

# Índice general

Prólogo .....	xiv
Presentación .....	xv
<b>CAPÍTULO 1. Introducción a la simulación de circuitos electrónicos.....</b>	<b>17</b>
1.1. La simulación y el diseño en la ingeniería .....	18
1.2. Diseño y desarrollo de un producto electrónico .....	19
1.3. Biblioteca de componentes .....	21
1.4. Niveles de abstracción en el diseño del producto .....	22
1.5. Procesado del diseño .....	24
1.6. Información para la instalación de OrCAD PSpice.....	25
1.7. Pasos para la instalación del paquete OrCAD .....	26
<b>CAPÍTULO 2. Guía de inicio al software OrCAD® PSpice®.....</b>	<b>31</b>
2.1. Introducción.....	31
2.2. Programa OrCAD Capture CIS Lite .....	31
2.3. Programa de simulación PSpice .....	34
2.4. Inicio de OrCAD 17.2 Lite .....	36
2.5. Creación de un proyecto de simulación en OrCAD Capture.....	36
2.6. Cómo hacer una copia del proyecto de OrCAD.....	39
2.7. Realización del esquema en OrCAD Capture.....	40
2.7.1. Barra de iconos de acceso rápido .....	40
2.7.2. Diseño del circuito .....	41
2.7.3. Colocación de los componentes.....	42
2.7.4. Conexionado de los componentes .....	43
2.7.5. Añadir y etiquetar buses .....	44
2.7.6. Añadir una entrada digital fija a nivel alto o a nivel bajo .....	45
2.7.7. Añadir estímulos digitales de entrada .....	47
2.7.8. Identificación de los componentes (Annotate) .....	49
2.7.9. Chequeo de las reglas de diseño (Design Rule Check).....	50
2.7.10. Obtención de la lista de materiales (Bill of Materials) .....	52
2.7.11. Siglas para las unidades .....	53
2.8. Simulación con PSpice.....	53
2.8.1. Creación de un perfil de simulación .....	53
2.8.2. Selección de las señales que se quieren visualizar .....	55
2.8.3. Simulación del circuito.....	57
<b>CAPÍTULO 3. Simulación de circuitos electrónicos digitales.....</b>	<b>59</b>
3.1. Introducción.....	59
3.2. Generación de estímulos digitales de entrada .....	59
3.2.1. Estímulo de tipo fichero .....	60

3.2.2. Estímulo definido mediante comandos.....	61
3.2.3. Estímulo de tipo reloj .....	61
<b>3.3. Perfil de simulación. Descripción de las opciones .....</b>	<b>62</b>
<b>3.4. Almacenamiento de resultados en un fichero .....</b>	<b>63</b>
<b>3.5. Simulación de circuitos digitales combinacionales.....</b>	<b>65</b>
3.5.1. Decodificador binario de dos bits .....	65
3.5.2. Decodificador binario a decimal de tres bits.....	66
3.5.3. Multiplexor de cuatro canales.....	68
3.5.4. Complemento a 2 de un número de cuatro bits .....	69
3.5.5. Calculadora de la distancia entre dos números .....	72
<b>3.6. Diseño jerárquico: sumador de cuatro bits.....</b>	<b>73</b>
3.6.1. Introducción .....	73
3.6.2. Proceso para el diseño jerárquico .....	74
<b>3.7. Circuitos digitales secuenciales síncronos .....</b>	<b>80</b>
3.7.1. Sistema secuencial síncrono basado en biestables JK .....	80
3.7.2. Controlador secuencial de una puerta automática .....	84
3.7.3. Controlador secuencial basado en un contador binario .....	90
3.7.4. Controlador secuencial microprogramado .....	93
3.7.5. Registro con entrada serie y salida paralelo .....	95
<b>3.8. Ejercicios propuestos.....</b>	<b>97</b>
3.8.1. Circuito combinacional .....	97
3.8.2. Multiplicador de números de dos bits .....	97
3.8.3. Circuito sumador total de dos bits .....	97
3.8.4. Decodificador binario a decimal .....	97
3.8.5. Combinacional microprogramado.....	98
3.8.6. Selector.....	98
3.8.7. Circuito secuencial 1.....	98
3.8.8. Circuito secuencial 2.....	99
3.8.9. Circuito secuencial 3.....	100
3.8.10. Automatismo de una puerta .....	100
<b>CAPÍTULO 4. Simulación de circuitos electrónicos analógicos .....</b>	<b>103</b>
<b>4.1. Introducción.....</b>	<b>103</b>
<b>4.2. Perfil de simulación .....</b>	<b>104</b>
<b>4.3. Componentes electrónicos generadores .....</b>	<b>104</b>
4.3.1. Generadores de tensión y de corriente .....	104
4.3.2. Generador de ondas sinusoidales VSIN .....	107
4.3.3. Generador de señales de tipo pulso VPULSE .....	107
4.3.4. Generador de tensión arbitraria VPWL .....	108

