

Contenido

1 Introducción

1.1	Industria eléctrica y electrónica	1
1.2	Breve historia	2
1.3	Unidades de medida	7
1.4	Sistemas de unidades	8
1.5	Cifras significativas, precisión y redondeo	11
1.6	Potencias de diez	12
1.7	Conversión entre niveles de potencias de diez	17
1.8	Conversión dentro y entre los sistemas de unidades	18
1.9	Símbolos	21
1.10	Tablas de conversión	21
1.11	Análisis por computadora	21

2 La corriente y el voltaje

2.1	Los átomos y su estructura	29
2.2	La corriente	31
2.3	El voltaje	34
2.4	Fuentes fijas de energía eléctrica (cd)	37
2.5	Conductores y aisladores	44
2.6	Semiconductores	46
2.7	Ampermetros y voltmetros	46
2.8	Análisis por computadora	48

3 La resistencia

3.1	Introducción	53
3.2	Resistencia: Alambres circulares	54
3.3	La tabla de alambres	57
3.4	La resistencia: Unidades métricas	59
3.5	Los efectos de la temperatura	61
3.6	Superconductores	65
3.7	Los tipos de resistores	70
3.8	El código de colores y los valores estándar de resistores	74
3.9	La conductancia	76
3.10	Los ohmetros	77
3.11	Termistores	78
3.12	Pila fotoconductiva	79
3.13	Varistores	79
3.14	Análisis por computadora	80

4 La Ley de Ohm, la potencia y la energía

4.1	La Ley de Ohm	85
4.2	Graficación de la Ley de Ohm	87
4.3	La potencia	90
4.4	Los wattmetros	93
4.5	La eficiencia	93
4.6	La energía	96
4.7	Los interruptores de circuito, los GFCI y los fusibles	100
4.8	Análisis por computadora	100

5	Los circuitos en serie	111
5.1	Introducción	111
5.2	Los circuitos en serie	112
5.3	Las fuentes de voltaje en serie	115
5.4	La Ley del voltaje de Kirchhoff	115
5.5	El intercambio de los elementos en serie	119
5.6	La regla divisora del voltaje	120
5.7	La notación	122
5.8	La resistencia interna de las fuentes de voltaje	127
5.9	La regulación del voltaje	130
5.10	Las técnicas de medición	131
5.11	Análisis por computadora	133
6	Los circuitos en paralelo	151
6.1	Introducción	151
6.2	Los elementos en paralelo	151
6.3	La conductancia y la resistencia totales	152
6.4	Las redes en paralelo	159
6.5	La Ley de la corriente de Kirchhoff	161
6.6	La regla divisora de corriente	164
6.7	Las fuentes de voltaje en paralelo	168
6.8	Los circuitos abiertos y los cortocircuitos	169
6.9	Los voltmetros: El efecto de carga	172
6.10	Técnicas para la solución de problemas	173
6.11	Análisis por computadora	174
7	Las redes en serie-paralelo	187
7.1	Las redes en serie-paralelo	187
7.2	Los ejemplos descriptivos	192
7.3	Las redes de escalera	197
7.4	División del voltaje de alimentación (con carga y sin carga)	199
7.5	Potenciómetro con carga	202
7.6	Diseño de un ampermetro, un voltmetro y un ohmetro	203
7.7	La conexión a tierra	207
7.8	Análisis por computadora	211
8	Los métodos de análisis y los temas seleccionados (cd)	227
8.1	Introducción	227
8.2	Las fuentes de corriente	227
8.3	Las conversiones de fuentes	229
8.4	Fuentes de corriente en paralelo	232
8.5	Fuentes de corriente en serie	233
8.6	Análisis de la corriente de rama	233
8.7	El análisis de malla (técnica general)	239
8.8	El análisis de malla (técnica del formato)	245
8.9	El análisis de nodos (técnica general)	249
8.10	El análisis de nodos (técnica del formato)	256
8.11	Las redes de puente	261
8.12	Conversiones Y- Δ (T- π) y Δ -Y (π -T)	265
8.13	Análisis por computadora	270
9	Los teoremas de redes	287
9.1	Introducción	287
9.2	El teorema de superposición	287
9.3	El teorema de Thévenin	294
9.4	El teorema de Norton	304
9.5	El teorema de la máxima transferencia de potencia	308
9.6	El teorema de Millman	317
9.7	El teorema de sustitución	320
9.8	El teorema de reciprocidad	322
9.9	Análisis por computadora	323
10	Los capacitores	341
10.1	Introducción	341
10.2	El campo eléctrico	341
10.3	La capacitancia	343
10.4	Esfuerzo dieléctrico	348
10.5	La corriente de fuga	349
10.6	Los tipos de capacitor	349
10.7	Los transitorios en las redes capacitativas: La fase de carga	354
10.8	La fase de descarga	360
10.9	Los valores iniciales	365
10.10	Los valores instantáneos	368
10.11	$\tau = R_{Th}C$	369
10.12	La corriente i_C	372
10.13	Los capacitores en serie y en paralelo	374
10.14	La energía almacenada por un capacitor	378
10.15	Capacitancias parásitas	379
10.16	Análisis por computadora	379
11	Los circuitos magnéticos	395
11.1	Introducción	395
11.2	Los campos magnéticos	396
11.3	La densidad de flujo	398
11.4	La permeabilidad	399

