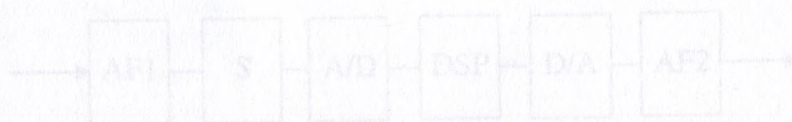


Obsah

1 Úvod	1
2 Základní prostředky pro číslicové zpracování signálů	3
2.1 Formáty čísel	3
2.1.1 Celá čísla nezáporná	3
2.1.2 Nezáporná čísla se zlomkovou částí	4
2.1.3 Čísla celá – reprezentace znaménkem a absolutní hodnotou	5
2.1.4 Čísla celá – reprezentace dvojkovým doplňkem	5
2.1.5 Čísla v exponenciálním tvaru	7
2.1.6 Speciální definice kódů pro plovoucí řád	7
2.1.7 Binárně kódovaná dekadická čísla	9
2.2 Elementární aritmetické operace	9
2.2.1 Sčítání a odčítání	9
2.2.2 Násobení	13
2.2.3 Dělení	15
2.2.4 Odmocnina	17
2.3 Funkce	18
2.3.1 Goniometrické funkce	19
2.3.2 Exponenciální funkce a logaritmus	22
2.4 Obvodové implementace aritmetických operací	22
2.4.1 Sčítání	23
2.4.2 Násobení	24
2.5 Registry a časové zpoždění	24
2.6 Struktury řízené programem	26
2.6.1 Řadič	26
2.6.2 Univerzální procesor	28
2.6.3 Programovatelný hardware	29
2.7 Hardware analogového vstupu a výstupu číslicového systému	30
2.7.1 Analogový výstup číslicového systému	30
2.7.2 Analogový vstup	33
2.7.3 Vzorkovač	40
3 Základní pojmy a postupy v číslicovém zpracování signálů	42
3.1 Základní operace číslicového zpracování signálů	42
3.1.1 Typy posloupností	43
3.2 Základní vlastnosti systémů	44
3.2.1 Linearita	45
3.2.2 Časová invariantnost	47
3.2.3 Stabilita	48
3.2.4 Kauzalita	48
3.3 Popis systémů v časové a frekvenční oblasti	49
3.3.1 Popis LTI systémů v časové oblasti	51
3.3.2 Popis systémů ve frekvenční (obrazové) oblasti	57
3.4 Konvoluce lineární a cyklická	63
4 Návrh a simulace číslicových filtrů pomocí Matlabu	66
4.1 Postup při návrhu a ověření filtrů	66
4.2 Rozdělení metod návrhu číslicových filtrů	67
4.2.1 Návrh IIR filtrů pomocí analogového prototypu a diskretizace	67
4.2.2 Analytické metody návrhu IIR filtrů	67
4.2.3 Návrh FIR filtrů metodou Fourierovy transformace a oken	67

