

Ábrák jegyzéke

0.1.	A klasszikus szabályozási kör blokkdiagramja	12
1.1.	A rendszer blokkdiagramja	20
1.2.	Lineáris rendszer válasza	21
1.3.	Időinvariáns rendszer válasza	22
1.4.	Szabályozási kör vázlata	23
1.5.	Digitális szabályozó	24
1.6.	A rendszer súlyfüggvénye	25
1.7.	A rendszer kimenőjelének származtatása	27
1.8.	A rendszer átmeneti függvénye	28
1.9.	Elsőfokú rendszer	30
1.10.	Az 1.9. ábrán látható rendszer súlyfüggvénye és átmeneti függvénye	31
1.11.	A rendszer frekvenciafüggvényei	32
1.12.	Összefoglaló ábra a transzformációkról	34
1.13.	Frekvenciafüggvény polárkoordináta-rendszerben (<i>Nyquist</i> -diagram)	35
1.14.	<i>Bode</i> -diagram (amplitudófüggvény és fázisfüggvény)	37
1.15.	Elsőfokú rendszer	38
1.16.	Elsőfokú rendszer idő- és frekvenciafüggvényei	39
1.17.	Elsőfokú rendszer	40
1.18.	Elsőfokú rendszer idő- és frekvenciafüggvényei	41
1.19.	Másodfokú rendszer	42

278 *Ábrák jegyzéke*

1.20.	Másodfokú rendszer idő- és frekvenciafüggvényei komplex pólusok esetén	44
1.21.	Másodfokú rendszer idő- és frekvenciafüggvényei valós pólusok esetén	45
1.22.	Rugózott gerenda illusztrációja	46
1.23.	A gerenda átmeneti függvénye	47
1.24.	Az állásszög jelentése egy repülőgépen	48
1.25.	Egy vasúti szerelvény mechanikai modellje	49
1.26.	Egy holtidős tag <i>Nyquist</i> -diagramja	53
1.27.	Fáziskésleltető tag frekvenciafüggvényei	54
1.28.	Fázissiettető tag frekvenciafüggvényei	55
1.29.	Az 1.14. példához tartozó blokkdiagram	56
1.30.	A 1.15 példához tartozó blokkdiagram	56
1.31.	Az 1.15. példa blokkdiagramjának egyszerűsítése	57
2.1.	A rendszer blokkdiagramja	60
2.2.	Egy laboratóriumi inverzinga-kísérlet	63
2.3.	Az inverz inga egyszerűsített modellje	64
3.1.	Szabályozási kör vázlata	67
3.2.	A $G_H(s)$ által létesített konform leképezés szemléltetése	69
3.3.	Fázis- és erősítési tartalék megállapítása <i>Nyquist</i> - és <i>Bode</i> -diagramokon	70
3.4.	Szabályozott rendszer	71
3.5.	Érzékenységi és kiegészítő érzékenységi függvények illusztrációja	73
3.6.	Energiakorlátos jelek előállítása	76
3.7.	A felnyitott hurok <i>Bode</i> -diagramja $C = 1$ esetben	79
3.8.	A felnyitott hurok <i>Bode</i> -diagramja $C = 0.43$ esetben	80
3.9.	Holtidős rendszer teljes <i>Nyquist</i> -diagramja ($C = 1/s$)	81
3.10.	Sorosan kompenzált holtidős rendszer teljes <i>Nyquist</i> -diagramja	82
3.11.	Sorosan kompenzált holtidős rendszer átmeneti függvénye	82
3.12.	A villamos targonca irányításának hatásvázlata	83
3.13.	Felnyitott hurok <i>Bode</i> -diagramja a villamos targonca irányításához	84
3.14.	Különböző soros kompenzátorokkal tervezett rendszer jellemzői	85

