

Contenido

Introducción	35
Capítulo 1. Preliminares para uso	41
Descarga del programa	44
Instalación e inicio	45
Personalización básica	48
Ubicación de elementos en el área de trabajo	52
Capítulo 2. Circuitos resistivos	55
Circuitos en serie	57
Circuitos en paralelo	71
Circuitos en serie y paralelo	77
Circuitos por mallas y nodos	81
Voltajes y corrientes dependientes	90
Capítulo 3. Circuitos RLC	101
Circuitos RLC en serie	103
Bobinas y transformadores	120
Capítulo 4. Circuitos electrónicos	129
Circuitos con diodos	131
Transistores unión bipolar BJT	148
Transistores de efecto de campo-FET	164
Capítulo 5. Aplicaciones en electrónica	177
Filtros	179
Osciladores	188

Capítulo 6. Circuitos para señales	197
Dominio de la frecuencia	199
Comunicaciones	213
Figuras de lissajous	223
Modulación digital	231
Generación de señales	238
 Capítulo 7. Importación y creación de dispositivos	 245
Importación de librerías y elementos	247
Creación de símbolos	254
 Capítulo 8. Circuitos especiales	 265
 Referencias	 277
Índice analítico	281

Índice de Prácticas

Práctica 1. Configuración del aspecto del programa	48
Práctica 2. Uso de las teclas rápidas	52
Práctica 3. Uso de los iconos	53
Práctica 4. Fuente de voltaje con una resistencia	57
Práctica 5. Fuente de voltaje con dos resistencias	64
Práctica 6. Dos fuentes de voltaje con tres resistencias	68
Práctica 7. Fuente de voltaje con tres resistencias en paralelo	71
Práctica 8. Dos fuentes de corriente con dos resistencias en paralelo	75
Práctica 9. Circuito sencillo serie-paralelo	77
Práctica 10. Circuito serie-paralelo con fuentes y resistencias	79
Práctica 11. Circuito por mallas con una sola fuente	81
Práctica 12. Circuito con fuente de corriente y voltaje resuelto por nodos	87
Práctica 13. Circuito con fuente de corriente dependiente de corriente	91
Práctica 14. Circuito con fuente de voltaje controlada por voltaje	93
Práctica 15. Circuito con fuente de corriente dependiente de voltaje	94
Práctica 16. Circuito con fuente de voltaje dependiente de corriente	96
Práctica 17. Circuito con fuente de voltaje dependiente de corriente sobre un elemento	97
Práctica 18. Circuito RC en serie	103
Práctica 19. Circuito RLC en serie para carga resistiva	111
Práctica 20. Circuito RLC en serie para carga inductiva, entrada coseno	115
Práctica 21. Diseño de transformador sin cambio de fase	124
Práctica 22. Diseño de transformador con cambio de fase	126

Práctica 23. Curva del diodo polarizado en directo	131
Práctica 24. Rectificador de media onda	134
Práctica 25. Rectificador de onda completa con dos diodos	137
Práctica 26. Rectificador de onda completa con cuatro diodos y variación de condensador	139
Práctica 27. Curva del diodo Zener	142
Práctica 28. Regulador con diodo Zener	145
Práctica 29. Recortador de señal con Zener	147
Práctica 30. Curvas de transistor BJT	148
Práctica 31. Polarización del BJT con dos fuentes	150
Práctica 32. Polarización por divisor de tensión con BJT	155
Práctica 33. Análisis de pequeña señal con BJT	158
Práctica 34. Curvas de drenaje en el transistor de efecto de campo (FET)	164
Práctica 35. Curva de transferencia del JFET	168
Práctica 36. Análisis de pequeña señal con FET con polarización por divisor de tensión	170
Práctica 37. Filtro pasabajo (LPF) pasivo con resistencia y condensador (RC)	179
Práctica 38. Circuito resonante con resistencia, inductor y condensador (RLC)	183
Práctica 39. Filtro pasabajo (LPF) activo de 1 kHz	186
Práctica 40. Oscilador puente de Wien	188
Práctica 41. Oscilador onda cuadrada Amp Op	191
Práctica 42. Oscilador con NE555	193
Práctica 43. Análisis onda senoidal como armónica	199
Práctica 44. Suma de señales	202
Práctica 45. Componentes armónicos de una onda cuadrada	205
Práctica 46. Modulación de amplitud (AM) con amplificador operacional	213
Práctica 47. Modulación de frecuencia (FM)	217
Práctica 48. Relación angular entre dos señales de la misma frecuencia	223
Práctica 49. Relación de frecuencias 3:5	225
Práctica 50. Método del trapecio para medir índice de modulación en AM	229

