

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Signály</b>	<b>3</b>
2.1	Signály	3
2.2	Transformace nezávisle proměnné	4
2.3	Základní spojité signály	8
2.3.1	Komplexní exponenciála	8
2.3.2	Základní diskrétní signály	12
<b>3</b>	<b>Systémy</b>	<b>17</b>
3.1	Spojování subsystémů	17
3.2	Vlastnosti systémů	19
<b>4</b>	<b>Lineární časově invariantní systémy</b>	<b>25</b>
4.1	Reprezentace signálu prostřednictvím impulsů	25
4.2	Konvoluční suma v diskrétních systémech	26
4.3	Konvoluční integrál ve spojitých systémech	32
4.4	Vlastnosti LTI systémů	33
4.4.1	Systémy s pamětí a bez paměti	34
4.4.2	Invertibilita systému	34
4.4.3	Kauzalita LTI systému	35
4.4.4	Stabilita LTI systémů	35
4.4.5	Odezva LTI systémů na jednotkový skok	37
4.5	LTI systémy popsané diferenciálními a diferenčními rovnicemi	37
4.5.1	Lineární diferenciální rovnice s konstantními koeficienty	37
4.5.2	Lineární diferenční rovnice s konstantními koeficienty	38
4.6	Blokové diagramy pro reprezentaci LTI systémů	40
4.6.1	Diskrétní systémy	40
4.6.2	Spojité systémy	44
<b>5</b>	<b>Fourierova analýza v oblasti se spojitým časem</b>	<b>49</b>
5.1	Odezva LTI systému na komplexní exponenciálu	49
5.1.1	Signál složený z periodických exponenciál	50
5.1.2	Odezva LTI systému na složený periodický signál	52
5.1.3	Koeficienty Fourierovy řady	54
5.1.4	Aproximace obecného periodického signálu	55
5.2	Reprezentace aperiodických signálů	58
5.2.1	Odvození Fourierovy transformace	58

5.2.2	Konvergence Fourierovy transformace . . . . .	60
5.3	Periodické signály . . . . .	62
5.3.1	Koeficienty Fourierovy řady a Fourierova transformace . . . . .	63
5.3.2	Fourierova transformace periodického signálu . . . . .	63
5.4	Vlastnosti Fourierovy transformace ve spojitě oblasti . . . . .	64
5.4.1	Linearita Fourierovy transformace . . . . .	64
5.4.2	Symetrie Fourierovy transformace . . . . .	65
5.4.3	Časové posunutí . . . . .	65
5.4.4	Obraz derivace a integrálu . . . . .	65
5.4.5	Změna měřítka v čase a frekvenci . . . . .	66
5.4.6	Dualita . . . . .	66
5.4.7	Parsevalova věta . . . . .	67
5.4.8	Konvoluční vlastnosti . . . . .	68
5.4.9	Modulační vlastnosti . . . . .	69
5.5	Frekvenční odezva systémů popsaných diferenciálními rovnicemi s konstantními koeficienty . . . . .	70
<b>6</b>	<b>Fourierova analýza v diskrétních systémech</b>	<b>72</b>
6.1	Fourierova řada pro periodickou posloupnost . . . . .	73
6.2	Fourierova transformace pro diskrétní signály . . . . .	75
6.2.1	Aperiodické signály . . . . .	75
6.2.2	Fourierova transformace periodického signálu . . . . .	76
6.2.3	Diskrétní Fourierova transformace . . . . .	78
6.3	Vlastnosti Fourierovy transformace diskrétních signálů (DTFT) . . . . .	79
6.3.1	Periodičnost DTFT . . . . .	79
6.3.2	Linearita . . . . .	79
6.3.3	Symetrické vlastnosti . . . . .	79
6.3.4	Posunutí v čase a ve frekvenci . . . . .	80
6.3.5	Obraz diference a sumace . . . . .	80
6.3.6	Změna časového a frekvenčního měřítka . . . . .	80
6.3.7	Derivace ve frekvenční oblasti . . . . .	81
6.3.8	Parsevalův vztah . . . . .	82
6.3.9	Konvoluce . . . . .	82
6.3.10	Modulace . . . . .	83
6.3.11	Dualita . . . . .	84
6.4	Diskrétní systémy popsané lineárními diferenčními rovnicemi s konstantními koeficienty . . . . .	85
6.4.1	Frekvenční a impulsní odezva LTI systému . . . . .	85
6.4.2	Kaskádní a paralelní struktury . . . . .	85
<b>7</b>	<b>Vzorkování</b>	<b>88</b>
7.1	Vzorkování posloupností impulsů . . . . .	88
7.2	Rekonstrukce signálu . . . . .	90
7.2.1	Rekonstrukce ze skokového průběhu . . . . .	91
7.2.2	Lineární interpolace . . . . .	92
7.3	Aliasing . . . . .	93
7.4	Vzorkování ve frekvenční oblasti . . . . .	94
7.5	Vzorkování diskrétních signálů . . . . .	95