3.15.	Gépjármű síkbeli dinamikája a kormányzástervezési példában	87
3.16.	A gépjárműkormányzás irányításának hatásvázlata	88
3.17.	Felnyitott hurok ábrái	88
3.18.	Gépjárműkormányzás: a legyezési szög időfüggvénye egységugrás kormányaszög-változás hatására	89
3.19.	Előzési művelet végrehajtása: a referencia kormányaszög követése szabályozással (- - -: δ_f referencia; —: δ elért kormányaszög)	90
3.20.	Egy laboratóriumi modellautó	91
3.21.	Repülőgép legyezési dinamika irányításának hatásvázlata	91
3.22.	Repülőgép legyezési dinamika szabályozása: a felnyitott hurok <i>Bode</i> -diagramja	92
3.23.	Repülőgép legyezési dinamika: különböző soros szabályozókkal tervezett irányítások jellemzői	92
3.24.	Repülés dőlési szögének irányítása	94
3.25.	Repülőgép dőlési dinamikára vonatkozó irányítás hatásvázlata	94
3.26.	Repülőgép dőlési szög követő szabályozása: a felnyitott hurok <i>Bode</i> -diagramja	95
3.27.	Repülőgép dőlési szög követő szabályozása: különböző szabályozókkal tervezett irányítás jellemzői	96
3.28.	Repülés bólintási dinamikájának irányítása	97
3.29.	Repülőgép bólintási dinamikára vonatkozó irányítás hatásvázlata	97
3.30.	Repülőgép bólintási dinamikája: a felnyitott hurok <i>Bode</i> -diagramja	97
3.31.	Repülőgép bólintási dinamika: különböző szabályozókkal tervezett irányítások jellemzői	99
3.32.	Négyrotoros laboratóriumi helikoptermodell	100
3.33.	Felnyitott hurok <i>Bode</i> -diagramja a helikopter irányításhoz	100
3.34.	Négyrotoros helikopter súlyfüggvénye és átmeneti függvénye 30°-os fázisstartalék esetén	101
3.35.	Négyrotoros helikopter súlyfüggvénye és átmeneti függvénye a túllendülés kiküszöbölésével	101
3.36.	Tervezett sorosan kompenzált névleges rendszer	102
3.37.	Aktuális sorosan kompenzált rendszer	103

280 *Ábrák jegyzéke*

3.38.	Additív bizonytalansági struktúra	104
3.39.	Az additív bizonytalanság illusztrálása <i>Nyquist</i> -diagramon	105
3.40.	Multiplikatív bizonytalansági struktúra	106
3.41.	Robusztus stabilitási teszt multiplikatív hiba mellett	108
3.42.	Robusztus stabilitási teszt additív bizonytalanság esetén	109
3.43.	Az eredeti rendszer átviteli függvénye	110
3.44.	A névleges modell és a valódi rendszer	111
3.45.	Robusztus stabilitási teszt alkalmazása <i>Bode</i> -diagramon multiplikatív bizonytalanság esetén	112
3.46.	Stabilitási feladat arányos szabályozóval	113
3.47.	Stabilitási feladat a kimenőjel deriváltjának visszacsatolásával	113
4.1.	Lineáris dinamikus rendszer illusztrációja	119
4.2.	Rezgőrendszer illusztrációja	121
4.3.	Egy laboratóriumi felfüggesztési rendszer	123
4.4.	Aktív felfüggesztés tervezése negyedjarmű modell alapján. Válaszfüggvények w útgerjesztés és u bemenőjel hatására	126
4.5.	Állapottér-reprezentáció levezetése átviteli függvényből: irányítható alak	128
4.6.	Állapottér-reprezentáció levezetése átviteli függvényből: diagonális alak	130
4.7.	Egyszerűsített gépjármű-felfüggesztés modellje	131
4.8.	Egyszerűsített gépjármű-felfüggesztés modell	132
4.9.	Az irányíthatósági alak blokkdiagramja, $n = 3$	134
4.10.	A diagonális alak blokkdiagramja, $n = 3$	135
4.11.	Egy targonca illusztrációja	136
5.1.	Állapottér-reprezentáció blokkdiagrammja	139
5.2.	Robotpilóta-tervezési példa illusztrációja	151
5.3.	Egységugrás bemenetre adott válaszfüggvények eltérő kezdeti értékek esetén	155
5.4.	Állapottér-reprezentációk tulajdonságai	156
6.1.	Állapot-visszacsatolás blokkdiagramja	158
6.2.	Állapot-visszacsatolás blokkdiagramja részletesen	158
6.3.	Rövid periódusú repülés szimulációja	165
6.4.	Az inverz inga állapot-visszacsatolása	167
6.5.	Inverz inga szabályozása pólusallokációval	168
6.6.	Felfüggesztési rendszer működése	169

