

# INDICE

## PROLOGO

	Pág.
2.1.- ASPECTOS DE CARACTER GENERAL	1
2.1.1.- Clasificación de las máquinas eléctricas.	1
2.1.2.- Campos magnéticos empleados en las máquinas	3
2.1.3.- Composición de dos campos rotantes	10
2.1.4.- Tres fenómenos fundamentales en la teoría de las máquinas	11
2.1.4.1.- Generador elemental	11
2.1.4.2.- Transformador elemental	12
2.1.4.3.- Motor elemental	13
2.1.5.- La conversión electromagnética de energía	13
2.1.6.- Cupla y potencia mecánica	15
2.1.7.- Momento de inercia de máquinas rotantes	16
2.1.8.- Peso de las máquinas eléctricas	18
2.1.9.- Pérdidas	19
2.1.9.1.- Pérdidas eléctricas	19
2.1.9.2.- Pérdidas magnéticas	21
2.1.9.3.- Pérdidas mecánicas	22
2.1.9.4.- Pérdidas adicionales	23
2.1.10.- Rendimiento	23
2.1.10.1.- Variación del rendimiento	24
2.1.10.2.- Rendimiento cíclico	25
2.1.11.- Calentamiento y enfriamiento	26
2.1.11.1.- Ecuación del calentamiento y enfriamiento	26
2.1.11.2.- Temperatura límite	30
2.1.11.3.- Determinación de la temperatura máxima	33
2.1.11.4.- Potencia nominal	36
2.1.11.5.- Tipo de servicio	37
2.1.11.6.- Capacidad de sobrecarga	38
2.2.- TRANSFORMADORES	41
2.2.1.- Principio de funcionamiento	41
2.2.2.- Principales aspectos constructivos	44
2.2.3.- Transformador ideal. Relaciones fundamentales	57
2.2.4.- Transformador real en vacío	62
2.2.5.- Transformador real en carga	65
2.2.6.- Flujos y reactancias	66
2.2.7.- Ecuaciones del funcionamiento	67
2.2.8.- Conversión de parámetros	69
2.2.9.- Circuito equivalente o Circuito sustitutivo	72
2.2.10.- Algo sobre polaridades	75
2.2.11.- Diagrama de Kapp	76
2.2.12.- Características de funcionamiento	77
2.2.13.- Rendimiento	78
2.2.14.- El rendimiento, en forma más detallada	79
2.2.15.- Capitalización de pérdidas	82
2.2.16.- Regulación	83
2.2.17.- Medición de las constantes	85
2.2.18.- Esfuerzos mecánicos	88
2.2.19.- Autotransformadores	89
2.2.20.- Transformadores trifásicos	92

2.2.21.-	Conexiones normalizadas	94
2.2.22.-	Algo más sobre conexiones trifásicas	96
2.2.23.-	Relación de transformación en trifásica	103
2.2.24.-	Cargas desequilibradas en trifásica	104
2.2.25.-	Regulación de la tensión	105
2.2.26.-	Transformaciones exafásicas y dodecafásicas	107
2.2.27.-	Autotransformadores trifásicos y transformador de punto medio	108
2.2.28.-	Paralelo de transformadores	108
2.2.29.-	Distribución de las cargas en paralelo	111
2.3.-	RECTIFICADORES	114
2.3.1.-	Principio de funcionamiento	114
2.3.2.-	Antiguos rectificadores	116
2.3.3.-	Rectificadores a semiconductor	119
2.3.4.-	Rectificadores de alta potencia	125
2.3.5.-	Rectificadores controlados, o Tiristores	126
2.3.6.-	Principales aspectos constructivos	128
2.3.7.-	Circuitos rectificadores	130
2.3.7.1.-	Rectificador monofásico a media onda	132
2.3.7.2.-	Rectificador monofásico de onda completa a contrafase	133
2.3.7.3.-	Rectificador monofásico de onda completa a puente	134
2.3.7.4.-	Rectificador trifásico de media onda	135
2.3.7.5.-	Rectificador trifásico de onda completa	136
2.3.7.6.-	Rectificador trifásico a puente	137
2.3.7.7.-	Rectificadores multianódicos	138
2.3.8.-	Relación de las tensiones	139
2.3.9.-	Relación de las corrientes	139
2.3.10.-	Forma de la onda rectificada	140
2.3.11.-	Armónicas en la onda de salida	141
2.3.12.-	Efectos de la reactancia del transformador	141
2.3.13.-	Control de la tensión	143
2.4.-	ALTERNADORES	146
2.4.1.-	Principio de funcionamiento	146
2.4.2.-	Circuito magnético y bobinas	149
2.4.3.-	Frecuencia y número de polos	152
2.4.4.-	Principales aspectos constructivos	153
2.4.5.-	Disposición y construcción de bobinas	165
2.4.6.-	Criterios de refrigeración	169
2.4.7.-	Arrollamientos del inducido	170
2.4.8.-	Algo más sobre bobinados	174
2.4.9.-	Fuerza electromotriz inducida	178
2.4.10.-	Armónicas en la fuerza electromotriz	182
2.4.11.-	Tensiones simples y compuestas	184
2.4.12.-	Campo magnético del inductor	186
2.4.13.-	Campo magnético del inducido	192
2.4.14.-	Excitación en los alternadores	196
2.4.15.-	Cupla actuante sobre el rotor	201
2.4.16.-	Campo del entrehierro funcionando en carga	207
2.4.16.1.-	Campo del alternador a rotor liso	207
2.4.16.2.-	Campo del alternador a rotor de polos salientes y Teoría de la doble reacción de Blondel	208

