

Indice

Parte I. Electrotecnia general

CAPÍTULO 1. SISTEMAS DE MEDIDAS Y UNIDADES

Introducción	21
Sistemas de unidades	24
Sistemas de medida en Mecánica .	29
Sistemas de medida en Termología	30
Sistemas de medida en Electrotecnia	32
Ecuaciones entre magnitudes . . .	35
Unidades del Sistema Internacional de Medidas	37
Tablas de equivalencias entre los principales sistemas de medidas.	43

CAPÍTULO 2. ENERGÍA

Definición de energía	55
Formas de energía	56
Energía liberada y energía total .	61
Distinción entre energía y trabajo.	61
Principio de conservación de la energía	62
Características de conservación de la energía	64
Características de la energía eléctrica	65

CAPÍTULO 3. CONCEPTOS GENERALES SOBRE ELECTROSTÁTICA

Introducción	69
Fenómenos fundamentales	69

Clases de electricidad	70
Teoría electrónica	72
Constitución del átomo	73
Electrización	74
Cuerpos conductores y aislantes .	76
Electrización por influencia	78
Otros sistemas de electrización . .	80
Cargas eléctricas. Ley de Coulomb.	82
Unidades de cantidad de electricidad	86
Asimetría entre las dos clases de electricidad	89

CAPÍTULO 4. CAMPO, FLUJO Y POTENCIAL ELECTROSTÁTICO

Características del campo eléctrico	91
Unidades de intensidad de campo eléctrico	93
Campos eléctricos engendrados por cargas puntuales	93
Potencial eléctrico	95
Potencial eléctrico debido a una carga puntual única	95
Potencial eléctrico debido a varias cargas puntuales	99
Potencial eléctrico en el exterior de un conjunto de cargas eléctricas puntuales	100
Relación $E = -\text{grad } V$	100
Superficie equipotencial	102
Unidades de potencial	105
Flujo eléctrico	106
Unidades de flujo eléctrico	107
Teorema de Gauss	108

Propiedades esenciales del flujo eléctrico	112
Teorema de Green	114
Teorema de Poisson	116
Resumen	117

CAPÍTULO 5. CONDUCTORES

Generalidades	121
Potencial de un conductor	121
Densidad eléctrica superficial	124
Efecto pantalla	125
Campo en la proximidad de una superficie. Teorema de Coulomb.	126
Presión electrostática	127
Distribución de las cargas en los conductores	131
Distribución de las cargas de un solo conductor aislado en el espacio	131
Conductor influido por otros conductores	133
Influencia total	134
Principio de conservación de la electricidad	136
Influencia parcial	136
Jaula de Faraday	139

CAPÍTULO 6. DIELECTRICOS

Polarización de un dieléctrico	141
Cargas de polarización	142
Clases de dieléctricos	146
Permitividad de un dieléctrico	147
Vector polarización en el seno de un dieléctrico polarizado	148
Vector polarización en la superficie de un dieléctrico	149
Campo eléctrico E en el seno de un dieléctrico polarizado	151
Desplazamiento D en el seno de un dieléctrico polarizado	152
Susceptibilidad dieléctrica	153
Polarización en la superficie de separación de dos dieléctricos	155
Componente tangencial de E en la superficie de separación de dos dieléctricos	156
Componente normal de D en la superficie de dos dieléctricos	157

Refracción de las líneas de campo y de desplazamiento	158
---	-----

CAPÍTULO 7. CONDENSADORES

Capacidad y coeficientes de influencia en un conjunto de conductores	161
Unidad de capacidad	163
Distribución de las cargas entre dos conductores alejados	163
Capacidad de un condensador	165
Cálculo de la capacidad en condensadores planos. Método directo	169
Cálculo de la capacidad de un condensador esférico	172
Cálculo de la capacidad de un condensador cilíndrico	173
Asociación de condensadores en paralelo	179
Asociación en serie de condensadores	179
Asociación mixta de condensadores	181
Características constructivas de los condensadores	183