Práctica 51. Muestreador con circuito integrado	231
Práctica 52. Modulación por desplazamiento de amplitud ASK	234
Práctica 53. Modulación por desplazamiento de fase PSK	235
Práctica 54. Generación de señales triangulares	238
Práctica 55. Generación de pulsos	242
Práctica 56. Importación de librería de elementos de cuatro capas	247
Práctica 57. Importación del LM741	250
Práctica 58. Crear el símbolo de rectificador de cuatro diodos	255
Práctica 59. Crear una compuerta NAND	259
Práctica 60. Controlador de potencia con TRIAC y DIAC	267
Práctica 61. Fuente generadora de señales arbitrarias Modo 1	271
Práctica 62. Fuente generadora de señales arbitrarias Modo 2	273

Figuras

Figura 1.1. Enlace para descargar el programa.	44
Figura 1.2. Ventana emergente para traducir al español.	45
Figura 1.3. Hoja del enlace con traducción al español.	45
Figura 1.4. Ventana emergente del comando de Windows para ejecutar LTspice.	46
Figura 1.5. Aspecto del escritorio de LTspice.	46
Figura 1.6. Herramientas de manejo de archivos.	47
Figura 1.7. Herramientas para colocar y accionar elementos.	47
Figura 1.8. Ventana emergente del panel de control.	49
Figura 1.9. Cambio de imagen de fondo a <i>Aristarchus</i> .	50
Figura 1.10. Selección del fondo del área de trabajo para elegir el color.	50
Figura 1.11. Panel de control para cambiar los colores de los trazos.	51
Figura 1.12. Colocación de elementos en el área de trabajo.	53
Figura 2.1. Circuito propuesto para la práctica 4.	58
Figura 2.2. Ventana emergente para seleccionar componentes.	59
Figura 2.3. Inserción de elementos para la práctica 3.	59
Figura 2.4. Inicio del recorrido del alambrado, mostrando las guías.	60
Figura 2.5. Circuito alambrado.	60
Figura 2.6. Ventana para insertar el valor de la fuente.	61
Figura 2.7. Selección del componente para colocar valores.	61
Figura 2.8. Ventana alternativa para colocar valores y cambiar características de un componente.	61
Figura 2.9. Circuito final.	62

Figura 2.10. Ventana de simulación en el rótulo de punto de operación DC.	63
Figura 2.11. Ventana de resultados de la simulación.	63
Figura 2.12. Circuito con dos resistencias práctica 5.	64
Figura 2.13. Presentación final del circuito.	64
Figura 2.14. Ventana de resultados de la simulación para la práctica.	65
Figura 2.15. Ventana para rotular el valor cerca al nodo.	66
Figura 2.16. Inserción de rótulos de valores en el circuito.	66
Figura 2.17. Selección de otras variables para mostrar.	67
Figura 2.18. Rotulación de variables hasta con limitación de decimales.	67
Figura 2.19. Circuito para la práctica con características del esquema variados.	68
Figura 2.20. Circuito final con resultados de variables, luego de la simulación.	71
Figura 2.21. Circuito para simular con una fuente y tres resistencias.	71
Figura 2.22. Selección de herramientas de dibujo.	72
Figura 2.23. Selección del estilo de línea para el comando <i>Draw</i> .	72
Figura 2.24. Circuito final simulado práctica 7. Tenga en cuenta los colores del texto de comentario que también se han dejado de color negro.	75
Figura 2.25. Circuito con dos fuentes de corriente y dos resistencias en paralelo.	75
Figura 2.26. Ventana de resultados en punto de operación DC.	77
Figura 2.27. Circuito serie-paralelo de la práctica 9.	77
Figura 2.28. Reemplazo de las resistencias en paralelo del circuito de la práctica.	78
Figura 2.29. Resultados de la simulación.	79
Figura 2.30. Circuito con fuentes de corriente y resistencias en serie-paralelo.	79
Figura 2.31. Resultados de la simulación.	81
Figura 2.32. Práctica de circuito para análisis por mallas.	82
Figura 2.33. Resultados de la simulación, mostrando corrientes, voltajes y potencias.	85
Figura 2.34. Anotaciones junto al circuito.	87