11.5	La reluctancia	400
11.6	La Ley de Ohm para los circuitos magnéticos	400
11.7	La fuerza magnetizadora	401
11.8	La histeréisis	402
11.9	La Ley de los circuitos de Ampère	407
11.10	El flujo Φ	408
11.11	Los circuitos magnéticos en serie: Determinación de NI	408
11.12	Los núcleos de aire	412
11.13	Los circuitos magnéticos en serie-en paralelo	414
11.14	Determinación de Φ	416
11.15	Las áreas de aplicación	418

12 Los inductores 433

12.1	Introducción	433
12.2	La Ley de Faraday de la inducción electromagnética	433
12.3	La Ley de Lenz	434
12.4	La autoinductancia	434
12.5	Los tipos de inductores	435
12.6	El voltaje inducido	438
12.7	Los transitorios R - L : El ciclo de almacenamiento	441
12.8	Los transitorios R - L : La fase de caída	445
12.9	Los valores iniciales	448
12.10	Los valores instantáneos	451
12.11	$\tau = L/R_{Th}$	451
12.12	Los inductores en serie y en paralelo	454
12.13	Los circuitos R - L y R - L - C con entradas de cd	455
12.14	La energía almacenada por un inductor	458
12.15	Análisis por computadora	459

13 Las formas de onda senoidales alternas 473

13.1	Introducción	473
13.2	Características y definiciones del voltaje senoidal de ca	474
13.3	La onda senoidal	480
13.4	El formato general para el voltaje o la corriente senoidal	484
13.5	Las relaciones de fase	487
13.6	El valor promedio	491
13.7	Los valores efectivos	498
13.8	Medidores e instrumentos de ca	503
13.9	Análisis por computadora	506

14 Los elementos básicos y los fasores 519

14.1	Introducción	519
14.2	La derivada	519
14.3	Respuesta de los elementos básicos R , L y C a un voltaje o corriente senoidal	521
14.4	La respuesta de frecuencia de los elementos básicos	532
14.5	La potencia promedio y el factor de potencia	536
14.6	Los números complejos	540
14.7	La forma rectangular	541
14.8	La forma polar	541
14.9	La conversión entre las formas	542
14.10	Operaciones matemáticas con números complejos	544
14.11	Los métodos de calculadora y de computadora para los números complejos	550
14.12	Fasores	552
14.13	Análisis por computadora	558