<b>8</b>	<b>Laplaceova transformace a z-transformace</b>	<b>98</b>
8.1	Laplaceova transformace	98
8.2	Transformace $z$	101
8.3	Diskretizace spojitých systémů	103
8.3.1	Transformace $p \leftrightarrow z$ v časové oblasti	103
8.3.2	Transformace $p \leftrightarrow z$ ve frekvenční oblasti	105
<b>9</b>	<b>Analýza signálů - vztahy mezi spojitými a diskrétními transformacemi</b>	<b>107</b>
9.1	Váhování a vzorkování	107
9.1.1	Numerický výpočet Fourierovy transformace	108
9.1.2	Zákon zachování energie (pro spojitou a diskrétní oblast)	112
9.1.3	Některé vlastnosti transformací - spojitá a diskrétní pravouhlá váhovací funkce	113
9.2	Ekvivalentní šířka pásma	117
<b>10</b>	<b>Charakteristiky náhodných signálů a jejich odhad - časová oblast</b>	<b>119</b>
10.1	Rozdělení signálů	120
10.2	Vzorkování náhodných signálů	121
10.3	Základní charakteristiky signálů a přesnost jejich odhadu	122
10.3.1	Náhodné procesy	122
10.3.2	Přesnost odhadu charakteristik náhodných signálů	126
10.3.3	Intervaly spolehlivosti (konfidenční intervaly)	128
10.3.4	Hustota rozdělení pravděpodobnosti	129
10.3.5	Střední hodnota	133
10.3.6	Střední kvadratická hodnota a rozptyl	135
10.3.7	Autokorelace	136
10.4	Vzájemná korelace	148
<b>11</b>	<b>Charakteristiky náhodných signálů a jejich odhad - frekvenční oblast</b>	<b>150</b>
11.1	Spektrální analýza	150
11.1.1	Základní vlastnosti metod spektrální analýzy	152
11.1.2	Spektrální výkonová hustota	154
11.1.3	Odhady spektrální hustoty z jediné realizace konečné délky	160
11.1.4	Způsoby průměrování odhadů spektrální hustoty	164
11.1.5	Přesnost odhadů spektrální výkonové hustoty	169
11.1.6	Klasické metody spektrální analýzy a jejich realizace	176
11.2	Vzájemná spektrální výkonová hustota	181
11.3	Frekvenční charakteristika systému	182
11.4	Koherenční funkce	185
11.5	Vybrané aplikace	192
11.5.1	Rozsah souboru	192
11.5.2	Testování signálu	193
11.5.3	Testy kvality pseudonáhodných posloupností	193
11.5.4	Test stacionarity signálu	194
11.5.5	Test shodnosti dvou spektrálních odhadů	195
11.5.6	Test periodicity	196
11.5.7	Test normality rozložení hustoty pravděpodobnosti	198

