms}$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

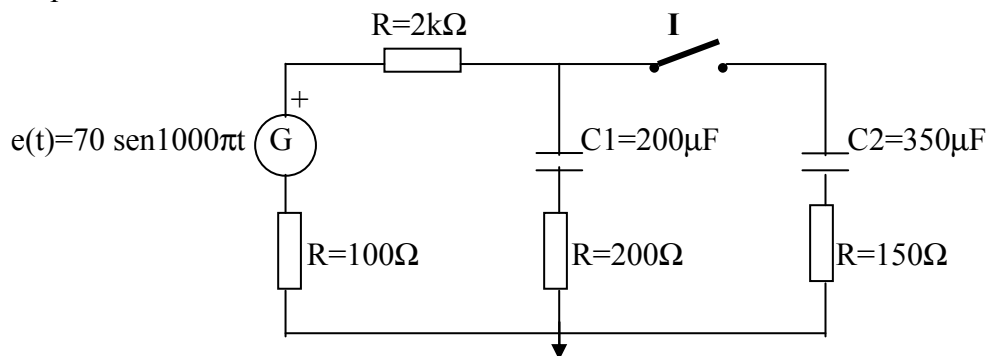


Figura nº 69.

Problema n° 70.

El circuito representado en la figura muestra dos fuentes de alimentación de tensión en continua, alimentando a dos subcircuitos formados por resistencias y una bobina central que es común a los dos. Los valores de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

El circuito se comanda a través de dos interruptores encargados de conectar o desconectar respectivamente a sus correspondientes fuentes de alimentación del resto del circuito. Sí en el instante $t=0s$ se actúa sobre el interruptor “ I_1 ” cerrándolo, y posteriormente, en $t=20ms$, se cierra también el interruptor “ I_2 ” (inicialmente los dos interruptores estaban abiertos), Hallar:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $0 \leq t \leq 20ms$.
- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 20ms$.
- La expresión temporal de la potencia instantánea en la bobina entre $0 \leq t \leq 20ms$.
- La expresión temporal de la potencia instantánea en la bobina para $t \geq 20ms$.
- Determinar la constante de tiempo de cada circuito.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

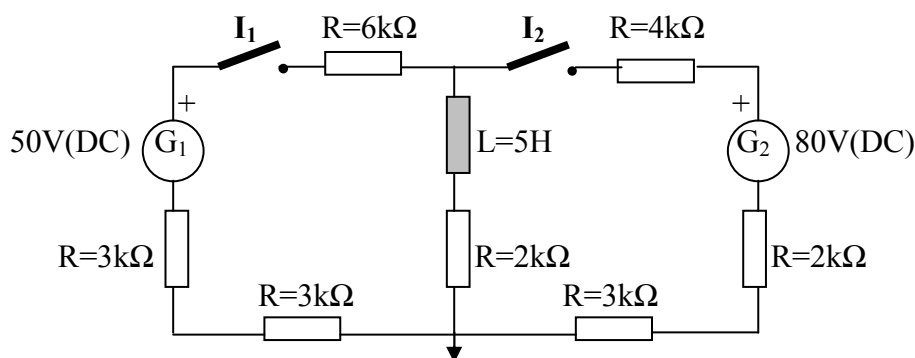


Figura n° 70.

Problema n° 71.

La figura nos muestra un circuito eléctrico formado por una fuente de alimentación de tensión en continua que abastece a un circuito serie resistivo. La existencia de un interruptor permite acoplar una rama RL en paralelo con el circuito anterior. Los valores y disposición de los componentes eléctricos, se detallan en el esquema.

Sí en el instante $t=0s$ se cierra el interruptor, quedando el circuito formado por las dos ramas en paralelo, calcular:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 0s$.

- La expresión temporal de la energía almacenada en la bobina para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la potencia instantánea de la bobina para $t \geq 0s$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

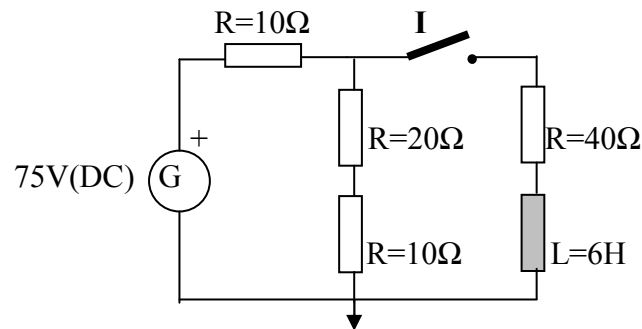


Figura nº 71.

Problema nº 72.

El circuito de la figura representa un sistema eléctrico formado por una fuente de tensión en continua que suministra energía a los componentes pasivos del sistema: dos resistencias y un condensador en disposición serie. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

Un interruptor es el encargado de controlar el sistema, abriendo o cerrando el circuito. Si cerramos el interruptor “I” en el instante $t=0s$, y el condensador está inicialmente cargado con una tensión inicial de 20V, hallar:

- La expresión temporal de la corriente que circula por las resistencias para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la corriente que circula por el condensador para $t \geq 0s$.
- Las expresiones temporales de las tensiones en bornes de las resistencias para $t \geq 0s$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador para $t \geq 0s$.
- El tiempo transcurrido para que la tensión en bornes del condensador alcance el valor de 20V.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

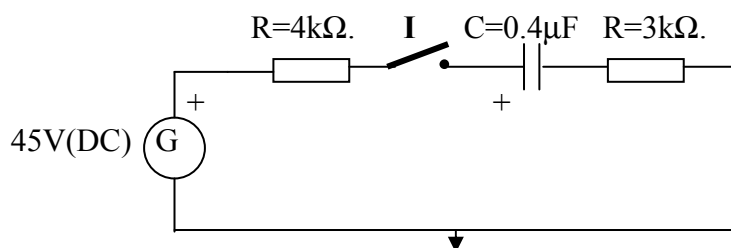


Figura nº 72.

Problema n° 73.

La figura muestra un circuito eléctrico formado por una bobina y tres resistencias situadas dos, en la rama paralela del circuito y una en serie con la fuente de alimentación de tensión en continua, que es la encargada de suministrar la energía al circuito. Los valores de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

El circuito se comanda a través de un interruptor encargado de conectar o desconectar la fuente de alimentación del resto del circuito. Si en el instante $t=0s$ se actúa sobre el interruptor, que estaba abierto, cerrando el circuito, se pide:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina $t \geq 0$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 0$.
- Determinar la constante de tiempo del circuito.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

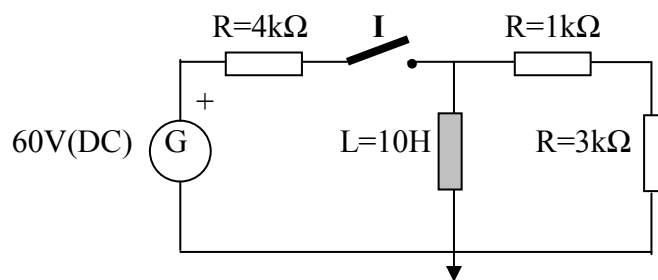


Figura n° 73.

Problema n° 74.

El circuito eléctrico mostrado en la figura consta de una resistencia y una bobina conectadas en serie a un generador de funciones periódicas, que se encarga de proporcionar energía al sistema. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

La gráfica anexa permite observar la forma de la onda periódica que entrega el generador (una onda en diente de sierra). Para los tiempos comprendidos entre $0 \leq t \leq 40ms$, calcular:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $0 \leq t \leq 40ms$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina entre $0 \leq t \leq 40ms$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

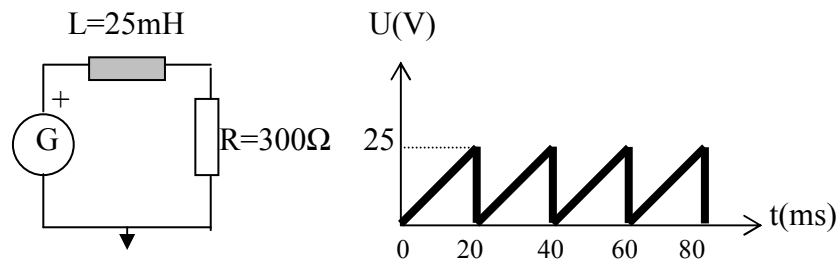


Figura nº 74.

Problema nº 75.

El circuito eléctrico mostrado en la figura, representa una fuente de tensión en continua conectada a un sistema paralelo formado por dos ramas: en una de ellas se hallan dos resistencias, mientras que en la otra se encuentra un circuito serie que contiene un condensador y una resistencia. Los valores de los componentes se detallan en el esquema. Se dispone de un conmutador que permite seleccionar la rama que se conectara en serie con la fuente de alimentación.

El condensador inicialmente dispone de un potencial de 15V. En $t=0\text{s}$ el conmutador pasa de la posición “A” a la “B”, pasando al cabo de 15ms a la posición “C”. De este circuito se pide:

- La expresión temporal de la corriente que circula por el condensador entre $0 \leq t \leq 0.015\text{s}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador entre $0 \leq t \leq 0.015\text{s}$.
- Valor de la tensión en bornes del condensador en $t=0\text{s}$.
- La expresión temporal de la corriente que circula por el condensador para $t \geq 0.015\text{s}$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador para $t \geq 0.015\text{s}$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

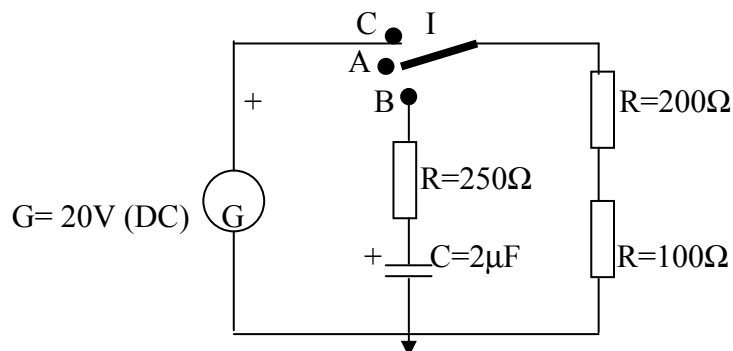


Figura nº 75.

Problema n° 76.

La figura muestra un circuito eléctrico formado por un condensador y unas resistencias situadas en las ramas paralelas al mismo. Una fuente dependiente de tensión está conectada en serie con una de las dos resistencias. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

El circuito se comanda a través de un interruptor encargado de conectar o desconectar al condensador del resto del circuito. Si inicialmente los bornes del condensador se hallan a una tensión de 25V y en el instante $t=0s$ se actúa sobre el interruptor cerrando el circuito, se pide:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por el condensador para $t \geq 0$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador para $t \geq 0$.
- La expresión temporal de la potencia del condensador para $t \geq 0$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

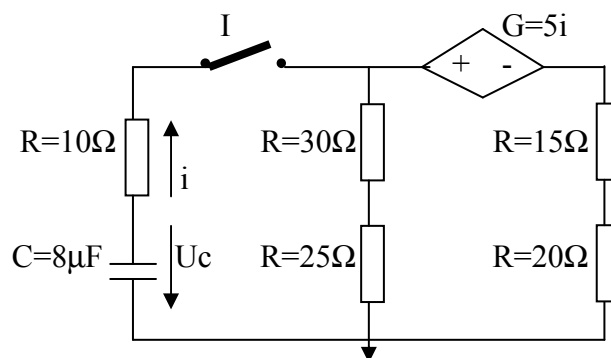


Figura n° 76.

Problema n° 77.

Un circuito eléctrico está formado por una bobina, un condensador y una resistencia conectados en serie. Un interruptor, colocado también en serie con estos elementos, permite la maniobra del sistema. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

Si inicialmente la tensión en bornes del condensador es de 50V, y en el instante $t=0s$ se cierra el interruptor. Calcular:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la resistencia para $t \geq 0$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 0$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes del condensador para $t \geq 0$.
- La expresión temporal de la energía almacenada en la bobina para $t \geq 0$.
- La expresión temporal de la potencia instantánea en el condensador $t \geq 0$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.

- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

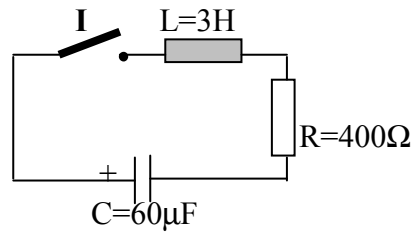


Figura n° 77.

Problema n° 78.

El esquema representado, nos muestra un circuito eléctrico formado por una resistencia conectada en serie a una bobina. Dos fuentes de tensión en continua suministran fluido eléctrico al sistema mediante el concurso de un conmutador de tres posiciones, una es de reposo, dejando al circuito sin energía, mientras que las otras dos sirven para seleccionar qué fuente será la que suministre la energía al sistema. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

Sí en el instante $t=0s$ el interruptor, que se halla en la posición “A”, se cierra sobre el terminal “B”, y al cabo de $t=5ms$, se cambia a la posición “C”, determinar:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina entre $0 \leq t \leq 5ms$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina entre $0 \leq t \leq 5ms$.
- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 5ms$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 5ms$.
- La expresión temporal de la energía almacenada en la bobina para $t \geq 5ms$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

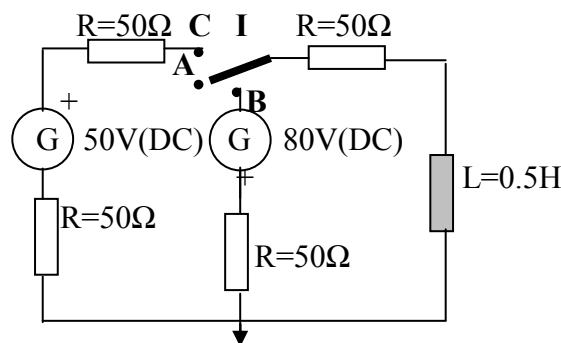


Figura n° 78.

Problema n° 79.

El circuito eléctrico mostrado en la figura esta formado por unas resistencias y unos condensadores colocados de la forma indicada. Los valores de los componentes se detallan en el esquema.

El circuito incorpora un interruptor que permite conectar o desconectar el sistema. Inicialmente el interruptor “I” esta abierto y la tensión inicial en el condensador de $10\mu\text{F}$ es de 30V . Si cerramos el interruptor en el instante $t=0\text{s}$, hallar:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por las resistencias para $t \geq 0\text{s}$.
- Las expresiones temporales de las intensidades que circulan por todos los condensadores para $t \geq 0\text{s}$.
- Las expresiones temporales de las tensiones en bornes de las resistencias para $t \geq 0\text{s}$.
- Las expresiones temporales de las tensiones en bornes de todos los condensadores para $t \geq 0\text{s}$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

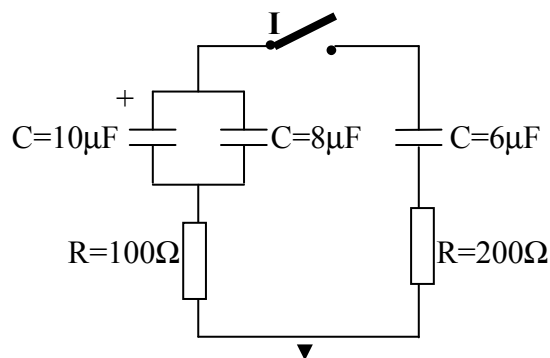


Figura n° 79.