<b>4.4. Componentes especiales .....</b>	<b>109</b>
4.4.1. Variables globales o parámetros .....	109
4.4.2. Interruptores dependientes del tiempo .....	109
4.4.3. Interruptor controlado por tensión .....	110
4.4.4. Función TABLE.....	110
4.4.5. Función de transferencia de LAPLACE.....	110
4.4.6. Bloques funcionales para realizar cálculos matemáticos.....	111
4.4.7. Bobinas acopladas magnéticamente y transformadores .....	111
<b>4.5. Ejemplos sencillos .....</b>	<b>112</b>
4.5.1. Generación de ondas triangulares .....	112
4.5.2. Bobinas acopladas magnéticamente.....	113
4.5.3. Sistema trifásico equilibrado de secuencia positiva .....	114
<b>4.6. Tipos de análisis para simulación de circuitos .....</b>	<b>116</b>
4.6.1. Análisis del punto de polarización .....	116
4.6.2. Barrido en continua o DC Sweep .....	118
4.6.3. Barrido paramétrico .....	120
4.6.4. Análisis transitorio.....	121
4.6.5. Barrido en alterna o AC Sweep .....	124
<b>4.7. Representaciones de variables complejas.....</b>	<b>126</b>
<b>4.8. Simulación de circuitos basados en componentes discretos .....</b>	<b>128</b>
4.8.1. Filtros pasivos.....	128
4.8.1.1. Filtro paso-bajo.....	128
4.8.1.2. Filtro paso-alto.....	129
4.8.1.3. Filtro paso-banda .....	130
4.8.2. Curva característica de un diodo semiconductor .....	130
4.8.3. Estudio de la característica en directa del diodo.....	132
4.8.4. Circuitos con diodos .....	137
4.8.4.1. Rectificador de doble onda. Análisis de Fourier (FFT) .....	137
4.8.4.2. Rectificador de doble onda con condensador de filtro.....	139
4.8.4.3. Rectificador de media onda con carga inductiva .....	141
4.8.4.4. Recortador en paralelo.....	143
4.8.4.5. Circuito fijador .....	144
4.8.4.6. Circuito regulador Zener .....	145
4.8.5. Amplificación con el transistor bipolar o BJT.....	146
4.8.6. El transistor de efecto de campo FET .....	151
4.8.6.1. Obtención de la característica de salida de un NFET.....	151
4.8.6.2. Característica de transferencia del FET.....	153
4.8.6.3. Circuito de autopolarización.....	155

4.8.6.4. Amplificador de baja frecuencia con transistor FET .....	155
4.8.6.5. Dedución de la resistencia de salida del FET .....	157
4.8.7. Simulación del amplificador diferencial .....	158
4.8.7.1. Ganancia diferencial .....	159
4.8.7.2. Ganancia en modo común .....	162
4.8.7.3. Amplificador diferencial con fuente de corriente activa.....	165
<b>4.9. Simulación de circuitos basados en el amplificador operacional .....</b>	<b>166</b>
4.9.1. Introducción .....	166
4.9.2. Modelo básico del amplificador operacional .....	167
4.9.3. Amplificador no inversor .....	168
4.9.4. Seguidor de tensión.....	170
4.9.5. Amplificador inversor basado en un AO real .....	172
4.9.6. Amplificador restador.....	173
4.9.7. Sumador analógico. Red R/2R.....	174
<b>4.10. Circuitos no lineales basados en el AO.....</b>	<b>175</b>
4.10.1. Simulación del circuito comparador LM111 .....	175
4.10.2. Circuito comparador con histéresis inversor .....	177
4.10.3. Oscilador basado en el AO MCP6021.....	179
4.10.4. Rectificador de precisión de doble onda .....	181
<b>4.11. Ejercicios propuestos.....</b>	<b>183</b>
4.11.1. Generador de onda cuadrada .....	183
4.11.2. Modelado y simulación de un filtro paso-bajo pasivo.....	183
4.11.3. Estudio de la respuesta en frecuencia de una red de atraso.....	183
4.11.4. Circuito RLC serie.....	183
4.11.5. Obtener la curva característica de un diodo Zener .....	184
4.11.6. Estudio del funcionamiento en inversa de un diodo.....	184
4.11.7. Recortador paralelo de dos ramas .....	184
4.11.8. Rectificador de doble onda 1.....	184
4.11.9. Rectificador de doble onda 2.....	185
4.11.10. Curvas características del BJT.....	185
4.11.11. Amplificador en EC.....	185
4.11.12. Amplificador inversor .....	186
4.11.13. Circuito modulador-demodulador PWM .....	186
4.11.14. Amplificador diferencial .....	187
4.11.15. Circuito de procesamiento analógico 1 .....	187
4.11.16. Circuito de procesamiento analógico 2 .....	187
4.11.17. Circuito de procesamiento analógico 3 .....	188
4.11.18. Red R/2R.....	188