CAPÍTULO 8. ENERGÍA ELECTROSTÁTICA

Energía de un condensador cargado	187
Fuerza de atracción entre las armaduras de un condensador	190
Localización de la energía electrostática	194
Rigidez dieléctrica de un aislante	198
Energía en un sistema de conductores electrizados	199
Identidad de Gauss	200

CAPÍTULO 9. CORRIENTE ELÉCTRICA. FUERZA ELECTROMOTRIZ. TENSIÓN

Sentido de la corriente eléctrica	206
Intensidad de una corriente eléctrica	208

Unidades de intensidad de corriente eléctrica	209
Densidad de corriente	210
Corriente de desplazamiento en un dieléctrico	212
Corriente de polarización de un dieléctrico	214
Unidad de cantidad de electricidad	216
Fuerza electromotriz y tensión	217
Energía y potencia de una corriente eléctrica	220

CAPÍTULO 10. LEY DE JOULE. RESISTENCIA ELÉCTRICA

Generalidades	221
Ley de Joule	222
Unidad de resistencia eléctrica	224
Resistividad	225
Influencia de la temperatura sobre la resistividad	227
Conductancia	231
Resistividad de un aislante	231
Aplicaciones del efecto Joule	233
Cálculo de una resistencia	239
Fórmula de Preece	241
Velocidad de calentamiento	243
Ventajas de un conductor sobre otro desde el punto de vista de la corriente eléctrica admisible	245

CAPÍTULO 11. LEY DE OHM. CIRCUITO ELÉCTRICO

Concepto de circuito eléctrico	249
Primera ley de Ohm	250
Segunda ley de Ohm	253
Comprobación experimental de la ley de Ohm	254
Conexión de resistencias en serie	257
Conexión de resistencias en derivación	259
Conexión mixta de resistencias	260
Aplicaciones de la ley de Ohm	264
Energía y potencia eléctrica de un generador	268
Energía y potencia eléctrica en un aparato receptor	269

Diferencia de potencial y fuerza contraelectromotriz en un receptor eléctrico	271
Campo electromotor	272
Ley de Ohm generalizada	273

CAPÍTULO 12. LEYES DE KIRCHHOFF

Circuitos complejos	275
Primera ley de Kirchhoff	276
Segunda ley de Kirchhoff	277
Transformación de redes	278
Principio de inversión	279
Principio de simetría	280
Principio de la superposición	280
Teorema de Kennely	281
Teorema de Thévenin	282
Regla de sustitución	285
Teorema de Maxwell	287
Teorema de Vaschy	287

CAPÍTULO 13. EFECTO QUÍMICO DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

Electrólisis	289
Leyes cualitativas de la electrólisis	290
Leyes de Faraday	292
Ley de Ohm en electrólisis	294
Resistividad de un electrólito	299
Conductividad de un electrólito	298
Teoría de Arrhenius	300
Velocidad de los iones	302
Aplicaciones de la electrólisis	304

CAPÍTULO 14. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIOS ELECTROQUÍMICOS

Conceptos fundamentales	305
Cadenas constituidas por conductores sólidos	308
Cadenas constituidas por un conductor líquido por lo menos	309
Funcionamiento de la pila hidroléctrica	310
Polarización	311