Problema n° 80.

Un circuito eléctrico esta formado por una bobina, que acompaña a dos condensadores y unas resistencias. Un interruptor, colocado en serie con estos elementos, permite la maniobra del sistema. Los valores y disposición de los componentes eléctricos se detallan en el esquema.

El circuito inicialmente trabaja en régimen permanente con el interruptor “I”, abierto. Si en el instante $t=0\text{s}$ se cierra el interruptor, calcular las siguientes expresiones:

- La expresión temporal de la intensidad que circula por la bobina para $t \geq 0$.
- La expresión temporal de la tensión en bornes de la bobina para $t \geq 0$.
- Realizar las representaciones gráficas de las expresiones temporales anteriores.
- Simular con PSpice los parámetros hallados y compárense con las gráficas obtenidas por cálculo.

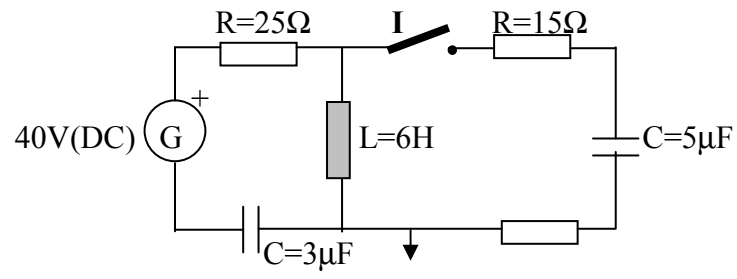


Figura n° 80.

ANEXOS.

ANEXO I.

SOLUCIONES DE LOS PROBLEMAS (del 1^{er} al 40°).

SOLUCIONES DE LOS PROBLEMAS: 1^{er} al 40°.

En este anexo se indican las soluciones de los 40 primeros problemas propuestos en el libro. Están ordenados numéricamente y por apartados, siguiendo el mismo orden que se estableció en los correspondientes enunciados.

Problema n° 1.

- $i_R = 0.005 e^{-2000t}$ A.
- $u_c = 25 (1 - e^{-2000t})$ V.

Problema n° 2.

- $i_R = 0.003 e^{-2000t}$ A.
- $i_c = 0.003 e^{-2000t}$ A.
- $u_R = 15 e^{-2000t}$ V.
- $u_c = 25 - 15 e^{-2000t}$ V.
- $t_0 = 202.732 \mu\text{s}$.

Problema n° 3.

- $i_R = 0.025 e^{-5000t} - 0.025 (t - 0.001) e^{(-5000t + 5)}$ A.
- $u_c = 50 - 50 e^{-5000t} + 50 (t - 0.001) e^{(-5000t + 5)} - 50 (t - 0.001)$ V.
- $u_R = 50 e^{-5000t} - 50 (t - 0.001) e^{(-5000t + 5)}$ V.

Problema n° 4.

- $i_c = -0.05 e^{-5000t}$ A.
- $u_c = 10 e^{-5000t}$ V.
- $u_c = 10$ V.
- $i_c = -0.1 e^{-10000t'}$ A. con $t' = (t - 0.01)$ s.
- $u_c = 10 - 10 e^{-10000t'}$ V.

Problema n° 5.

- $i_c = 0.048 e^{-1000t}$ A.
- $u_c = 24 (1 - e^{-1000t})$ V.
- $u_c = 23.56$ V.
- $i_c = -0.03512 e^{-1000t'}$ A. con $t' = (t - 0.004)$ s.
- $u_c = 6 + 17.56 e^{-1000t'}$ V.

Problema n° 6.

- $i_R = 0.015 e^{-1077.27t}$ A.
- $i_{c1\mu\text{F}} = i_{c2\mu\text{F}} = i_{c5\mu\text{F}} = 0.015 e^{-1077.27t}$ A.
- $i_{c2\mu\text{F}} = 0.0136 e^{-1077.27t}$ A.
- $i_{c0.2\mu\text{F}} = 0.00136 e^{-1077.27t}$ A.
- $u_R = 30 e^{-1077.27t}$ V.

- $u_{c2\mu F} = u_{c0.2\mu F} = 6.329 (1 - e^{-1077.27 t})$ V.
- $u_{c1\mu F} = 13.924 (1 - e^{-1077.27 t})$ V.
- $u_{c2\mu F} = 6.962 (1 - e^{-1077.27 t})$ V.
- $u_{c5\mu F} = 2.785 (1 - e^{-1077.27 t})$ V.

Problema n° 7.

- $i_{R100\Omega} = 0.009677 + 0.00929 e^{-581.20 t} + 0.2810 e^{-26668.8 t}$ A.
- $i_{R1k\Omega} = 0.009677 + 0.0131 e^{-581.20 t} - 0.0227 e^{-26668.8 t}$ A.
- $i_{R2k\Omega} = 0.009677 - 0.00701 e^{-581.20 t} - 0.00266 e^{-26668.8 t}$ A.
- $i_{c0.5\mu F} = -0.00381 e^{-581.20 t} - 0.3038 e^{-26668.8 t}$ A.
- $u_{R100\Omega} = 0.9677 + 0.9297 e^{-581.20 t} + 28.102 e^{-26668.8 t}$ V.
- $u_{R1k\Omega} = 9.677 + 13.1064 e^{-581.20 t} - 22.783 e^{-26668.8 t}$ V.
- $u_{R2k\Omega} = 19.354 - 14.036 e^{-581.20 t} - 5.3186 e^{-26668.8 t}$ V.

Problema n° 8.

- $u_{R500\Omega} = 20 [e^{-1000 t} - (t-0.005) e^{-1000 t+5} + (t-0.01) e^{-1000 t+10} - (t-0.015) e^{-1000 t+15} + (t-0.02) e^{-1000 t+20} - (t-0.025) e^{-1000 t+25} + (t-0.03) e^{-1000 t+30} - (t-0.035) e^{-1000 t+35} + (t-0.04) e^{-1000 t+40}]$ V.
- $U_{c2\mu F} = 20 [1 - e^{-1000 t} - (t-0.005) + (t-0.005) e^{-1000 t+5} + (t-0.01) - (t-0.01) e^{-1000 t+10} - (t-0.015) + (t-0.015) e^{-1000 t+15} + (t-0.02) - (t-0.02) e^{-1000 t+20} - (t-0.025) + (t-0.025) e^{-1000 t+25} + (t-0.03) - (t-0.03) e^{-1000 t+30} - (t-0.035) + (t-0.035) e^{-1000 t+35} + (t-0.04) - (t-0.04) e^{-1000 t+40}]$ V.
- La suma de la tensión en bornes de la resistencia más la tensión en bornes del condensador coinciden con la del generador de alimentación.

Problema n° 9.

- $e_g = 10 \cdot 1(t) - 10 \cdot 1(t-0.001) + 10 \cdot 1(t-0.002) - 10 \cdot 1(t-0.003) + 10 \cdot 1(t-0.004) - 10 \cdot 1(t-0.005) + 10 \cdot 1(t-0.006) - 10 \cdot 1(t-0.007) + 10 \cdot 1(t-0.008)$ V.
- $u_{R500\Omega} = -3.48 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot (t-0.001) e^{23613(t-106.72)} - 6.51 e^{-23745.31(t+106.85)} (t-0.001) e^{17677(t-100.78)} + 3.48 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot (t-0.004) e^{23613(t-106.72)} + 6.51 e^{-23745.31(t+106.85)} (t-0.004) e^{17677(t-82.58)} - 3.48 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1 \cdot (t-0.005) e^{23613(t-102.20)} - 6.51 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1 \cdot (t-0.005) e^{17677(t-76.51)} + 3.48 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1 \cdot (t-0.006) e^{23613(t-106.06)} + 6.51 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1 \cdot (t-0.006) e^{-17677(t-70.44)} - 3.48 \cdot 1 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1 \cdot (t-0.001) e^{23613(t-105.93)} - 6.51 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1 \cdot (t-0.007) e^{17677(t-64.38)} - 3.48 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1 \cdot (t-0.008) e^{23613(t-105.79)} + 6.51 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1 \cdot (t-0.008) e^{17677(t-58.31)} - 3.48 \cdot 1 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1 \cdot (t-0.002) e^{23613(t-106.45)} - 6.51 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1 \cdot (t-0.003) e^{17677(t-88.64)} - 3.48 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1 \cdot (t-0.001) e^{23613(t-106.85)} - 6.51 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1 \cdot (t-0.001) e^{17677(t-106.85)}$ V.
- $i_{C0.5\mu F} = 0.00023 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1(t-0.004) e^{23163.48(t-106.32)} - 0.00023 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1(t-0.003) e^{23163.48(t-46)} - 0.198 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1(t-0.003) e^{17677.15(t-88.65)} + 0.198 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1(t-0.008) e^{17677.15(t-58.30)} + 0.00023 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1(t-0.006) e^{23163.48(t-106.06)} + 0.198 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1(t-0.006) e^{17677.15(t-70.44)} - 0.198 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1(t-0.007) e^{17677.15(t-64.38)} - 0.00023 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1(t-0.001) e^{23163.48(t-106.32)} - 0.198 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1(t-0.001) e^{17677.15(t-100.78)} + 0.00023 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1(t-0.002) e^{23163.48(t-106.59)} + 0.198 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1(t-0.002) e^{17677.15(t-94.72)} - 0.00023 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1(t-0.007) e^{23163.48(t-105.93)} - 0.00023 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1(t-0.005) e^{23163.48(t-106.19)} - 0.198 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1(t-0.005) e^{17677.15(t-88.65)}$ A.

$$23745.31(t+106.85) \cdot 1(t-0.005) e^{17677.15(t-76.51)} + 0.00023 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1(t-0.008) e^{23163.48(t-105.80)} + 0.198 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot e^{17677.15(t-106.85)} + 0.00023 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot e^{23163.48(t-106.59)} + 0.198 e^{-23745.31(t+106.85)} \cdot 1(t-0.004) e^{17677.15(t-82.58)} \text{ A.}$$

Problema n° 10.

- $i_{R50\Omega} = 0.2 e^{-15000 t} \text{ A.}$
- $i_{c12\mu\text{F}} = 0.2 e^{-15000 t} \text{ A.}$
- $i_{c0.5\mu\text{F}} = 0.0666 e^{-15000 t} \text{ A.}$
- $i_{c1\mu\text{F}} = 0.1333 e^{-15000 t} \text{ A.}$
- $u_{R50\Omega} = 10 e^{-15000 t} \text{ V.}$
- $u_{c12\mu\text{F}} = 1.111 e^{-15000 t} + 8.88 \text{ V.}$
- $u_{c0.5\mu\text{F}} = 8.888 - 8.888 e^{-15000 t} \text{ V.}$
- $u_{c1\mu\text{F}} = 8.888 - 8.888 e^{-15000 t} \text{ V.}$

Problema n° 11.

- $u_{c2\mu\text{F}} = 36 - 36 e^{-16666.67 t} \text{ V.}$
- $u_{c1\mu\text{F}} = 36 - 36 e^{-16666.67 t} \text{ V.}$
- $u_{R20\Omega} = 36 e^{-16666.67 t} \text{ V.}$
- $u_{c2\mu\text{F}} = 12.451 e^{-27777.78 t'} + 18.678 \text{ V. Con } t' = (t-2 t).$
- $u_{c1\mu\text{F}} = 12.451 e^{-27777.78 t'} + 18.678 \text{ V.}$
- $u_{R20\Omega} = 20.7519 e^{-27777.78 t'} \text{ V.}$
- $u_{R10\Omega} = 10.3759 e^{-27777.78 t'} \text{ V.}$
- $i_{c2\mu\text{F}} = 0.6 e^{-16666.67 t} \text{ A.}$
- $i_{c1\mu\text{F}} = 1.2 e^{-16666.67 t} \text{ A.}$
- $i_{R20\Omega} = 1.8 e^{-16666.67 t} \text{ A.}$

Problema n° 12.

- C.I condensador = 3V.
- $\tau_{\text{cir}} = 1/400 \text{ s.}$
- $i_{c5\mu\text{F}} = 0.006 e^{-400 t} \text{ A.}$
- $u_{c5\mu\text{F}} = 3 e^{-400 t} \text{ V.}$

Problema n° 13.

- $i_{c5\mu\text{F}} = -2.5714 e^{-42857.14 t} \text{ A.}$
- $u_{c5\mu\text{F}} = 12 e^{-42857.14 t} \text{ V.}$
- $P_{c5\mu\text{F}} = -30.857 e^{-85714.28 t} \text{ w.}$

Problema n° 14.

- $u_{c5\mu\text{F}} = 1.752 e^{-98.959 t} + 158.248 e^{-2021.01 t} \text{ V.}$
- $u_{c1\mu\text{F}} = 43.373 e^{-98.959 t} + 716.627 e^{-2021.01 t} \text{ V.}$
- $i_{c5\mu\text{F}} = -0.0008666 e^{-98.959 t} - 1.5991 e^{-2021.01 t} \text{ A.}$
- $i_{c1\mu\text{F}} = -0.00429 e^{-98.959 t} - 0.2357 e^{-2021.01 t} \text{ A.}$
- $W_{c5\mu\text{F}} = 0.5 \cdot 10^{-6} (-0.0008666 e^{-98.959 t} - 1.5991 e^{-2021.01 t})^2 \text{ J.}$
- $W_{c1\mu\text{F}} = 2.5 \cdot 10^{-6} (-0.00429 e^{-98.959 t} - 0.2357 e^{-2021.01 t})^2 \text{ J.}$

Problema n° 15.

- $i_{L6H} = -0.012 e^{-333.33 t} + 0.012 \text{ A.}$

- $u_{L6H} = 24 e^{-333.33 t} \text{ V.}$
- $\tau_{\text{cir}} = 0.003 \text{ s.}$

Problema n° 16.

- $i_{L0.5H} = 0.015 - 0.015 e^{-8000 t} \text{ A.}$
- $i_{L0.5H} = 0.0246 - 0.0096 e^{-5714.28 t'} \text{ A. Con } t'=(t-0.01) \text{ s.}$
- $P_{L0.5H} = -0.9 e^{-8000 t} (e^{-8000 t} - 1) \text{ w.}$
- $P_{L0.5H} = 0 \text{ w.}$
- $\tau_1 = 125 \mu\text{s.}$
- $\tau_2 = 175 \mu\text{s.}$

Problema n° 17.

- $i_{L10H1} = 0.60 - 0.434 e^{-3.8196 t} - 0.1658 e^{-26.180 t} \text{ A.}$
- $i_{L10H2} = 0.268 e^{-3.8196 t} - 0.268 e^{-26.180 t} \text{ A.}$
- $u_{L10H1} = 16.58 e^{-3.8196 t} + 43.41 e^{-26.180 t} \text{ V.}$
- $u_{L10H2} = 10.24 e^{-3.8196 t} + 70.24 e^{-26.180 t} \text{ V.}$
- $w_{L10H2} = 0.35912 (e^{-3.8196 t} - e^{-26.180 t})^2 \text{ J.}$
- $P_{L10H2} = 0.5 [0.268 (e^{-3.8196 t} - e^{-26.180 t}) \cdot (10.24 e^{-3.8196 t} + 70.24 e^{-26.180 t})] \text{ W.}$

Problema n° 18.