2.4.17.-	Características a vacío	213
2.4.18.-	Funcionamiento del alternador a rotor liso, con circuito magnético no saturado	214
2.4.18.1.-	Impedancia sincrónica y diagrama vectorial	214
2.4.18.2.-	Circuito equivalente	216
2.4.18.3.-	Decalaje entre rotor y estator	217
2.4.18.4.-	Determinación de la impedancia sincrónica	217
2.4.18.5.-	Valor porcentual de la impedancia sincrónica	220
2.4.18.6.-	Relación de corto circuito	220
2.4.19.-	Funcionamiento del alternador a rotor liso, con circuito magnético saturado	221
2.4.19.1.-	Ecuaciones y diagrama vectorial	221
2.4.19.2.-	Característica en corto circuito	225
2.4.19.3.-	Característica a corriente reactiva	227
2.4.19.4.-	Determinación experimental de la reactancia de dispersión y del coeficiente de equivalencia	228
2.4.20.-	Funcionamiento del alternador a polos salientes con circuito no saturado - Método de Blondel	230
2.4.20.1.-	Ecuaciones y diagrama vectorial	230
2.4.20.2.-	Determinación experimental de las reactancias	232
2.4.21.-	Funcionamiento del alternador a polos salientes con circuito magnético saturado	234
2.4.22.-	Características exteriores de los alternadores funcionando en forma aislada	236
2.4.23.-	Marcha de alternadores en paralelo	238
2.4.24.-	Alternador a rotor liso trabajando en paralelo	246
2.4.25.-	Alternador a polos salientes trabajando en paralelo	251
2.4.26.-	Cupla sincronizante	255
2.4.27.-	Oscilaciones pendulares	256
<b>2.5.-</b>	<b>MOTORES SINCRONICOS</b>	<b>261</b>
2.5.1.-	Principio de funcionamiento	261
2.5.2.-	Diagramas vectoriales	264
2.5.3.-	La función potencia-ángulo	265
2.5.4.-	Estabilidad de marcha	268
2.5.5.-	Curvas características	269
2.5.6.-	Diagrama de Blondel y sus variantes	270
2.5.6.1.-	Diagrama a potencia absorbida constante	271
2.5.6.2.-	Diagrama a potencia útil constante	272
2.5.6.3.-	Diagrama a excitación constante	273
2.5.6.4.-	Diagrama a factor de potencia constante	273
2.5.6.5.-	Una observación sobre todos los diagramas	273
2.5.7.-	Análisis del funcionamiento	273
2.5.8.-	Arranque del motor sincrónico	275
<b>2.6.-</b>	<b>MOTORES ASINCRONICOS TRIFASICOS</b>	<b>277</b>
2.6.1.-	Principio de funcionamiento del motor trifásico a inducción	277
2.6.2.-	Resbalamiento	281
2.6.3.-	Los rotores de uso práctico	282
2.6.4.-	Principales aspectos constructivos	283
2.6.5.-	Conexiones	288
2.6.6.-	Análisis del funcionamiento	291
2.6.7.-	Circuito equivalente	294
2.6.8.-	Potencia y cupla	295
2.6.9.-	Circuito equivalente aproximado y expresiones útiles	296