Figura 2.35. Circuito con una fuente de voltaje y una de corriente para análisis por nodos.	88
Figura 2.36. Simulación para la práctica de nodos.	90
Figura 2.37. Circuito con una fuente de corriente dependiente de corriente.	91
Figura 2.38. Modo de rotular la fuente de corriente controlada por corriente.	92
Figura 2.39. Circuito con fuente corriente controlada por corriente en LTspice.	92
Figura 2.40. Cuadro de resultados en punto de operación DC.	93
Figura 2.41. Circuito con fuente de voltaje controlada por voltaje.	93
Figura 2.42. Circuito anterior dibujado en LTspice.	94
Figura 2.43. Resultados del circuito con fuente controlada por voltaje.	94
Figura 2.44. Circuito con fuente de corriente controlada por voltaje.	95
Figura 2.45. Circuito con fuente de corriente controlada por voltaje,	95
Figura 2.46. Resultados de la simulación.	96
Figura 2.47. Circuito con fuente de voltaje controlada por corriente.	96
Figura 2.48. Circuito realizado en LTspice.	97
Figura 2.49. Resultados de la simulación.	97
Figura 2.50. Fuente de voltaje controlada por una corriente derivada en una resistencia paralela.	98
Figura 2.51. Forma adecuada para acoplar una fuente de referencia con 0 V para la fuente dependiente.	99
Figura 2.52. Resultados de la simulación del circuito anterior.	99
Figura 3.1. Circuito RC con señal variante en el tiempo.	103
Figura 3.2. Circuito inicial realizado en LTspice.	106
Figura 3.3. Cuadro de diálogo para fuentes diferentes de DC, con los valores de la práctica.	106
Figura 3.4. Circuito con fuente con valores AC.	107
Figura 3.5. Ventana del comando de simulación con la ventana de transiente.	107
Figura 3.6. Inicio de simulación para mostrar señales en LTspice.	108

Figura 3.7. Obtención de las señales de entrada y salida. (Las sondas se han colocado juntas solo como guía).	109
Figura 3.8. Gráfica y valores obtenidos para las señales del circuito propuesto. (Los cursores se han colocado juntos en la figura como guía).	110
Figura 3.9. Circuito RLC con carga resistiva.	111
Figura 3.10. Ventana de configuración del transiente para mostrar siete periodos.	113
Figura 3.11. Ventana de valores de posición de los cursores. Las imágenes que se colocan solo ayudan a comprender lo referenciado en el texto.	114
Figura 3.12. Ventana para ajustes del eje horizontal.	115
Figura 3.13. Circuito en serie RLC con carga inductiva para una entrada coseno.	116
Figura 3.14. Presentación de la señal coseno a la entrada y su respectiva salida (color azul). Ahora veremos una técnica para colocar los valores sobre los picos de cada señal, ya que en este caso no es posible colocar los dos cursores de una misma selección sobre los valores pico.	117
Figura 3.15. Ventana para colocar los valores de la posición del cursor.	118
Figura 3.16. Valores de la posición del cursor 1 sobre el pico de la señal $V(in)$.	118
Figura 3.17. Valores puestos de los dos cursores en las señales de entrada y salida.	119
Figura 3.18. Manera de hallar el valor de tiempo de corrimiento (t_x) entre las señales. En el caso aplicado de esta práctica se ajustó el eje horizontal para que la cuadrícula coincidiera con los picos de la señal de entrada en porciones (<i>tick</i>) de 5 ms.	120
Figura 3.19. Circuito equivalente de una inductancia en LTspice. (Tomado de la sección de ayuda de LTspice en la sección L. Inductor).	121
Figura 3.20. Ventana emergente para colocar los posibles valores de un inductor.	122
Figura 3.21. Transformadores de cuatro puertas: a) salida en fase con la entrada; b) salida desfasada 180°.	122
Figura 3.22. Símbolo de bobina tipo 2 de LTspice.	123

