

INDICE

Algo sobre métodos didácticos a modo de prólogo	XIX
Capítulo I	
Bases de la Teoría de Redes Eléctricas: Relaciones con Disciplinas más Amplias	
I.1. Sistemas eléctricos	1
I.2. Análisis y síntesis de redes eléctricas	2
I.3. Teoría de campos electromagnéticos y teoría de redes eléctricas. Validez relativa de las idealizaciones en teoría de redes	3
I.3.1. Teoría de campos electromagnéticos y teoría de redes eléctricas	3
I.3.2. Primaria idea de la validez relativa de las idealizaciones	5
I.4. Sobre la representatividad de las redes por parámetros localizadas o bien por los distribuidos	7
I.4.1. línea bifilar	7
I.4.2. Redes cualesquiera	9
I.4.3. Excitaciones periódicas no senoidales	9
I.4.4. Excitaciones no periódicas	10
I.4.5. Multilíneas	10
Capítulo II	
Física de las Redes Eléctricas: Elementos Activos y Elementos Pasivos. Linealidad. Variancia	
II.1. Elementos activos y elementos pasivos	11
II.2. Elementos pasivos bipolares bilaterales	12
II.2.1. Resistencia, R (Q)	12
II.2.2. Inductancia, L (H)	13
II.2.3. Capacidad, C (F)	15
II.3. Elementos de acoplamiento magnético: inducción mutua; Transformados	16
II.3.1. Coeficientes de concatenación	16
II.3.2. Inductancia mutua	18
II.3.3. Coeficiente de acoplamiento	19
II.3.4. Convenciones: signos – flechas de valoración o referencia, polaridades	20
II.3.5. Ejercicios y observaciones	24
II.3.6. Transformados ideal	26
II.4. Sistema Lineales y Principio de Superposición. Variancia en el Tiempo	28
II.4.1. Linealidad	28
II.4.2. Primera visión del principio de superposición	29
II.4.3. Variancia paramétrica de un circuito. Variancia temporal	30
II.4.4. Linealidad y variancia de los procesos, en relación con las ecuaciones que los definen	32
II.4.5. Linealidad de una red en relación con los elementos que la componen. Linealidad por etapas	33
II.4.6. Linealización para zonas limitadas de operación	33
II.5. Girador	34
II.5.1. Definición del girador y efecto Hall	34
II.5.2. Ecuaciones y propiedades del girador	36

II.5.3. Antirreciprocidad en el girador	40
II.6. Elementos activos: Fuentes de Energía: Convertidores Negativos	42
II.6.1. Fuentes de f.e.m	42
II.6.2. Fuentes de corriente	44
II.6.3. Conversiones entre fuentes de f.e.m. y fuentes de corriente; identidad de naturaleza	47
II.6.4. Generalización de los conceptos fuentes de energía	50
II.6.5. Inequivalencia en potencias	51
II.6.6. Incompatibilidades	52
II.6.7. Fuentes dependientes, controladas o gobernadas	52
II.6.8. Sustituciones de inductancias mutuas y de giradores por fuentes dependientes	54
II.6.9. Enunciado ampliado del teorema de superposición: inclusión de fuentes dependientes	56
II.6.10. Convertidores negativos: inversor de corriente, inversor de tensión	57
II.7. Almacenamientos energéticos: almacenamientos iniciales y su posible sustitución por fuentes equivalentes	58
II.7.1. Redes en estado cero o relajadas	58
II.7.2. Cuantías de los almacenamientos	59
II.7.3. Energía disipada por efecto Joule	60
II.7.4. Energía en el campo magnético de la bobina aislada	60
II.7.5. Energía en el campo eléctrico de un condensador	60
II.7.6. Energía almacenada en el caso de dos circuitos magnéticamente acoplados	61
II.7.7. Sustituciones de almacenamiento iniciales por fuentes de energía. Generalización del principio de superposición	62
II.8. rama general	64
II.8.1. Ecuaciones de rama	64
II.8.2. Conjunto de ramas de una red	66
II.9. Resumen de Características	66
II.9.1. Redes eléctricas	66
II.9.2. Elementos pasivos dipolares	67
II.9.3. Componentes tetrapolares bipuertas	67
Capítulo III.	
Resumen de Cálculo Transformacional de Laplace Aplicado a la Teoría de Circuitos	
III.1. Antecedentes y denominaciones	69
III.2. Naturaleza de las funciones que se tratan, definición de su derivación	70
III.3. Resumen de las principales reglas operatorias	72
III.3.1. Reglas operatorias en la transformación directa	72
III.3.2. Reglas operatorias en la transformación inversa	73
III.3.3. Teorema de la convolución o del producto de composición (Teorema de Blondel)	74
III.4. La derivación y la integración temporales traducidas al campo imagen: almacenamientos iniciales, excitaciones ficticias. Sustitución y principio de superposición	75
III.4.1. Redes sin almacenamiento i iniciales	75