15 Los circuitos de ca serie y paralelo 573

15.1	Introducción	573
15.2	La impedancia y el diagrama del fasor	573
15.3	La configuración en serie	580
15.4	La regla divisora del voltaje	588
15.5	Respuesta de frecuencia del circuito R - C	591
15.6	Resumen: Los circuitos serie de ca	598
15.7	La admitancia y la susceptancia	599
15.8	Las redes paralelo de ca	603
15.9	La regla divisora de la corriente	611
15.10	Respuesta en frecuencia de la red paralelo R - L	612
15.11	Resumen: Las redes paralelo de ca	617
15.12	Los circuitos equivalentes	618
15.13	Las mediciones de fase con un osciloscopio de trazo dual	623
15.14	Análisis por computadora	626

16 Las redes serie-paralelo de ca 651

16.1	Introducción	651
16.2	Ejemplos	652
16.3	Las redes de escalera	661
16.4	Análisis por computadora	662

17 Los métodos de análisis y los temas seleccionados (ca) 675

- 17.1 Introducción 675
- 17.2 Las fuentes independientes *versus* las dependientes (controladas) 675
- 17.3 Las conversiones de fuentes 677
- 17.4 El análisis de malla 679
- 17.5 El análisis de nodos 686
- 17.6 Las redes de puente (ca) 697
- 17.7 Las conversiones Δ -Y, Y- Δ 702
- 17.8 Análisis por computadora 707

18 Los teoremas de redes (ca) 723

- 18.1 Introducción 723
- 18.2 El teorema de la superposición 723
- 18.3 El teorema de Thévenin 730
- 18.4 El teorema de Norton 742
- 18.5 El teorema de la máxima transferencia de potencia 749
- 18.6 Los teoremas de la sustitución, de la reciprocidad y de Millman 754
- 18.7 Análisis por computadora 754

19 La potencia (ca) 777

- 19.1 Introducción 777
- 19.2 El circuito resistivo 778
- 19.3 La potencia aparente 779
- 19.4 El circuito inductivo y la potencia reactiva 781
- 19.5 El circuito capacitivo 784
- 19.6 El triángulo de potencia 785
- 19.7 Las P , Q y S totales 788
- 19.8 La corrección del factor de potencia 792
- 19.9 Los wattmetros y los medidores del factor de potencia 796
- 19.10 La resistencia efectiva 797
- 19.11 Análisis por computadora 800

20 La resonancia 813

- 20.1 Introducción 813
- 20.2 El circuito resonante serie 814
- 20.3 El factor de calidad (Q) 816
- 20.4 Z_T en función de la frecuencia 818
- 20.5 La selectividad 820
- 20.6 V_R , V_L y V_C 823
- 20.7 Ejemplos (la resonancia serie) 824
- 20.8 El circuito resonante paralelo 827

- 20.9 La curva de selectividad para los circuitos resonantes paralelo 830
- 20.10 El efecto de $Q_i \geq 10$ 833
- 20.11 Tabla resumen 837
- 20.12 Ejemplos (resonancia paralelo) 838
- 20.13 Análisis por computadora 845

21 Los decibeles, los filtros y las gráficas de Bode 855

- 21.1 Los logaritmos 855
- 21.2 Las propiedades de los logaritmos 858
- 21.3 Los decibeles 859
- 21.4 Los filtros 864
- 21.5 El filtro R - C pasa bajas 866
- 21.6 El filtro R - C pasa altas 871
- 21.7 Los filtros pasa banda 874
- 21.8 Los filtros de banda de atenuación 879
- 21.9 El filtro de doble sintonía 881
- 21.10 Las gráficas de Bode 882
- 21.11 Graficación de la respuesta de Bode 890
- 21.12 El filtro pasa bajas con atenuación limitada 895
- 21.13 El filtro pasa altas con atenuación limitada 899
- 21.14 Otras propiedades y una tabla resumen 904
- 21.15 Las redes de separación de frecuencias 910
- 21.16 Análisis por computadora 913