Figura 3.23. Transformador mostrando sus características.	123
Figura 3.24. Circuito con transformador.	125
Figura 3.25. Presentación de las señales del transformador en dos paneles.	126
Figura 3.26. Circuito para generar un transformador con valores rms.	127
Figura 3.27. Resultado de las señales de entrada y salida del transformador.	128
Figura 4.1. Circuito para generar la curva del diodo.	132
Figura 4.2. Ventana de configuración para el barrido de voltaje en el diodo.	133
Figura 4.3. Obtención de la curva característica del diodo en conducción en directo para tres temperaturas.	134
Figura 4.4. Circuito para rectificador de media onda con referencia 1N4001.	135
Figura 4.5. Señal obtenida del rectificador de media onda con el diodo 1N4001.	136
Figura 4.6. Rectificador de onda completa con dos diodos.	137
Figura 4.7. Rectificador de onda completa con dos diodos en LTspice.	137
Figura 4.8. Resultado del circuito rectificador de onda completa con dos diodos.	138
Figura 4.9. Señal de entrada desde el punto A hasta el punto B.	139
Figura 4.10. Circuito rectificador de onda completa con cuatro diodos.	140
Figura 4.11. Señales del rectificador de onda completa con valores diferentes para el condensador.	141
Figura 4.12. Forma alterna de colocar lista de valores para un elemento de circuito.	142
Figura 4.13. Polarización adecuada para obtener la curva de un diodo Zener de 12 V.	143
Figura 4.14. Datos de voltaje para el barrido sobre el diodo Zener.	143
Figura 4.15. Curva de un diodo Zener de 12 V.	144
Figura 4.16. Circuito del diseño para diodo Zener de 12 V.	146
Figura 4.17. Circuito recortador a ± 10 V.	147
Figura 4.18. Resultados gráficos de las señales del recortador.	147
Figura 4.19. Circuito para obtener las características de un transistor BJT.	148
Figura 4.20. Ajuste de las fuentes de voltaje y corriente para el barrido DC.	149

Figura 4.21. Curvas características para el transistor 2N3904.	149
Figura 4.22. Transistor BJT con dos fuentes.	151
Figura 4.23. Resultados en el circuito.	154
Figura 4.24. Polarización de transistor por división de tensión.	155
Figura 4.25. Resultados del circuito de polarización por divisor de tensión.	157
Figura 4.26. Circuito de polarización universal en análisis AC.	158
Figura 4.27. Modelo híbrido usado para los cálculos del ejercicio.	159
Figura 4.28. Resultado de la simulación para valores DC.	161
Figura 4.29. Gráfica de señales obtenidas para la práctica en AC del transistor 2N3904.	162
Figura 4.30. Modelo Gummel-Poon que usa SPICE. (Tomado de la ayuda del programa LTspice, tema <i>Q. Bipolar transistor</i>).	163
Figura 4.31. Circuito para obtener las curvas de características del JFET 2N5484.	165
Figura 4.32. Ventanas para configurar el barrido de fuentes DC en la simulación.	166
Figura 4.33. Ajustes para el eje horizontal de la gráfica de las curvas del JFET.	167
Figura 4.34. Familia de curvas del JFET 2N5484.	167
Figura 4.35. Circuito y configuración para obtener la curva de transferencia del JFET.	168
Figura 4.36. Ventana del comando de simulación para configurar el barrido de la fuente de entrada.	169
Figura 4.37. Curva de transferencia para el JFET 2N5484.	169
Figura 4.38. Polarización universal con JFET para análisis en AC.	171
Figura 4.39. Circuito equivalente Thevenin para la práctica con JFET.	172
Figura 4.40. Modelado de un JFET para AC.	174
Figura 4.41. Señales de entrada y salida de la práctica con JFET.	175
Figura 5.1. Filtro RC pasabajo.	179
Figura 5.2. Ventana emergente para configurar análisis AC.	181
Figura 5.3. Gráfica de frecuencia y fase en análisis AC del filtro pasabajo.	182
Figura 5.4. Elección del valor que se escribirá en la posición del cursor.	183

