

**Karel Hájek
Jiří Sedláček**

KMITOČTOVÉ FILTRY

Praha 2002



Věnováno našim manželkám Zdeňce a Marii.

Karel Hájek, Jiří Sedláček

Kmitočtové filtry

Recenze: Jiří Hozman, Milan Štork

Bez předchozího písemného svolení nakladatelství nesmí být kterákoli část kopírována nebo rozmnožována jakoukoli formou (tisk, fotokopie, mikrofilm nebo jiný postup), zadána do informačního systému nebo přenášena v jiné formě či jinými prostředky.

Autor a nakladatelství nepřijímají záruku za správnost tištěných materiálů. Předkládaná zapojení a informace jsou zveřejněny bez ohledu na případné patenty třetích osob. Nároky na odškodnění na základě změn, chyb nebo vynechání jsou zásadně vyloučeny.

Veškerá práva vyhrazena.

© Prof. Ing. Karel Hájek CSc., 2002

© Doc. Ing. Jiří Sedláček CSc., 2002

© Nakladatelství BEN – technická literatura, Věšínova 5, Praha 10

Karel Hájek, Jiří Sedláček: Kmitočtové filtry

BEN – technická literatura, Praha 2002

1. vydání

ISBN 80-7300-023-7

KMITOČTOVÉ FILTRY

1.	ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI KMITOČTOVÝCH FILTRŮ	18
2.	PŘENOSOVÉ VLASTNOSTI A CHARAKTERISTIKY ZÁKLADNÍCH TYPŮ FILTRŮ	50
3.	NÁVRH FILTRŮ RC A RLC 1. A 2. ŘÁDU	124
4.	FILTRY RLC VYŠŠÍCH ŘÁDŮ ...	158
5.	FILTRY ARC 2. ŘÁDU	222
6.	FILTRY ARC VYŠŠÍCH ŘÁDŮ ...	322
7.	FILTRY SE SPÍNANÝMI KONDENZÁTORY	392
8.	ZVLÁŠTNÍ TYPY A APLIKACE KMITOČTOVÝCH FILTRŮ	402
9.	OPTIMALIZACE KMITOČTOVÝCH FILTRŮ A VYUŽITÍ PŘI JEJICH NÁVRHU	458
10.	PŘÍLOHA: NÁVRHOVÉ TABULKY	496

OBSAH

1	ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI KMITOČTOVÝCH FILTRŮ	18
1.1	KMITOČTOVÉ FILTRY A JEJICH POUŽITÍ	18
1.1.1	Oblasti a příklady použití kmitočtových filtrů	19
1.1.2	Způsoby realizací kmitočtových filtrů	21
1.2	POPIS PŘENOSOVÝCH VLASTNOSTÍ FILTRŮ, JEJICH CHARAKTERISTIKY	25
1.2.1	Průchod signálu kmitočtovým filtrem a přenosové kmitočtové charakteristiky filtrů	25
1.2.2	Časové charakteristiky kmitočtových filtrů	30
1.2.3	Základní typy filtrů	34
1.2.4	Řád přenosové funkce filtru a jeho praktický význam a volba	37
1.2.5	Rozklad a způsoby vyjádření přenosové funkce filtru	38
1.3	OBECNÝ POSTUP PŘI NÁVRHU KMITOČTOVÝCH FILTRŮ	43
1.3.1	Stanovení základních požadavků na filtr	45
1.3.2	Kritéria pro návrh a realizaci filtrů	47
2	PŘENOSOVÉ VLASTNOSTI A CHARAKTERISTIKY ZÁKLADNÍCH TYPŮ FILTRŮ	50
2.1	FILTRY S PŘENOSOVOU FUNKCÍ 1. ŘÁDU	50
2.1.1	Dolní propust 1. řádu	50
2.1.2	Horní propust 1. řádu	53
2.1.3	Korekční filtr 1. řádu	56
2.1.4	Fázovací článek 1. řádu	56
2.2	FILTRY S PŘENOSOVOU FUNKCÍ 2. ŘÁDU	59
2.2.1	Dolní propust 2. řádu	60
2.2.2	Horní propust 2. řádu	63
2.2.3	Pásmová propust 2. řádu	65
2.2.4	Pásmová zádrž 2. řádu	69
2.2.5	Dolní propust s nulou přenosu (DPN) 2. řádu	71
2.2.6	Horní propust s nulou přenosu (HPN) 2. řádu	74
2.2.7	Možnosti stanovení kmitočtu F_N filtrů typu DPN a HPN	76