- $i_{L100mH} = 0.05 - 0.05 e^{-6000 t} \text{ A.}$
- $u_{L100mH} = 30 e^{-6000 t} \text{ V.}$
- $i_{L100mH} = 0.05 e^{-7000 t'} \text{ A. Con } t'=(t-0.003) \text{ s.}$
- $u_{L100mH} = -35 e^{-7000 t'} \text{ V.}$

Problema n° 19.

- $i_{L1H} = -0.12 e^{-500 t} + 0.12 \text{ A.}$
- $u_{L1H} = 60 e^{-500 t} \text{ V.}$
- $i_{L1H} = 0.12 - 0.02677 e^{-333.33 t'} \text{ A. Con } t'=(t-0.003) \text{ s.}$
- $u_{L1H} = 8.9252 e^{-333.33 t'} \text{ V.}$
- $w_{L1H} = 0.5 (0.12 - 0.02677 e^{-333.33 t'})^2 \text{ J.}$
- $P_{L1H} = 8.9252 e^{-333.33 t'} (0.12 - 0.02677 e^{-333.33 t'}) \text{ w.}$

Problema n° 20.

- $i_{L2H} = 0.1 e^{-200 t} \text{ A.}$
- $u_{L2H} = -40 e^{-200 t} \text{ V.}$
- $i_{L2H} = 0.06 + 0.00703 e^{-142.857 t'} \text{ A. Con } t'=(t-0.002) \text{ s.}$
- $u_{L2H} = -2.0099 e^{-142.857 t'} \text{ V.}$
- $w_{L2H} = (0.06 + 0.00703 e^{-142.857 t'})^2 \text{ J.}$

Problema n° 21.

- $e_g = 30 \cdot 1(t) - 30 \cdot 1(t-0.02) + 30 \cdot 1(t-0.04) - 30 \cdot 1(t-0.06) + 30 \cdot 1(t-0.08) - 30 \cdot 1(t-0.10) \text{ V.}$
- $i_{L200mH} = -0.033 e^{-2250 t} + 0.033 + 0.033 \cdot 1(t-0.02) e^{-2250 (t+45)} - 0.033 \cdot 1(t-0.02) - 0.033 \cdot 1(t-0.04) e^{-2250 (t+90)} + 0.033 \cdot 1(t-0.04) + 0.033 \cdot 1(t-0.06) e^{-2250 (t+135)} -$

- $$0.033 \cdot 1(t-0.06) - 0.033 \cdot 1(t-0.08) e^{-2250(t+180)} + 0.033 \cdot 1(t-0.08) + 0.033 \cdot 1(t-0.10) e^{-2250(t+225)} - 0.033 \cdot 1(t-0.10) \text{ A.}$$
- $u_{L200\text{mH}} = 15 e^{-2250t} - 15 \cdot 1(t-0.02) e^{-2250(t+45)} + 15 \cdot 1(t-0.04) e^{-2250(t+90)} - 15 \cdot 1(t-0.06) e^{-2250(t+135)} + 15 \cdot 1(t-0.08) e^{-2250(t+180)} - 15 \cdot 1(t-0.10) e^{-2250(t+225)} \text{ V.}$

Problema n° 22.

- $e_g = 15 \cdot 1(t) - 30 \cdot 1(t-0.02) + 30 \cdot 1(t-0.04) - 30 \cdot 1(t-0.06) + 30 \cdot 1(t-0.08) - 30 \cdot 1(t-0.10) \text{ V.}$
- $i_{L200\text{mH}} = -0.0167 e^{-2250t} + 0.0167 + 0.033 \cdot 1(t-0.02) e^{-2250(t+45)} - 0.033 \cdot 1(t-0.02) - 0.033 \cdot 1(t-0.04) e^{-2250(t+90)} + 0.033 \cdot 1(t-0.04) + 0.033 \cdot 1(t-0.06) e^{-2250(t+135)} - 0.033 \cdot 1(t-0.06) - 0.033 \cdot 1(t-0.08) e^{-2250(t+180)} + 0.033 \cdot 1(t-0.08) + 0.033 \cdot 1(t-0.10) e^{-2250(t+225)} - 0.033 \cdot 1(t-0.10) \text{ A.}$
- $u_{L200\text{mH}} = 7.5 e^{-2250t} - 15 \cdot 1(t-0.02) e^{-2250(t+45)} + 15 \cdot 1(t-0.04) e^{-2250(t+90)} - 15 \cdot 1(t-0.06) e^{-2250(t+135)} + 15 \cdot 1(t-0.08) e^{-2250(t+180)} - 15 \cdot 1(t-0.10) e^{-2250(t+225)} \text{ V.}$

Problema n° 23.

- $e_{g1} = 30 \cdot 1(t) - 30 \cdot 1(t-0.02) + 30 \cdot 1(t-0.04) - 30 \cdot 1(t-0.06) + 30 \cdot 1(t-0.08) - 30 \cdot 1(t-0.1) \text{ V.}$
- $e_{g2} = 666.67 \cdot t \cdot 1(t) - 666.67 \cdot t \cdot 1(t-0.03) + 666.67 \cdot (t-0.03) \cdot 1(t-0.03) - 20 \cdot (t-0.06) - 666.67 (t-0.06) \cdot 1(t-0.06) + 666.67 (t-0.09) \cdot 1(t-0.09) \text{ V.}$
- $i_{L1\text{H}} = 0.014 - 0.014 e^{-666.67t} - 0.015 \cdot 1(t-0.02) + 0.015 \cdot 1(t-0.02) e^{-2250(t+13.333)} + 0.015 \cdot 1(t-0.04) - 0.015 \cdot 1(t-0.04) e^{-2250(t+26.667)} - 0.035 \cdot 1(t-0.06) + 0.035 \cdot 1(t-0.06) e^{-666.67(t+40)} + 0.015 \cdot 1(t-0.08) - 0.015 \cdot 1(t-0.08) e^{-666.67(t+53.333)} \text{ A.}$
- $u_{L1\text{H}} = 9.333 e^{-666.67t} - 10 \cdot 1(t-0.02) e^{-666.67(t+13.333)} + 10 \cdot 1(t-0.04) e^{-666.67(t+26.667)} - 23.333 \cdot 1(t-0.06) e^{-666.67(t+40)} + 10 \cdot 1(t-0.08) e^{-666.67(t+53.333)} - 10 \cdot 1(t-0.10) e^{-666.67(t+66.667)} - 13.333 \cdot 1(t-0.03) e^{-666.67(t+20)} - 13.333 \cdot 1(t-0.09) e^{-666.67(t+60)} \text{ V.}$

Problema n° 24.

- $i_{L10\text{mH}} = 0.0067 e^{-500t} + 3.3333 \cdot 1(t) - 0.0067 + 0.1 \cdot 1(t-0.03) e^{-500(t+15)} - 0.10 \cdot 1(t-0.03) + 0.1 \cdot 1(t-0.06) e^{-500(t+30)} - 0.1 \cdot 1(t-0.06) + 0.093 \cdot 1(t-0.09) e^{-500(t+45)} + 0.2066 \cdot 1(t-0.09) - 3.3333 \cdot 1(t-0.09) \cdot t \text{ A.}$
- $u_{L10\text{mH}} = -0.6667 e^{-500t} + 0.6667 - 9.99999 \cdot 1(t-0.03) e^{-500(t+15)} - 10 \cdot 1(t-0.06) e^{-500(t+30)} - 9.3333 \cdot 1(t-0.09) e^{-500(t+45)} - 0.6667 \cdot 1(t-0.09) \text{ V.}$

Problema n° 25.

- $i_{L0.1\text{H}} = 1.2 - 1.2 e^{-500t} \text{ A.}$
- $u_{L0.1\text{H}} = 60 e^{-500t} \text{ V.}$
- $i_{L0.1\text{H}} = -1.2 + 2.4 e^{-500t} \text{ A. Con } t'=(t-1) \text{ s.}$
- $u_{L0.1\text{H}} = -120 e^{-500t'} \text{ V.}$
- $w_{L0.1\text{H}} = 0.05 (-1.2 + 2.4 e^{-500t'})^2 \text{ J.}$

Problema n° 26.

- $i_{L4\text{H}} = 1.6 + 0.533 e^{-6.666t} \text{ A.}$
- $u_{L4\text{H}} = -14.222 e^{-6.666t} \text{ V.}$
- $w_{L4\text{H}} = 2 (1.6 + 0.5333 e^{-6.666t})^2 \text{ J.}$
- $P_{L4\text{H}} = -14.222 (1.6 + 0.5333 e^{-6.666t}) (e^{-6.666t}) \text{ w.}$

Problema n° 27.

- $i_{L10H} = 0.5 e^{-3t}$ A.
- $u_{L10H} = -15 e^{-3t}$ V.
- $w_{L10H} = 1.25 (e^{-3t})^2$ J.
- $P_{L10H} = -7.5 (e^{-3t})$ w.

Problema n° 28.

- $i_{L1H} = 0.75 e^{-15t}$ A.
- $u_{L10H} = -11.25 e^{-15t}$ V.
- $i_{L1H} = 0.3542 e^{-10t'}$ A. Con $t'=(t-0.05)$ s.
- $u_{L10H} = -3.5427 e^{-10t'}$ V.

Problema n° 29.

- $i_{L1H} = 4.8 e^{-15t} + 1.2$ A.
- $i_{L2H} = 2.4 e^{-15t} - 1.2$ A.
- $u_{L1H} = -72 e^{-15t}$ V.
- $u_{L2H} = -72 e^{-15t}$ V.

Problema n° 30.

- $i_{R100\Omega} = 0.320 e^{-50t} \text{ sen } (312.25t)$ A.
- $u_{L1H} = -16.0128 e^{-50t} \text{ sen } (312.25t) + 100 e^{-50t} \text{ cos } (312.25t)$ V.
- $u_{c10\mu F} = 16.0128 e^{-50t} \text{ sen } (312.25t) + 100 e^{-50t} \text{ cos } (312.25t)$ V.
- $w_{L1H} = 0.05128 (e^{-50t})^2 \text{ sen}^2 (312.25t)$ w.
- $P_{c10\mu F} = 0.32025 [16.0128 e^{-50t} \text{ sen } (312.25t) + 100 e^{-50t} \text{ cos } (312.25t)] e^{-50t} \text{ sen } (312.25t)$ w.

Problema n° 31.

- $i_{c20\mu F} = -0.00096 e^{-11t} + 48 e^{-49999t}$ A.
- $i_{L1H} = 4.36363 - 4.364 e^{-11t} + 0.00096 e^{-49999t}$ A.
- $u_{c20\mu F} = 43.6364 + 4.3636 e^{-11t} - 48 e^{-49999t}$ V.
- $u_{L1H} = 48.111 e^{-11t} - 48.011 e^{-49999t}$ V.

Problema n° 32.

- $i_{L5H} = 0.2434$ A.
- $i_{L2.5H} = 0.4869$ A.
- $u_{L2.5H} = -140.625 e^{-37.5t}$ V.
- $i_{R100\Omega} = 2.25 e^{-37.5t}$ A.

Problema n° 33.

- $i_{L3H} = -1.0157 e^{-0.02804t} + 0.5774 e^{-0.11336t} - 1.5933 e^{-1.9418t}$ A.
- $u_{L3H} = -0.0865 e^{-0.02804t} - 0.1963 e^{-0.11336t} + 9.2816 e^{-1.9418t}$ V.

Problema n° 34.

- $i_{L4H} = 0.001 (0.954 e^{-417.47t} + 2.04 e^{-9582.57t})$ A.
- $u_{L4H} = -1.5928 e^{-417.47t} - 78.1938 e^{-9582.57t}$ V.
- $u_{R10k\Omega} = 20$ V.
- $w_{L4H} = 2 [0.001 (0.954 e^{-417.47t} + 2.04 e^{-9582.57t})]^2$ J.

Problema n° 35.

- $i_{c10\mu F} = 0.3098 e^{-1127 t} - 0.3098 e^{-8872.98 t}$ A.
 - $u_{c10\mu F} = 24 - 27.4918 e^{-1127 t} + 3.4919 e^{-8872.88 t}$ V.
 - $i_{c10\mu F} = -0.3845 \cos(6283.18 t') - 0.53418 e^{-1127 t'} + 0.9187 e^{-8872.98 t'} + 0.8195 \sin(6283.18 t')$ A.
 - $u_{c10\mu F} = -13.044 \cos(6283.18 t') + 47.397 e^{-1127 t'} - 10.354 e^{-8872.98 t'} - 6.119 \sin(6283.18 t')$ V.
- Con $t' = (t-0.01)$ s.

Problema n° 36.

- $i_{c1mF} = 0.09999 \sin(200\pi t + 179.7^\circ)$ A.
 - $u_{c1mF} = 0.1596 \sin(200\pi t + 89.7^\circ)$ V.
 - $i_{c1mF} = 0.09999 \sin(628.81 t') - 0.0853 \sin(628.81 t') - 0.000549 e^{-2 t'} - 0.0506 e^{-9998 t'} + 0.05001 \cos(1973.9 t') - 0.00031 \cos(628.81 t')$ A.
 - $u_{c1mF} = -0.1591 \cos(628.81 t') + 0.0432 \cos(1973.9 t') + 0.2745 e^{-2 t'} + 0.0005067 e^{-9998 t'} + 0.02634 \sin(1973.9 t') - 0.00493 \sin(628.81 t')$ V.
- Con $t' = (t-0.1)$ s.

Problema n° 37.

- $i_{L1mH} = -0.04754 \cos(6283.18 t') + 0.07971 \sin(6283.18 t') - 0.0001272 e^{-20 t'} + 0.00369 e^{-99980 t'}$ A.
 - $u_{L1mH} = 0.02917 \sin(6283.18 t') + 0.5008 \cos(6283.18 t') + 0.2546 10^{-5} e^{-20 t'} + 0.3689 e^{-99980 t'}$ V.
 - $u_{c500\mu F} = 8 \sin(6283.18 t') - 0.02537 \cos(6283.18 t') - 8.0015 \sin(6283.18 t') + 0.01272 e^{-20 t'} - 0.0000738 e^{-99980 t'}$ A.
 - $u_{c100\Omega} = -0.4755 \cos(6283.18 t') + 7.970 \sin(6283.18 t') - 0.0127 e^{-20 t'} + 0.369 e^{-99980 t'}$ V.
- Con $t' = (t-0.05)$ s.

Problema n° 38.

- $i_{L20H} = 0.048 - 0.048 e^{-25 t}$ A.
 - $u_{L20H} = 24 e^{-25 t}$ V.
 - $i_{L20H} = -0.006889 \cos(125.66 t') + 0.02577 e^{-5 t'} - 0.01864 \sin(125.66 t')$ A.
 - $u_{L20H} = 17.3155 \sin(125.66 t') - 2.5776 e^{-5 t'} - 46.863 \cos(125.66 t')$ V.
- Con $t' = (t-0.02)$ s.

Problema n° 39.

- $i_{c100\mu F} = 0.4999 \sin(2000\pi t + 0.911^\circ)$ A.
 - $u_{c100\mu F} = 0.7956 \sin(2000\pi t - 89.09^\circ)$ V.
 - $i_{c100\mu F} = 0.025 \sin(6283.18 t') + 0.000179 e^{-5 t'} + 0.0000198 \cos(6283.18 t')$ A.
 - $u_{c100\mu F} = -0.0397 \cos(6283.18 t') - 0.3579 e^{-5 t'} + 0.00003166 \sin(6283.18 t')$ V.
- Con $t' = (t-0.1)$ s.

