

1. ÚVOD	5
2. SPOJITÉ SIGNÁLY A SOUSTAVY	9
2.1. Spojité systémy	9
2.2. Popis LTIC systému	10
2.3. Fourierův integrál	12
2.4. Delta funkce $\delta(t)$ (Diracův impuls)	17
2.5. Impulsní odezva	19
2.6. Výpočet konvolutorního integrálu	20
2.7. Periodické signály časově spojité	20
2.8. Geometrie nul a pólů	22
3. PŘECHODY MEZI SIGNÁLY SPOJITÝMI V ČASE A SIGNÁLY DISKRÉTNÍMI V ČASE (VZORKOVANÝMI). VZORKOVACÍ VĚTA	24
3.1. Odvození vzorkovací věty	25
3.1.1. Odvození bez použití Diracových impulsů	25
3.1.2. Rekonstrukce signálu spojitého v čase ze vzorkovaného signálu bez použití Diracových impulsů	28
3.1.3. Odvození spektra vzorkovaného průběhu s použitím Diracových impulsů	30
3.2. Základní typy interpolátorů používané pro rekonstrukci signálu do oblasti spojitého času	32
3.2.1. Ideální dolní propust	32
3.2.2. Vzorkovač s pamětí řádu 0	33
3.2.3. Lineární interpolátor	35
3.3. Chyba způsobená nedokonalou interpolací	36
3.4. Bloková struktura systému pro číslicové zpracování signálu	36
4. SIGNÁLY A SYSTÉMY DISKRÉTNÍ V ČASE	38
4.1. Popis diskretních signálů v časové oblasti	38
4.2. Popis diskretních signálů ve frekvenční oblasti	40
4.3. Vlastnosti Fourierovy transformace pro diskretní signály (FTD)	43
4.4. Příklady spekter důležitých diskretních signálů	44
4.5. Lineární časově invariantní diskretní systémy (LTIDS)	46
4.5.1. Popis LTID systému lineárními diferenčními rovnicemi s konstantními koeficienty	48
4.5.2. Popis LTID systému impulsní odezvou. Diskretní konvoluce	49
4.5.3. Popis LTID systému frekvenční odezvou	51
5. TRANSFORMACE Z	54
5.1. Definice, oblasti konvergence	54
5.2. Zpětná transformace Z - nalezení $x(n)$ integrací obrazu	56
5.3. Základní vlastnosti transformace Z	56
5.4. Jednodušší metody zpětné transformace Z	58
5.4.1. Příklad, kdy $X(z)$ je polynom v z nebo (nekonečná) mocninná řada	58
5.4.2. Příklad, kdy $X(z)$ je racionální lomená funkce	59
5.5. Využití transformace Z pro popis LTID systémů. Systémová funkce	62
5.6. Geometrie nul a pólů systémové funkce $H(z)$	63
6. DISKRÉTNÍ FOURIEROVA TRANSFORMACE (DFT) A ALGORITMY JEJÍHO RYCHLÉHO VÝPOČTU (FFT)	65
6.1. Základní vlastnosti DFT	68
6.2. Volba N pro DFT a použití DFT pro zpracování spojitého signálu	71
6.2.1. Volba počtu bodů transformace (N) pro periodické signály	71
6.2.2. Volba počtu bodů transformace (N) pro signály konečné délky	73
6.2.3. Volba N pro neperiodické časově neomezené signály	73
6.2.4. Použití DFT pro zpracování spojitého signálu	74
6.3. Kruhová konvoluce	75
6.3.1. Výpočet aperiodické konvoluce dvou signálů konečné délky pomocí kruhové konvoluce	76
6.3.2. Použití DFT k číslicové filtraci - výpočet konvoluce konečného signálu se signálem časově neomezeným	76
6.4. Rychlá Fourierova transformace - FFT	78
6.5. Vyjádření DFT pomocí matic	82
6.6. Využití DFT pro frekvenční analýzu periodických signálů	83
6.7. Souvislost spektra získaného DFT s koeficienty Fourierovy řady a s hodnotami Fourierova spektra spojitého signálu	87
7. ČÍSLICOVÉ FILTRY (DISKRÉTNÍ FILTRY)	89
7.1. Rozdělení číslicových filtrů	89
7.1.1. Nerekurzivní diskretní filtry (NRDF)	90
7.1.2. Rekurzivní diskretní filtry (RDF)	93
7.1.2.1. Přímá forma realizace RDF filtru	95
7.1.2.2. Kaskádová forma realizace rekurzivních filtrů (RDF)	96
7.1.2.3. Paralelní struktura filtru RDF	98
7.2. Rozdělení diskretních filtrů podle účelu	98
7.2.1. Frekvenčně selektivní diskretní filtry	98
7.2.2. Diskretní integrátory	99
7.2.3. Diskretní derivátory	101

7.2.4.	Diskrétní filtry pro výpočet klouzavého průměru	103
7.3.	Filtry se speciální strukturou	107