Características de las pilas hidroeléctricas	314	Elemento de circulación de un circuito cerrado	363
Clasificación de las pilas hidroeléctricas	318	Circulación de H a lo largo de una curva finita	365
Tipos de pilas eléctricas	319	Potencial escalar magnético	365
Principio de funcionamiento del acumulador	324	Unidad de potencial escalar magnético en el Sistema Internacional	365
Acumulador de plomo	324	Teorema de Ampere	366
Acumulador alcalino	325	Equivalencias entre las unidades magnéticas del Sistema Internacional y del Sistema EMCGS	368
Acumulador de plata	327	Espectro magnético	369
Características de los acumuladores eléctricos	327		
Asociación de pilas y acumuladores	329		
Efecto Peltier	333		
Efecto Thomson	335		
Efecto Seebeck	337		
Ley de los metales intermedios	337		
Ley de las temperaturas sucesivas	338		
Pares termoeléctricos	338		
Serie termoeléctrica de Becquerel	339		
CAPÍTULO 15. CAMPO MAGNÉTICO EN EL VACÍO		CAPÍTULO 16. FUERZA Y TRABAJO ELECTROMAGNÉTICO	
Introducción	343	Fuerza electromagnética	371
Causa del magnetismo	346	Efecto Hall	374
Fórmula de Ampere	348	Fuerza electrodinámica	375
Fuerza electromagnética de Laplace. Inducción magnética	349	Trabajo electromagnético	377
Ley de Biot y Savart	351	Principio del flujo máximo	378
Valor de la constante K en la expresión de la inducción magnética	352	Energía potencial de un circuito eléctrico situado en un campo magnético	380
Sistema EMCGS de unidades electromagnéticas	352	Momento electromagnético de un circuito eléctrico	380
Sistema MKSA de unidades electromagnéticas	353	Aplicación de las fuerzas electromagnéticas al funcionamiento de los motores eléctricos	382
Sistema Internacional de unidades electromagnéticas	354	Aplicación de las fuerzas electromagnéticas a los aparatos de medida magnetoeléctricos	383
Unidad de inducción magnética en el Sistema Internacional	355	Aplicación de las fuerzas eléctricas a los aparatos de medida electrodinámicos	387
Unidad de flujo de inducción en el Sistema Internacional	355		
Característica del flujo magnético de inducción	356		
Campo magnético	358		
Unidad de campo magnético en el Sistema Internacional	360		
Elemento de circulación del vector dH como consecuencia de un elemento de corriente	361		
		CAPÍTULO 17. INDUCCIÓN MAGNÉTICA DEBIDA A LAS CORRIENTES ELÉCTRICAS	
		Conceptos fundamentales	395
		Inducción debida a un electrón en movimiento	397
		Inducción en un punto exterior a un hilo rectilíneo indefinido recorrido por una corriente eléctrica	399

Inducción en un punto interior de un conductor rectilíneo indefinido recorrido por una corriente eléctrica	401
Fuerza electrodinámica entre dos conductores paralelos indefinidos	403
Inducción de una corriente circular en un punto de su eje	404
Inducción de un solenoide en un punto de su eje	407
Inducción en un punto de la línea media de inducción de un toro electromagnético	409
Permeabilidad magnética	411
Hipótesis de Ampere	413
Vector imanación en un medio magnético	414
Inducción magnética en el interior de un medio magnético	414
Campo magnético en el interior de un medio magnético	416
Aplicación del teorema de Ampere al vector H	419
Susceptibilidad magnética	419
Paso de un medio a otro	421
Resumen de las propiedades de los vectores B y H	423

CAPÍTULO 18. IMANACIÓN

Clasificación magnética de los cuerpos	425
Cuerpos diamagnéticos	426
Cuerpos paramagnéticos	426
Cuerpos ferromagnéticos	427
Cuerpos antiferromagnéticos	428
Cuerpos ferrimagnéticos	428
Imanación de una sustancia ferromagnética	429
Influencia de la temperatura sobre las propiedades magnéticas.	431
Imán inducido solenoidal	432
Imán inducido toroidal	434
Saturación magnética	436
Histéresis	438
Histéresis alterna e histéresis gítoria	443
Imanación de una lámina delgada normal al campo desmagnetizante	444

Imanación de un cilindro de pequeña longitud	446
Inducción remanente práctica	450