Problema n° 40.

- $i_{c5\mu F} = -0.0075 e^{-10 t}$ A.
- $u_{c5\mu F} = -50 + 150 e^{-10 t}$ V.

ANEXO II.

INTRODUCCIÓN AL PSPICE.

INTRODUCCIÓN AL PSPICE.

1.- INTRODUCCIÓN.

El programa de simulación Spice (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) es un software muy útil e interesante para la simulación de circuitos eléctricos y electrónicos tanto analógicos como digitales, capaz de ser ejecutado por un PC. Este programa se ha convertido, por su versatilidad y potencia, en las versiones profesionales, en uno de los más utilizados tanto en docencia como para investigación.

Este programa permite crear, simular y representar gráficamente la evolución de las diversas magnitudes que definen el comportamiento de los circuitos eléctricos ó electrónicos de muy diversa complejidad: desde circuitos sencillos y con pocos elementos, hasta circuitos complejos en sus más variadas formas (regímenes transitorios, permanentes, corriente continua, alterna...etc). Es un programa rápido y con una gran profusión de parámetros contenidos en librerías, lo que permite el estudio de componentes poco habituales o con características especiales. Los circuitos pueden ser estudiados y calculados sin necesidad de ser montados en laboratorios, lo que supone un ahorro de tiempo, espacio y coste.

Es importante recordar, sin embargo, que el uso de programas de simulación nunca debe sustituir al proceso de montaje y experimentación realizado en los laboratorios, más bien estos programas, deben ser considerados como una herramienta complementaria para verificar los resultados obtenidos de forma práctica o por cálculo.

Como indica el título de este anexo, este apartado es solo una introducción y no un manual para el manejo del programa, por lo que el lector deberá consultar obras específicas sobre el tema para su más completa comprensión.

Se detallan a continuación las instrucciones más básicas e importantes que ofrece el programa y que deben servir para iniciar al lector en la ejecución de los circuitos propuestos tanto en los enunciados de prácticas como en la parte de problemas.

2.- PSPICE: VERSIÓN N° 8.

La versión utilizada para la realización de los circuitos propuestos en esta obra es la número 8, para Windows. Esta versión ha sido mejorada respecto a las anteriores con la inclusión de MicroSim DesignLabTM introduciendo una serie de utilidades adicionales como puede ser el programa para el diseño de placas PCBoards. En lo referente a los programas relacionados directamente con el estudio y simulación de circuitos SCHEMATICS, PSPICE, PROBE, PARTS y STIMULUS EDITOR, DesignLab mejora el entorno de los programas, añadiendo una serie de iconos para acceder más fácilmente a algunas aplicaciones y modificando algunas de las pantallas del programa.

3.- INSTRUCCIONES DEL PROGRAMA.

Para iniciar una sesión con el programa se debe acceder primeramente al entorno Windows, dentro del cual nos aparecerá el programa “Desing Center Eval 8.”. Una vez dentro de esta nueva ventana se nos ofrecen varios iconos. Cada icono representa una parte específica del programa y son por si mismos subprogramas, (SCHEMATICS, PSPICE, PROBE, PARTS, STIMULUS EDITOR, y README). De estos programas son los tres primeros los que podemos considerar como imprescindibles dentro del manejo del mismo y por lo tanto serán los tratados con mayor profundidad.

3.1. PROGRAMA SCHEMATICS.

MicroSim Schematics es un capturador de esquemas de circuitos que nos permite una amplia gama de posibilidades en el diseño de circuitos tanto analógicos como digitales. Desde dibujar circuitos o modificar los ya existentes, siendo el primer paso para la resolución de cualquier circuito. Además nos da la posibilidad de editar componentes, seleccionar el tipo de análisis, realizar chequeos eléctricos,...etc. Una vez en el interior del icono “SCHEMATICS” aparece una barra de menús con la que se controlan las diferentes utilidades del programa.

3.1.1. MENÚ DEL PROGRAMA SCHEMATICS.

El primer menú en la barra es “**FILE**”. Está opción tiene a su vez asociadas unas aplicaciones relacionadas con la gestión de ficheros de las cuales destacamos las siguientes:

- “NEW”: limpia el área de trabajo para crear un nuevo circuito.
- “OPEN”: abre el fichero de un esquema ya existente para editarlo. Es necesario el nombre del fichero, unidad y directorio donde se halla.
- "CLOSE": cierra el fichero del esquema que estamos editando en la pantalla actual.
- “SAVE”: guarda en el disco las modificaciones realizadas en el circuito en el cual trabajamos, en el fichero actual.
- “SAVE AS”: este comando permite guardar el circuito o las modificaciones realizadas del circuito actual, con un nombre diferente al asignado previamente.
- “PRINT”: imprime el esquema del circuito.
- "EXIT": abandona el editor de esquemas.

Menú “**EDIT**”, permite editar los parámetros y los símbolos de los elementos seleccionados para modificarlos. De este menú destacamos:

- “UNDO”: recupera el último elemento o grupo de elementos borrados.
- "CUT": borra los elementos seleccionados en el esquema para reproducirlos en otro lugar del esquema.
- "COPY": copia un elemento o grupo de elementos para situarlos en otro lugar del esquema.

- "PASTE": pega o sitúa el último elemento o grupo de elementos almacenados mediante los comandos CUT o COPY.
- "COPY TO CLIPBOARD": copia en el portapapeles el elemento o elementos seleccionados.
- "DELETE": elimina los elementos seleccionados.
- "ATTRIBUTES": para un elemento seleccionado, nos permite acceder a la ventana de edición de sus atributos.
- "LABEL": etiqueta elementos del circuito que no sean propiamente elementos eléctricos, tales como cables, buses o puertos.
- "CONVERT BLOCK" convierte el bloque seleccionado en un símbolo al cual deberemos asignarle un nombre.
- "ROTATE": gira los elementos seleccionados 90° en sentido antihorario.
- "FLIP": crea una imagen especular de los elementos seleccionados.
- "ALIGN HORIZONTAL": sitúa los objetos seleccionados en una misma línea horizontal.
- "ALIGN VERTICAL": sitúa los objetos seleccionados en una misma línea vertical.

Menú "DRAW"; esta opción nos permite dibujar cables y buses así como situar componentes en el esquema actual. De este menú destacamos:

- "REPEAT": repite el último proceso realizado.
- "PLACE PART": se introduce un elemento idéntico al último seleccionado mediante la opción GET NEW PART.
- "WIRE": conectar mediante conductores los componentes del circuito.
- "BUS": traza los buses de hilos en los circuitos digitales.
- "BLOCK": dibuja un bloque en el esquema al que posteriormente podremos asignar un circuito realizado previamente.
- "GET NEW PART": esta aplicación permite por una parte entrar directamente el nombre de un elemento eléctrico (part name), que será emplazado en el esquema, o bien esta opción permite acceder a las librerías (mediante "BROWSE") donde se muestran todos los componentes incluidos en el programa.
- "REWIRE": permite modificar la ruta de las conexiones o de los buses cambiando los puntos de finalización.

Menú "NAVIGATE"; esta opción permite seleccionar la página del esquema en la que vamos a trabajar o cambiar el nivel de jerarquía mientras se realiza la edición. De este menú seleccionamos:

- "PREVIOUS PAGE": edita en la pantalla la página anterior a la actual.
- "NEXT PAGE": edita en la pantalla la página posterior a la actual.
- "SELECT PAGE": edita en la pantalla la página especificada por el usuario.
- "CREATE PAGE": añade una nueva página al esquema actual.
- "DELETE PAGE": borra la página actual.
- "COPY PAGE": permite copiar en el esquema actual una página de cualquier otro esquema.
- "EDIT PAGE INFO": edita el título de la página actual para ser modificado.
- "PUSH": se desciende un nivel en el editor de esquemas.
- "POP": se asciende un nivel en el editor de esquemas.

- "TOP": se asciende al nivel más alto del esquema.
- "WHERE": proporciona información del nivel de jerarquía actual.

Menú "**VIEW**"; permite visualizar, cambiar la escala y colocación del circuito. De este menú seleccionamos:

- "FIT": visualiza el esquema del circuito ocupando todo el ancho de la pantalla.
- "IN": amplía la escala del circuito situado alrededor del punto marcado en la pantalla.
- "OUT": reduce la escala del circuito situado alrededor del punto marcado en la pantalla.
- "AREA": amplía el área seleccionada mediante un recuadro hasta ocupar toda la pantalla.
- "ENTIRE PAGE": visualiza toda la página actual.
- "REDRAW": vuelve a dibujar la pantalla visualizada.
- "PAN-NEW CENTER": reposiciona el circuito sobre el lugar en que se halla el cursor.

Menú "**OPTIONS**"; esta opción permite acceder a unas aplicaciones relacionadas con la configuración de la pantalla, librerías utilizadas, etc. Las más interesantes son:

- "DISPLAY OPTIONS": esta es un comando interesante que nos permite acceder a varias opciones para la realización del esquema eléctrico.
- "PAGE SIZE": ajusta el tamaño de página.
- "AUTO REPEAT": permite, mediante el comando PLACE PART del menú DRAW, colocar un elemento idéntico al último situado a unas distancias determinadas.
- "AUTO-NAMING": asigna una referencia a los elementos situados en el circuito a partir del número asignado en el casillero Starting Designator N^o, siempre y cuando este habilitado la opción Enable Auto-Increment.

Menú "**ANALISYS**"; este es un menú importante ya que nos define las aplicaciones relacionadas con el análisis y la simulación de un circuito creado. Las aplicaciones más importantes son:

- "ELECTRICAL RULE CHECK": con esta opción el programa analiza el circuito para detectar posibles terminales sueltos, etiquetas duplicadas, etc. Los posibles errores se pueden visualizar en la opción CURRENTS ERRORS del menú File.
- "CREATED NETLIST": nos genera un fichero en el que aparecerán las características de los elementos que forman parte del circuito, como son el tipo de elemento, las conexiones, los valores asignados, etc.
- "SETUP": esta es una opción imprescindible a la hora de simular un circuito, ya que nos permite seleccionar el tipo de análisis a realizar. Indicando los parámetros necesarios para cada tipo de análisis, así como cuáles de estos análisis están habilitados.
- "SIMULATE": crea los archivos con extensión ".NET", ".DAT", ".OUT", ".ALS" y ".CIR". Si el circuito no presenta errores la simulación se completará accediéndose al procesador gráfico "PROVE".

- “RUN PROVE”: nos permite acceder de forma directa a la visualización gráfica de la simulación realizada sobre un circuito sin salir de SCHEMATICS.
- “PROVE SETUP”: esta opción nos permite ajustar una serie de parámetros del programa PROVE que facilitarán el acceso al mismo.
- “EXAMINE NETLIST”: examina el archivo “.NET”, con la lista de componentes y conexiones que forman el circuito.
- “EXAMINE OUTPUT”: examina el archivo de salida “.OUT”, con los resultados de la simulación.

Menú “**TOOLS**”; nos permite acceder a otros programas para las aplicaciones y utilidades que facilitan la comunicación con otros editores de esquemas. Aparte nos permite escoger un tipo de extensión distinta según el editor utilizado. Este menú es de prestaciones más específicas y por tanto nos remitimos a los manuales del programa, ó a la misma ayuda contenida en el mismo para la explicación de sus diferentes opciones.

Menú “**MARKERS**”; nos permite acceder a las aplicaciones relacionadas con los marcadores para situar y manipular marcas que facilitarán la visualización en el procesador “PROVE” de los parámetros indicados en el esquema del circuito. Del menú destacamos:

- “MARK VOLTAGE/LEVEL”: marcador que permite obtener el potencial eléctrico entre el punto marcado y tierra.
- “MARK VOLTAGE DIFFERENTIAL”: esta formado por dos marcadores, uno con el signo “+” y otro con el signo “-”. Nos permite obtener la diferencia de potencial entre dos puntos marcados en el circuito.
- “MARK CURRENT INTO PIN”: nos permite obtener la intensidad que circula por cualquier elemento del circuito. Se debe colocar en el extremo del elemento en cuestión.
- “MARK ADVANCED”: opción que nos da acceso a la librería MARKER.SLB, donde podremos seleccionar entre una gama más amplia de marcadores.
- “CLEAR ALL”: elimina todos los marcadores situados en el esquema del circuito.
- “SHOW ALL”: faculta el gráfico de PROVE para representar todas las formas de onda indicadas mediante los marcadores en todas las páginas.
- “SHOW SELECT”: representa solo las formas de onda de los marcadores seleccionados.

Menú “**WINDOWS**”; nos permite acceder a las aplicaciones relacionadas con la abertura y el cierre de ventanas. Las opciones más interesantes son:

- “NEW”: abre una nueva ventana par la edición.
- “CLOSE”: cierra la ventana actual en la que estamos trabajando.
- “ARRANGE”: permite situar todas las ventanas abiertas dentro de una misma pantalla, bien de forma horizontal, vertical o en cascada.

Menú “**HELP**”; nos facilita ayuda sobre los diversos conceptos relacionados con SCHEMATIC.

- “INDEX”: nos muestra el listado de los conceptos o temas reseñados en la ayuda

- “KEYBOARD”: nos informa sobre las funciones asociadas con las teclas.
- “MENU COMMANDS”: nos da explicación sobre los diversos comandos utilizados.
- “PROCEDURES”: proporciona información sobre los colores utilizados en SCHEMATICS.

3.2.- PROGRAMA PSpICE.

El programa Pspice, es la parte del software, encargada de realizar la simulación del comportamiento del circuito para el análisis seleccionado.

Para acceder al mismo se puede realizar de dos formas distintas: mediante la actuación sobre el icono correspondiente, o bien mediante la opción SIULATE del menú ANALYSIS del Editor de esquemas (SCHEMATICS). En el primer caso somos nosotros los que seleccionamos el circuito a analizar, mientras que con la segunda opción el mismo programa accederá directamente al PSpice al iniciarse la simulación del circuito presente en la pantalla.

Cuando se inicia una simulación se abre una ventana con los siguientes artículos:

En la parte superior aparece el nombre del archivo que estamos simulando, así como el directorio donde se encuentra: (extensión .SCH). Más abajo a la izquierda, se especifica el archivo de donde el programa está tomando los datos para realizar la simulación: (extensión .CIR). A la derecha está el fichero de texto donde se están almacenando los resultados de la simulación: (extensión .OUT).

En el centro de la pantalla aparece el análisis que se está realizando. Especificándose, finalmente en la parte inferior de la pantalla el valor inicial del comienzo del barrido (Start=), a la derecha el valor final (End=), y en el centro el valor que se está analizando en ese instante (Calculating at=).

Cuando se finaliza un análisis nos lo indica mediante una sentencia en la parte central de la pantalla (Bias point calculated), por ejemplo. Pasando posteriormente al procesador gráfico PROBE.

