



INDICE

Prólogo	15
1. Relación entre la teoría de campos electromagnéticos y la teoría de circuitos	19
1.1 Relación entre la teoría de campos electromagnéticos y la teoría de circuitos	19
1.1.A Introducción	19
1.1.B Relaciones fundamentales del electromagnetismo	20
1.1.C Deducción de las ecuaciones representativas de un circuito	22
1.2 Los elementos resistencia, inductancia y capacidad	28
1.2.A Resistencia	29
1.2.B Inductancia	30
1.2.C Capacidad	31
1.2.D Resumen	33
1.3 Fuentes ideales independientes	33
1.3.A Fuente de tensión	33
1.3.B Fuente de corriente	34
1.4 Las leyes de Kirchhoff	34
1.4.A Ley de la tensión de Kirchhoff	35
1.4.B Ley de la corriente de Kirchhoff	35
1.5 Efectos parasitarios inductivos en condensadores y capacitivos en bobinas	36
1.5.A Leyes de Faraday-Maxwell y de Ampère-Maxwell	36
1.5.B Energía eléctrica y magnética acumuladas. Representación del sistema de placas paralelas como una combinación bobina-condensador	39
1.6 Variaciones de la resistencia con la frecuencia y con la temperatura	42
1.6.A Efecto pelicular. (Variación de la resistencia con f)	42
1.6.B Variación de la resistencia con la temperatura	44
1.7 Consideraciones prácticas sobre los elementos R, L, C	45
1.7.A Construcción de resistencias	45
1.7.B Pérdidas en condensadores	47
1.7.C Construcción de condensadores	48
1.7.D Bobinas con núcleo de hierro	49
1.7.E Inductancias y capacidades variables en el tiempo	52
Problemas resueltos	54
2. Redes de tres terminales. Acoplamiento resistivo, inductivo y capacitivo	65
2.1 Relaciones generales en redes de tres terminales	66
2.2 Aproximación lineal de sistemas no lineales	67
2.2.A Definición de un sistema no lineal	67
2.2.B Linealización de un sistema no lineal	67

2.2.C	Ejemplo de linealización: Transistor bipolar en configuración de emisor común	69
2.3	Acoplamiento magnético	71
2.3.A	El transformador	71
2.3.B	El transformador ideal	77
2.4	Resistencias triterminales	80
2.4.A	Representación de conductancias y resistencias	80
2.4.B	Otras representaciones usadas en la práctica	84
2.5	Condensadores triterminales	85
2.6	Algunos elementos triterminales usados en circuitos electrónicos	86
2.6.A	Fuentes controladas	86
2.6.B	Convertidores de impedancia (CDI)	88
2.6.B.1	Convertidores de impedancia negativa	89
2.6.B.2	Convertidores de impedancia positiva (CDIP)	90
2.6.B.3	Inversores de impedancia (IDI)	91
2.6.B.4	El amplificador operacional	93
	Problemas resueltos	95

3. Algunas funciones del tiempo, comunes en la práctica 108

3.1	Función escalón	108
3.2	Función rampa unitaria	109
3.3	Relación entre el escalón y la rampa unitarios	110
3.4	Función exponencial	111
3.5	Funciones periódicas del tiempo	112
3.6	Funciones sinusoidales	114
	Problemas resueltos	117

4. Estudio de fenómenos transitorios por el método clásico 120

4.1	Introducción	120
4.2	Circuitos lineales tiempo-invariantes de primer orden	120
4.2.A	Respuesta a entrada cero	120
4.2.B	Respuesta a estado cero	124
4.2.C	Circuito RC paralelo con excitación sinusoidal y estado cero	128
4.2.D	Una aplicación de dualidad	131
4.2.E	Respuesta completa	132
4.3	Invariancia en el tiempo	133
4.4	Respuesta a un impulso	134
4.5	Linealidad de la respuesta a estado cero	136
4.6	Circuitos de segundo orden	137
4.6.A	Respuesta a entrada cero de un circuito RLC serie	137
4.6.B	Respuesta a estado cero de un circuito RLC serie	141
4.6.C	Respuesta completa	142
4.6.D	Respuesta a estado cero con entrada impulso para un circuito RLC serie	143
4.7	Resumen	145
4.8	Circuitos de segundo orden con más de una incógnita independiente	146
4.9	Circuitos de orden mayor que dos	148
4.10	Forma de la solución particular para las formas más comunes de entrada	150

