

Contenido

1. Introducción	1
1.1. El control automático	2
1.1.1. La realimentación	3
1.1.2. Etapas de diseño de un sistema de control	4
1.2. Reseña histórica del control automático	7
1.3. El control en el ámbito naval y marítimo	11
1.3.1. Aprovechamiento económico de explotaciones	11
1.3.2. Mejora de prestaciones en buques y artefactos marinos	12
1.3.3. Control de maniobras en aplicaciones novedosas	13
1.4. Organización de este texto	13
2. Introducción a los sistemas y señales	15
2.1. Introducción	15
2.2. Conceptos básicos	16
2.2.1. Sistema dinámico	16
2.2.2. Variables de entrada	18
2.2.3. Perturbaciones	19
2.2.4. Variables de salida	20
2.2.5. Variables de estado	22
2.2.6. Representación de sistemas	24
2.3. Clasificación de los sistemas dinámicos	26
2.3.1. Atendiendo a la naturaleza de las magnitudes	26
2.3.2. Atendiendo a la dependencia temporal de las señales .	27
2.3.3. Atendiendo al grado de determinismo	28
2.3.4. Atendiendo al número de entradas y salidas	29
2.3.5. Sistemas lineales y no lineales	29
2.4. Sistemas LTI continuos	30
2.5. Causalidad. Convolución. Respuesta temporal	32
2.5.1. Principio de causalidad	32
2.5.2. Señales de entrada normalizadas	34
2.5.3. Convolución	38
2.5.4. Respuesta temporal	40

3. Transformaciones complejas	43
3.1. Introducción	43
3.2. Series de Fourier	44
3.3. Transformada de Fourier	55
3.4. Transformada inversa de Fourier	59
3.5. Transformada de Laplace	60
3.6. Transformada de algunas funciones	62
3.6.1. Función impulso unitario	62
3.6.2. Escalón unitario	62
3.6.3. Rampa y parábola unitarias	63
3.6.4. Función potencial	63
3.6.5. Función exponencial	63
3.6.6. Seno y coseno	64
3.6.7. Senh y cosh	64
3.7. Propiedades de la transformada de Laplace	64
3.7.1. Teorema del valor inicial	67
3.7.2. Teorema del valor final	67
3.7.3. Convolución	68
3.8. Transformada inversa de Laplace	70
3.8.1. El teorema de los residuos	71
4. Función de transferencia	77
4.1. Introducción	77
4.2. Concepto	77
4.3. Sistemas de primer orden	81
4.3.1. Respuesta impulsional	81
4.3.2. Respuesta ante entrada en escalón unitario	83
4.4. Sistemas de segundo orden	84
4.4.1. Respuesta impulsional	85
4.4.2. Respuesta ante entrada en escalón	88
4.5. Sistemas de orden superior	91
4.6. Introducción al álgebra de bloques	94
4.6.1. Bloques en cascada y en paralelo	94
4.6.2. Conexión realimentada	95
4.6.3. Realimentación con compensador	96
4.6.4. Algunas equivalencias algebraicas	97
4.6.5. Algunos esquemas de sistemas realimentados	98
4.7. Linealización	101
4.7.1. Equilibrio	102
4.7.2. Punto de funcionamiento	103
4.7.3. Linealización en torno a un punto de funcionamiento	103
4.8. Principio de analogía	116

5. Análisis en el dominio complejo	121
5.1. Introducción	121
5.2. Régimen transitorio	122
5.2.1. Sistemas de primer orden	124
5.2.2. Sistemas de segundo orden	126
5.2.3. Sistemas de orden superior. Dinámica dominante . . .	140
5.2.4. Efecto de los ceros	143
5.3. Estabilidad	145
5.3.1. Estabilidad en el plano complejo. Criterio de Routh . .	146
5.3.2. Estudio de estabilidad en el plano complejo. Ejemplos	149
5.3.3. Análisis en situaciones singulares	150
5.4. Régimen permanente	154
5.4.1. Error de posición	155
5.4.2. Error de velocidad	156
5.4.3. Error de aceleración	157
5.4.4. Errores y constantes de error	157
6. Análisis en el dominio frecuencial	159
6.1. Introducción	159
6.2. Respuesta ante excitación senoidal	160
6.3. Diagrama de Bode	161
6.4. Diagrama de Bode de funciones elementales	164
6.4.1. Ganancia	164
6.4.2. Derivador	165
6.4.3. Integrador	166
6.4.4. Sistemas de primer orden	167
6.4.5. Sistemas de segundo orden	170
6.5. Trazado del diagrama de Bode	173
6.5.1. Trazado del diagrama de ganancia	174
6.5.2. Trazado del diagrama de fase	177
6.5.3. Ejemplos del trazado del diagrama de Bode	179
6.6. Sistemas de fase mínima y no mínima	189
6.7. Estabilidad en el dominio frecuencial	190
6.7.1. El principio del argumento	192
6.7.2. Camino de Nyquist	194
6.7.3. Criterio de estabilidad de Nyquist	196
6.7.4. Ejemplos del trazado del diagrama de Nyquist	197
6.8. Márgenes de estabilidad	207
6.8.1. Margen de ganancia	207
6.8.2. Margen de fase	207
6.9. Ancho de banda	209

7. Introducción a los sistemas realimentados	211
7.1. Introducción	211
7.2. Sistemas realimentados	212
7.2.1. Control por prealimentación	213
7.2.2. Control por realimentación	215
7.3. Especificaciones de diseño en el dominio temporal	219
7.3.1. Respuesta deseada en régimen transitorio	220
7.3.2. Respuesta deseada en régimen permanente	222
7.3.3. Especificaciones generales en el dominio temporal	223
7.4. Especificaciones en el dominio frecuencial	224
7.5. Especificaciones generales	228
8. Diseño de reguladores en el dominio complejo	229
8.1. Introducción	229
8.2. El regulador P , PI , PD y PID	230
8.2.1. Regulador proporcional P	230
8.2.2. Regulador proporcional derivativo PD	231
8.2.3. Regulador proporcional integral PI	233
8.2.4. Regulador proporcional integral derivativo PID	235
8.3. Diagrama del lugar de las raíces	239
8.3.1. Polos del sistema en bucle cerrado	240
8.3.2. Trazado del lugar de las raíces	243
8.3.3. Aspecto cualitativo del lugar	254
8.4. Diseño de reguladores I	257
8.4.1. Regulador proporcional P	257
8.4.2. Regulador proporcional integral PI	261
8.4.3. Regulador proporcional derivativo PD	269
8.4.4. Regulador proporcional integral derivativo PID	280
8.4.5. Causalidad del regulador	289
8.4.6. Aspectos finales	296
8.5. Diseño de reguladores II	298
9. Diseño de reguladores en el dominio frecuencial	309
9.1. Introducción	309
9.2. Compensación por Ajuste de Ganancia	310
9.2.1. Procedimiento de diseño	310
9.3. Compensación de adelanto de fase	318
9.3.1. Procedimiento de diseño	320
9.4. Compensación de atraso de fase	334
9.4.1. Procedimiento de diseño	335
9.5. Compensación de adelanto-atraso de fase	342
9.5.1. Procedimiento de diseño	343