III.4.2. Redes con almacenamientos iniciales	76
III.4.3. Sustitución y principio de superposición	77
III.4.4. Esquemas operacionales equivalentes a los parámetros con almacenamientos iniciales. Eliminación, por sustitución, de acoplamiento magnéticos	77
III.5. Leyes de la conmutación: determinación de condiciones iniciales	80
III.5.1. Concepto de la conmutación	80
III.5.2. Leyes normales de la conmutación: Determinación de condiciones iniciales	81
III.6. Función impulso de Dirac: variaciones repentinas de almacenamientos; transmisiones de potencias infinitas	84
III.6.1. Variaciones bruscas de almacenamiento energéticos	84
III.6.2. Definición de la función impulso de Dirac $\delta(t)$	85
III.6.3. Función impulso en $t_0 > 0$, $\delta(t - t_0)$	88
III.6.4. Sobre el valor $\int_{t_0}^{\infty} f(t) \delta(t - t_0) dt$ correspondiendo t_0 a un punto de discontinuidad de primera especie	89
III.6.5. Casos anómalos en las leyes de conmutación	92
III.6.6. Funciones de Dirac de órdenes superiores. Transformación inversa de los polinomios en p	95
III.6.7. Método de la desidealización de esquemas (modelo) en casos anómalos	97
III.7. Derivación de funciones seccionalmente continuas y de la función $\delta(t - t_0)$	98
III.8. Ejemplos sobre procesos: de descargas libres, forzados, transitorios, permanentes	102
III.8.1. Procesos en el circuito RLC lineal	102
III.8.2. Ejercicios	103
III.8.3. Corrientes naturales dependientes y naturales independientes	107
III.9. Ecuaciones basadas en funciones de red: respuestas a excitaciones impulsionales, frecuentes naturales	109
III.9.1. Red con varia excitaciones	109
III.9.2. Red con excitación única: Funciones de red	110
III.9.3. Respuestas a una excitación impulsional y polos en $T(p)$	111
III.9.4. Respuesta a una excitación general $e(t)$	111
III.9.5. Existencia de polos reales de orden y	113
III.9.6. Polos simples complejos	113
III.9.7. Polos complejos de orden y	114
III.9.8. Visión global de las principales respuestas según la naturaleza de los polos de $S(p)$	114
III.9.9. Coeficientes exponenciales (Frecuencias complejas): dimensiones unidades	117
III.9.10. Las funciones de red son holomorfas, salvo en los polos	118
III.10. Ecuaciones diferenciales lineales de orden superior	118
III.10.1. Ecuaciones diferenciales de órdenes cualesquiera en las funciones de entrada y de salida	118
III.10.2. resolución operacional de la ecuación $E_{Ks}(g) = \delta(t)$	119
III.10.3. Frecuencias naturales	122
III.11. Respuestas permanentes (estacionarias) de las redes pasivas a las excitaciones periódicas. Caso particular de las excitaciones	123