Figura 5.5. Circuito resonante LC.	183
Figura 5.6. Comportamiento del circuito resonante en el dominio de la frecuencia.	184
Figura 5.7. Filtro activo pasabajo de 1 kHz de ganancia 20.	187
Figura 5.8. Diagrama de Bode para un filtro activo de 1 kHz a 25,2 dB.	187
Figura 5.9. Oscilador Puente de Wien para 5 kHz.	189
Figura 5.10. Aspecto del proceso de oscilación del circuito puente de Wien .	190
Figura 5.11. Ventana de ajuste del eje horizontal para mejorar el aspecto de la gráfica.	190
Figura 5.12. Acercamiento de la gráfica para medir el periodo y la frecuencia.	191
Figura 5.13. Circuito oscilador de onda cuadrada para 5 kHz.	192
Figura 5.14. Onda resultante del circuito oscilador.	193
Figura 5.15. Circuito oscilador de 10 kHz.	195
Figura 5.16. Forma de onda obtenida y sus valores.	195
Figura 6.1. Circuito para observación de una señal en el dominio del tiempo y de la frecuencia.	200
Figura 6.2. Vista en FFT de una señal pura.	201
Figura 6.3. Aspecto mejorado de la señal FFT, con la adición de directiva de precisión y velocidad de dibujo.	202
Figura 6.4. Circuito sumador para cuatro señales de diferentes amplitudes y frecuencias.	203
Figura 6.5. Señal de salida de un sumador de cuatro señales.	203
Figura 6.6. Ajuste de parámetros para visualizar gráfica FFT.	204
Figura 6.7. Componentes de la suma de señales.	205
Figura 6.8. Circuito de una onda rectangular de ciclo útil 20 % para analizar en FFT.	206
Figura 6.9. Datos de configuración de la onda rectangular en la fuente .	206
Figura 6.10. Gráfica de la señal rectangular en el dominio del tiempo.	207
Figura 6.11. Presentación de las armónicas de una onda rectangular en modo logarítmico.	210

Figura 6.12. Ajuste de valores para los ejes de la gráfica de armónicas en kHz y en dB.	211
Figura 6.13. Componentes armónicos de la señal rectangular en dB y modo no logarítmico.	211
Figura 6.14. Componentes armónicos de la onda rectangular en Vrms.	212
Figura 6.15. Circuito sumador para obtener una salida en modulación de amplitud.	215
Figura 6.16. Señal modulada en AM a la salida del sumador.	215
Figura 6.17. Componentes armónicas en modo FFT.	216
Figura 6.18. Componentes de frecuencia de una señal modulada en amplitud.	216
Figura 6.19. Fuente moduladora de FM.	217
Figura 6.20. Ventana de configuración para una fuente FM.	218
Figura 6.21. Señal FM de índice de modulación 4.	219
Figura 6.22. Componentes de frecuencia en modo logarítmico.	219
Figura 6.23. Vista mejorada de la señal en el dominio de la frecuencia, en la cual se aprecian los componentes.	220
Figura 6.24. Configuración de los ejes de la gráfica de frecuencias para una mejor vista.	221
Figura 6.25. Vista mejorada de los componentes de FM con índice de modulación 4.	221
Figura 6.26. Circuito para contrastar desfase de una señal respecto de otra.	223
Figura 6.27. Figura en modo X-Y entre dos señales con un desfase de 90° e igual frecuencia.	224
Figura 6.28. Circuito con dos fuentes de frecuencia diferente.	225
Figura 6.29. Relación en el tiempo de dos señales de diferente frecuencia.	226
Figura 6.30. Figura de Lissajous para relación de frecuencias de 3:5.	226
Figura 6.31. Ventana para ajuste de límites de valores en los ejes de la gráfica.	227
Figura 6.32. Presentación mejorada luego de ajustar los valores de los ejes.	228