CAPÍTULO 19. IMANES Y ELECTROIMANES

Momento magnético amperiano de una barra rígidamente imanada	451
Intensidad media de imanación de un imán	455
Masas magnéticas amperianas (ficticias)	455
Inducción producida por un imán en un punto exterior a él	458
Imán permanente	461
Recta de retroceso	467
Forma de construir un imán permanente	467
Cálculo de un imán permanente	469
Electroimán	469
Ley de Hopkinson	471
Unidad de fuerza magnetomotriz en el Sistema Internacional	473
Unidad de reluctancia en el Sistema Internacional	475
Resumen de fórmulas fundamentales y unidades del circuito magnético	475
Problema fundamental del circuito magnético	476
Leyes de Kirchhoff en los circuitos magnéticos	479
Pantalla magnética	482
Comparación de los circuitos eléctrico y magnético	482
Normas para el cálculo de un electroimán	484

CAPÍTULO 20. INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Fundamentos	487
Fuerza electromotriz de inducción.	488
Sentido de la fuerza electromotriz de inducción	489
Expresiones de la fuerza electromotriz de inducción	490
Circuito inducido cerrado	495

Campo electromotor	496
Explicación del diamagnetismo mediante la ley de Lenz	497
Cantidad de electricidad inducida.	499
Corrientes de Foucault	500
Efecto de frenado de las corrientes de Foucault	501
Pérdidas de energía debidas a las corrientes de Foucault	502

CAPÍTULO 21. AUTOINDUCCIÓN

Conceptos generales	507
Inductancia de una bobina con núcleo de aire	509
Inductancia de una bobina con núcleo magnético	510
Fuerza electromotriz de autoinducción	511
Unidad de inductancia	511
Cálculo de la inductancia de un electroimán y de un toro electromagnético	512
Relación entre la permeabilidad absoluta y la inductancia lineal	513
Relación entre la permitividad del vacío, la permeabilidad del vacío y la velocidad de la luz	514
Energía de un circuito dotado de autoinducción	516
Energía perdida por histéresis	519
Cálculo de una inductancia	522
Fuerzas electromagnéticas debidas a inducción magnética producida por un circuito	527
Efecto de la autoinducción en el cierre de un circuito	530
Efectos de la autoinducción en la apertura de un circuito	534
Inducción mutua	540
Coefficientes de inducción	540
Cálculo de la inductancia mutua mediante la fórmula de Neumann	542
Acoplamiento perfecto y acoplamiento imperfecto de dos bobinas	544
Efectos de un circuito cerrado sin fuerza electromotriz propia sobre la inductancia mutua	548

Energía potencial en dos circuitos en estado de inducción mutua	550
--	-----

CAPÍTULO 22. CONCEPTOS GENERALES SOBRE LA CORRIENTE ALTERNA

Clases de corriente	553
Período	557
Frecuencia	557
Movimiento armónico o senoidal.	558
Representación matemática de una magnitud senoidal	560
Representación cartesiana de una magnitud senoidal	562
Representación vectorial de una magnitud senoidal	563
Valor máximo y valor instantáneo de una corriente alterna	564
Valor medio de la corriente alterna	568
Valor eficaz de una corriente alterna	571
Factor de amplitud de una corriente alterna	574
Factor de forma de una corriente alterna	574
Adición de magnitudes alternas de igual fase y frecuencia	575
Adición de magnitudes alternas de igual frecuencia y desfasadas 180°	577
Adición de magnitudes alternas de distinta fase y de igual frecuencia	579
Adición de más de dos magnitudes alternas de distinta fase e igual frecuencia	582
Adición de magnitudes alternas senoidales de diferentes frecuencias cuando dichas frecuencias son múltiplos de la menor	584
Adición de una tensión continua y una alterna	587

CAPÍTULO 23. CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA (I)

Introducción	591
Receptor con resistencia pura	592

Receptor con inductancia pura	594
Receptor con capacidad pura	598
Receptor con resistencia óhmica e inductancia en serie	600
Receptor con resistencia óhmica y capacidad en serie	607
Receptor con inductancia y capacidad en serie	612
Receptor con resistencia, inductancia y capacidad en serie	614

