
CONTENIDO

Prefacio	xv
1 Conceptos básicos	1
1.1 Introducción	1
1.2 Notación de un subíndice	3
1.3 Notación de dos subíndices	4
1.4 Potencia en circuitos de ca monofásicos	5
1.5 Potencia compleja	9
1.6 El triángulo de potencia	10
1.7 Dirección del flujo de potencia	11
1.8 Voltaje y corriente en circuitos trifásicos balanceados	13
1.9 Potencia en circuitos trifásicos balanceados	22
1.10 Cantidades en por unidad	23
1.11 Cambio de base de cantidades en por unidad	27
1.12 Ecuaciones de nodo	28
1.13 El diagrama unifilar o de una línea	31
1.14 Diagramas de impedancia y de reactancia	33
1.15 Resumen	35
Problemas	35
2 Transformadores	38
2.1 El transformador ideal	38
2.2 Bobinas magnéticamente acopladas	43
2.3 El circuito equivalente de un transformador monofásico	48
2.4 Impedancias en por unidad en circuitos de transformadores monofásicos	52
2.5 Transformadores trifásicos	54
2.6 Transformadores trifásicos: defasamiento y circuitos equivalentes	59
2.7 El autotransformador	66
2.8 Impedancias en por unidad de transformadores de tres devanados	67
2.9 Transformadores de cambio de derivación y regulantes	70
2.10 Ventajas de los cálculos en por unidad	75
2.11 Resumen	76
Problemas	76
3 La máquina síncrona	81
3.1 Descripción de la máquina síncrona	82
3.2 Generación trifásica	85

3.3	Reactancia sincrónica y circuitos equivalentes	93
3.4	Control de las potencias real y reactiva	98
3.5	Diagrama de capacidad de carga	102
3.6	El modelo de la máquina de dos ejes	109
3.7	Ecuaciones de voltaje: máquina de polos salientes	115
3.8	Efectos transitorios y subtransitorios	118
3.9	Corrientes de cortocircuito	122
3.10	Resumen	126
	Problemas	127
4	Impedancia serie de líneas de transmisión	131
4.1	Tipos de conductores	132
4.2	Resistencia	133
4.3	Valores tabulados de resistencia	136
4.4	Inductancia de un conductor debida al flujo interno	136
4.5	Enlaces de flujo entre dos puntos externos a un conductor aislado	139
4.6	Inductancia de una línea monofásica de dos conductores	141
4.7	Enlaces de flujo de un conductor dentro de un grupo	142
4.8	Inductancia de líneas de conductores compuestos	144
4.9	El uso de tablas	148
4.10	Inductancia de líneas trifásicas con espaciamento equilátero	150
4.11	Inductancia de líneas trifásicas con espaciamento asimétrico	150
4.12	Cálculos de inductancia para conductores agrupados	153
4.13	Resumen	154
	Problemas	155
5	Capacitancia de líneas de transmisión	159
5.1	Campo eléctrico de un conductor largo y recto	160
5.2	Diferencia de potencial entre dos puntos debida a una carga	160
5.3	Capacitancia de una línea de dos conductores	162
5.4	Capacitancia de una línea trifásica con espaciamento equilátero	166
5.5	Capacitancia de una línea trifásica con espaciamento asimétrico	168
5.6	Efecto del suelo sobre la capacitancia de las líneas de transmisión trifásicas	171
5.7	Cálculos de capacitancia para conductores agrupados	173
5.8	Líneas trifásicas con circuitos paralelos	175
5.9	Resumen	178
	Problemas	179
6	Relaciones de voltaje y corriente en una línea de transmisión	181
6.1	Representación de líneas	183
6.2	La línea de transmisión corta	184
6.3	La línea de longitud media	188
6.4	La línea de transmisión larga: solución de las ecuaciones diferenciales	190
6.5	La línea de transmisión larga: interpretación de las ecuaciones	192
6.6	La línea de transmisión larga: forma hiperbólica de las ecuaciones	194
6.7	El circuito equivalente de una línea larga	199
6.8	Flujo de potencia a través de una línea de transmisión	201
6.9	Compensación reactiva de líneas de transmisión	204