3.2.1. Menús del Programa PSpICE.

Menú " FILE"; este menú permite seleccionar el circuito a simular, así como acceder a los resultados de dicha simulación. Entre las opciones más notables hallamos:

- "OPEN": nos permite elegir el circuito a simular, especificando el nombre del circuito con extensión .CIR, así como el directorio donde se encuentra.
- "PAUSE SIMULATION": actuando sobre esta opción, la simulación se detendrá justo hasta el instante en que volvamos a hacer clic sobre ella para desactivarla.
- "TERMINATE SIMULACION": nos permite concluir la simulación en cualquier instante, aunque no se hallan realizado completamente los análisis seleccionados.

- "RUN PROVE": con esta opción siempre es posible entrar en el programa PROVE sin abandonar el programa actual.
- "EXAMINE OUTPUT": permite acceder a un archivo creado con los resultados de la simulación.
- "EXIT": activando esta opción abandonamos el programa.

Menú " **DISPLAY**"; con este menú se nos permite seleccionar una serie de opciones sobre la ventana de edición. Entre las opciones más destacadas hallamos:

- "INMEDIATE, FAST, SLOW": opciones que nos determinan la rapidez con que aparecerán en pantalla los parámetros relativos a la simulación de un determinado circuito
- "FONTS": nos permite seleccionar el tipo de letra, así como el tamaño de la misma que aparecera en la ventana de edición del PSPICE.
- "TEXT COLOR": selecciona el color del texto que aparecerá en la ventana del PSPICE.
- "BACKGROUND COLOR": selecciona el color de fondo de la ventana del PSPICE.
- "ERROR TEXT COLOR": color que adoptaran los mensaje de error referidos a los textos.
- "ERROR BLACKGROUND COLOR": color de fondo de la ventana para los mensajes de error.

Menú " **HELP**"; con este menú se nos informa sobre la versión de PSPICE utilizada. Nos remitimos al programa para su utilización.

Finalmente indicaremos que los **ficheros generados en una sesión de pspice**, por orden de aparición.

3.2.2. FICHEROS GENERADOS EN EL DISEÑO DEL CIRCUITO.

- Fichero con extensión ".SCH", (abreviación de SCHEMATICS): es el fichero encargado de guardar el esquema de los circuitos diseñados, siendo el primero que se genera.
- Fichero con extensión ".IND", (abreviación de índice): este fichero hace referencia a la librería donde se encuentra el elemento cuyos parámetros hemos variado y cuyo contenido carecía de importancia para nosotros por tratarse de caracteres sin sentido. Este es el segundo fichero generado.
- Fichero con extensión "LIB", (abreviación de Library): este es el fichero donde se almacenan los parámetros internos del elemento que hemos variado. Este fichero concluye los generados antes de la simulación.

Ficheros generados en la simulación del circuito: a continuación se realiza la simulación mediante la opción SIMULATION del menú ANALYSIS del editor de esquemas, realizando el programa en chequeo eléctrico del circuito para detectar posibles errores, generándose instantáneamente los siguientes archivos:

- Fichero con extensión **".NET"**, (abreviación de netlist): contiene el listado de los componentes del circuito. Tipo, valor y nudos donde están conectados.
- Fichero con extensión **".ALS"**, (abreviación de Aliases): este fichero identifica los nudos del circuito con los terminales de los elementos.
- Fichero con extensión **".CIR"**, (abreviación de circuit): fichero donde se incluyen los datos sobre el tipo de análisis seleccionado y sus características específicas. Aparte hace referencia a los archivos de extensión .NET y .ALS y al programa PROVE.

Estos últimos tres ficheros se generarán igualmente, sin tener que realizar la simulación, si en el menú ANALYSIS del editor de esquemas elegimos la opción CREATE NETLIST.

Ficheros de datos generados después de la simulación del circuito: finalmente mientras se está realizando la simulación se crearán dos ficheros de datos, que contienen los resultados de la simulación.

- Fichero con extensión **".DAT"**, (abreviación de Data): en este fichero se hallan los datos que permitirán la representación gráfica mediante el programa PROVE.
- Fichero con extensión **".OUT"**, (abreviación de Output): contiene los resultados que es posible visualizar en forma de texto, por ejemplo la tensión o intensidad de un elemento. Aparte incluye algunos de los archivos explicados anteriormente.

3.3. PROGRAMA PROCESADOR GRAFICO PROBE.

El procesador gráfico PROBE del programa Pspice, es un analizador de ondas que permite visualizar tanto las señales de las diversas magnitudes eléctricas de un circuito, como las de sus posibles combinaciones.

Son muchas las opciones que podemos ejercer sobre las señales representadas, tales como el uso de cursores (obtención de las coordenadas de un punto), variar las escalas de los ejes, añadir textos, obtener copias impresas, ...etc.

La forma de acceder al programa PROVE pasa por tres posibilidades:

- Haciendo un doble clic sobre el icono correspondiente. En esta opción seremos nosotros mismos los que elijamos el fichero a visualizar.
- Desde el programa PSPICE, al ejecutar la opción RUN PROVE, del menú FILE. En este caso el archivo .DAT cargado será el correspondiente al circuito analizado.
- Desde el programa SCHEMATICS, sí en la opción PROVE SETUP del menú ANALYSIS, tenemos habilitado el casillero Auto-Run Probe, entraremos en el analizador de ondas de forma automática, justo después de finalizar la simulación.

3.3.1. MENÚ DEL PROGRAMA PROBE.

Menú **"FILE"**; la manipulación de este menú nos permitirá seleccionar el archivo a visualizar, así como obtener copias impresas de las gráficas representadas. Las opciones más destacables son:

- "OPEN": con esta opción podemos seleccionar el fichero a visualizar. Los ficheros en este caso tendrán la extensión .DAT.
- "APPEND": esta es una opción interesante ya que nos permite abrir un segundo archivo, que se representará conjuntamente con el archivo en uso, permitiendo la comparación de resultados entre ambos. Esto es posible siempre que los dos archivos seleccionados tengan el mismo tipo de análisis seleccionado.
- "CLOSE": cierra él, ó los archivos editados en pantalla.
- "PRINT": permite obtener copias impresas de las señales representadas en la pantalla.
- "PAGE SETUP": esta opción nos permite ajustar algunos parámetros de la impresión como pueden ser: los márgenes, orientación del papel, número de copias, ...etc.
- "PRINTER SELECT": selecciona el tipo de impresora a emplear.
- "LOG COMMANDS": permite conectar y desconectar el registro de comandos, y por lo tanto, crear un archivo de los comandos utilizados.
- "RUN COMMANDS": permite reproducir el archivo de comandos creado con la opción anterior.
- "EXIT": con esta opción se abandona el menú.

Menú **"EDIT"**; con este menú podremos trabajar con el portapapeles, así como modificar el trazo representado o el título de la ventana. Como opciones más destacadas tenemos:

- "CUT": esta opción nos permite borrar el trazo representado en la pantalla y llevarlo al portapapeles
- "COPY": copia la señal seleccionada en el portapapeles, pero sin eliminarla de la pantalla.
- "PASTE": pega o sitúa la última señal almacenada mediante los comandos CUT o COPY.
- "DELETE": borra la señal seleccionada. Para poder seleccionar una señal es necesario hacer click sobre el nombre de la señal situada en el margen inferior izquierdo de la pantalla.
- "MODIFY OBJECT": permite sustituir la señal seleccionada por otra cualquiera disponible.
- "MODIFY TITTLE": permite cambiar el nombre de la ventana visualizada.

Menú **"TRACE"**; este es uno de los menús más importantes del procesador gráfico, ya que nos permite elegir la señal que representaremos, ó incluso, definir otro tipo de señales mediante operaciones matemáticas. Las opciones más interesantes son:

- "ADD": esta opción nos da acceso a donde se hallan las distintas señales disponibles para ser representadas. Esta es una opción muy importante ya que contiene por

ejemplo. ALIAS NAMES, se añaden a la lista todas las señales correspondientes a los nudos y terminales del circuito. La opción INTERNAL SUBCIRCUIT NODES, habilitará las señales correspondientes a los subcircuitos que pudieran haber dentro de nuestro circuito. La opción GOAL FUNCTIONS, dará acceso a otro grupo de señales y operadores matemáticos para visualizar combinación de parámetros.

- "MACRO": es también una opción importante, ya que en ocasiones el usuario emplea con frecuencia ciertas relaciones matemáticas entre variables. Con esta opción se nos permite crear una variable que será combinación de operaciones matemáticas de otras variables, con el consiguiente ahorro de tiempo.
- "EVAL GOAL FUNCTIONS": esta opción dará acceso a una ventana idéntica a la de la opción ADD, y a través de ella, podremos representar todas las funciones objeto evaluadas o definidas aumentando así las posibilidades de representación.

Menú "**PLOT**"; menú también interesante ya que permite ajustar todo lo referente a los ejes y representaciones trazadas en la pantalla. De él podemos destacar:

- "X AXIS SETTINGS": esta opción nos permite ajustar el rango de valores, así como la variable sobre el eje X. Dentro de esta opción nos aparecerá una nueva ventana de diálogo que nos ira orientando sobre las distintas posibilidades de la opción.
- "Y AXIS SETTINGS": permite ajustar el rango de valores del eje Y, así como ponerle título. Se actuará del mismo modo que para el eje X, con la salvedad de que mediante la activación de Y AXIS podemos elegir entre los diversos ejes Y representados, realizando sobre cada uno de los mismos las modificaciones pertinentes, como asignación de un título, cambiar escalas, ...etc.
- "ADD Y AXIS": esta opción permite añadir un nuevo eje Y al trazado en el caso de que la variable representada sea de distinto tipo, o bien que sus magnitudes difieran considerablemente. En esta opción es necesario recordar que el símbolo ">>" situado en la parte inferior del eje Y, nos indica el eje activo respecto al cual se representarán las nuevas variables. Es también importante recordar que en la parte inferior del eje X, y antes del símbolo de las variables, se nos especificará con un número en un recuadro, respecto a que eje ha sido representada la variable en cuestión.
- "DELETE Y AXIS": esta opción nos permitirá eliminar de la pantalla el eje Y seleccionado mediante el símbolo ">>", así como todas las señales representadas respecto a dicho eje.
- "ADD PLOT": permite añadir un nuevo sistema de ejes de coordenadas a la pantalla. Una vez añadidos los nuevos ejes, el símbolo "SEL>>" indicará cuál de los sistemas de ejes esta activado.
- "DELETE PLOT": esta opción elimina el sistema de ejes seleccionado con la opción anterior.
- "UNSYNC PLOT": cuando generamos múltiples sistemas de ejes coordenados, la variable del eje X está sincronizada para todos ellos, de modo que si en uno cualquiera hacemos un zoom entre dos valores determinados, este zoom afectará también al resto de las representaciones. Esto se evitará desincronizando dicho sistema de ejes respecto al de los otros, mediante la activación de esta opción.
- "DIGITAL SIZE": con este comando es posible seleccionar, para los circuitos digitales, el porcentaje de señales de tipo digital que aparecerán en la ventana ADD

TRACES, así como el número máximo de caracteres que indicarán la señal a representar.

- "AC, DC, TRANSIENT": con estas opciones es posible seleccionar el tipo de análisis a visualizar en el supuesto de que hallamos realizado análisis de varios tipos.

Menú "**VIEW**"; permite seleccionar una porción determinada de la señal representada, tanto para ampliarla como para reducirla. Es posible con este menú además redibujar el circuito. De este menú seleccionamos:

- "FIT": ajusta el tamaño de las representaciones para que ocupen prácticamente todo el ancho de la pantalla.
- "IN": amplía la escala del área situada alrededor del punto marcado con el cursor.
- "OUT": reduce la escala del área situada alrededor del punto marcado con el cursor.
- "AREA": amplía el área seleccionada mediante un recuadro hasta ocupar toda la pantalla.
- "PREVIOUS": sitúa en la pantalla la representación anterior a la actual.
- "REDRAW": vuelve a dibujar las señales representadas.
- "PAN-NEW CENTER": reposiciona el trazo sobre la posición del cursor.

Menú "**TOOLS**"; permite ajustar las señales representadas en la pantalla, así mismo nos ofrece varias posibilidades en la utilización de los cursores. De este menú seleccionamos:

- "LABEL": permite añadir textos y figuras sobre el gráfico. Al accionar esta opción se nos presenta una ventana de diálogo con diversas opciones: textos, líneas, polilíneas, flechas, recuadros, círculos, elipses y marcas. Una de las más empleadas, aparte de la opción de textos, es la de las marcas: mediante esta opción aparecerán en la pantalla las coordenadas X e Y del punto marcado con el cursor, permaneciendo estas coordenadas en el dibujo, (para tener la opción de las marcas habilitada es necesario tener también habilitados los cursores).
- "CURSOR": es una opción muy importante, ya que nos permite conocer las coordenadas exactas de cualquier punto de la gráfica, así como desplazarnos sobre ellas. Con esta opción también se accede a una ventana de diálogo en la que se nos permite obtener el máximo del eje Y, mínimo del eje Y, trasladarse de pico a pico de la señal, máxima pendiente de la señal representada,...etc.
- "SIMULATION MESSAGES": nos permite acceder a una ventana donde se nos informará sobre algún posible problema ocurrido durante la simulación.
- "DISPLAY CONTROL": esta es una opción importante ya que ofrece la posibilidad de guardar la pantalla actual con todas las representaciones realizadas sobre la misma, para así evitarnos repetir todo el proceso. Cuando accionemos esta opción aparece una ventana en la cual especificaremos en NEW NAME el nombre asignado a la pantalla correspondiente, y mediante el botón SAVE la guardaremos.
- "COPY TO CLIPBOARD": Copia en el portapapeles la ventana actual.
- "OPTIONS": permite ajustar una serie de parámetros sobre las representaciones. Al activar esta pantalla aparece una nueva ventana de diálogo en la que podemos destacar: USE SYMBOLS (para diferenciar los trazos de las diferentes señales representadas). TRACE COLOR (permite ajustar la secuencia de colores

predeterminada por el programa para la representaciones de las señales). USE SCROLL BARS (permite la aparición o no, de las barras de Scroll). AUTO-UPDATE INTERVAL. (permite determinar el intervalo de actualización de la señal en el caso de que la visualización de la misma se realice al mismo tiempo que la simulación). Existen otras opciones explicadas en la misma ventana.

Menú “**WINDOWS**”; nos permite acceder a las aplicaciones relacionadas con la abertura y el cierre de ventanas. Las opciones más interesantes son:

- “**NEW**”: abre una nueva ventana por la edición.
- “**CLOSE**”: cierra la ventana actual en la que estamos trabajando.
- “**ARRANGE**”: permite situar todas las ventanas abiertas dentro de una misma pantalla, bien de forma horizontal, vertical o en cascada.

Menú “**HELP**”; nos facilita ayuda sobre los diversos conceptos relacionados con el programa PROBE.

3.3.2. OPERADORES MATEMÁTICOS PERMITIDOS POR EL PROGRAMA PROBE.

El programa PROBE nos da la posibilidad de representar variables que han sido obtenidas mediante una operación matemática entre las variables disponibles en la ventana de ADD TRACES, justo después de realizar la simulación.

Además de las típicas operaciones matemáticas como pueden ser la suma, resta, multiplicación y división, el programa admite bastantes más operadores y fórmulas que se detallan en la ventana reseñada. A ella nos remitimos para una información más extensa sobre los mismos.