4.11	Respuestas periódicas en el tiempo	151
4.11.A	Ejemplo: Entrada sinusoidal	152
4.11.B	Casos de entrada periódica no sinusoidal	153
4.11.C	Cálculo de las condiciones iniciales cuando cambia la constante de tiempo	154
4.12	Fenómenos transitorios en circuitos que contienen elementos activos	156
4.13	Posibilidad de oscilaciones	157
4.14	Solución de ecuaciones diferenciales mediante el uso del computador	160
	Problemas resueltos	162
5.	Las integrales de convolución y superposición	177
5.1	Integral de convolución	177
5.2	Integral de superposición o de Duhamel	182
	Problemas resueltos	184
6.	Método de las variables de estado	195
6.1	Introducción	195
6.2	Ecuaciones de estado	196
6.2.A	Obtención de las ecuaciones de estado a partir de una ecuación diferencial de orden n	196
6.2.A.1	Ejemplo	196
6.2.A.2	Método general (obtención de las ecuaciones de estado en forma normal)	197
6.2.B	Método directo de obtención de las ecuaciones de estado para redes eléctricas	198
6.2.B.1	Ejemplo	198
6.2.B.2	Método general para obtener las ecuaciones de estado de una red en forma directa	200
6.2.B.3	Ejemplo de aplicación del método	200
6.3	Ecuaciones de estado para circuitos no lineales y para circuitos con parámetros variables en el tiempo	202
6.3.A	Ejemplo de circuito tiempo-variable	202
6.3.B	Ejemplo de circuito no lineal	203
6.4	Sumario	204
6.5	Solución analítica de las ecuaciones de estado (caso lineal tiempo-invariante)	204
6.6	Caso de entradas múltiples	206
6.7	Solución analítica: autovalores y autovectores	207
6.7.A	Solución de la ecuación de estado para sistemas no forzados	207
6.7.A.1	Sistemas no acoplados (o diagonales)	207
6.7.A.2	Solución de la ecuación de estado para sistemas acoplados no forzados	209
6.7.B	Autovalores y ecuación característica	211
6.7.B.1	Ejemplos	213
6.7.C	Sistemas forzados	217
6.8	Soluciones no analíticas de las ecuaciones de estado	217
6.8.A	Solución usando el computador analógico	218
6.8.B	Solución numérica de las ecuaciones de estado	222
6.8.B.1	Método de Euler	223
6.8.B.2	Método de Runge-Kutta (caso escalar)	224

6.8.B.3	Diagrama de flujo para la solución de una diferencial por el método de Runge-Kutta	226
6.8.B.4	Método de Runge-Kutta aplicado a las ecuaciones de estado	227
6.9	Ejemplos de solución de ecuaciones de estado usando el computador digital	227
6.9.A	Método de Euler. Ecuación lineal con coeficientes constantes de segundo orden	227
6.9.B	Método de Runge-Kutta. Ecuación diferencial no lineal de segundo orden	231
6.10	Plano de estado para sistemas de segundo orden	234
6.10.A	Oscilaciones	236
6.10.B	Propiedades de las trayectorias	242
6.10.C	Análisis de puntos singulares	243
6.10.D	Ejemplo de ecuación no lineal y determinación de puntos singulares: Ecuación de Scott	244
6.11	Uso del principio de superposición en la determinación de las ecuaciones de estado	253
	Problemas resueltos	254
7.	La transformada de Laplace	279
7.1	Introducción. Definición de la transformada de Laplace	279
7.2	Cuatro teoremas fundamentales	280
7.3	Ejemplo de la utilidad de la transformada de Laplace	282
7.4	Modificación de la definición y del teorema 3 para poder considerar impulsos unitarios	283
7.5	Transformadas de algunas funciones importantes y ejemplos de aplicación	284
7.5.A	Transformadas de funciones importantes	284
7.5.B	Ejemplo de aplicación de los teoremas	284
7.5.B.1	Ejemplo de la importancia de usar las fórmulas (5-a) o (7-a) en caso de discontinuidades	284
7.5.B.2	Ejemplo de aplicación de teoremas a una función discontinua	285
7.5.C	Transformadas de otras funciones	286
7.5.D	Ejemplo	287
7.6	Otros teoremas	288
7.6.A	Desplazamiento en el dominio s	288
7.6.B	Teorema en el desplazamiento en el tiempo	289
7.6.C	Teorema de la convolución en el dominio de Laplace	289
7.6.D	Teorema de expansión de Heaviside	290
7.6.D.1	Sumario del teorema de Heaviside	297
7.7	Determinación de respuestas periódicas no sinusoidales por medio de la transformada de Laplace	297
7.8	Relación de la transformada de Laplace con las variables de estado	300
7.9	Ecuación característica y función de transferencia	301
7.9.A	Ecuación característica obtenida de la transformada de Laplace	301
7.9.B	Función de transferencia	302
7.10	Impedancia y admitancia	304
7.10.A	Introducción	304
7.10.B	Definición de impedancia	305
7.10.C	Impedancia serie e impedancia paralelo	307
7.10.D	Red en escalera	308
	Problemas resueltos	311