armónicas	
III.11.1. Excitación periódica acotada	123
III.11.2. Excitación armónica pura	124
III.11.3. Paso de transmitancias operacionales a transmitancias frecuenciales	124
Capítulo IV.	
Conceptos: Teoremas y Medios Auxiliares en Teoría de Redes: Dualidad. Teoremas de Thévenin, Norton y Millman. Sustituciones. Preparaciones para Análisis de Redes (Trasfiguraciones). Reciprocidad según Maxwell	
IV.1. Ecuaciones indiscriminales	125
IV.2. Precauciones en la traducción de formas vectorial – complejas en transformaciones de Laplace	127
IV.3. Nociones sobre correlación dual (dualidad) en las redes eléctricas	129
IV.3.1. Generalidades	129
IV.3.2. La correlación dual en teoría de circuitos, su carácter limitado	130
IV.3.3. Establecimiento del esquema dual de otro	135
IV.3.4. Analogía formal de las ecuaciones duales. Orientaciones de elementos correlativos	138
IV.3.5. Grupo dual de una inductancia mutua; capacitancia mutua. Grupo dual de un girador	141
IV.3.6. Correspondencia numérica	142
IV.4. Equivalencia y sustitución en teoría de circuitos	143
IV.4.1. Ideas generales equivalencia y sustitución	143
IV.4.2. Sustitución de elementos pasivos por activos	144
IV.4.3. Enunciado amplio del principio de sustitución	146
IV.4.4. Inclusión en equivalencia de nuevas ramas	147
IV.4.5. Teorema de Miller	147
IV.4.6. Sustitución de almacenamiento iniciales	149
IV.5. Conmutación en redes	149
IV. 5.1. Cierre de un interruptor: establecimiento de una rama; cortocircuito	149
IV.5.2. Apertura de un interruptor, interruptor de una rama	151
IV.6. Teoremas de Thévenin y de Norton o de las fuentes equivalentes. Recíprocos	152
IV.6.1. Casos de dipolos lineales sin fuentes dependientes	152
IV.6.2. Casos de dipolos lineales con fuentes dependientes	156
IV.6.3. Realizabilidad y observaciones	158
IV.7. Generalidades del principio de sustitución: sustitución mixta; almacenamiento iniciales	159
IV.7.1. Sustitución mixta	159
IV.7.2. Sustitución existiendo almacenamiento iniciales	159
IV.7.3. Otras aplicaciones del principio de sustitución: métodos de las variaciones; métodos de las corrientes de circulación	160
IV.8. Teorema de Millman	163
IV.9. Reducción de varias fuentes reales a una equivalencia	163
IV.9.1. Reducción de fuentes reales de tensión en paralelo a una equivalente	163
IV.9.2. Reducción de fuentes reales de corrientes en serie a una	164

equivalente	
IV.10. Conversiones entre fuentes de f.e.m y fuentes de corriente	165
IV.10.1. Conversiones entre fuentes carentes de almacenamiento iniciales	165
IV.10.2. Conversiones entre fuentes con almacenamiento iniciales	167
IV.11. Transfiguración de redes eléctricas. Equivalencias incondicionales o condicionales. Realizabilidad	168
IV.11.1. Definición de la transfiguración	168
IV.11.2. Principales reglas de transfiguración	168
IV.11.3. Ejemplo de simplificación por transfiguraciones	176
IV.11.4. Equivalencias incondicionales o condicionales	177
IV.11.5. realización de las redes	177
IV.12. La reciprocidad según Maxwell. Redes recíprocas	177
IV.13. Teorema de Tellegen	179
Capítulo V.	
Topología y Conceptos Básicos	
V.1. Redes eléctricas	183
V.2. Topología de la redes	183
V.3. Definiciones	185
V.3.1. Rama	185
V.3.2. Nudo	186
V.3.3. Camino en una red	186
V.3.4. Malla en una red	187
V.3.5. Grafos y redes planos espaciales	187
V.3.6. Grafos y redes inconexos: subred, subgrafos	187
V.3.7. Árboles	188
V.3.8. Malla de cuerda o fundamental	189
V.3.9. Mallas primitivas en un grafo plano	189
V.3.10. Corte en un grafo conexo	190
V.3.11. Corte de rama de árbol o fundamental. Grupo de cortes fundamentales. Tensión de corte 1. Ley de Kirchhoff generalizada	190
V.4. Relaciones topológicas fundamentales	193
V.5. Registro matricial de un grafo: matriz de incidencias o de conexión nudos – ramas	194
V.5.1. Matriz total de incidencias o de conexión nudos – ramas N_{AR}	194
V.5.2. Algunas propiedades de N_{AR} y definición de la matriz reducida $N_{-1AR} = A$	195
V.5.3. $A_r = A$, matriz de transformación de potenciales de nudo en tensiones de rama	198
V.5.4. Otras matrices topológicas	199
Capítulo VI.	
Análisis de Redes	
VI.1. Objetivos	201
VI.2. Método de los potenciales de nudos	202
VI.2.1. Primera idea del método	202
VI.2.2. Inclusión de fuentes de corriente	204
VI.-3. Método de las corrientes de mallas primitivas (de Maxwell)	205
VI.-3.1. Introducción y ejemplo	205
VI.-3.2. Justificación del método de las corrientes de mallas primitivas	208