<b>CAPÍTULO 5. Modelado y simulación de circuitos mediante comandos de PSpice®</b> .....	<b>189</b>
<b>5.1. Introducción</b> .....	<b>189</b>
<b>5.2. Análisis en continua con PSpice</b> .....	<b>196</b>
5.2.1. Punto de polarización y barrido en continua .....	196
5.2.2. Análisis de sensibilidad .....	200
5.2.3. Análisis de transferencia .....	201
<b>5.3. Análisis transitorio con PSpice</b> .....	<b>202</b>
<b>5.4. Barrido en alterna con PSpice</b> .....	<b>203</b>
5.4.1. Respuesta en frecuencia .....	203
5.4.2. Análisis de ruido .....	206
<b>5.5. Análisis de Fourier con PSpice</b> .....	<b>207</b>
<b>5.6. Modelado y simulación de circuitos digitales mediante comandos de PSpice</b> .....	<b>208</b>
5.6.1. Modelado y simulación de un circuito combinacional .....	209
5.6.2. Modelado de los tiempos de propagación.....	212
5.6.3. Modelado y simulación de un circuito secuencial .....	214
<b>5.7. Modelado y simulación de un circuito mixto A/D</b> .....	<b>218</b>
<b>5.8. Ejercicios propuestos</b> .....	<b>222</b>
5.8.1. Modelado con comandos de PSpice de un filtro pasivo.....	222
5.8.2. Modelado con comandos de PSpice de un rectificador .....	222
5.8.3. Modelado de un amplificador basado en AO .....	222
5.8.4. Modelado con comandos de PSpice de un sumador.....	222
<b>CAPÍTULO 6. Creación de componentes nuevos para OrCAD® Capture®</b> .....	<b>223</b>
<b>6.1. Nuevo componente amplificador operacional</b> .....	<b>223</b>
<b>6.2. Nuevo componente de memoria ROM</b> .....	<b>229</b>
<b>6.3. Creación de componentes nuevos parametrizables</b> .....	<b>233</b>
6.3.1. Diseño del filtro .....	234
6.3.2. Creación de un componente parametrizable con el filtro diseñado .....	235
6.3.3. Utilización de un componente ya creado .....	238
<b>6.4. Caracterización de dispositivos de la biblioteca BREAKOUT</b> .....	<b>241</b>
6.4.1. Caracterización de una resistencia .....	241
6.4.2. Caracterización de un transistor MOSFET de canal N .....	244
<b>CAPÍTULO 7. Análisis avanzados</b> .....	<b>247</b>
<b>7.1. Diseño y simulación de un circuito RLC serie</b> .....	<b>247</b>
<b>7.2. Análisis de Montecarlo</b> .....	<b>251</b>
<b>7.3. Análisis del Peor Caso</b> .....	<b>255</b>
<b>7.4. Análisis para optimización</b> .....	<b>257</b>

7.5. Prueba de humo .....	260
7.6. Análisis del Peor Caso en circuitos digitales .....	262
<b>CAPÍTULO 8. Modelado y simulación de circuitos mixtos A/D .....</b>	<b>265</b>
8.1. Niveles eléctricos de señales digitales.....	266
8.2. Convertidor digital a analógico (D/A) .....	269
8.3. Convertidor analógico a digital (A/D) .....	271
8.4. Acondicionamiento para un pulsador.....	272
8.5. Modulador de ancho de pulso PWM .....	273
8.6. Modulador DAC-sigma-delta de primer orden .....	276
8.7. Modulador ADC sigma-delta de primer orden .....	278
8.8. Convertidor F/V (Frecuencia a Voltaje).....	280
8.8.1. Principio de funcionamiento .....	280
8.8.2. Simulación del convertir F/V.....	280
8.9. Síntesis digital directa de una señal analógica .....	286
8.9.1. Introducción .....	286
8.9.2. Simulación de un circuito DDS.....	287
8.10. Ejercicios propuestos.....	290
8.10.1. Síntesis de una señal sinusoidal de 10 kHz.....	290
8.10.2. Convertidor F/V.....	290
8.10.3. Modulador ADC sigma-delta de segundo orden .....	290
8.10.4. Síntesis de una señal sinusoidal .....	290
<b>CAPÍTULO 9. Simulación de sensores y acondicionadores.....</b>	<b>291</b>
9.1. Introducción.....	291
9.2. Medida de temperatura con un sensor PT100 .....	292
9.2.1. Fuente de referencia .....	292
9.2.2. Simulación de la PT100 y su acondicionamiento.....	295
9.3. Medida de fuerza con una galga.....	297
9.3.1. Modelado y simulación de una galga extensiométrica.....	297
9.3.2. Circuito de acondicionamiento para las galgas.....	298
9.4. Medida de posición con un LVDT.....	300
9.4.1. Simulación de un sensor LVDT.....	300
9.4.2. Acondicionamiento con rectificador y restador.....	301
9.4.3. Acondicionamiento con rectificador síncrono.....	302
9.5. Ejercicios propuestos.....	303
9.5.1. Medida de temperatura con un diodo semiconductor .....	303
9.5.2. Medida de fuerza con galgas extensiométricas .....	303
9.5.3. Medidor de velocidad de rotación de un eje.....	304
9.5.4. Etapa acondicionadora del rango de salida de un sensor .....	304