8. Introducción a la Topología y métodos generales de análisis	324
8.1 Introducción	324
8.2 Grafo de una red	324
8.3 Bucles y la ley de la tensión de Kirchhoff	326
8.4 Cortes y la ley de la corriente de Kirchhoff	327
8.5 Análisis de bucle	329
8.5.A Método de bucles	331
8.5.B Análisis de bucle para redes con elementos activos y con acoplamiento magnético	339
8.5.C Otro método para obtener las ecuaciones de bucle para redes activas con acoplamiento magnético	342
8.5.D Análisis de malla	344
8.6 Dualidad	350
8.7 Análisis de corte	355
8.7.A Análisis de corte de redes lineales tiempo-invariantes	356
8.8 Análisis de nudo	361
8.9 Conclusión	366
Problemas resueltos	367
9. Análisis de circuitos con excitación sinusoidal en estado estacionario	383
9.1 Repaso de dos circuitos estudiados en el capítulo 4	383
9.2 Relación entre la solución en el dominio de Laplace y la solución para estado sinusoidal estacionario	387
9.2.A Redes de dos terminales	387
9.3 Importancia de la corriente alterna sinusoidal	391
9.4 Análisis de bucle (o malla) y de corte (o nudo) para redes en estado sinusoidal estacionario	392
9.5 Diagramas fasoriales	401
9.6 Potencia en corriente alterna en estado estacionario	402
9.7 Valores eficaces en corriente alterna en estado estacionario	404
9.8 Potencia en forma compleja (potencias activa, reactiva y aparente)	405
9.9 Resonancia	407
9.9.A Introducción: dos circuitos simples	407
9.9.B Circuitos sintonizados	409
9.10 Circuitos trifásicos en corriente alterna en estado estacionario	413
9.10.A Relaciones tensión-corriente, caso Y/Y con neutro	416
9.10.B Relaciones tensión-corriente para la conexión Y/ Δ	417
9.10.C Relaciones tensión corriente para la conexión Δ /Y	419
9.11 Medición de potencia	422
9.11.A Introducción	422
9.11.B Medición de potencia	423
Problemas resueltos	426
10. Diagramas de respuesta a frecuencia	448
10.1 Diagramas de Bode	453
10.2 Funciones de transferencia de circuitos activos	458
10.3 Escalas de frecuencia y magnitud	460

10.3.A Escala de frecuencia	461
10.3.B Escala de magnitud	461
10.4 Obtención de diagramas de Bode usando el computador digital	463
Problemas resueltos	468
11. Teoremas de redes	479
11.1 Teorema de la sustitución	479
11.2 Teorema de la superposición	480
11.3 Teoremas de Thevenin y de Norton	483
11.3.A Teorema de Thevenin	483
11.3.B Teorema de Norton	484
11.4 Teorema de Miller y su dual	485
11.5 Teorema de la máxima transferencia de potencia	487
11.6 Teorema de Tellegen	488
11.7 Aplicaciones del teorema de Tellegen	489
11.8 Teorema de la reciprocidad	490
11.9 Una aplicación del teorema de la superposición: obtención de las ecuaciones de estado para redes impropias tiempo-variantes	492
11.9.A Superposición para redes lineales impropias	492
Problemas resueltos	499
12. Redes de dos puertas	507
12.1 Parámetros de impedancia de circuito abierto	507
12.2 Parámetros de admitancia de cortocircuito	509
12.3 Interconexión de redes de dos puertas	509
12.4 Parámetros híbridos	512
12.5 Parámetros de transmisión	513
12.6 Relaciones entre los distintos conjuntos de parámetros	514
12.7 Aplicaciones de los parámetros de transmisión	516
Problemas resueltos	521
13. Introducción a la teoría de filtros	527
13.1 Breve introducción a la teoría de filtros pasivos	527
13.1.A Introducción	527
13.1.B Diseño elemental basado en elementos ideales	528
13.1.C Secciones de filtros prototipo de «K-constante»	531
13.2 Aproximación de características ideales pasa-bajas	534
13.2.A Aproximación de Butterworth	534
13.2.B Aproximación de Tchebycheff	537
13.2.C Característica de Cauer	542
13.3 Transformaciones de frecuencia	543
13.3.A Transformación pasa-bajas a pasa-altas	543
13.3.B Transformación pasa-bajas a pasa-banda	546
13.3.C Transformación pasa-bajas a eliminación de banda	549
13.4 Ejemplo de diseño de filtros pasivos usando manuales	549

13.5	Diseño de filtros activos	554
13.5.A	Introducción.....	554
13.5.B	Métodos para el diseño de filtros activos	555
13.5.B.1	Método de las «variables de estado».....	555
13.6	Algunos circuitos para el diseño de secciones cuadráticas pasa-bajas, pasa-altas, pasa-bandas y de eliminación de bandas	556
13.7	Sensibilidad de funciones de transferencia	566
	Problemas resueltos	570
Apéndice I.	Reglas fundamentales del lenguaje «BASIC»	577
Apéndice II.	Listado del programa «ZERPOL» perteneciente a la «Biblioteca» del sistema HP de tiempo compartido con lenguaje «BASIC»	584
Apéndice III.	Listado del programa «INVCPX» escrito por el autor para resolver problemas de CAEE por el método de bucles (o mallas) o de cortes (o nudos).....	589
Referencias	597