<b>12</b>	<b>Jednotný pohled na metody analýzy číslicových signálů</b>	<b>201</b>
12.1	Základní pojmy . . . . .	201
12.1.1	Základní metody analýzy signálů . . . . .	203
12.2	Dávkové, rekurentní a průběžné algoritmy . . . . .	206
12.2.1	Heuristické odvození . . . . .	206
12.2.2	Metoda nejmenších čtverců . . . . .	212
12.3	Aplikace algoritmů pro analýzu nestacionárních signálů . . . . .	223
<b>13</b>	<b>Parametrické a adaptivní metody</b>	<b>229</b>
13.1	Parametrické modely signálů . . . . .	229
13.1.1	Typy modelů a jejich interpretace ve spektrální oblasti . . . . .	230
13.2	Wienerova filtrace a základní konfigurace adaptivní filtrace . . . . .	238
13.2.1	Predikce a estimace . . . . .	238
13.2.2	Algoritmy predikce a estimace . . . . .	244
13.2.3	Vlastnosti lineární predikce . . . . .	252
13.3	Určení řádu modelu . . . . .	255
13.4	Parametrické metody spektrální analýzy . . . . .	256
13.4.1	Určení řádu AR modelu spektra signálu . . . . .	257
13.4.2	Rozlišení parametrických a klasických metod . . . . .	257
<b>14</b>	<b>Analýza fonetických signálů</b>	<b>261</b>
14.1	Tvar vlny . . . . .	262
14.2	Střední hodnota a autokorelační funkce . . . . .	266
14.3	Výkonová spektrální hustota fonetického signálu . . . . .	267
14.4	Parametrický model signálu . . . . .	268
14.5	Spektrální vzdálenosti . . . . .	273
14.6	Klasifikace hlásek spektrálními parametry . . . . .	275
<b>A</b>	<b>Základní pojmy pravděpodobnosti</b>	<b>279</b>
A.1	Hustota pravděpodobnosti a distribuční funkce . . . . .	279
A.2	Střední hodnota . . . . .	281
A.3	Rozptyl . . . . .	282
A.4	Další používané číselné charakteristiky náhodných proměnných . . . . .	283
A.5	Čebyševova nerovnost . . . . .	283
A.6	Centrální limitní věta . . . . .	284
A.7	Vybraná rozdělení náhodných proměnných . . . . .	284
A.8	$M$ -rozměrná náhodná veličina . . . . .	286
A.9	$M$ -rozměrné rozdělení pravděpodobnosti náhodného procesu . . . . .	287
<b>B</b>	<b>Autokovarianční funkce pásmově omezeného bílého šumu</b>	<b>288</b>
<b>C</b>	<b>Podmínky ergodicity procesu</b>	<b>289</b>
<b>D</b>	<b>Chyby odhadů charakteristik náhodných signálů - časová oblast</b>	<b>290</b>
D.1	Chyby odhadů histogramu . . . . .	290
D.2	Chyby a vlastnosti odhadu střední hodnoty . . . . .	291
D.2.1	Chyby odhadu střední hodnoty pomocí klouzavých průměrů . . . . .	292
D.2.2	Intervaly spolehlivosti pro odhad střední hodnoty . . . . .	293
D.3	Chyby a chování odhadů střední kvadratické hodnoty . . . . .	294

D.3.1	Vychýlení odhadu střední kvadratické hodnoty pomocí klouzavých průměrů	295
D.3.2	Intervaly spolehlivosti pro odhad střední kvadratické hodnoty	295
D.4	Transformace autokorelační funkce	296
D.5	Chyby odhadů vzájemné korelace	296
<b>E</b>	<b>Chyby odhadů charakteristik náhodných signálů - frekvenční oblast</b>	<b>297</b>
E.1	Spektrální analýza	297
E.1.1	Souvislost Wienerovy-Chinčinovy věty a vyhlazeného odhadu spektrální hustoty	297
E.1.2	Použití Wienerovy-Chinčinovy věty pro spojité signály konečné délky	299
E.1.3	Důkaz Wienerovy-Chinčinovy věty pro diskrétní signály konečné délky	299
E.2	Frekvenční charakteristika LTI systémů	300
E.2.1	Odvození vztahu pro vyjádření frekvenční charakteristiky	300
E.2.2	Odvození systematické chyby odhadu frekvenční charakteristiky	301
E.2.3	Intervaly spolehlivosti pro frekvenční charakteristiku	302
E.3	Intervaly spolehlivosti koherenční funkce	303