Figura 6.33. Circuito de modulación de amplitud (AM) para obtener el trapecio en el modo X-Y.	229
Figura 6.34. Figura de trapecio en el modo X-Y para una señal AM.	230
Figura 6.35. Circuito muestreador con interruptor analógico comercial.	232
Figura 6.36. Señales que intervienen en un proceso de muestreo.	232
Figura 6.37. Circuito similar al muestreador anterior con un símbolo genérico.	233
Figura 6.38. Circuito ASK con circuito integrado comercial.	234
Figura 6.39. Señal ASK en el terminal de salida del interruptor analógico.	235
Figura 6.40. Modulador PSK que usa un símbolo genérico de interruptor análogo.	235
Figura 6.41. Señales en el modulador PSK.	237
Figura 6.42. Características para una fuente de pulsos a fin de configurarlo como generador de señales.	238
Figura 6.43. Configuración para señales triangulares: a) señal simétrica; b) señal triangular a la izquierda 30 %; c) señal triangular a la derecha al 10 %.	241
Figura 6.44. Señales triangulares de las configuraciones anteriores.	241
Figura 6.45. Configuración para generar pulsos triangulares y rectangulares: a) un pulsotriangular; b) un pulso rectangular; c) dos pulsos rectangulares.	242
Figura 6.46. Configuración de la fuente V3 para mostrar dos ciclos rectangulares.	243
Figura 6.47. Pulsos obtenidos con las configuraciones de la fuente de pulsos.	244
Figura 7.1. Identificación de un elemento dentro de una librería, mostrando un empaque comercial para los terminales.	249
Figura 7.2. Ejemplo de un <i>TRIAC</i> comercial con inclusión de la librería en su ubicación de archivo.	249
Figura 7.3. Sitio desde la página que permite descargar el modelo SPICE para el circuito operacional 741.	250
Figura 7.4. Aspecto del archivo de un nuevo elemento en LTspice.	251
Figura 7.5. Símbolo rectangular para amplificadores operacionales.	252

Figura 7.6. Corrección de los nombres de los terminales en el símbolo rectangular.	252
Figura 7.7. Datos que deben cambiarse del símbolo genérico al símbolo rectangular que tiene ahora el LM741.	253
Figura 7.8. Circuito amplificador inversor con el nuevo símbolo LM741 y sus respectivas señales de simulación.	254
Figura 7.9. Circuito base para crear un puente rectificador de onda completa.	255
Figura 7.10. Dibujo del contorno del símbolo para un rectificador.	256
Figura 7.11. Especificaciones para cada terminal del símbolo.	256
Figura 7.12. Dibujo final del símbolo para el rectificador.	257
Figura 7.13. Circuito rectificador de onda completa, mostrando el símbolo creado.	258
Figura 7.14. Señales en el rectificador de onda completa con nuevo símbolo.	258
Figura 7.15. Circuito base para una compuerta NAND con transistores MOS.	260
Figura 7.16. Ventana emergente para cambiar nombre al MOSFET y los valores de parámetros L y W.	261
Figura 7.17. Secuencia para crear el símbolo de una compuerta NAND.	262
Figura 7.18. Ventanilla de la librería de componentes que muestra el símbolo creado.	263
Figura 7.19. Circuito para verificación de la compuerta NAND.	264
Figura 7.20. Tabla de verdad y resultados de prueba de la compuerta NAND creada.	264
Figura 8.1. Variación del pico de voltaje para variar velocidad o potencia.	268
Figura 8.2. Circuito controlador de potencia.	268
Figura 8.3. Señales en los puntos etiquetados y la potencia consumida por RL.	270
Figura 8.4. Señal arbitraria de cuatro puntos.	271
Figura 8.5. Circuito realizado en LTspice que muestra la configuración de la fuente.	272
Figura 8.6. Ventana emergente para la configuración de la fuente PWL.	272
Figura 8.7. Señal resultante de PWL para cuatro puntos.	273

Figura 8.8. Señal con varios puntos que han sido llevados a un archivo <i>.txt</i> para esta práctica.	274
Figura 8.9. Circuito con fuente PWL que depende de datos de un archivo.	274
Figura 8.10. Ventana emergente que permite subir archivo de datos para archivo PWL.	275
Figura 8.11. Señal obtenida en la fuente PWL con datos de archivo.	276

Tablas

Tabla 2.1. Comandos para colocar valores de variables en el circuito	70
Tabla 2.2. Comandos para colocar valores de variables en el circuito	74
Tabla 2.3. Lista de fórmulas usadas para las variables mostradas en la simulación	86
Tabla 4.1. Fórmulas usadas para colocar los valores de variables sobre el circuito de esta práctica	146
Tabla 4.2. Fórmulas usadas para colocar los valores de variables sobre el circuito de esta práctica	154
Tabla 4.3. Fórmulas usadas para colocar los valores de variables sobre el circuito DC de la práctica con BJT	162
Tabla 6.1. Cálculos de armónicos realizados hasta $n = 16$	209
Tabla 6.2. Tabla con valores calculados para los componentes FM.	222