<b>CAPÍTULO 10. Simulación de circuitos electrónicos de potencia .....</b>	<b>305</b>
<b>10.1. Introducción.....</b>	<b>305</b>
<b>10.2. Simulación de una fuente de alimentación lineal .....</b>	<b>306</b>
10.2.1. Modelado y simulación del transformador de potencia .....	307
10.2.2. Regulador de tensión con limitador de corriente .....	312
10.2.3. Fuente de alimentación lineal de tensión de 12 Vdc.....	314
<b>10.3. Regulador lineal de tensión de tres terminales .....</b>	<b>316</b>
<b>10.4. Convertidores ca-cc o rectificadores .....</b>	<b>317</b>
10.4.1. Rectificador no controlado monofásico de media onda .....	317
10.4.2. Rectificador controlado monofásico de media onda .....	320
10.4.3. Rectificador semicontrolado monofásico de doble onda.....	321
10.4.4. Rectificador de potencia con MOSFET .....	323
<b>10.5. Convertidores cc-cc conmutados .....</b>	<b>326</b>
10.5.1. Convertidor reductor o <i>buck</i> .....	326
10.5.1.1. Circuito PWM sin filtro.....	326
10.5.1.2. Circuito PWM con filtro LC .....	327
10.5.1.3. Modelo de pequeña señal del PWM.....	331
10.5.1.4. Modelo de pequeña señal del reductor en bucle abierto...333	
10.5.1.5. Diseño y simulación del compensador .....	335
10.5.1.6. Simulación del reductor con control en bucle cerrado.....	336
10.5.2. Convertidor elevador o <i>boost</i> .....	338
10.5.3. Convertidor de retroceso o <i>flyback</i> .....	340
<b>10.6. Convertidores cc-ca o inversores .....</b>	<b>344</b>
10.6.1. Inversor monofásico con modulación de un solo pulso.....	345
10.6.2. Inversor monofásico en medio puente SPWM .....	349
<b>10.7. Simulación del generador fotovoltaico.....</b>	<b>351</b>
10.7.1. Modelado y simulación de la célula solar .....	351
10.7.2. Modelado y simulación del panel fotovoltaico .....	359
<b>10.8. Modelado y simulación de la célula Peltier .....</b>	<b>360</b>
<b>10.9. Simulación de dispositivos de almacenamiento         de energía eléctrica.....</b>	<b>366</b>
10.9.1. Modelado y simulación de una batería recargable.....	366
10.9.2. Modelado y simulación de un supercondensador .....	368
<b>10.10. Ejercicios propuestos.....</b>	<b>370</b>
10.10.1. Fuente de alimentación lineal de 12 V .....	370
10.10.2. Fuente de tensión con regulador lineal de tres terminales .....	370
10.10.3. Rectificador de doble onda con carga inductiva.....	370
10.10.4. Corrientes eficaz y media a través de un diodo .....	371
10.10.5. Reductor de tensión en bucle abierto.....	371

10.10.6. Elevador de tensión.....	371
10.10.7. Inversor en medio puente.....	372
10.10.8. Simulación de un generador fotovoltaico .....	373
10.10.9. Modelado de una célula Peltier .....	374
10.10.10. Respuesta de un supercondensador a un escalón de corriente.....	374
<b>Bibliografía .....</b>	<b>375</b>
<b>Anexo I: Acrónimos.....</b>	<b>379</b>
<b>Anexo II: Material complementario .....</b>	<b>381</b>
<b>Índice alfabético.....</b>	<b>387</b>