4.2.4	Návrh FIR filtrů metodou frekvenčního vzorkování	68
4.2.5	Optimalizovaná metoda návrhu FIR filtrů	68
4.2.6	Návrh FIR a IIR filtrů metodou nejmenších čtverců	68
4.2.7	Aproximační metody návrhu IIR filtrů ze zadané odezvy	68
4.3	Symetrie impulzové odezvy FIR filtrů	69
4.4	Určení řádu FIR filtrů	70
4.5	Seznam funkcí pro návrh filtrů pomocí Matlabu	70
4.6	Příklad návrhu Hilbertova transformátoru	71
5	Diskrétní Fourierova transformace, vlastnosti, rychlé algoritmy	74
5.1	Definice DFT a její maticový zápis	74
5.2	Modifikované posloupnosti	75
5.2.1	Vztah DTF a DTFT–vzorkování a interpolace	75
5.2.2	Opakovaná posloupnost	76
5.3	Prosakování	76
5.3.1	Ilustrace prosakování pomocí kosinusovky	76
5.3.2	Typické rysy prosakování a způsoby jeho omezení	79
5.4	FFT-rychlý algoritmus výpočtu DFT	82
5.4.1	Myšlenka redukce objemu operací DFT	83
5.4.2	Rozklad 4-bodové DFT, algoritmus DIT	83
5.4.3	Algoritmus DIF	84
5.4.4	Zobecnění pro větší rozměr a výpočetní nároky	85
5.4.5	Struktury DIF a DIT algoritmů	85
5.4.6	Generování koeficientů	86
5.4.7	Úprava měřítka a přesnost výpočtu	86
6	Vzorkování analogového signálu a jeho rekonstrukce	87
6.1	Vzorkování signálu a jeho důsledky, vzorkovací teorém	87
6.1.1	Návrh omezujícího filtru	88
6.2	Interpolace signálu ze vzorků	90
6.2.1	Nekauzální interpolace	90
6.2.2	Kauzální interpolace	92
7	Převzorkování	93
7.1	Systémy s převzorkováním	93
7.1.1	Snížení vzorkovacího kmitočtu – decimace celým číslem	93
7.1.2	Postupná decimace	95
7.1.3	Implementace decimace v Matlabu	96
7.1.4	Kritéria návrhu decimačního FIR filtru	97
7.2	Zvýšení vzorkovacího kmitočtu – interpolace celým číslem	97
7.2.1	Příklad na interpolaci ve frekvenční oblasti v Matlabu	99
7.2.2	Postupná interpolace	101
7.2.3	Implementace interpolace v Matlabu	102
7.2.4	Kritéria návrhu decimačního FIR filtru	102
7.3	Změna kmitočtu v neceločíselném poměru	102
7.3.1	Konverze v Matlabu	103
7.4	Příklady aplikací s převzorkováním	104
7.4.1	D/A převod v CD přehrávačích	104
7.4.2	A/D převod s převzorkováním	104
7.4.3	Implementace úzkopásmových číslicových filtrů	105
8	Kvantování	109
8.1	Hodnocení kvantizačních chyb	110
8.2	Kvantování koeficientů číslicových filtrů	112
8.2.1	Kvantování koeficientů FIR filtrů	113
8.2.2	Kvantování koeficientů IIR filtrů	113
8.2.3	Příklady na vliv kvantování koeficientů IIR filtru	114

8.3	Příklad kaskádního zapojení IIR filtrů 2. řádu	117
8.4	Limitní cykly	120
8.5	Vlastnosti Sigma-Delta ($\Sigma\Delta$) převodníku	121
9	Vztah analogových a diskretních systémů	123
9.1	Diskretizace diferenciální rovnice-numerický výpočet derivací	124
9.1.1	Mapování přenosové funkce	126
9.2	Diskretizace impulzové odezvy-metoda impulzové invariance	127
9.2.1	Mapování pólů, aproximace logaritmu	127
9.3	Mapování přenosové funkce metodou bilineární transformace	128
9.4	Porovnání způsobů diskretizace	129
9.4.1	Aproximace derivace	129
9.4.2	Diskretizace impulzové odezvy	130
9.4.3	Bilineární transformace	130
9.4.4	Porovnání nulových bodů a pólů	130
9.4.5	Společné vlastnosti metod	130
A	Návrh a použití IIR filtrů v Matlabu	131
A.1	Generování budících signálů	131
A.2	Návrh propustí	131
A.3	Filtrace signálů a jejich analýza	135
B	DSP systém – přijímač HDO	137
B.1	Popis funkce	137
B.2	DSP procesor	138
B.2.1	Implementace filtru	138
B.2.2	Detekce obálky	141
B.3	Verifikace systému	141
C	Normované frekvence a asymptotická strmost	143
C.1	Používané frekvenční normování pro číslicové systémy	143
C.2	Asymptotická strmost modulu frekvenční charakteristiky	144
D	Nutná a postačující podmínka stability číslicového systému	145
E	Tématické okruhy ke zkoušce	146
F	Tématické okruhy semestrálních prací	147
F.1	Základní principy	147
F.2	Vybrané aplikace	147
Literatura		149



Obrázek 1.2: Systém pro číslicové zpracování signálů (AF – analogový filtr, S – vzorkování, A/D – analogově-číslkový převodník, DSP – procesor, D/A – číslicově-analogový převodník).

Analogový elektrický signál je nejprve zaveden do bloku AF1 – analogového filtru. Aby nastala diskretizace v čase (vzorkování) a počínal číslicové zpracování muslo vycházet z předem definovaných parametrů analogového signálu, mezi nimiž bývá hlavně odstupňování ty částí signálu, jejichž přirovnost se při digitálním zpracování nepřipokládá, resp. by jejich přirovnost vedla k nesprávnému výsledku. Uvidíme dále, že jde o zejména vztah mezi frekvencí vzorkování a frekvencí spektra analogového signálu.