3.4. PROGRAMA PARTS.

Una de las mayores dificultades a la hora de simular circuitos electrónicos es la de encontrar modelos precisos para los elementos. El programa PARTS, es una ayuda para la determinación de los parámetros del modelo, a partir de sus características físicas, para elementos estándar como el transistor bipolar, o subcircuitos de definición de elementos más complejos, como los amplificadores operacionales.

El programa permite convertir información de las hojas de características de los fabricantes en valores de parámetros precisos usados por PSPICE, y una vez obtenidos éstos poder incluir el elemento creado como uno más dentro de nuestra propia librería.

Podemos acceder al programa PARTS haciendo un doble clic sobre el icono correspondiente o bien desde la opción MODEL del menú EDIT del programa SCHEMATICS. Si utilizamos la primera opción seremos nosotros mismos quienes seleccionemos la librería del menú FILE y posteriormente el elemento del menú PART. La segunda opción permitirá que ya estén cargados directamente al entrar en PARTS los

parámetros del modelo del componente seleccionado previamente en el esquema del circuito.

La versión de evaluación de ese programa sólo permite modelar diodos, por lo que todas las ventanas y representaciones incluidas en esta parte harán alusión al citado elemento.

Sale de los propósitos de la presente obra él entrar en la determinación de los parámetros de un elemento determinado, por lo que se remite al lector a la consulta de obras más específicas para la comprensión de esta parte del programa, innecesaria por otra parte para la realización de la mayor parte de los ejercicios propuestos.

3.5. PROGRAMA STIMULUS EDITOR.

El editor de estímulos es otra parte del programa PSPICE cuya misión específica es la de generar diferentes tipos de señales, todas ellas aplicadas a circuitos con los que realicemos un análisis transitorio.

Si bien en la versión profesional podemos encontrar diversos tipos de señales para ser creadas desde el Editor de Estímulos (pulsatorias, exponenciales, senoidales moduladas en frecuencia, senoidales, definidas por tramos, estímulos digitales, etc), desde la versión de evaluación sólo es posible crear señales senoidales y señales de reloj empleadas en los circuitos digitales.

El programa SCHEMATICS, dispone de una fuentes específicas para crear cada una de las distintas señales, aunque también posee varios tipos de fuentes genéricas (ISTIM, VSTIM, DIGSTIM, DIGCLOCK, etc) que nos permitirán acceder al editor de estímulos para posteriormente asignarle el tipo de señal.

Podemos acceder al Editor de Estímulos haciendo un doble clic sobre el icono correspondiente, o bien mediante la opción STIMULUS del menú EDIT del programa SCHEMATICS, para lo cual tendremos que tener seleccionada previamente alguna de las fuentes genéricas citadas anteriormente.

La principal ventaja que introduce el uso del Editor de Estímulos es que podemos visualizar la señal a la misma vez que la estamos creando, en lugar de tener que esperar a la simulación del circuito y posterior acceso al PROBE. De este modo se evitan posibles errores en el caso de que no conozcamos con total seguridad cada uno de los parámetros que definen las distintas señales. Una vez creada la señal deseada, el Editor de Estímulos nos permite añadir dicha señal de manera inmediata al circuito que deseamos simular.

Al igual que ocurría en el programa PARTS, sale de los propósitos de la presente obra el entrar en la creación de los diferentes tipos de señales que permite el Editor de Estímulos, máxime si tenemos presente la amplia gama de señales, ya creadas, de las que dispone el programa. Por lo que se remite al lector a la consulta de obras más específicas para la comprensión de esta parte del programa, innecesaria por otra parte para la realización de la mayor parte de los ejercicios propuestos.

4.- CONSTRUCCIÓN DE CIRCUITOS.

Vamos a dar en esta sección algunas consideraciones básicas sobre la construcción de circuitos, empezando por la explicación de algunos conceptos sobre los elementos disponibles en el programa.

Todos los elementos constan de un SIMBOLO (representación gráfica del elemento), de unos ATRIBUTOS (referencias y valores que asignamos al elemento) y un PART NAME (nombre o combinación de caracteres con él que lo hallamos en las librerías del programa).

Como ejemplo una resistencia tiene un Símbolo formado por una línea en zigzag. Su Atributo es el valor que le asignemos (por ejemplo 100Ω), mientras que la Referencia es el subíndice que toma dentro del circuito (por ejemplo R_4 , existen ya tres resistencias colocadas previamente en el circuito). Finalmente su Part Name es simplemente R (así la encontraremos en las librerías del programa).

4.1. EMPLAZAMIENTO DE COMPONENTES EN EL CIRCUITO.

El primer paso para resolver un circuito es construirlo, para ello es necesario emplazar, sobre la pantalla de SCHEMATICS, los distintos componentes que lo forman, uniéndolos posteriormente entre sí, finalmente se les debe asignar un valor ó conjunto de valores determinados.

Primeramente pues, entraremos en el capturador de esquemas (SCHEMATICS), y una vez dentro de él abriremos el menú (DRAW), entrando en la opción (GET NEW PART). Una vez dentro de esta opción disponemos de dos alternativas para obtención del elemento buscado:

- Escribiendo directamente en la ventana de diálogo el PART NAME del elemento. (Esta opción requiere el conocimiento previo por parte del usuario del Part Name del elemento buscado).
- En caso de no recordar su PART NAME (lo más habitual), lo buscaremos haciendo clic sobre BROWSE.

Si optamos por la segunda opción se nos abrirá una nueva ventana en la cual figurarán las librerías de componentes que contiene el programa. Una vez seleccionada una librería aparecerá en la parte izquierda de la ventana todos los componentes que contienen la librería seleccionada. En la parte superior de la ventana, finalmente, nos indica el PART NAME, de cada elemento que vamos seleccionando así como una breve descripción del mismo. Si deseamos ver el símbolo de cada elemento que vamos seleccionado, pulsaremos con el botón izquierdo del ratón sobre la opción ADVANCED, abriéndose un recuadro de la pantalla donde irán apareciendo los símbolos de los elementos escogidos. Pulsando sobre OK, obtendremos el elemento seleccionado.

Una vez elegidos cada uno de los componentes, se tendrán que situar sobre el esquema, para ello los arrastraremos hasta la posición donde queramos situarlos, y una vez emplazados, pulsaremos el botón izquierdo del ratón, finalmente para abandonar el elemento seleccionado pulsaremos el botón derecho del ratón. (Son interesantes algunas opciones de SCHEMATICS, como la de ROTATE, para terminar de emplazar correctamente un elemento sobre el conjunto del esquema).

De forma repetitiva se irán colocando todos los elementos que forman el circuito eléctrico estudiado (**en ningún circuito debe olvidarse la colocación del terminal de tierra, o potencial de referencia. Librería PORT.SLB, Part Name AGND**). Una vez colocados los mismos, sólo nos faltara conectarlos entre sí y asignarles los valores que deseemos.

4.2. INTERCONEXIÓN DE COMPONENTES DE UN CIRCUITO.

Para realizar la conexión de los componentes de un circuito se entrará en el menú DRAW, y dentro de este menú escogeremos las opciones WIRE, o bien BUSES. La opción BUSES se emplea principalmente para la interconexión de circuitos electrónicos digitales, mientras que para la gran mayoría de los circuitos eléctricos y electrónicos analógicos se empleará la opción WIRE (cable).

Una vez escogida la opción WIRE, el cursor del ratón se transforma en un lápiz indicando que estamos en el modo de cableado. Haciendo clic en el extremo de uno de los elementos a conectar, el lápiz empezará a marcar una línea que puede cambiar de dirección cuantas veces sea necesario (pulsando cada vez el botón izquierdo del ratón), cuando se alcance el terminal final del otro elemento a conectar, haremos clic en el botón izquierdo, y abandonaremos con el botón derecho del ratón el modo de cableado.

Es importante recordar que nunca debemos pasar por encima de un elemento con el modo cableado (cortocircuito), ni colocar más de un cable en un tramo de un circuito (aparece un punto o nudo de unión cuando existen más de dos cables en un mismo trayecto). Este nudo de unión sólo debe aparecer en las intersecciones.

4.3. ASIGNACIÓN DE VALORES A LOS ELEMENTOS QUE FORMAN EL CIRCUITO.

Lo normal, una vez se ha dibujado el circuito, es que los valores por defecto de los componentes no coincidan con los valores que nosotros deseamos, por tanto los deberemos ajustar o asignar nuevamente. Esta opción es posible realizarla de dos formas distintas:

- Realizando un doble clic sobre el mismo atributo del valor del elemento, apareciendo la ventana SET ATTRIBUTE VALUE, donde podremos ajustar el nuevo valor deseado, pulsando después OK.
- Haciendo un doble clic sobre el Símbolo del componente, apareciendo una ventana con el correspondiente PART NAME, del elemento seleccionado.

La segunda opción es la más recomendable ya que permite modificar no sólo el valor del elemento seleccionado, sino también otros atributos inherentes al mismo como pueden ser: las condiciones iniciales, temperaturas y regímenes de funcionamiento, tiempos de respuesta,...etc. Solo una parte de los atributos son cambiables (INCLUDE SYSTEM DEFINED ATTRIBUTES), mientras que el resto son instrucciones internas del programa (INCLUDE NON CHANGEABLES ATTRIBUTES).

Una nueva ventana se abre al pulsar sobre CHANGE DISPLAY, dándonos la posibilidad, mediante la inclusión de varias opciones, de que todos estos valores puedan aparecer, o no, en el dibujo del circuito, aunque internamente el programa los tenga grabados.

Una vez ajustados los atributos, podremos modificar su posición a nuestro parecer, seleccionándolos y arrastrándolos con el ratón, con el botón izquierdo pulsado, hasta el lugar deseado.

Llegados a este punto, estaríamos en condiciones de seleccionar el tipo de análisis, gravar el circuito y realizar la simulación del mismo para obtener los valores y gráficas deseadas.

5.- COMPONENTES DISPONIBLES EN EL PROGRAMA.

Los elementos o componentes disponibles en el programa se encuentran divididos en nueve librerías incluidas en el directorio C:\MSIME8\LIB. Dentro de este directorio, las librerías existentes poseen distintas extensiones, siendo la extensión, (.SLB) la correspondiente a las librerías donde se encuentran definidos los símbolos de los distintos elementos.

Para el acceso a estas librerías, entraremos en SCHEMATICS, menú DRAW, opción GET NEW PART, excepto la librería MARKER.SLB, a la cual podremos acceder desde la opción MARK AVANCED, del menú MARKERS.

5.1 LIBRERIAS DE COMPONENTES.

Una breve descripción de las librerías, así como de los principales componentes a ellas inscritos, con sus características más reseñables se detallan a continuación:

- **Librería "ABM.SLB"**: esta librería está formada por los bloques que poseen entradas y salidas y que realizan operaciones específicas, tales como el cos, valor absoluto, logaritmos, derivadas, transformadas de Fourier y Laplace, etc. Estos componentes serán los adecuados para la construcción de diagramas de bloques que simule el comportamiento de sistemas físicos reales.
- **Librería "ANALOG.SLB"**: es una de las más usadas ya que contiene elementos pasivos tales como: resistencias, condensadores, bobinas; y fuentes dependientes de tensión e intensidad.

- **Librería "BREAKOUT.SLB"**: ésta es la librería que contiene elementos activos electrónicos (diodos y varios tipos de transistores), más algunos elementos pasivos como interruptores, condensadores, potenciómetros, etc. El valor de estos componentes lo asigna por defecto PSPICE, siendo no obstante modificables por parte del usuario.
- **Librería "CONNECT.SLB"**; en esta librería se hayan varios tipos de conectores con un determinado número de terminales para ser usados generalmente en circuitos digitales.
- **Librería "EVAL.SLB"**; esta librería está constituida por elementos activos específicos, es decir, con un nombre determinado y parámetros internos asignados. Se encuentran en esta librería elementos tales como triacs, transistores bipolares, fets, tiristores, amplificadores operacionales y circuitos integrados digitales como: puertas, biestables, multiplexores, contadores, codificadores, etc.
- **Librería "PORT.SLB"**; contiene elementos como conexiones a tierra, así como algunos conectores para unir varios elementos sin necesidad de hilos de conexión.
- **Librería "SOURCE"**; contiene todas las fuentes de alimentación, tanto de corriente como de tensión, (senoidales, onda cuadrada, por impulsos, continua, exponenciales, etc.).
- **Librería "SPECIAL.SLB"**; contiene elementos especiales que no se pueden considerar como componentes electrónicos, pero que son útiles a la hora de etiquetar partes del circuito para: indicar el tipo de análisis, variar el valor de un componente, asignar una posible polaridad a un nudo, imprimir un resultado, etc.
- **Librería "MARKER.SLB"**; contiene los marcadores que situaremos sobre las distintas partes del circuito y que permitirán visualizar directamente, al entrar en PROBE, la forma de la onda marcada.

5.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES MÁS COMUNES.

Respecto a la designación de los terminales, el programa considera como positivo (1), al terminal situado a la izquierda, y como negativo (2), el terminal situado a la derecha. En caso de rotación de un elemento, como es en sentido antihorario, el terminal positivo (1), estará en la parte inferior y el terminal negativo (2), en la parte superior del símbolo.

SUFIJOS: *Pico* ($p=10e^{-12}$); *Nano* ($n=10e^{-9}$); *Micro* ($u=10e^{-6}$); *Mili* ($m=10e^{-3}$);
Kilo ($k=10e^3$); *Mega* ($meg=10e^6$); *Giga* ($g=10e^9$); *Tera* ($t=10e^{12}$).

5.2.1. ELEMENTOS PASIVOS E INTERRUPTORES.

Algunos de estos elementos son los más usados en la confección de los circuitos eléctricos (resistencias, condensadores, bobinas, interruptores, puertos, puestas a tierra, etc).

- **RESISTENCIA (R):** (Ohmios = r).

Descripción: elemento pasivo.

Librería: Analog.SLB

Parámetros: valor, coeficiente de temperatura, tolerancia.

- **BOBINA (L):** (henrios = H).

Descripción: elemento pasivo.

Librería: Analog.SLB.

Parámetros: valor, condiciones iniciales (A), tolerancia.

- **CONDENSADOR (C):** (Faradios = F).

Descripción: elemento pasivo.

Librería: Analog.SLB.

Parámetros: valor, condiciones iniciales (V), tolerancia.

- **INTERRUPTOR DE CIERRE (TClose):** (segundos = s).

Descripción: interruptor que permite cerrar el circuito en un tiempo prefijado.

Librería: EVAL.SLB.

Parámetros:

Tclose: tiempo que seleccionamos para que el interruptor cierre sus contactos (s).

Ttrans: tiempo que tarda el elemento en responder a un cierre (tiempo de retardo en s).

Rclosed: resistencia que ofrece el interruptor una vez se han cerrado sus contactos (Ω).

Ropen: resistencia que ofrece el interruptor a circuito abierto (Ω).

- **INTERRUPTOR DE APERTURA (TOpen):** (segundos = s).

Descripción: interruptor que permite abrir un circuito al cabo de un tiempo seleccionado.

Librería: EVAL.SLB.

Parámetros:

Topen: tiempo que seleccionamos para que el interruptor abra sus contactos (s).

Ttrans: tiempo que tarda el elemento en abrir sus contactos (tiempo de respuesta en s).

Rclosed: resistencia que ofrece el interruptor con sus contactos cerrados (Ω).