2.2.8	Korekční obvod 2. řádu (pásmový)	78
2.2.9	Fázovací obvod 2. řádu	79
2.2.10	Nastavování obvodů 2. řádu	80
2.3	PŘENOSOVÉ FUNKCE FILTRŮ VYŠŠÍCH ŘÁDŮ	83
2.3.1	Toleranční pole a kmitočtové transformace na normovanou dolní propust (DP_n)	85
2.3.2	Základní typy aproximací přenosové funkce a jejich vlastnosti	90
2.3.3	Besselova aproximace	93
2.3.4	Butterworthova aproximace	95
2.3.5	Čebyševova aproximace	95
2.3.6	Feistelova-Unbehauenova aproximace	99
2.3.7	Inverzní Čebyševova aproximace	99
2.3.8	Cauerova aproximace	101
2.3.9	Další typy aproximací	103
2.3.10	Systém standardních aproximací, možnost porovnání a výběru typu aproximace	111
2.3.11	Zpožďovací obvody vyšších řádů	117
2.4	CITLIVOSTI A TOLERANCE PŘENOSOVÝCH VLASTNOSTÍ FILTRŮ	120
3	NÁVRH FILTRŮ RC A RLC 1. A 2. ŘÁDU	124
3.1	NÁVRH FILTRŮ RC	124
3.1.1	Návrh filtrů RC 1. řádu	126
3.1.2	Návrh filtrů RC 2. řádu	131
3.1.3	Návrh filtrů RC vyšších řádů (kaskády RC článků)	139
3.2	NÁVRH FILTRŮ RLC 2. ŘÁDU	141
3.2.1	Jednostranně zakončené filtry RLC 2. řádu	141
3.2.2	Oboustranně zakončené filtry RLC 2. řádu	143
3.2.3	Návrh DP s článkem Π 3. řádu	147
3.3	NÁVRH FÁZOVACÍCH ČLÁNKŮ RLC 1. A 2. ŘÁDU	148
3.3.1	Návrh fázovacího článku LC 1. řádu	149
3.3.2	Návrh fázovacího článku LC 2. řádu	151
3.3.3	Reálné vlastnosti fázovacích článků LC	152

4	FILTRY RLC VYŠŠÍCH ŘÁDŮ	158
4.1	ZAPOJENÍ FILTRŮ RLC VYŠŠÍCH ŘÁDŮ	158
4.2	PŘENOSOVÉ VLASTNOSTI FILTRŮ	159
4.3	SYNTÉZA PŘÍČKOVÝCH RLC FILTRŮ	162
4.3.1	Syntéza prototypu DP_n	162
4.3.2	Impedanční zakončení filtrů	164
4.4	SYNTÉZA NORMOVANÝCH DOLNÍCH PROPUSTÍ (DP_n)	167
4.4.1	Dolní propusti s monotónně rostoucím útlumem	168
4.4.2	Dolní propusti s nulami přenosu	171
4.5	NÁVRHY FILTRŮ RLC Z PROTOTYPŮ DP_n	175
4.5.1	Návrh dolních propustí (DP) – impedanční a kmitočtové odnormování	175
4.5.2	Návrh horních propustí (HP)	175
4.5.3	Návrh pásmových propustí (PP) a pásmových zádrží (PZ)	177
4.6	PÁSMOVÉ PROPUSTI S VÁZANÝMI OBVODY	180
4.6.1	Návrh PP s vázanými obvody	180
4.6.2	Impedanční transformace PP s vázanými obvody	182
4.6.3	Nuly přenosu PP s vázanými obvody	184
4.7	PŘÍKLADY NÁVRHU FILTRŮ RLC	184
4.8	EKVIVALENTNÍ ÚPRAVY OBVODŮ	198
4.8.1	Dvojpólové transformace	200
4.8.2	Trojpólové transformace	200
4.8.3	Dvojbranové transformace	203
4.8.4	Příklady použití transformací	209
4.9	VLIV REÁLNÝCH PRVKŮ NA VLASTNOSTI FILTRŮ RLC	216
4.9.1	Vliv ztrát cívek a kondenzátorů	217
4.9.2	Vliv tolerance hodnot prvků	218
5	FILTRY ARC 2. ŘÁDU	222
5.1	ZÁKLADNÍ PRINCIPY FUNKCE FILTRŮ ARC	222
5.1.1	Obvody s náhradou cívky	222
5.1.2	Brutonova transformace a dvojně kapacitory	225
5.1.3	Transformační dvojbrany	226
5.1.4	Obecný pohled na obvod ARC 2. řádu	229