2.6.10.-	Resbalamiento y potencia	298
2.6.11.-	Algo más sobre análisis del funcionamiento	299
2.6.12.-	Curvas características	300
2.6.13.-	Medición de constantes	305
	2.6.13.1.- Ensayo a vacío	305
	2.6.13.2.- Ensayo a rotor bloqueado	306
2.6.14.-	Diagrama circular	308
2.6.15.-	Métodos de arranque	311
	2.6.15.1.- Arranque directo	312
	2.6.15.2.- Arranque estrella-triángulo	312
	2.6.15.3.- Arranque con autotransformador	315
	2.6.15.4.- Arranque con resistencias en serie	315
	2.6.15.5.- Arranque con resistencias en el rotor	316
2.6.16.-	Control de la velocidad	318
	2.6.16.1.- Control por variación de resistencia rotórica	318
	2.6.16.2.- Control por variación de tensión aplicada	318
	2.6.16.3.- Control por variación de frecuencia	319
	2.6.16.4.- Control por variación del número de polos	320
	2.6.16.5.- Control por montaje en cascada	321
2.6.17.-	Armónicas en el flujo del entrehierro	322
<b>2.7.-</b>	<b>MOTORES ASINCRONICOS MONOFASICOS</b>	<b>323</b>
2.7.1.-	Principio de funcionamiento del motor monofásico a inducción	323
2.7.2.-	Algo más sobre la teoría del doble campo giratorio	326
2.7.3.-	Aplicación de la teoría del doble campo giratorio	328
2.7.4.-	Ecuaciones de las tensiones	330
2.7.5.-	Circuito equivalente	331
2.7.6.-	Cupla motora	333
2.7.7.-	Métodos de puesta en marcha	334
	2.7.7.1.- Arranque con bobina auxiliar en corto	334
	2.7.7.2.- Motor de fase cortada	336
	2.7.7.3.- Motor con arranque a capacitor	337
	2.7.7.4.- Motor con arranque a repulsión	338
2.7.8.-	Motor capacitor	338
2.7.9.-	Determinación de las constantes	339
<b>2.8.-</b>	<b>MAQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA</b>	<b>342</b>
2.8.1.-	Principio de funcionamiento como generador y como motor	342
2.8.2.-	Conexiones y sentido de corriente	346
2.8.3.-	Forma de la onda de tensión, o de cupla	348
2.8.4.-	Principales aspectos constructivos	350
2.8.5.-	Arrollamientos del inducido	352
2.8.6.-	Fuerza electromotriz inducida	355
2.8.7.-	Ecuación general del generador	358
2.8.8.-	Ecuación general del motor	358
2.8.9.-	Reacción del inducido	359
2.8.10.-	Conmutación	361
2.8.11.-	Mejora de la conmutación	363
2.8.12.-	Formas de excitación de los generadores y sus características	364
	2.8.12.1.- Excitación independiente	364
	2.8.12.2.- Excitación en derivación	365
	2.8.12.3.- Excitación en serie	366
	2.8.12.4.- Excitación compuesta	366

2.8.13.-	Cupla motora	367
2.8.14.-	Arranque y regulación de la velocidad	369
2.8.15.-	Motores serie, derivación y compuestos	370
2.8.16.-	Cupla en algunos motores	373
2.9.-	<b>ALGUNAS MAQUINAS DE USO MENOS FRECUENTE</b>	375
2.9.1.-	Motores de corriente alterna a colector	375
2.9.2.-	Motor serie de corriente alterna	380
2.9.3.-	Motor de repulsión	382
2.9.4.-	Motores universales	382
2.9.5.-	Motor a reluctancia	383
2.9.6.-	Pequeñas máquinas para servomecanismos	384