CAPÍTULO 24. CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA (II)

Receptor con resistencia óhmica e inductancia en paralelo	623
Receptor con resistencia óhmica y capacidad en paralelo	628
Receptor con reactancias inductiva y capacitiva en paralelo	633
Receptor con resistencia óhmica, inductancia y capacidad en paralelo	637
Conexión de receptores reales	639
Receptores en serie	640
Receptores en derivación	642
Receptores en serie y en derivación	644

CAPÍTULO 25. POTENCIA DE LAS CORRIENTES ALTERNAS

Conceptos fundamentales	657
Energía fluctuante	663
Potencia activa, reactiva y aparente	666
Relaciones fundamentales entre las potencias activa, reactiva y aparente	671
Clases de potencias reactivas	673
Potencia magnetizante	677
Potencia activa consumida por un condensador	683
Mejora del factor de potencia	684
Potencia de las corrientes no senoidales	687

CAPÍTULO 26. FILTROS ELÉCTRICOS

Conceptos generales	689
Influencia de la frecuencia sobre la reactancia inductiva	690
Influencia de la frecuencia sobre la reactancia capacitiva	691
Frecuencia de resonancia	693
Circuito resonante inductancia-condensador-resistencia en serie	694
Circuito resonante inductancia-condensador-resistencia en derivación	699
Filtros eléctricos de pasa-bajo	702
Filtros eléctricos de pasa-alto	707
Filtros eléctricos de pasa-banda	712

CAPÍTULO 27. CORRIENTES ALTERNAS POLIFÁSICAS

Conceptos fundamentales	717
Sistemas polifásicos equilibrados	721
Sistema bifásico	725
Sistema trifásico equilibrado	728
Sistema tetrafásico	737
Sistema hexafásico	741
Potencia activa en los sistemas polifásicos	747
Potencia activa de un sistema bifásico equilibrado	747
Potencia activa en un sistema trifásico equilibrado	748
Potencia activa en un sistema tetrafásico equilibrado	749
Potencia activa en un sistema hexafásico equilibrado	750
Potencia reactiva en un sistema polifásico	750
Potencia aparente en un sistema polifásico	751

CAPÍTULO 28. CORRIENTE ALTERNA POLIFÁSICA DESEQUILIBRADA

Introducción	753
Cálculo de las corrientes en un sistema polifásico desequilibrado mediante el método vectorial	754

Cálculo de las corrientes en un sistema polifásico desequilibrado mediante el método simbólico	757
Cálculo de las corrientes en un sistema polifásico desequilibrado mediante el método de las componentes simétricas	760
Determinación de las componentes U_{ia} , U_{fi} , y U_{fo}	771
Cálculo de los sistemas trifásicos desequilibrados mediante el método de las componentes simétricas	776

CAPÍTULO 29. SISTEMAS DE UNIDADES ELÉCTRICAS Y MAGNÉTICAS

Introducción	781
Sistema ESGCS	781
Sistema EMCGS	782
Sistema práctico	785
Sistema MKSA	787
Sistema Internacional	793
Relaciones entre las unidades del Sistema Internacional y las del Sistema Giorgi no racionalizado.	800

Relaciones entre unidades de los sistemas ESCGS, EMCGS e Internacional	804
--	-----

Parte II. Esquemas eléctricos

CAPÍTULO ÚNICO. SÍMBOLOS Y ESQUEMAS ELÉCTRICOS

Conceptos generales	809
Símbolos eléctricos	810
Clasificación de los esquemas	870
Esquemas de funcionamiento	871
Esquema de funcionamiento unifilar	872
Esquemas desarrollados	874
Esquemas de conexiones	876
Esquema de conexiones en representación por haces	879
Esquemas de emplazamiento	880
Esquemas electrónicos	884
Simbología de componentes electrónicos	885
Esquemas sinópticos	893