VI.-3.3. Consideraciones de inducciones mutuas y observaciones prácticas	209
VI.4. Ecuaciones independientes. Convenios. Datos. Incógnitas	210
VI.4.1. Generalidades	210
VI.4.2. Convenios y supuestos referentes a datos	211
VI.4.3. Ecuaciones disponibles: topológicas, físicas	212
VI.4.4. Independencia de las ecuaciones	213
VI.4.5. Incógnitas topológicamente independientes	213
VI.4.6. Número de tensiones de rama independientes, R_a : elección	214
VI.4.7. Número de tensiones de rama independientes, R_c : elección	214
VI.4.8. Ecuaciones nodales independientes, $N - 1$: elección	215
VI.4.9. Ecuaciones circuitales independientes, R_c : elección	215
VI.4.10. Resumen: incógnitas existentes en la red y ecuaciones independientes disponibles	216
VI.5. Formulaciones matriciales de la primera ley de Kirchhoff	217
VI. 5.1. Formulación restringida: matrices A de conexiones	217
VI.5.2. Formulación generalizada: matriz Q de costes de árbol	217
VI.6. Formulación matricial de la segunda ley de Kirchhoff: matriz de mallas de cuerda B	219
VI.7. Visión conjunta de la matrices topológicas	221
VI.8. Principales matrices de información física	223
VI.8.1. Ecuaciones matriciales básicas. Matrices Z_r y Z_o	223
VI.8.2. Singularidades de las ramas carentes de impedancias (Fuentes ideales)	225
VI.8.3. Ejercicio: verificación de la relación existente entre Z_o , Z_r y B	225
VI.9. Análisis matricial por potenciales de nudos	228
VI.10. Análisis matricial por potenciales de nudos	228
VI.10.1. Convenios relativos a flechas de valoración (de referencia)	228
VI.10.2. Ejemplo de aplicación de método	229
VI.10.3. Ecuación matricial correspondiente el análisis por el método de los potenciales de nudo	231
VI.10.4. Método de Kron en el análisis por nudos	231
VI.11. Análisis por ecuaciones nodales de un grupo de cortes	233
VI.12. Las fuentes dependientes en el análisis de redes: asimetría de Z_o	234
VI.13. Principio de reciprocidad (Maxwell)	235
VI.14. Participaciones de diversas excitaciones en un efecto	238
VI.14.1. Funciones de red	238
VI.14.2. Naturaleza de las funciones de red	238
Capítulo VII	
Análisis por Variables de Estado	
VII.1. Introducción. Conceptos básicos	241
VII.1.1. Idea del método: finalidad, justificación	241
VII.1.2. Variables y ecuaciones de estado	234
VII.1.3. Posible condicionamiento entre valores de almacenamiento iniciales, entre variables de almacenamientos y entre excitaciones. Redes propias e impropias, regímenes compatibles	245
VII.1.4. Ecuaciones de estado y ecuaciones de respuestas	246
VIII.2. Ejercicios de introducción	247
VIII.3. Análisis de redes propias	251

VII.3.1. Elección de árbol: propio o impropio	252
VII.3.2. Ecuaciones independientes: eliminación de las covariables de estado y de las variables resistivas; sistema de ecuaciones de estado	254
VII.3.3. Ecuaciones de respuestas o salidas	255
VII.3.4. Resumen del método. Ejemplo	256
VII.3.5. Resolución de las ecuaciones lineales de estado	258
VII.3.6. Constitución y resolución sistemática de las ecuaciones matriciales de estado, tratándose de redes propias	259
VII.4. Análisis de redes impropias	265
VII.5. Redes con parámetros tiempo – variantes	269
VII.6. Redes no lineales	269
Capítulo VIII. Múltipolos	
VIII.1. Múltipolos	273
VIII.1.1. Definiciones	273
VIII.1.2. Redes multipuertas excitada por ff.ee.mm	275
VIII.1.3. Redes multipuertas excitadas por fuentes de corrientes	276
VIII.1.4. Transfiguraciones de multipuertas recíprocas	276
VIII.2. Dipolos y dipolos pasivos	279
VIII.2.1. Dipolos activos y dipolos pasivos en regímenes armónicos	280
VIII.2.2. Potencia máxima transmitida por el dipolo activo a uno pasivo, en régimen armónico	282
VIII.3. Cuadripolos bipuertas	283
VIII.3.1. Definiciones	283
VIII.3.2. Sistemas de referencias	283
VIII.4. Ecuaciones en los cuadripolos	285
VIII.4.1. Ecuaciones del cuadripolo en sistema simétrico de referencias	285
VIII.4.2. Ecuaciones de transmisión en sistema de referencias asimétrico	288
VIII.4.3. Ejercicios: parámetros en los cuadripolos en T y en π	289
VIII.4.4. Cuadripolos con fuentes dependientes y giradores	291
VIII.4.5. Cuadripolos no lineales	292
VIII.5. Significados y determinaciones de parámetros	292
VIII.5.1. Ecuaciones de impedancias y de admitancias	292
VIII.5.2. Ecuaciones de transmisión directa	293
VIII.5.3. Determinaciones analíticas y experimentales de parámetros	294
VIII.6. Seis posibles de las ecuaciones del cuadripolo: significados físicos de los parámetros, relaciones entre matrices paramétricas	297
VIII.7. Simetrías: de transferencias (reciprocidad), de puertas	301
VIII.7.1. Reciprocidad o simetría de transferencias (de acoplamiento). Antirreciprocidad o antisimetría de transferencia	301
VIII.7.2. Cuadripolos con simetría de impedancias de entrada (simetría de puertas)	303
VIII.7.3. Cuadripolos con simetría completa	304
VIII.7.4. Flecha de referencia de los parámetros	305
VIII.7.5. Caracterización de la simetría a base de los parámetros	305
VIII.8. Asociaciones de Cuadripolos	306
VIII.8.1. Asociación en serie	307
VIII.8.2. Asociación en paralelo	311
VIII.8.3. Asociación en cadena (cascada, tándem)	312

