

Seznam použitých symbolů	1
1 Úvod	4
2 Signály	6
2.1 Rozdělení signálů	6
2.1.1 Signály spojité a diskrétní	6
2.1.2 Signály deterministické a náhodné	7
2.1.3 Dělení signálů podle energie	9
2.2 Transformace nezávisle proměnné	9
2.3 Základní spojité signály	12
2.3.1 Komplexní exponenciála	12
2.3.2 Základní diskrétní signály	16
3 Systémy	22
3.1 Spojování subsystémů	22
3.2 Vlastnosti systémů	24
4 Lineární časově invariantní systémy	30
4.1 Reprezentace signálu prostřednictvím impulzů	30
4.2 Konvoluční suma v diskrétních systémech	32
4.3 Konvoluční integrál ve spojitých systémech	37
4.4 Vlastnosti LTI systémů	38
4.4.1 Systémy s pamětí a bez paměti	39
4.4.2 Invertibilita systému	39
4.4.3 Kauzalita LTI systému	41
4.4.4 Stabilita LTI systémů	41
4.4.5 Odezva LTI systémů na jednotkový skok	42
4.5 LTI systémy popsané diferenciálními a diferenčními rovnicemi	43
4.5.1 Lineární diferenciální rovnice s konstantními koeficienty	43
4.5.2 Lineární diferenční rovnice s konstantními koeficienty	44
4.6 Blokové diagramy pro reprezentaci LTI systémů	46
4.6.1 Diskrétní systémy	46
4.6.2 Spojité systémy	51
5 Fourierova analýza v oblasti se spojitým časem	54
5.1 Odezva LTI systému na komplexní exponenciálu	54
5.1.1 Signál složený z periodických exponenciál	56
5.1.2 Odezva LTI systému na složený periodický signál	57

5.1.3	Koeficienty Fourierovy řady	59
5.1.4	Aproximace obecného periodického signálu	61
5.2	Reprezentace aperiodických signálů	65
5.2.1	Odvození Fourierovy transformace	65
5.2.2	Konvergence Fourierovy transformace	67
5.3	Periodické signály	69
5.3.1	Koeficienty Fourierovy řady a Fourierova transformace	70
5.3.2	Fourierova transformace periodického signálu	70
5.4	Vlastnosti Fourierovy transformace ve spojitě oblasti	71
5.4.1	Linearita Fourierovy transformace	72
5.4.2	Symetrie Fourierovy transformace	72
5.4.3	Časové posunutí	73
5.4.4	Obraz derivace a integrálu	73
5.4.5	Změna měřítka v čase a frekvenci	73
5.4.6	Dualita	73
5.4.7	Parsevalova věta	75
5.4.8	Konvoluční vlastnosti	75
5.4.9	Modulační vlastnosti	77
5.5	Frekvenční odezva systémů popsaných diferenciálními rovnicemi s konstantními koeficienty	79
6	Fourierova analýza v diskrétních systémech	81
6.1	Fourierova řada pro periodickou posloupnost	82
6.2	Fourierova transformace pro diskrétní signály	84
6.2.1	Aperiodické signály	84
6.2.2	Fourierova transformace periodického signálu	86
6.2.3	Diskrétní Fourierova transformace	88
6.3	Vlastnosti Fourierovy transformace diskrétních signálů (DTFT)	89
6.3.1	Periodičnost DTFT	90
6.3.2	Linearita	90
6.3.3	Symetrické vlastnosti	90
6.3.4	Posunutí v čase a ve frekvenci	91
6.3.5	Obraz difference a sumace	91
6.3.6	Změna časového a frekvenčního měřítka	91
6.3.7	Derivace ve frekvenční oblasti	93
6.3.8	Parsevalův vztah	93
6.3.9	Konvoluce	93
6.3.10	Modulace	95
6.3.11	Dualita	95
6.4	Diskrétní systémy popsané lineárními diferenčními rovnicemi	96
6.4.1	Frekvenční a impulzová odezva LTI systému	96
6.4.2	Kaskádní a paralelní struktury	97

7	Laplaceova transformace a z-transformace	100
7.1	Laplaceova transformace	100
7.2	Transformace z	103
8	Vzorkování	106
8.1	Vzorkování posloupností impulzů	106
8.2	Rekonstrukce signálu	109
8.2.1	Rekonstrukce ze skokového průběhu	109
8.2.2	Lineární interpolace	111
8.3	Aliasing	111
8.4	Vzorkování ve frekvenční oblasti	113
8.5	Vzorkování diskretních signálů	114
8.6	Vzorkování náhodných signálů	116
8.7	Diskretizace spojitých systémů	117
8.7.1	Transformace $p \leftrightarrow z$ v časové oblasti	117
8.7.2	Transformace $p \leftrightarrow z$ ve frekvenční oblasti	120
9	Váhování	122
9.1	Spojité váhovací funkce	123
9.2	Diskretní váhovací funkce	125
10	Numerická analýza signálů	129
10.1	Váhování a vzorkování	129
10.2	Numerický výpočet Fourierovy transformace	130
10.2.1	Zákon zachování energie (pro spojitou a diskretní oblast)	133
10.2.2	Další specifika diskretního zpracování signálu	134
10.3	Ekvivalentní šířka pásma	136
11	Charakteristiky náhodných signálů a jejich odhad - časová oblast	138
11.1	Základní charakteristiky náhodných signálů a přesnost jejich odhadu	139
11.1.1	Úvodní poznámky a pojmy	139
11.1.2	Přesnost odhadu charakteristik náhodných signálů	144
11.1.3	Hustota rozdělení pravděpodobnosti	146
11.1.4	Střední hodnota	149
11.1.5	Střední kvadratická hodnota a rozptyl	152
11.1.6	Autokorelace a autokovariance	153
11.2	Vzájemná korelace	164
12	Charakteristiky náhodných signálů a jejich odhad - frekvenční oblast	168
12.1	Spektrální analýza	168
12.1.1	Základní vlastnosti metod spektrální analýzy	171
12.1.2	Spektrální výkonová hustota	174
12.1.3	Odhady spektrální hustoty z jediné realizace konečné délky	183