22 Las formas de onda de pulso y la respuesta R - C 931

- 22.1 Introducción 931
- 22.2 El pulso ideal *versus* el pulso real 931
- 22.3 La frecuencia de repetición de pulsos y el ciclo de trabajo 935
- 22.4 El valor promedio 938
- 22.5 Transitorios de redes R - C 940
- 22.6 La respuesta R - C para entradas de onda cuadrada 942
- 22.7 El atenuador del osciloscopio y la punta de prueba compensada 949
- 22.8 Análisis por computadora 950

23 Los sistemas polifásicos 961

- 23.1 Introducción 961
- 23.2 El generador trifásico 962
- 23.3 El generador conectado en Y 964
- 23.4 La secuencia de fase (generador conectado en Y) 966
- 23.5 El generador conectado en Y con una carga conectada en Y 967

23.6	El sistema Y- Δ	969
23.7	El generador conectado en Δ	971
23.8	La secuencia de fase (generador conectado en Δ)	973
23.9	Los sistemas trifásicos Δ - Δ , Δ -Y	973
23.10	La potencia	975
23.11	El método de los tres wattmetros	981
23.12	El método de los dos wattmetros	982
23.13	La carga trifásica de cuatro alambres conectada en Y desbalanceada	985
23.14	La carga trifásica de tres alambres conectada en Y desbalanceada	987
23.15	Análisis por computadora	990

24 Los circuitos no senoidales 1005

24.1	Introducción	1005
24.2	La serie de Fourier	1006
24.3	La respuesta del circuito a una entrada no senoidal	1016
24.4	La suma y la resta de formas de onda no senoidales	1021
24.5	Análisis por computadora	1022

25 Los transformadores 1031

25.1	Introducción	1031
25.2	La inductancia mutua	1031
25.3	La conexión en serie de las bobinas mutuamente acopladas	1034
25.4	El transformador con núcleo de hierro	1037
25.5	La impedancia reflejada y la potencia	1040
25.6	El circuito equivalente (transformador con núcleo de hierro)	1043
25.7	Las consideraciones de frecuencia	1045
25.8	El transformador con núcleo de aire	1047
25.9	Acoplamiento de impedancia, aislamiento y desplazamiento	1049
25.10	Los valores nominales	1054
25.11	Los tipos de transformadores	1055
25.12	Los transformadores con varias derivaciones y carga múltiple	1057
25.13	Las redes con bobinas acopladas magnéticamente	1058
25.14	Análisis por computadora	1059

26 El análisis de sistemas—una introducción 1071

26.1	Introducción	1071
26.2	Los parámetros de impedancia Z_i y Z_o	1072
26.3	Las ganancias del voltaje $A_{v_{NL}}$, A_v y A_{v_T}	1077

26.4	Las ganancias de la corriente A_i y A_{i_T} y la ganancia de la potencia A_G	1080
26.5	Los sistemas en cascada	1084
26.6	Los parámetros de impedancia (z)	1087
26.7	Los parámetros de admitancia (y)	1091
26.8	Los parámetros híbridos (h)	1096
26.9	Las impedancias de entrada y de salida	1100
26.10	La conversión entre los parámetros	1102
26.11	Análisis por computadora	1103

Apéndices

Apéndice A

PSpice, C++ y MathCAD 1116

Apéndice B

Los factores de conversión 1119

Apéndice C

Los determinantes 1122

Apéndice D

La codificación de colores de los capacitores de mica moldeados (picofarads) 1130

Apéndice E

La codificación de colores de los capacitores tubulares moldeados (picofarads) 1131

Apéndice F

El alfabeto griego 1132

Apéndice G

Las conversiones de los parámetros magnéticos 1133

Apéndice H

Las condiciones de máxima transferencia de potencia 1134

Apéndice I

Respuestas a los problemas seleccionados con números impares 1136

Índice