7.3.1.	Hřebenový filtr	107
7.3.2.	Frekvenčně vzorkovaný filtr	108
7.3.3.	Křížové filtry	109
7.4.	Adaptivní filtry a příklady jejich aplikace	111
7.5.	Metody návrhu diskretních filtrů	113
7.5.1.	Návrh filtru typu FIR	115
7.5.1.1.	Metoda užití Fourierovy transformace diskretních signálů a oken	115
7.5.1.2.	Nalezení koeficientů horní propusti a pásmové zadržky pomocí koeficientů dolní propusti	121
7.5.1.3.	Výpočty koeficientů FIR filtrů pomocí počítačových programů	122
7.5.2.	Návrh filtrů typu IIR (rekurzivních filtrů - RDF)	122
7.5.2.1.	Základní analogové dolní propusti	123
7.5.2.2.	Bilineární transformace	125
7.5.2.3.	Frekvenční transformace	128
7.6.	Transpozice	131
7.7.	Nabídka hardwarové realizace číslicových filtrů	131
7.8.	Porovnání vlastností FIR a IIR filtrů	132
8.	ZPRACOVÁNÍ STOCHASTICKÝCH SIGNÁLŮ	133
8.1.	Popis náhodných signálů z hlediska amplitudové struktury	135
8.1.1.	Popis funkčními vlastnostmi	135
8.1.2.	Popis amplitudového rozložení pomocí číselných hodnot	141
8.1.3.	Základní typy rozložení pravděpodobnosti	145
8.1.3.1.	Binomické rozdělení	145
8.1.3.2.	Poissonovo rozdělení	146
8.1.3.3.	Normální rozdělení (Gaussovo rozdělení)	147
8.1.3.4.	Rovnoměrné rozdělení	149
8.1.4.	Test chí-kvadrát	150
8.2.	Popis náhodných signálů v časové oblasti	152
8.2.1.	Korelační a kovarianční funkce určené ze souboru	152
8.2.2.	Korelační a kovarianční funkce určené jako střední hodnoty v čase	153
8.2.3.	Užití korelačních funkcí	156
8.2.4.	Měření korelačních funkcí	157
8.2.5.	Výpočet korelačních funkcí na počítači	159
8.2.5.1.	Výpočet korelačních funkcí přímo z hodnot vzorků realizace	159
8.2.5.2.	Výpočet korelačních funkcí s využitím FFT	160
8.3.	Popis náhodných procesů ve frekvenční oblasti	162
8.3.1.	Definice a vlastnosti výkonových spektrálních hustot	162
8.3.2.	Způsoby získání výkonových spektrálních hustot	166
8.3.2.1.	Měření spektrální hustoty analogovou filtrací	166
8.3.2.2.	Výpočet výkonové spektrální hustoty na počítači	166
8.3.3.	Použití výkonových spektrálních hustot	169
8.4.	Generování pseudonáhodných posloupností počítačem	170
8.4.1.	Rovnoměrně rozložené posloupnosti	171
8.4.2.	Normálně rozložené posloupnosti	171
9.	MĚŘENÍ SIGNÁLU ZA PŘÍTOMNOSTI ŠUMU	172
9.1.	Korelační filtrace	173
9.1.1.	Měření autokorelační funkce $R_{xx}(\tau)$	173
9.1.2.	Měření vzájemné korelační funkce $R_{xy}(\tau)$	174
9.2.	Průměrování signálu	175
9.2.1.	Sumační průměrování	175
9.2.2.	Klouzavý průměr jako číslicový filtr	176
9.3.	Frekvenční filtrace	176
9.4.	Synchronní detekce (koherentní detekce)	178
9.5.	Společný popis metod zpracování signálu za přítomnosti šumu	181
10.	VLIV KONEČNÉ DÉLKY SLOVA NA ČÍSLICOVÉ ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU	181
10.1.	Způsoby vyjádření čísel při číslicovém zpracování signálu	182
10.2.	Kvantování a přetečení	184
10.3.	Kvantizační šum analogově-číslcového převodu	185
10.4.	Vliv kvantování koeficientů filtrů	187
10.5.	Vliv konečné délky slova mezivýsledků u číslicových filtrů	189
10.6.	Mezní cykly u rekurzivních LTID systémů	190
10.7.	Závěrečné poznámky k problémům numerické přesnosti	194
11.	SPECIÁLNÍ OBVODY PRO ČÍSLICOVÉ ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU - ČÍSLICOVÉ SIGNÁLOVÉ PROCESORY	194
11.1.	Číslicový signálový mikropočítač Analog Devices ADSP-2101	197
11.1.1.	Architektura obvodu ADSP-2101	199
11.1.2.	Přehled instrukcí procesoru ADSP-2101	212
11.1.3.	Vývojové prostředky pro procesor ADSP-2101	223
11.1.3.1.	Softwarové vývojové prostředky	223
11.1.3.2.	Hardwarové vývojové prostředky	230
	SEZNAM LITERATURY	231