VIII.8.4. Asociación serie – paralelo	313
VIII.8.5. Asociación paralelo – serie	315
VIII.9. Aplicaciones de los métodos de asociación: cuadripolos en T, en tt, en celosía, en escalera	315
VIII.10. Sustitución de cuadripolos pasivos por esquemas en T o en tt	319
VIII.11. Cuadripolos no recíprocos: esquemas equivalentes simplificados	320
VIII.12. Dipolo activo alimentando a uno pasivo a través de un cuadripolo lineal: impedancias imágenes de las cargas, adaptación	321
VIII.12.1. Cuadripolo como conjunto transmisor	321
VIII.12.2. Impedancias imágenes de las cargas	322
VIII.12.3. Adaptación de una alimentación a una carga	322
VIII.13. Teorema de Blondel	323
VIII.13.1. Teoremas de Blondel	323
VIII.13.2. Diagrama de Blondel – Thielemans	324
VIII.13.3. Otros diagramas funcionales: circulares de corrientes, de Smith	326
VIII.14. Impedancia iterativa correspondiente a un cuadripolo	326
VIII.15. Cuadripolos con simetría de puertas: impedancia característica	327
VIII.16. Constantes (Función) de propagación	328
VIII.16.1. Régimen armónico: constante de propagación	328
VIII.16.2. Regímenes no armónicas: función de propagación	329
VIII.17. Cuadripolos pasivos: impedancias imágenes mutuas, función de propagación	329
VIII.18. Definición de un cuadripolo pasivo por sus impedancias imágenes y por la función de propagación	331
VIII.19. Factores de transferencia	332
Apéndice I	
Cálculo Operacional	
Ap. I.1. Reglas operatorias de la transformación directa \mathcal{L}	335
Ap. I.2. Reglas operatorias de la transformación inversa \mathcal{L}	336
Ap. I.3. Tabla de transformaciones directas de Laplace	338
Ap. I.4. Tabla de transformaciones inversas de Laplace	345
Apéndice II.	
Introducción al Análisis en el Dominio Imagen	
Ap. II.1. Nueva consideración de las funciones operacionales de red: funciones de puerta y funciones de transferencia	353
Ap. II.2. Redes pasivas: funciones de red como respuestas impulsionales. Polinomios de Hurwitz	355
Ap. II.2.1. Funciones de red como respuestas impulsionales	355
Ap. II.2.2. Características de los polinomios de Hurwitz	358
Ap. II.3. Funciones de red en cuadripolos con fuentes dependientes	359
Ap. II.4. Nociones de estabilidad	360
Ap. II.5. Determinación de la función de red por sus polos, ceros y factor de escala	361
Ap. II.6. Representación tridimensional de T(p)	364
Ap. II.7. Determinación de los factores A correspondientes al desarrollo en fracciones simples	365
Ap. II.8. Respuestas a una entrada $N_E(p)/D_E(p)$	366
Ap. II.8.1. Excitación general	366

Ap. II.8.2. Excitaciones armónicas, respuesta completas	367
Ap. II.8.3. Respuestas permanentes (estacionarias) a las excitaciones armónicas	369