12.1.4	Způsoby získání konzistentních odhadů spektrální hustoty vyhlazováním	188
12.1.5	Použití intervalových odhadů pro detekci spektrálních maxim	194
12.1.6	Číslicová realizace metod spektrální analýzy	195
12.2	Vzájemná spektrální výkonová hustota	202
12.3	Frekvenční charakteristika systému	204
12.4	Koherenční funkce	205
13	Blokové, rekurentní a průběžné metody	209
13.1	Základní metody analýzy signálů	209
13.2	Dávkové, rekurentní a průběžné algoritmy	212
13.2.1	Heuristické odvození	213
13.2.2	Metoda nejmenších čtverců	218
13.3	Aplikace algoritmů pro analýzu nestacionárních signálů	232
14	Parametrické a adaptivní metody	237
14.1	Parametrické modely signálů	237
14.1.1	Typy modelů a jejich interpretace ve spektrální oblasti	238
14.2	Wienerova filtrace a základní konfigurace adaptivní filtrace	247
14.2.1	Predikce a estimace	248
14.2.2	Algoritmy predikce a estimace	254
14.2.3	Vlastnosti lineární predikce	262
14.3	Určení řádu modelu	265
14.4	Autoregresní spektrální analýza	267
14.4.1	Určení řádu AR modelu spektra signálu	268
14.4.2	Rozlišení parametrických a klasických metod	268
14.5	Odhad parametrů ARMA modelu	272
14.6	Kepstrální analýza a její význam pro zpracování signálů	273
14.7	Spektrální vzdálenosti	275
A	Chyby odhadů charakteristik náhodných signálů	278
A.1	Intervaly spolehlivosti (konfidenční intervaly)	278
A.2	Chyby odhadů histogramu	279
A.3	Chyby a vlastnosti odhadu střední hodnoty	280
A.3.1	Chyby odhadu střední hodnoty pomocí klouzavých průměrů	281
A.3.2	Intervaly spolehlivosti pro odhad střední hodnoty	282
A.4	Chyby a chování odhadů střední kvadratické hodnoty	283
A.4.1	Vychýlení odhadu střední kvadratické hodnoty pomocí klouzavých průměrů	285
A.4.2	Intervaly spolehlivosti pro odhad střední kvadratické hodnoty	285
A.5	Chyby odhadu autokorelační funkce	286
A.5.1	Transformace autokorelační funkce	286
A.5.2	Chyby odhadu autokorelační funkce a jejich důsledky	286
A.5.3	Intervaly spolehlivosti pro odhad autokorelační funkce	287

A.6	Chyby odhadů vzájemné korelace	289
A.7	Vlastnosti spektrálních odhadů	289
A.7.1	Souvislost Wienerovy-Chinčinovy věty a vyhlazeného odhadu spektrální hustoty	289
A.7.2	Použití Wienerovy-Chinčinovy věty pro spojité signály konečné délky	291
A.7.3	Wienerova-Chinčinova věta pro diskrétní signály konečné délky	292
A.7.4	Přesnost odhadů spektrální výkonové hustoty	292
A.7.5	Přesnost odhadu vzájemné spektrální hustoty	297
A.8	Frekvenční charakteristika LTI systémů	297
A.8.1	Odvození vztahu pro vyjádření frekvenční charakteristiky	297
A.8.2	Vznik chyb odhadu frekvenční charakteristiky	299
A.8.3	Odvození systematické chyby odhadu frekvenční charakteristiky	300
A.8.4	Intervaly spolehlivosti pro frekvenční charakteristiku	301
A.9	Příčiny vzniku chyb v určení koherence	302
A.9.1	Intervaly spolehlivosti koherenční funkce	306
B	Vybrané aplikace	307
B.1	Rozsah souboru	307
B.2	Testování signálu	308
B.2.1	Testy kvality pseudonáhodných posloupností	308
B.2.2	Test stacionarity signálu	310
B.2.3	Test shodnosti dvou spektrálních odhadů	310
B.2.4	Test periodicity	311
B.2.5	Test normality rozložení hustoty pravděpodobnosti	314
	Literatura	317
	Rejstřík	324