

Indice

CAPITULO I

Electrostática

1. Campo eléctrico	5
2. Campo producido por una carga	5
3. Campo en un medio dieléctrico. Expresión general de la ley de Gauss	5
4. Expresión local de la ley de Gauss	7
5. Ley de Coulomb	7
6. Potencial de los campos newtonianos	8
7. Expresión del campo en función del potencial	10
8. Fórmulas de Poisson y de Laplace	11
9. Propiedad de los conductores	11
10. Propiedades de los espacios desprovistos de cargas, limitados por superficies equipotenciales	12
11. Potencial creado por una carga puntual	12
12. Expresión general del potencial electrostático	13
13. Tubos del campo electrostático	15
14. Capacitancias	16
15. Capacitores	17
16. Energía electrostática	18
17. La energía electrostática reside en el espacio que rodea a los conductores	19
18. Depresión electrostática	20
19. Cálculo de capacitancias	21
20. Agrupamiento de capacitores	24
21. Pantallas electrostáticas	26
22. Imágenes eléctricas	27

CAPITULO II

Corrientes eléctricas

1. Objetivo del capítulo	29
2. Ley de Ohm	29
3. Leyes de Kirchhoff	32
4. Ley de Joule	36
5. Cargas libres en los conductores	37
6. Analogía entre los estados electrostáticos y estacionarios	40

CAPITULO III

Magnetismo

1. Campo magnético. Fórmula de Laplace	42
2. Divergencia nula de la inducción magnética	44



3. Circuitación del campo magnético	Universidad Nacional de Entre Ríos	45
4. Ley de Ampere	Facultad de Ingeniería	46
5. Medios con corrientes amperianas		48
6. Campo magnético creado por las corrientes de desplazamiento		49
7. Potencial vectorial del campo magnético		50
8. Inducción creada por una corriente		53
9. Fuerzas ponderomotrices sobre masas eléctricas en movimiento		56
10. Campo eléctrico creado dentro de medios en movimiento		56
11. Trabajo de la fuerza magnética		57
12. Energía magnética almacenada		58
13. Fuerza electromotriz inducida		59
14. Componentes de la fuerza electromotriz inducida		60
15. Ecuaciones de Hertz		60
16. Ecuaciones de Maxwell		61
17. Fórmula de Lorentz		61
18. Potenciales retardados		62
19. Inductancias. Fórmula de Neumann		64
20. Energía magnética en función de las inductancias		66

CAPITULO IV

Circuitos en estado permanente		68
1. Circuitos eléctricos		68
2. Circuitos con corriente continua		69
3. Corrientes alternas		69
4. Circuitos con corrientes alternas sinusoidales		71
5. Método de representación compleja		72
6. Reactancias y susceptancias		75
7. Potencia en un circuito eléctrico		76
8. Expresión compleja de la potencia aparente		78
9. Circuitos resonantes		78
10. Factor de calidad y curva universal de resonancia		81
11. Energía contenida en un circuito resonante		83
12. Circuitos resonantes paralelos		85
13. Circuitos acoplados magnéticamente		87
14. Representación gráfica de circuitos lineales con componentes variables		89
15. Modificación del diagrama de inversión		91
16. Corrientes y tensiones poliarmónicas		92
17. Circuitos con corrientes poliarmónicas		95

CAPITULO V

Teoremas de los circuitos eléctricos		97
1. Introducción		97
2. Resolución de los circuitos mediante las corrientes de mallas		97
3. Tensiones de nodos		98
4. Método de las tensiones de nodos		99
5. Teorema de superposición		100
6. Teorema de reciprocidad		101
7. Teorema de compensación		102
8. Teorema de Thevenin		103
9. Teorema de Norton		105
10. Máxima potencia transferida		105
11. Transformación estrella-reticulado		107
12. Transformación triángulo-estrella		109
13. Cuadripolo equivalente de un circuito pasivo		110
14. Teorema de Boucherot		111
15. Puente de Wheatstone		113

CAPITULO VI

Sistemas polifásicos

1. Introducción	115
2. Formación de los sistemas polifásicos	115
3. Suma de las ff.e.mm. de un sistema equilibrado	116
4. Punto neutro de un sistema trifásico, equilibrado y simétrico	117
5. Relaciones entre las ff.e.mm. y las corrientes en los sistemas en estrella y en triángulo	118
6. Diferencias de fases entre las ff.e.mm. y las corrientes	119
7. Potencia en un sistema trifásico simétrico y equilibrado	120
8. Factor de potencia de los sistemas asimétricos	121
9. Punto neutro de los sistemas asimétricos	123
10. Método de Kennelly	124
11. Método de Fortescue	125
12. Síntesis de sistemas de iguales o distintas secuencias	126
13. Determinación de las componentes maestras	127
14. Resolución del sistema trifásico	128
15. Casos particulares	130
16. Potencia de un sistema trifásico en función de sus componentes simétricas	131
17. Medida de la potencia de un sistema trifásico	132