Ropen: resistencia que ofrece el interruptor a circuito abierto (Ω).

- **LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA (TLossy).**

Descripción: componente simbólico de una línea eléctrica de transmisión de energía.

Librería: Analog.SLB.

Parámetros:

LEN: longitud de la línea estudio. (m).

R: resistencia por unidad de longitud de la línea estudio (Ω).

L: inductancia por unidad de longitud de la línea estudio (H).

G: conductancia por unidad de longitud de la línea estudio (siemens).

C: capacidad por unidad de longitud de la línea estudio (F).

- **TIERRA ANALÓGICA (GND ANALOG).**

Descripción: conexión a potencial cero de un punto del circuito.

Librería: PORT.SLB.

Parámetros:

Level: etiqueta para señalar o distinguir entre diferentes tierras dispuestas en el circuito.

- **TIERRA NORMAL (GND EARTH).**

Descripción: conexión a potencial cero de un punto del circuito.

Librería: PORT.SLB.

Parámetros:

Level: etiqueta para señalar o distinguir entre diferentes tierras dispuestas en el circuito.

- **MARCADR DE TENSIÓN EN CONTINUA (VIEWPOINT).**

Descripción: marcador de un nivel de tensión para circuitos funcionando en continua.

Librería: SPECIAL.SLB.

Parámetros: carece de parámetros seleccionables.

- **MARCADR DE INTENSIDAD EN CONTINUA (IPROBE).**

Descripción: marcador de la corriente que fluye por un determinado circuito en continua.

Librería: ESPECIAL.SLB.

Parámetros: carece de parámetros seleccionables.

- **MARCADR DE TENSIÓN EN GENERAL (VPRINT).**

Descripción: marcador de tensión para obtener los resultados de un determinado análisis.

Librería: ESPECIAL.SLB.

Parámetros:

DC: valor asignado para realizar un estudio en continua (se activa con un 1).

AC: valor asignado sí se realiza el estudio en alterna (se activa con un 1).

TRAN: valor asignado para realizar un estudio en régimen transitorio (se activa con un 1).

MAG: atributo que permite visualizar el valor de la magnitud de la tensión en voltios (puede ser un valor máximo o eficaz dependiendo de lo que se especifique en la fuente correspondiente), se activa asignándole el valor 1.

PHASE: atributo que permite visualizar el ángulo de fase de la tensión en grados (se activa asignándole el valor 1).

REAL: parte real de la tensión en coordenadas rectangulares (se activa asignándole el valor 1).

IMAG: parte imaginaria de la tensión en coordenadas rectangulares (se activa asignándole el valor 1).

DB: valor de la frecuencia (se activa asignándole el valor 1).

- **MARCADR DE INTENSIDAD EN GENERAL (IPRINT).**

Descripción: marcador de la corriente para un determinado análisis.

Librería: ESPECIAL.SLB.

Parámetros:

DC: valor asignado para realizar un estudio en continua (se activa con un 1).

AC: valor asignado si se realiza el estudio en alterna (se activa con un 1).

TRAN: valor asignado para realizar un estudio en régimen transitorio (se activa con un 1).

MAG: atributo que permite visualizar el valor de la magnitud de la intensidad en amperios (puede ser un valor máximo o eficaz dependiendo de lo que se especifique en la fuente correspondiente), se activa asignándole el valor 1.

PHASE: atributo que permite visualizar el ángulo de fase de la intensidad en grados (se activa asignándole el valor 1).

REAL: parte real de la intensidad en coordenadas rectangulares (se activa asignándole el valor 1).

IMAG: parte imaginaria de la intensidad en coordenadas rectangulares (se activa asignándole el valor 1).

DB: valor de la frecuencia (se activa asignándole el valor 1).

- **PARAMETROS (PARAM).** (Suele usarse para el realizar análisis Paramétrico).

Descripción: elemento para especificar parámetros predefinidos.

Librería: ESPECIAL.SLB.

Parámetros:

NAME1: nombre asignado al primer componente estudiado.

VALUE1: valor asignado al primer componente objeto de estudio.

NAME2: nombre asignado al segundo componente estudiado.

VALUE2: valor asignado al segundo componente objeto de estudio.

5.2.2. ELEMENTOS ACTIVOS.

Se hallan en la librería EVAL,SLB. Dentro de este grupo encontramos componentes tan característicos como son los diodos o transistores.

Los parámetros característicos de algunos de los componentes que forman este grupo son largos de especificar, asimismo no son necesarios para la realización de los ejercicios propuestos en esta obra, por lo que remitimos al lector a la consulta de obras específicas sobre el tema o a la ayuda que de forma implícita lleva el mismo programa.

No obstante recordaremos que entre los elementos más característicos que pueden hallarse en esta librería se encuentran: diodos, transistores bipolares, transistores JFET, tiristores, amplificadores operacionales, puertas lógicas, ...etc.

5.2.2.1. FUENTES INDEPENDIENTES.

- Las fuentes de tensión se indicarán mediante la letra (V), las de intensidad mediante la letra (I).
- Son los generadores de energía de los circuitos.
- El programa considera que la intensidad entra por el terminal positivo de las fuentes, por lo tanto las intensidades reflejadas en los archivos de salida de los análisis vendrán precedidas del signo (-).

- Para todas las fuentes el programa designa primeramente el terminal positivo y después el negativo.

Todas las fuentes de tensión descritas a continuación, tienen sus homólogos con las de corriente con solo cambiar los valores de voltios por los de amperios.

- **GENERADOR DE TENSIÓN CONTINUA “VDC”.**

Descripción: la fuente “VDC” suele ser utilizada para calcular el punto de trabajo del circuito en continua o para el cálculo de los circuitos equivalentes en pequeña señal.

Librería: Sources. SLB.

Parámetros:

DC: Nivel de tensión continua requerida en el circuito (V).

- **GENERADOR DE TENSIÓN ALTERNA “VAC”.**

Descripción: la fuente “VAC” proporciona una señal senoidal de frecuencia variable. Suele emplearse cuando es necesario determinar el comportamiento en frecuencia del circuito.

Librería: Sources. SLB.

Parámetros:

ACMAG: amplitud de la señal (V).

ACPHASE: fase en grados de la señal de la fuente.

DC: valor de la tensión en continua en el caso de que sobre el circuito se realicen varios tipos de análisis que requieran los dos tipos de señales.

- **GENERADOR MIXTO “VSCR”.**

Descripción: en este tipo de generador podemos ajustar valores en continua (DV), valores en alterna (VAC), y nos permite asignar especificaciones transitorias. Se debe recordar, no obstante que el programa posee una serie de fuentes específicas para este tipo de señales.

Librería: Sources. SLB.

Parámetros:

DC: valor de la señal en continua (V).

AC: valor de la señal en alterna (V).

TRAN: valor de las especificaciones transitorias (exponenciales, senoidales, pulsatorias, etc) (V).

- **GENERADOR SINOSOIDAL “VIN”.**

Descripción: es la fuente utilizada para estudiar el comportamiento transitorio del circuito, no siendo considerada para el estudio de la respuesta en frecuencia, para el que se utilizará el generador VAC.

Librería: Sources. SLB.

Parámetros:

DC: valor de la señal en continua (V).

AC: valor de la señal en alterna (V).

VOFF: tensión de offset (componente continua de la señal) (V).

VAMPL: tensión máxima o de pico de la señal (V).

FREQ: frecuencia de la señal (Hz).

TD: tiempo de retardo (s).

DF: factor de amortiguamiento.

PHASE: desfase en grados de la señal.

- **GENERADOR DE PULSOS “VPULSE”.**

Descripción: esta fuente genera señales de tipo escalón (ondas cuadradas por ejemplo) que serán utilizadas para estudiar el comportamiento transitorio de los circuitos.

Librería: Sources. SLB.

Parámetros:

DC: valor de la señal en continua (V).

AC: valor de la señal en alterna (V).

V₁: valor de la tensión en el primer tramo de la onda (V).

V₂: valor de la tensión en el segundo tramo de la onda (V).

T_d: tiempo de retardo entre $t=0s$ y el principio del primer pulso de la tensión (s).

T_r: tiempo de subida del pulso (s).

T_f: tiempo de bajada del pulso (s).

PW: amplitud del primer semiperiodo de la onda (s).

PER: periodo de la onda (s).

- **GENERADOR DE SEÑALES EXPONENCIALES “VEXP”.**

Descripción: esta fuente suele utilizarse para estudiar el comportamiento transitorio de los circuitos.

Librería: Sources. SLB.

Parámetros:

DC: valor de la señal en continua (V).

AC: valor de la señal en alterna (V).

V₁: valor de la tensión en el primer tramo de la onda (V).

V₂: valor de la tensión en el segundo tramo de la onda (V).

T_{D1}: tiempo de retardo en la subida (s).

T_{C1}: constante de tiempo de subida (s).

T_{D2}: tiempo de retardo en la bajada (s).

T_{C2}: constante de tiempo de bajada (s).

- **GENERADOR DE SEÑALES DEFINIDAS POR TRAMOS “VPWL”.**

Descripción: esta fuente es importante ya que nos permite construir cualquier tipo de señal (señales de diente de sierra, señales triangulares, etc).

Librería: Sources. SLB.

Parámetros:

DC: valor de la señal en continua (V).

AC: valor de la señal en alterna (V).

T₁: tiempo donde empieza el primer tramo de la onda (s).

V₁: valor de la tensión en el primer tramo de la onda (V).

T₂: tiempo donde empieza el segundo tramo de la onda (s).

V₂: valor de la tensión en el segundo tramo de la onda (V).

T₃: tiempo donde empieza el tercer tramo de la onda (s).

V₃: valor de la tensión en el tercer tramo de la onda (V).

- **GENERADOR SINOSOIDAL MODULADAS EN FRECUENCIA “VSFFM”.**

Descripción: con este tipo de generador es posible crear señales senoidales moduladas en frecuencia.

Librería: Sources. SLB.

Parámetros:

VOFF: tensión de offset (V).

VAMPL: amplitud de la señal representada (V).

FC: frecuencia de la señal representada (Hz).

MOD: índice de modulación de la onda.

FM: frecuencia de modulación de la onda (Hz).

5.2.2.2. FUENTES DEPENDIENTES:

- Este tipo de fuentes permiten generar funciones lineales o polinómicas.
- Suelen estar modeladas según la relación existente entre sus entradas y salidas.
- Son los generadores de energía de los circuitos dependientes de otros parámetros.
- El programa considera que la intensidad entra por el terminal positivo de las fuentes, por lo tanto las intensidades reflejadas en los archivos de salida de los análisis vendrán precedidas del signo (-).
- Para todas las fuentes el programa designa primeramente el terminal positivo y después el negativo.

Es indispensable, para este tipo de fuentes dependientes, tener en consideración el signo del parámetro (corriente o tensión), al que se conecta la ganancia de la fuente.

Las mismas fuentes dependientes pero con respuesta polinómicas se hallan en las mismas librerías (AnalogSlb) pero con los nombres acabados en POLY (Epoly por ejemplo). El valor de la ganancia (GAIN) será sustituido por el de (COEFF).

- **GENERADOR DE TENSIÓN CONTROLADA POR TENSIÓN (E).**

Descripción: fuente lineal dependiente de tensión controlada por un parámetro de tensión dispuesto en un elemento referencia del circuito. (caída de tensión en una resistencia o elemento pasivo, variación de la tensión en un elemento activo,.. etc).

Librería: Analog. SLB.

Parámetros:

GAIN: ganancia, o factor, por el que se tiene que multiplicar el valor de la tensión del elemento referencia.

- **GENERADOR DE TENSIÓN CONTROLADA POR CORRIENTE (H).**

Descripción: fuente lineal dependiente de tensión controlada por un parámetro de corriente dispuesto en un elemento referencia del circuito (intensidad que circula por un elemento pasivo o activo del circuito, por ejemplo).

Librería: Analog. SLB.

Parámetros:

GAIN: ganancia, o factor, por el que se tiene que multiplicar el valor de la corriente del elemento referencia.

- **GENERADOR DE CORRIENTE CONTROLADA POR TENSION (G).**

Descripción: fuente lineal dependiente de corriente controlada por un parámetro de tensión dispuesto en un elemento referencia del circuito (tensión o diferencia de potencial en bornes de un elemento pasivo o activo del circuito, por ejemplo).

Librería: Analog. SLB.

Parámetros:

GAIN: ganancia, o factor, por el que se tiene que multiplicar el valor de la tensión del elemento referencia.

- **GENERADOR DE CORRIENTE CONTROLADA POR CORRIENTE (F).**

Descripción: fuente lineal dependiente de corriente controlada por un parámetro de corriente dispuesto en un elemento referencia del circuito (intensidad que circula por un elemento pasivo o activo del circuito, por ejemplo).

Librería: Analog. SLB.

Parámetros:

GAIN: ganancia, o factor, por el que se tiene que multiplicar el valor de la corriente del elemento referencia.

6. ANÁLISIS DISPONIBLES DEL PROGRAMA.

En esta sección se tratarán los diversos tipos de análisis disponibles en el programa. Para acceder a ellos es necesario entrar primeramente en SCHEMATICS, dentro del mismo escoger el menú ANALYSIS y la opción SET UP.

Una vez dentro de SET UP, se nos abrirá una ventana con los análisis permitidos por el programa, disponiendo de un casillero, en la parte izquierda de cada nombre del análisis, que habilitará el análisis seleccionado. Una vez habilitado el análisis, haciendo un doble clic sobre el nombre del análisis seleccionado, accederemos a las diversas ventanas de edición del mismo donde podremos ajustar sus parámetros específicos.

6.1. ANÁLISIS BIAS POINT DETAIL.

Con este tipo de análisis es posible calcular el punto de trabajo del circuito, lo que implica información acerca de las tensiones, intensidades, potencias y todos los parámetros de pequeña señal de las fuentes controladas no lineales y elementos semiconductores.

Este análisis se realiza siempre, ya que la información que se obtiene será utilizada para realizar otros tipos de análisis. La habilitación o no del casillero correspondiente permitirá que los resultados de este análisis aparezcan o no en el archivo de salida.

6.2. ANÁLISIS DC SWEEP.

Con este análisis es posible realizar un barrido en torno a una serie de valores de una fuente de entrada independiente (intensidad o corriente), de la temperatura, de un parámetro interno de un modelo (por ejemplo la ganancia de un operacional), o de un parámetro global (por ejemplo una resistencia, un condensador o una bobina), calculando el punto de trabajo para cada uno de los valores de la variable en cuestión.

Al entrar en la ventana específica de este análisis debemos especificar:

- **Sweep Var. Type:** tipo de variable de barrido: la ventana nos da una serie de opciones como pueden ser fuentes de tensión, fuentes de corriente, parámetros globales, temperatura, o un modelo interno.
- **Name:** según con que tipo de variable estemos realizando el barrido, tendremos que especificar en cada caso el nombre (Name), el tipo de modelo (Model Type), el nombre del modelo (Model Name) y el parámetro del modelo a variar (Param. Name).
- **Sweep Type:** tipo de barrido: lineal, por octavas, por décadas, o bien especificar una lista de valores.
- **Sweep:** dentro de los barridos es posible asignar el valor inicial (Start Value), el valor final (End Value), el Incremento (Increment) para un barrido lineal, puntos por octava (Pts/Decade) para un barrido por octavas, puntos por década (Pts/decade) para un barrido por décadas, o especificar una serie de valores (Values) en el caso de que elijamos la opción (Value List).
- **Nested Sweep:** nos da la posibilidad de realizar un barrido de una segunda variable. Para cada valor que tome la segunda variable (Nested Sweep), se evalúa la primera (Main Sweep) en todo el rango de valores que se le ha asignado.

