

Innhold

1	Innledning	9
2	Matematisk modellering	13
2.1	Innledning	13
2.2	Utvikling av dynamiske modeller	14
2.2.1	Framgangsmåte for matematisk modellering	14
2.2.2	Modellering av massesystemer. Modellbegreper	15
2.2.3	Modellering av termiske systemer	23
2.2.4	Modellering av bevegelsessystemer	27
2.2.5	Modellering av elektriske systemer	33
2.2.6	Modellering av elektromekanisk system (likestrømsmotor)	38
2.3	Utvikling av statiske modeller	46
3	Modellformer og responsberegning	51
3.1	Innledning	51
3.2	Differensiallikningsmodeller	52
3.2.1	Klassifisering av differensiallikninger	52
3.2.2	Tilstandsrommodeller	54

3.2.3	Blokkdiagram for differensiallikningsmodeller	58
3.2.4	Analytisk beregning av tidsresponser for differensiallikningsmodeller	63
3.2.5	Beregning av statisk respons	66
3.2.6	Numerisk beregning av tidsresponser for differensiallikningsmodeller	67
3.2.7	Simuleringsverktøy for differensiallikningsmodeller . . .	75
3.2.8	Linearisering av ulineære modeller	75
3.3	Transferfunksjoner	79
3.3.1	Innledning	79
3.3.2	Definisjon av transferfunksjonen	80
3.3.3	Karakterisering av transferfunksjoner	82
3.3.4	Transferfunksjoner for modeller med flere enn én inngangsvariabel	82
3.3.5	Transferfunksjoner for tilstandsrommodeller	84
3.3.6	Transferfunksjonsmatrise for multivariable modeller . . .	87
3.3.7	Blokkdiagrammer for transferfunksjonsmodeller	88
3.3.8	Blokkdiagrammanipulering	92
3.3.9	Analytisk beregning av tidsresponser for transferfunksjoner	95
3.3.10	Beregning av statisk tidsrespons med sluttverditeoremet	98
3.3.11	Numerisk beregning av tidsresponser for transferfunksjonsmodeller	101
3.3.12	Simuleringsverktøy for transferfunksjonsmodeller . . .	103
4	Standard transferfunksjoner og dynamikk	105
4.1	Innledning	105

<i>Dynamiske systemer</i>	3
4.2 Forsterker	105
4.3 Integrator	106
4.4 1. ordens systemer	109
4.5 2. ordens systemer	114
4.5.1 Transferfunksjonsmodell	114
4.5.2 Klassifisering av 2. ordens systemer	115
4.6 Systemer med tidsforsinkelse	124
4.7 Systemer med nullpunkter	128
5 Frekvensrespons	133
5.1 Innledning	133
5.2 Hva er frekvensrespons?	134
5.3 Hvordan finne frekvensresponsen fra eksperimenter	137
5.3.1 Korrelasjonsmetoden	137
5.3.2 Fouriertransformasjon	139
5.3.3 Frekvensrespons fra estimert transferfunksjonsmodell .	140
5.4 Transferfunksjonsbasert frekvensrespons	140
5.4.1 Hvordan beregne frekvensresponsen fra transferfunksjo- nen	140
5.4.2 Resulterende frekvensrespons for multipliserte trans- ferfunksjoner	145
5.4.3 Verktøy for transferfunksjonsbasert frekvensrespons .	147
5.5 Anvendelse av frekvensrespons: Filtere	147
5.5.1 Innledning	147
5.5.2 Lavpassfiltere	150

5.5.3	Utvikling av andre typer filterfunksjoner med frekvens- stransformasjon	154
5.5.4	Utvikling av tidsdiskrete filtre	156
5.6	Anvendelse av frekvensrespons: Analyse av reguleringssystemer	158
6	Stabilitetsanalyse	161
6.1	Innledning	161
6.2	Impulsrespons og stabilitetsegenskaper	162
6.3	Bruk av sprangrespons i stedet for impulsrespons	164
6.4	Stabilitetsegenskaper og poler	165
6.5	Stabilitetsegenskaper for tilstandsrommodeller	174
6.6	Intern stabilitet	175
6.7	Verktøy for stabilitetsanalyse	177
7	Estimering av modellparametre	179
7.1	Innledning	179
7.2	Parameterestimering med minste kvadraters metode	181
7.2.1	Prinsippet for minste kvadraters metode	181
7.2.2	Det generelle tilfellet	183
7.3	Estimering av parametre i dynamiske modeller	188
7.3.1	Modellformer	188
7.3.2	Gunstige eksitasjonssignaler	191
7.3.3	Er estimatet brukbart?	195
A	Komplekse tall	197
A.1	Definisjoner	197

<i>Dynamiske systemer</i>	5
A.2 Sammenhenger mellom kartesisk og polar formen	198
A.3 Noen regneregler og identiteter	199
B Laplacetransformasjonen	201
B.1 Egenskaper ved Laplacetransformasjonen	201
B.2 Transformasjonspar	202
C Matriser og vektorer	205
C.1 Definisjon	205
C.2 Den transponerte	206
C.3 Addisjon og multiplikasjon	206
C.4 Determinant	206
C.5 Den inverse og den adjungerte	208
C.6 Diagonalmatriser og identitetsmatriser	208
C.7 Rang	209
C.8 Egenverdier og egenvektorer	209