

OBSAH

1. METODY DIGITALIZACE SIGNÁLU	7
1.1. Vzorkování	7
1.1.1. Vlastnosti vzorkovaného signálu ve frekvenční oblasti	8
1.1.2. Vzorkovací (Nyquistův, Shannon-Kotělnikovův) teorém	9
1.1.3. Vzorkování diskretních signálů	9
1.1.4. Vzorkování ve frekvenční oblasti	10
1.1.5. Určení chyb překrýváním spektra ve frekvenční oblasti	11
1.1.6. Jev „překlápění“ spektra vzorkovaného signálu (folding)	12
1.1.7. Důsledky překrývání spektra vzorkovaného signálu v časové oblasti	13
1.1.8. Způsoby potlačení chyb překrýváním spektra vzorkovaného signálu	14
1.1.9. Určení vzorkovacího kmitočtu z vlastností signálu	18
1.1.10. Nekonenční metody vzorkování signálů	20
1.1.11. Adaptivní vzorkování	21
1.1.12. Přenos vzorkovacího obvodu	25
1.1.13. Vzorkovací obvody pro náročné aplikace	27
1.1.14. Vzorkovací obvody pro extrémní rychlosti	30
1.1.15. Metody vzorkování užívané v číslicových měřicích přístrojích	31
1.2. Metody rekonstrukce diskretního signálu	33
1.2.1. Rekonstrukce vzorkovaného signálu ideální dolnofrekvenční propustí	34
1.2.2. Rekonstrukce interpolačními polynomy	35
1.2.3. Číslicová interpolace	36
1.3. Zvýšení rozlišovací schopnosti převodu analogového signálu na číslicový	40
1.3.1. Efektivní počet bitů	40
1.3.2. Měření efektivního počtu bitů ENOB	42
1.3.3. Zvýšení rozlišovací schopnosti číslicovou filtrací	43
1.3.4. Zvýšení rozlišovací schopnosti „převzorkováním“ (oversampling)	44
1.3.5. Zvýšení rozlišovací schopnosti tvarováním spektra	44
1.3.6. Zvýšení rozlišovací schopnosti přidávným signálem	44
1.3.7. Teorém ekvivalentní nelinearity (TEN)	45
1.4. Vybrané obvody digitalizátorů	47
1.4.1. Převodníky analogově-číslíkové s číslicovou korekcí chyby převodu	47
1.4.2. Paralelně postupné převodníky se sdílením času	49
1.4.3. Extrémně rychlé převodníky A/Č	49
1.4.4. Interpolační převodníky A/Č na principu DSM	52
1.4.4.1. Příklad typické realizace převodníku DSM	54
1.4.4.2. Anomálie převodní charakteristiky	56
1.4.4.3. Převod signálů DSM na PCM	57
2. METODY ZPRACOVÁNÍ MĚRONOSNÝCH SIGNÁLŮ	59
2.1. Odhady parametrů měronosných signálů	59
2.1.1. Odhad minimalizující střední kvadratickou hodnotu odchylky (MMSE)	59
2.1.2. Odhady parametrů podle kritéria LMMSE (L <u>inear</u> M <u>inimum</u> M <u>ean</u> S <u>quare</u> Error)	60

2.1.3. Jiný tvar vztahu pro odhad LMMSE	62
2.1.4. Úprava odhadu LMMSE pro nelineární funkce	63
2.2. Odhady parametrů signálu	63
2.2.1. Odhad amplitudy signálu	63
2.2.2. Interpretace vztahu pro odhad amplitudy	67
2.2.3. Odhad LMMSE jako číslicová filtrace	68
2.2.4. Přizpůsobený filtr	68
2.2.5. Zlepšení poměru signál/šum odhadem amplitudy dle LMMSE	70
2.2.6. Odhad frekvence a fáze harmonického signálu	71
2.3. Adaptivní filtrace	74
2.3.1. Princip adaptivní filtrace	74
2.3.2. Dekonvoluce	75
2.3.3. Kalmanova predikční filtrace	76
2.3.3.1. Teoretické základy	76
2.3.3.2. Základní vlastnosti Kalmanova filtru	79
2.3.3.3. Algoritmus výpočtu Kalmanova filtru	80
2.3.3.4. Příklady aplikací Kalmanových filtrů	81
2.3.3.4.1. Identifikace přenosových vlastností soustav	81
2.3.3.4.2. Zvýšení přesnosti systému GPS Kalmanovým filtrem	82
2.3.3.4.3. Úzkopásmový sledovací filtr	83
2.3.3.4.4. Použití Kalmanova filtru pro měření teploty	84
3. MĚŘICÍ PŘÍSTROJE	86
3.1. Přístroje pro měření napětí, proudu, náboje a odporu	86
3.1.1. Typy přístrojů	86
3.1.2. Vlastnosti přístrojů	87
3.1.2.1. Přesnost a chyby číslicových přístrojů	88
3.1.2.2. Potlačení sériového a souhlasného rušení	89
3.1.3. Zesilovače napětí	90
3.1.3.1. Asymetrické zesilovače napětí	90
3.1.3.2. Rozdílové zesilovače napětí	94
3.1.4. Zesilovače proudu	95
3.1.5. Zesilovače náboje	97
3.1.6. Převodníky odporu a kapacity	98
3.1.7. Přepínače měřicích signálů	102
3.1.8. Převodníky střídavých signálů	104
3.1.8.1. Převodníky střední hodnoty	105
3.1.8.2. Převodníky efektivní hodnoty	106
3.1.9. Integrační analogové číslicové převodníky	108
3.2. Kalibrátory elektrických veličin	113
3.2.1. Typy a parametry kalibrátorů	113
3.2.2. Zdroje referenčního napětí	114
3.2.3. Číslicově analogové převodníky	116
3.2.4. Sinusové oscilátory	118
3.2.5. Výstupní zesilovače	120