Para realizar el barrido de esta segunda variable tendremos que ajustar los mismos parámetros que para la primera, aparte de habilitar el casillero (Enable Nested Sweep) para que el simulador la tenga en cuenta. El botón (Main Sweep) nos permitirá regresar a la variable ajustada en un principio.

6.3. ANÁLISIS SENSITIVITY.

Con este análisis es posible analizar la sensibilidad del sistema en continua. El programa linealizará el circuito en torno a su punto de trabajo, calculando la sensibilidad de las variables de salida especificadas con respecto a las resistencias, fuentes independientes, interruptores controlados, y elementos activos como diodos o transistores.

La ventana de dialogo nos pedirá la variable de salida de la cuál queremos conocer la sensibilidad. (Output variable(s)).

6.4. ANÁLISIS TRANSFER FUNCTION.

Con este análisis es posible calcular la función de transferencia para pequeña señal mediante la linealización del circuito entorno a su punto de trabajo. Para realizar este análisis es necesario especificar:

- **Output Variable:** variable de salida.
- **Input Source:** fuente de entrada.

Los parámetros calculados mediante este análisis son:

- Impedancia de entrada con respecto a la fuente de entrada.
- Impedancia de salida con respecto a los terminales del elemento de salida.
- Relación entre la variable de salida en función de la variable de entrada.

6.5. ANÁLISIS AC SWEEP.

Este es el análisis escogido cuando es necesario calcular la respuesta en frecuencia del circuito para un rango de frecuencias determinado. Para ese tipo de análisis se consideran como señales de entrada todas aquellas fuentes independientes que tengan especificaciones AC, considerándose nulas todas las restantes.

Al pulsar sobre este análisis se abrirá una ventana con los siguientes parámetros:

- **AC Sweep Type:** tipo de barrido: lineal, logarítmico por octavas, o logarítmico por décadas.
- **Sweep Parameters:** dentro de esta opción ajustaremos:
 - **Total Pts:** número de puntos por octava o por década (según sea el barrido logarítmico escogido), o totales si el barrido es lineal.
 - **Start Freq:** frecuencia inicial.
 - **End Freq:** frecuencia final.

6.6. ANÁLISIS NOISE.

Este análisis deberá ser realizado conjuntamente con el análisis de respuesta en frecuencia, éste es el motivo por el que para acceder a este análisis se realizará desde la misma ventana que el análisis AC Sweep. En esta ventana deberemos habilitar la opción (Noise Enabled) y tendremos que especificar:

- **Output Voltage:** señal de salida.
- **I/V Source:** fuente independiente de entrada.
- **Interval:** intervalo de calculo.

Es importante recordar que los componentes generadores de ruido son las resistencias y los semiconductores. Este análisis calculará el ruido (para el rango de frecuencias especificado en AC Sweep) de cada elemento generador, determinando el ruido

equivalente en torno a la fuente de entrada especificada, así como su influencia sobre la señal de salida.

6.7. ANÁLISIS TEMPERATURE.

Realizará todos los análisis especificados, para las distintas temperaturas establecidas. La temperatura por defecto, si no se especifica ninguna, es 27 °C.

La ventana de este análisis solo nos permite introducir el parámetro temperatura en grados centígrados, recordando que afectará al resto de análisis que efectuemos con el programa.

6.8. ANALISIS TRANSIENT.

Este tipo de análisis permite observar la evolución temporal de las magnitudes asociadas a un determinado circuito eléctrico. Los parámetros necesarios que se especifican para este análisis son:

- **Print step:** paso de impresión o intervalo de tiempo para la presentación de dos resultados gráficos consecutivos.
- **Final Time:** tiempo final de análisis.
- **No-print delay:** tiempo sin visualizar. Es un parámetro opcional, en el cual se indica el tiempo que pasa antes de que se muestren los resultados del análisis.
- **Step Ceiling:** intervalo de tiempo máximo entre el cálculo de dos estados consecutivos.
- **Detailed Bias Pt:** cálculo del punto de trabajo del circuito, por lo tanto veremos reflejado en el fichero de salida los resultados del análisis del punto de trabajo.
- **Use Initials conditions:** uso de condiciones iniciales.

6.9. ANALISIS FOURIER.

Para acceder a ese análisis es necesario entrar en el análisis (Transient) anterior, ya que para poder realizarlo es imprescindible que exista con anterioridad una serie de datos que se derivan del análisis en función del tiempo. A partir de estos datos se determinarán los coeficientes de la serie de Fourier para un ciclo completo de la forma de onda.

Además de tener habilitada la opción (Enable Fourier) se deberá especificar:

- **Center Frequency:** Frecuencia fundamental.
- **Number of harmonics:** número de armónicos a calcular.
- **Output Vars:** variables de salida sobre las que realizaremos el análisis.

6.10. ANÁLISIS PARAMETRIC.

Con el empleo de este análisis es posible realizar el barrido de una variable en torno a un rango de valores. Posteriormente el programa realizará la simulación del circuito para todos y cada uno de los valores que adquiera la variable especificada. La cual puede ser desde la temperatura, un parámetro global, un parámetro de un modelo o simplemente una fuente.

Al actuar sobre el icono de este análisis se nos abre una ventana de diálogo con los siguientes parámetros:

- **Sweep Var. Type:** tipo de variable de barrido: la ventana nos da una serie de opciones como pueden ser fuentes de tensión, fuentes de corriente, parámetros globales, temperatura, o un modelo interno.
- **Name:** según el tipo de variable que estemos realizando el barrido, tendremos que especificar en cada caso el nombre (Name), el tipo de modelo (Model Type), el nombre del modelo (Model Name) y el parámetro del modelo a variar (Param. Name).
- **Sweep Type:** tipo de barrido: lineal, por octavas, por décadas, o bien especificar una lista de valores.
- **Sweep:** dentro de los barridos es posible asignar el valor inicial (Start Value), el valor final (End Value), el Incremento (Increment) para un barrido lineal, puntos por octava (Pts/Octave) para un barrido por octavas, puntos por década (Pts/decade) para un barrido por décadas, o especificar una serie de valores (Values) en el caso de que elijamos la opción (Value List).

6.11. ANÁLISIS DE MONTECARLO.

Todos los componentes eléctricos o electrónicos disponen de unos valores de referencia dados por el fabricante. Estos valores, no obstante, están sujetos a una tolerancia que depende de múltiples factores (temperatura, fabricación, materiales, etc). Con el presente análisis se nos permitirá determinar los efectos que la tolerancia de los componentes tiene sobre la señal de salida.

El programa primeramente realizará la simulación con el valor nominal del componente sujeto a tolerancia, para posteriormente realizar el análisis con valores aleatorios de esa tolerancia.

En la ventana de edición de este análisis, por otra parte común a la del análisis Worst Case, se especificarán los siguientes parámetros.

- **ANALYSIS:** deberemos escoger entre (Worst Case) para el análisis de las peores condiciones del circuito: (Monte Carlo) para el análisis estudiado: y (MC Runs) qué nos indicará el número de ejecuciones o veces que se repetirá el análisis (este valor coincide con el número de valores aleatorios tomados del elemento sujeto a tolerancia).

- **ANALYSIS TIPE:** se especificara el tipo de análisis escogido para el circuito (AC, DC, o transitorio), a parte en el casillero (Output Var) se escribirá la señal sobre la que realizamos el análisis de Monte Carlo.
- **FUNCTION:** determina la operación o función a realizar sobre los valores obtenidos de la señal de salida para reducirlos a un solo valor, que nos servirá de base para la comparación entre los valores de las distintas ejecuciones y el valor nominal. Las funciones posibles son:
 - **YMAX:** determina la mayor variación de la forma de onda de la señal obtenida con respecto al análisis efectuado con el valor nominal.
 - **MAX:** valor máximo de la forma de la señal.
 - **MIN:** valor mínimo de la forma de la señal.
 - **RISE:** halla el primer punto de la forma de la señal que cruza por encima del valor especificado en el casillero (Rise/Fall).
 - **FALL:** halla el primer punto de la forma de la señal que cruza por debajo del valor especificado en el casillero (Rise/Fall).
 - **Range Low:** rango mínimo de valores entre los cuales actuará la función.
 - **Range High:** rango máximo de valores entre los cuales actuará la función.
- **MC OPTIONS:** estos son los parámetros que controlan las ejecuciones.
 - **OUTPUT:** esta opción genera la salida de datos para las ejecuciones posteriores al análisis nominal:
 - **None:** genera la salida solo para el análisis nominal.
 - **All:** genera la salida para todas las ejecuciones.
 - **First:** genera una salida de datos para las "n" primeras ejecuciones. Este número "n" se especifica en el casillero (Value).
 - **Every:** genera la salida de datos cada "n" ejecuciones.
 - **Runs:** genera la salida de datos para las ejecuciones especificadas.
 - **LIST:** si hacemos uso de esta opción, en el fichero de salida aparecerán los valores de los parámetros de los modelos usados en cada ejecución.
 - **SEED:** este será la opción que nos permita seleccionar un valor preestablecido para el generador de números aleatorios, que por defecto es 17533.

6.12. ANÁLISIS WORST CASE.

Éste es el análisis que nos permite observar las peores condiciones de funcionamiento del circuito, pero a diferencia del análisis Monte Carlo se variará un solo parámetro en cada ejecución. Para determinar en el peor de los casos la salida, se hallará primeramente la sensibilidad de la variable de salida con respecto a cada parámetro, realizándose posteriormente una ejecución variando todos los parámetros.

La ventana que nos permitirá ajustar los parámetros de éste análisis es la misma que la del análisis de Monte Carlo, explicado anteriormente, por tanto especificaremos: el tipo de análisis a realizar sobre la variable de salida, la variable de salida, la función a realizar sobre los valores obtenidos, etc.

Hay algunos parámetros, no obstante, específicos para este tipo de análisis:

- **Output All:** en el fichero de salida vendrán especificados los resultados de todos los análisis de sensibilidad posteriores al análisis del valor nominal. Si no esta habilitada esta opción, solo aparecerán en el fichero de salida los resultados del análisis nominal y del correspondiente análisis de las peores condiciones.
- **VARY:** según la tolerancia, esta opción nos permitirá seleccionar los elementos a tener presentes en el análisis:
 - **DEV:** se aplica a componentes discretos. Esta tolerancia determina que aquellos componentes que disponen de un mismo modelo varíen su valor, independientemente unos de otros.
 - **LOT:** se aplica a circuitos integrados. Esta tolerancia determina que aquellos componentes que disponen de un mismo modelo varíen su valor al mismo tiempo.
 - **BOHT:** con esta opción es posible seleccionar ambos tipos de tolerancias.
- **DIRECCION:** nos determina la dirección de ejecución del análisis con respecto al valor nominal. Si la función elegida es YMAX o MAX, el valor por defecto será HIGH. Si la función elegida es YMIN o MIN, el valor por defecto será LOW.
- **DEVICE:** esta opción nos permite especificar los componentes que forman parte del análisis. Para ello, escribiremos, sin dejar espacio intermedio, las iniciales indicativas del tipo de componente: L,C, R, J etc. Si no especificamos nada se incluirán todos los componentes.

6.13. SAVE BIAS POINT.

Esta es una opción interesante, ya que si bien los resultados del cálculo del punto de trabajo de un circuito se almacenan en el fichero de salida típico con extensión .OUT, con esta opción nos permite almacenarlo en un fichero distinto con un nombre asignado por nosotros mismos.

Cuando actuamos sobre esta opción se abrirá una ventana de diálogo en la que especificaremos en la columna apropiada, en función del análisis realizado, el nombre del fichero que queremos crear, además de otras características que se corresponden con otros tipos de análisis, como pueden ser: la temperatura a la cual se ha realizado el análisis del punto de trabajo (en el caso de que se hallen seleccionadas varias, el número de ejecuciones que deseamos para el análisis estará determinado por diversos factores: análisis de Monte Carlo, Paso de cálculo, etc).

6.14. LOAD BIAS POINT.

Esta es una opción que nos permite incorporar en el fichero de salida del análisis de un determinado circuito, cualquier otro fichero que hayamos guardado previamente mediante la opción (Save Bias Point), siendo por tanto necesario especificar en la ventana de edición la dirección donde se encuentra el archivo seleccionado.

6.15. DIGITAL SETUP.

Esta opción nos permite ajustar algunas características relativa a los análisis de circuitos digitales, como pueden ser la temporización o clock (Minimum, Typical, Maximum o Worst Case), las condiciones de inicio para los biestables (All 0, All 1, o All X), y el nivel de entrada/salida por defecto para los convertidores analógicos/digitales (Level 1, Level 2....).

6.16. OPTIONS.

Todos los análisis están sujetos a unos parámetros que controlan la precisión de los mismos. Mediante el empleo de esta opción se nos permitirá variar estos parámetros de control.

En la ventana de edición se nos muestran estos parámetros distribuidos en dos columnas. La columna de la izquierda representa los parámetros que no disponen de valor numérico, por defecto se hallan desactivados (N), para activarlos (Y), haremos clic con el botón izquierdo del ratón sobre él.

La columna de la derecha representa los parámetros que poseen valor numérico, para cambiar el valor que tienen asignado por defecto los seleccionaremos ajustando el nuevo valor en el casillero (New Value).

Para una relación más detallada de los citados parámetros les remitimos a la ayuda del programa, o a obras más específicas.

BIBLIOGRAFÍA.

- ***COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE SISTEMAS. COLECCIÓN DE PROBLEMAS Y PRÁCTICA.***
Ramón M^a Mujal. X.Alabern.
Editorial: Ediciones ETSEIT.
- ***FUNDAMENTOS DE LA ELÉCTRICIDAD.***
Miton Gussow.
Editorial: McGraw-Hill.
- ***TEORIA DE CIRCUITOS.***
E. Ras.
Editorial: Marcombo.
- ***CIRCUITOS ELÉCTRICOS.***

Joseph A. Edminister; Mahmood Nahvi.
Editorial: McGraw-Hill, serie Schaum.

- ***TEORIA Y PROBLEMAS DE FUNDAMENTOS DE ELECTRICIDAD.***
M. Gussow.
Editorial: McGraw-Hill, serie Schaum.
- ***ANÁLISIS Y DISEÑO DE CIRCUITOS INTEGRADOS ANALÓGICOS.***
Paul R. Gray; Robert G. Meyer.
Editorial: Prentice-Hall.
- ***INTRODUCCIÓN AL PSPICE.***
James W. Nilsson; Susan A. Reidel.
Editorial: Addison-Wesley Iberoamericana.
- ***SIMULACIÓN ELECTRÓNICA CON PSPICE.***
J. Domingo Aguilar Peña; Antonio Domenech Martínez; Javier Garrido Sánchez.
Editorial: RAMA.
- ***PSPICE: SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE CIRCUITOS ANALÓGICOS ASISTIDA POR ORDENADOR.***
Eduardo García Breijo; Javier Ibáñez Civera; Luis Gil Sánchez.
Editorial: PARANINFO.