6.7.	Pólusallokációs módszerrel tervezett szabályozott rendszer szimulációs vizsgálata	170
7.1.	Repülőgép bólintó dinamikája	181
7.2.	Repülőgép dőlési szöge	182
7.3.	Robotpilóta szimulációja	183
7.4.	Az inverz inga állapot-visszacsatolása <i>LQR</i> -módszerrel	185
7.5.	Az $r = 1$ súlyozással tervezett <i>LQR</i> -szabályozás válaszfüggvényei	185
7.6.	Az <i>LQR</i> -szabályozás válaszfüggvényei	187
7.7.	Lengéskényelmet javító szabályozás szimulációja	190
7.8.	Relatív elmozdulásra optimalizált szabályozás szimulációja	191
7.9.	Az állapotseparálás illusztrációja	193
7.10.	Az állapotseparáláson alapuló szabályozás válaszfüggvényei	194
7.11.	A struktúra-módosítás illusztrációja	195
7.12.	Struktúramódosításon alapuló szabályozás válaszfüggvényei	198
7.13.	Az inverz inga szabályozása állapotseparálás módszerrel	200
7.14.	Állapotseparálás módszerrel szabályozott inverz inga szimulációja	201
7.15.	Az inverz inga szabályozása struktúra módosításával	202
7.16.	Struktúra módosításával szabályozott inverz inga szimulációja	203
7.17.	Fékezéssel való irányítás átmeneti függvényei	206
7.18.	Gépjármű sávban tartásának megoldása	207
7.19.	Komplex irányítástervezésre alkalmazott modell	208
7.20.	Súlyfüggvény és átmeneti függvény <i>LQR</i> -módszerrel tervezett szabályozással	209
7.21.	Súlyfüggvény és átmeneti függvény <i>LQR</i> -módszerrel tervezett szabályozással	210
8.1.	Állapotmegfigyelő	220
8.2.	Kimenet-visszacsatolás megfigyelővel: megfigyelő-szabályozó struktúra	220
8.3.	Állapotmegfigyelővel ellátott állapot-visszacsatolt szabályzási kör	221
8.4.	A tervezett állapot-visszacsatolás egységugrásra adott válasza	224
8.5.	A megfigyelt rendszer egységugrásra adott válasza	225

282 *Ábrák jegyzéke*

8.6.	Szabályozott inverz inga szimulációs vizsgálata	226
8.7.	Rövid periódusú dinamikára tervezett megfigyelő vizsgálata	229
8.8.	Rövid periódusú dinamika irányítása	230
8.9.	Megfigyelőt alkalmazó felfüggesztési rendszer szimulációs vizsgálata	232
8.10.	Kimenetijel-visszacsatolt szabályozó vizsgálata egységugrás-gerjesztések esetén	233
8.11.	Teljes jármű felfüggesztési rendszerének modellje	234
9.1.	Számítógéppel irányított rendszer blokkvázlata	236
9.2.	Időben diszkrét és folytonos rendszer időtartományi görbéje	237
9.3.	Folytonos és diszkrét idejű rendszerek pólusainak kapcsolata	240
9.4.	Autópálya-felhajtóág illusztrációja	246
9.5.	Szabályozott működésű autópálya-felhajtóág szimulációs elemzése	248
9.6.	Állapotjelek az inverz inga állapot-visszacsatolásában	251
9.7.	Állapotjelek a jelkövetést biztosító inverz inga állapotvisszacsatolásában	252
9.8.	Állapotjelek a megfigyelőt alkalmazó inverz inga kísérletben	253