3.3. Přístroje využívající principu koherence signálu	121
3.3.1. Koherentní demodulátory (KD, lock-in detector, lock-in amplifier)	121
3.3.1.1. Základní části koherentních demodulátorů	121
3.3.1.2. Předdetekční zpracování signálu	121
3.3.1.3. Heterodynní filtrace	122
3.3.1.4. Referenční kanál	124
3.3.1.5. Obvody vlastního koherentního demodulátoru	125
3.3.1.6. Spínačové koherentní demodulátory	126
3.3.1.7. Postdetekční obvody	129
3.3.1.8. Podstata vektorvoltmetru	129
3.3.2. Koherentní průměrování signálů	130
3.3.2.1. Přístroje pro koherentní průměrování	131
3.3.2.1.1. Koherentní integrátory	131
3.3.2.1.2. Zlepšení poměru signál/šum koherentní integrací	132
3.3.2.1.3. Obvodová koncepce přístrojů pro koherentní průměrování	132
3.3.2.2. Číslicové koherentní spínané integrátory	134
3.3.3. Koherentní filtrace	135
3.4. Číslicové měřiče impedancí	137
3.4.1. Měření impedance automaticky vyvažovaným můstkem	137
3.4.2. Měření impedancí metodou Ohmova zákona	138
3.4.3. Měření složek fázoru číslicovou koherentní demodulací	142
3.4.4. Číslicové analyzátoři impedancí	143
3.5. Číslicové měření časových intervalů	146
3.5.1. Chyby při číslicovém měření časových intervalů	147
3.5.1.1. Chyba kvantovací a chyba asynchronností	147
3.5.1.2. Chyby nestálosti kmitočtu f_0 a chyby při odvozování start-stop impulsů	147
3.5.1.3. Chyba kolísáním komparační úrovně U_s	148
3.5.1.4. Chyba hysterezí komparátoru	148
3.5.1.5. Chyba konečnou šíří pásma frekvenční charakteristiky vstupních zesilovačů	148
3.5.2. Způsoby zvýšení přesnosti měření časových intervalů	149
3.5.2.1. Interpolační metoda	149
3.5.2.2. Noniová metoda	150
3.5.2.3. Měření střední hodnoty z n intervalů	153
3.6. Číslicové měření frekvence	154
3.6.1. Princip číslicového měření frekvence	154
3.6.2. Nepřímé měření frekvence pomocí měření doby periody	155
3.6.3. Měření kmitočtu skupiny impulsů	157
3.6.4. Rozšíření horní hranice rozsahu číslicového měření frekvence	158
3.6.4.1. Přeměna frekvence směřováním	158
3.6.4.2. Převodní oscilátor	159
3.6.4.3. Automatické kmitočtové měniče	160
3.6.4.4. Automatický kmitočtový měnič se syntezátorem frekvence	161
3.6.5. Měření poměru kmitočtů	162
3.6.6. Spojité číslicové měření kmitočtu a fáze	163
3.6.6.1. Obvodové řešení spojitého měření kmitočtu	165
3.6.6.2. Blokové schéma přístroje	167

3.7. Číslíkové měření fáze	168
3.7.1. Základní uspořádání	168
3.7.2. Měření fáze na vysokých kmitočtech	169
3.8. Generátory měřicích signálů	170
3.8.1. Kmitočtové syntezátory	170
3.8.1.1. Přímé syntezátory	172
3.8.1.2. Přímý kmitočtový syntezátor	172
3.8.1.3. Generátory s přímou syntézou	172
3.8.2. Nepřímá frekvenční syntéza	177
3.8.2.1. Některá zdokonalení syntezátorů s AFS	179
3.8.3. Kmitočtové syntezátory s násobením kmitočtu necelým číslem	180
3.8.3.1. Princip činnosti	180
3.8.3.2. Interpolátor fáze	183
3.8.3.3. Číslíková korekce chyb syntezátorů s násobením frekvence necelým číslem	184
3.8.4. Generátory signálů libovolného tvaru (GLP)	187
3.8.5. Programovatelné generátory impulsů	188
3.8.6. Programovatelný generátor lichoběžníkovitých impulsů	191
3.9. Číslíkové osciloskopy a zápisníky přechodových dějů	192
3.9.1. Typy přístrojů	192
3.9.2. Vlastnosti osciloskopů	194
3.9.3. Vzorkování a rekonstrukce signálu	195
3.9.4. Digitalizace signálu	198
3.9.5. Spouštění, ukládání a zobrazení signálu	200
3.9.6. Měření a zpracování signálů v číslíkových osciloskopech	202
3.9.7. Osciloskopické sondy	205
3.10. Spektrální analyzátoři	210
3.10.1. Typy analyzátoři	210
3.10.2. Spektrální analýza signálu	210
3.10.2.1. Spektrální analýza periodických a neperiodických signálů	211
3.10.2.2. Vliv konečné doby odběru signálu na jeho spektrum	214
3.10.3. Vlastnosti spektrálních analyzátoři	216
3.10.4. Analogové spektrální analyzátoři s číslíkovým výstupem	217
3.10.5. Číslíkové spektrální analyzátoři	222
3.10.6. Dvoukanálové spektrální analyzátoři	225
3.10.7. Příslušenství spektrálních analyzátoři	227
Literatura	231