CAPITULO VII

Circuitos magnéticos

1. Ley de Hopkinson	135
2. Curvas de magnetización y lazo de histéresis	136
3. Permeabilidad incremental	138
4. Pérdidas por corrientes de Foucault	139
5. Pérdidas totales en el hierro	141
6. Deformación del flujo y de la corriente en un inductor con núcleo de hierro	141
7. Componentes de la corriente	142
8. Circuitos magnéticos con entrehierro	143
9. Imanes permanentes	145

CAPITULO VIII

Estados transitorios

1. Estados de funcionamiento	147
2. Admitancia indicatriz	147
3. Ecuación de Heaviside	147
4. Corriente producida por una f.e.m. exponencial basada en la admitancia indicatriz	148
5. Integral de Carson	148
6. Tablas de transformadas operacionales	150
7. Transformadas operacionales de las derivadas y la integral	151
8. Relaciones entre los valores límites	154
9. Resolución de circuitos con condiciones iniciales nulas	155
10. Teorema de expansión de Heaviside	156
11. Circuitos con condiciones iniciales no nulas	157
12. Escalón exponencial	159
13. Teorema de transposición	160

CAPITULO IX

Transformadores

1. Definiciones	166
2. Relaciones entre las inductancias	166
3. Coeficiente de acoplamiento	166
4. Ecuaciones de los circuitos acoplados magnéticamente	167
5. Transformador lineal con flujo de amplitud constante	169

6. Transformador con núcleo de hierro y flujo de amplitud constante	172
7. Diagrama del transformador real	174
8. El transformador ideal	175
9. Esquema del transformador referido al primario	175
10. Esquema del transformador referido al secundario	176
11. Impedancias transferidas	178
12. Esquemas simplificados	179



Universidad Nacional de Entre Ríos
Facultad de Ingeniería

CAPITULO X

Fundamentos de las máquinas eléctricas	180
1. Definiciones	180
2. Ecuación energética	180
3. Expresión del parmotor y de la fuerza desarrollada	181
4. Expresiones alternativas del par y de la fuerza	183
5. Sistemas con dos o más arrollamientos	185
6. Aplicación a un electroimán	185
7. Motor sincrónico de reluctancia variable	187
8. Máquinas de corriente continua	191
9. Representación simplificada de una máquina de corriente continua	194
10. Fuerza electromotriz inducida	196
11. Reacción del inducido	197
12. Campo giratorio	198
13. Máquinas sincrónicas y asincrónicas	199

CAPITULO XI

Circuitos con constantes distribuidas	200
1. Líneas de transmisión	200
2. Ecuaciones de los telegrafistas	200
3. Líneas con corriente alterna	202
4. Ondas de tensión y de corriente	203
5. Relaciones entre las componentes de tensión y de corriente	205
6. Impedancia en un punto cualquiera de la línea	206
7. Longitud de onda	207
8. Líneas con corriente continua	208
9. Solución general para las líneas sin pérdidas	209
10. Cuadripolo equivalente a una línea	209
11. Impedancias en casos particulares	211

CAPITULO XII

Propagación electromagnética	213
1. Descripción del campo electromagnético	213
2. Ecuaciones de Maxwell	213
3. Campo electromagnético en el vacío	214
4. Campo electromagnético variable según (x) y (t) solamente	215
5. Solución de las ecuaciones del campo plano	217
6. Impedancia de ondas	219
7. Propagación de una onda sinusoidal	221
8. Vector de Poynting	221
9. Efecto pelicular	224
10. Densidad de cargas libres en los conductores	224
11. Corriente de desplazamiento dentro de los conductores	226
12. Ecuaciones de Maxwell en los conductores	226
13. Ecuación de la densidad de la corriente en un conductor	226
14. Distribución de la corriente en un conductor plano: penetración	227
15. Distribución de la corriente en un conductor de sección circular	229



ANEXO

Elemento de cálculo vectorial

Universidad Nacional de Entre Ríos
Facultad de Ingeniería

1. Introducción	232
2. Escalares y vectores	232
3. Suma y resta de vectores	232
4. Producto de vectores	233
5. Representación cartesiana	234
6. Producto escalar expresado mediante las componentes cartesianas	235
7. Producto vectorial expresado mediante las componentes cartesianas	235
8. Producto doble mixto	235
9. Producto doble vectorial	236
10. Circulación en un campo vectorial	237
11. Componentes del campo en función de su potencial. Gradiente	239
12. Flujo de un vector. Divergencia	240
13. Divergencia superficial	241
14. Rotación de un campo vectorial. Teorema de Stokes	241
15. Propiedad de los campos derivados de funciones potenciales	244
16. Divergencia nula de los campos que son rotacionales de otros	245
17. Laplaciano	246
18. Consideraciones sobre el operador de Hamilton	247
19. Rotacional del rotacional de un campo vectorial	248
20. Fórmulas de Green	248
21. Teorema de Green	249