6.10	Transitorios en líneas de transmisión	207
6.11	Análisis transitorio: ondas viajeras	208
6.12	Análisis transitorio: reflexiones	212
6.13	Trasmisión en corriente directa	217
6.14	Resumen	218
	Problemas	218
7	El modelo de admitancia y cálculo de redes	223
7.1	Admitancias de rama y de nodo	224
7.2	Ramas acopladas mutuamente en $\mathbf{Y}_{\text{barra}}$	229
7.3	Una red de admitancias equivalentes	236
7.4	Modificación de $\mathbf{Y}_{\text{barra}}$	239
7.5	La matriz de incidencia de la red y $\mathbf{Y}_{\text{barra}}$	241
7.6	El método de eliminación sucesiva	246
7.7	Eliminación de nodos (reducción de Kron)	254
7.8	Factorización triangular	257
7.9	Esparcimiento y ordenamiento casi-óptimo	262
7.10	Resumen	262
	Problemas	263
8	El modelo de impedancias y los cálculos de red	266
8.1	Las matrices de admitancia e impedancia de barra	267
8.2	Teorema de Thévenin y $\mathbf{Z}_{\text{barra}}$	270
8.3	Modificación de una $\mathbf{Z}_{\text{barra}}$ existente	276
8.4	Determinación directa de $\mathbf{Z}_{\text{barra}}$	283
8.5	Cálculo de los elementos de $\mathbf{Z}_{\text{barra}}$ usando $\mathbf{Y}_{\text{barra}}$	287
8.6	Transformaciones sin variación de potencia	291
8.7	Ramas mutuamente acopladas en $\mathbf{Z}_{\text{barra}}$	297
8.8	Resumen	304
	Problemas	305
9	Soluciones de flujos de potencia	309
9.1	El problema de flujos de potencia	309
9.2	El método de Gauss-Seidel	315
9.3	El método de Newton-Raphson	322
9.4	La solución de flujos de potencia de Newton-Raphson	326
9.5	Estudios de flujos de potencia en el diseño y operación de sistemas	334
9.6	Transformadores regulantes	339
9.7	El método desacoplado de flujos de potencia	345
9.8	Resumen	351
	Problemas	352
10	Fallas simétricas	358
10.1	Transitorios en circuitos serie RL	359
10.2	Voltajes internos de máquinas con carga bajo condiciones de falla	361
10.3	Cálculo de fallas usando $\mathbf{Z}_{\text{barra}}$	367
10.4	Cálculos de falla usando los circuitos equivalentes de $\mathbf{Z}_{\text{barra}}$	372

10.5	Selección de interruptores	378
10.6	Resumen	387
	Problemas	388
11	Componentes simétricas y redes de secuencia	391
11.1	Síntesis de fasores asimétricos a partir de sus componentes simétricas	392
11.2	Las componentes simétricas de los fasores asimétricos	393
11.3	Circuitos simétricos Y y Δ	397
11.4	Potencia en términos de componentes simétricas	401
11.5	Circuitos de secuencia de impedancias Y y Δ	403
11.6	Circuitos de secuencia de una línea de transmisión simétrica	409
11.7	Circuitos de secuencia de la máquina sincrónica	415
11.8	Circuitos de secuencia de transformadores Y- Δ	422
11.9	Impedancias serie asimétricas	431
11.10	Redes de secuencia	433
11.11	Resumen	438
	Problemas	438
12	Fallas asimétricas	441
12.1	Fallas asimétricas en sistemas de potencia	441
12.2	Fallas monofásicas de línea a tierra	452
12.3	Fallas línea a línea	458
12.4	Fallas de doble línea a tierra	463
12.5	Problemas de demostración	468
12.6	Fallas de conductor abierto	477
12.7	Resumen	489
	Problemas	494
13	Operación económica de sistemas de potencia	498
13.1	Distribución de carga entre unidades dentro de una central generadora	499
13.2	Distribución de carga entre plantas	507
13.3	La ecuación de las pérdidas de transmisión	509
13.4	Una interpretación de la transformación C	518
13.5	Despacho económico clásico con pérdidas	520
13.6	Control automático de la generación	527
13.7	Demanda de una unidad	537
13.8	Resolviendo el problema de demanda de unidad	542
13.9	Resumen	551
	Problemas	552
14	Métodos de Z_{barra} en el análisis de contingencias	556
14.1	Adición y eliminación de líneas múltiples	557
14.2	Solución por partes de sistemas interconectados	564
14.3	Análisis de contingencias simples	574
14.4	Análisis de contingencias múltiples	583
14.5	Análisis de contingencia por el modelo de cd	589
14.6	Reducción del sistema para estudios de contingencias y fallas	591

14.7	Resumen	598
	Problemas	599
15	Estimación de estado de sistemas de potencia	603
15.1	El método de los mínimos cuadrados	604
15.2	Estadística, errores y estimados	611
15.3	Pruebas para datos erróneos	616
15.4	Estimación de estado de un sistema de potencia	624
15.5	La estructura y formación de \mathbf{H}_x	636
15.6	Resumen	646
	Problemas	647
16	Estabilidad de sistemas de potencia	654
16.1	El problema de estabilidad	654
16.2	Dinámica del rotor y la ecuación de oscilación	657
16.3	Consideraciones adicionales de la ecuación de oscilación	661
16.4	La ecuación potencia-ángulo	665
16.5	Sincronización de los coeficientes de potencia	672
16.6	Criterio de áreas iguales para la estabilidad	675
16.7	Otras aplicaciones del criterio de áreas iguales	681
16.8	Estudios de estabilidad considerando múltiples máquinas: representación clásica	684
16.9	Solución por partes de la curva de oscilación	691
16.10	Programas computacionales para estudios de estabilidad transitoria	698
16.11	Factores que afectan la estabilidad transitoria	699
16.12	Resumen	701
	Problemas	702
	Apéndice A	705
A.1	Devanados distribuidos de una máquina síncrona	711
A.2	Transformación \mathbf{P} de las cantidades del estator	720
	Apéndice B	722
B.1	Esparcimiento y ordenamiento casi-óptimo	722
B.2	Esparcimiento de la matriz jacobiana	727
	Índice	73