5.1.5	Stavební prvky filtrů ARC a základní vlivy jejich reálných vlastností	231
5.2	KLASIFIKACE A ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI FILTRŮ ARC 2. ŘÁDU	242
5.2.1	Zapojení bloků 2. řádu s jedním OZ	242
5.2.2	Zapojení bloků 2. řádu s dvěma OZ	258
5.2.3	Zapojení bloků 2. řádu se třemi a více OZ	267
5.2.4	Zapojení bloků 2. řádu s jinými typy aktivních prvků	274
5.2.5	Zapojení bloků ARC 2. řádu vhodných pro pásmo nad 1 MHz	278
5.3	NÁVRH FILTRŮ ARC 2. ŘÁDU	285
5.3.1	Návrh DP 2. řádu	286
5.3.2	Návrh HP 2. řádu	293
5.3.3	Návrh PP 2. řádu	297
5.3.4	Návrh PZ 2. řádu	299
5.3.5	Návrh DPN 2. řádu	303
5.3.6	Návrh HPN 2. řádu	307
5.3.7	Návrh FČ 2. řádu	313
5.3.8	Návrh univerzálního filtru 2. řádu	315
5.4	NÁVRH IMPEDANČNÍHO KONVERTORU, SYNTETICKÝCH INDUKTORŮ A DVOJNÝCH KAPACITORŮ	315
5.4.1	Antoniův impedanční konvertor (GIC)	317
5.4.2	Ztrátové uzemněné indukty a dvojné kapacitory	317
5.4.3	Bezeztrátové indukty a dvojné kapacitory	319
5.4.4	Bezeztrátový sériový rezonanční obvod RD s jedním OZ	320
6	FILTRY ARC VYŠŠÍCH ŘÁDŮ	322
6.1	FILTRY ARC S KASKÁDNÍM ŘAZENÍM BLOKŮ 1. A 2. ŘÁDU	324
6.1.1	Princip kaskádní realizace	324
6.1.2	Transformace parametrů normované DP _n na DP, HP, PP a PZ	327
6.1.3	Přenosy K _{0i} jednotlivých bloků a řazení bloků z hlediska maximálního dynamického rozsahu	331
6.1.4	Bloky 3. řádu pro realizaci filtrů typu DP a HP bez nul přenosu	337

6.1.5	Zpoždovací obvody	338
6.1.6	Příklady návrhu filtrů s kaskádním řazením	338
6.2	FILTRY ARC S NEKASKÁDNÍM SPOJOVÁNÍM BLOKŮ 1. A 2. ŘÁDU	346
6.2.1	Principy nekaskádní realizace	347
6.2.2	Návrh filtrů s nekaskádním řazením ve struktuře PRB	353
6.2.3	Příklady návrhu filtrů ve struktuře PRB	355
6.3	FILTRY ARC JAKO SIMULACE PŘÍČKOVÝCH FILTRŮ RLC	359
6.3.1	Bloková simulace filtrů RLC s využitím Brutonovy transformace	360
6.3.2	Simulace filtrů RLC se ztrátovými syntetickými prvky (s jedním OZ)	367
6.3.3	Simulace ARC pásmových propustí RLC s vázanými obvody	370
6.3.4	Příklady návrhu filtrů ARC simulací filtrů RLC	372
6.4	FILTRY ARC S KOMBINOVANOU STRUKTUROU (LEAP-FROG)	376
6.4.1	Princip funkce a návrhu realizace „leap-frog“	376
6.4.2	Příklady návrhu filtrů s realizací „leap-frog“	382
6.5	POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH TYPŮ REALIZACÍ FILTRŮ ARC S PŘENOSOVÝMI FUNKCEMI VYŠŠÍCH ŘÁDŮ	385
6.6	INTEGROVANÉ FILTRY ARC DRUHÉHO A VYŠŠÍCH ŘÁDŮ	387
7	FILTRY SE SPÍNANÝMI KONDENZÁTORY	392
7.1	PRINCIP FUNKCE FILTRŮ ASC	392
7.2	UNIVERZÁLNÍ INTEGROVANÉ BLOKY ASC 2. ŘÁDU	394
7.3	INTEGROVANÉ FILTRY ASC VYŠŠÍCH ŘÁDŮ	399
8	ZVLÁŠTNÍ TYPY A APLIKACE KMITOČTOVÝCH FILTRŮ	402
8.1	PŘELADITELNÉ A ŘÍZENÉ FILTRY	402
8.1.1	Filtry 2. řádu s nastavitelnými parametry	403
8.1.2	Přeladitelné filtry vyšších řádů	413
8.2	KMITOČTOVÉ KOREKTORY	414
8.2.1	Pevně laděné vícepásmové korektory pro akustiku	415

8.2.2	Parametrické korektory	427
8.3	FILTRY TYPU DP S „NULOVÝM“ OFSETEM	429
8.4	FILTRY ARC PRO VELMI NÍZKÉ KMITOČTY	432
8.5	KMITOČTOVÉ VÝHYBKY A SLUČOVACÍ OBVODY	434
8.5.1	Základní vlastnosti kmitočtových výhybek	434
8.5.2	Kmitočtové výhybky pro akustické pásmo	436
8.5.3	Možnosti realizace a návrh reproduktorových výhybek	445
8.6	OSCILÁTORY RC A OSCILÁTORY ARC	448
8.6.1	Oscilátory RC	449
8.6.2	Oscilátory ARC (s automatickou následnou filtrací)	454
9	OPTIMALIZACE KMITOČTOVÝCH FILTRŮ A VYUŽITÍ POČÍTAČE PŘI JEJICH NÁVRHU	458
9.1	OPTIMALIZACE KMITOČTOVÝCH FILTRŮ	458
9.1.1	Optimalizace při specifikaci požadavků a řešení aproximační úlohy	459
9.1.2	Optimalizace při návrhu filtrů RLC	470
9.1.3	Optimalizace při návrhu filtrů ARC	479
9.2	VYUŽITÍ POČÍTAČE PRO NÁVRH KMITOČTOVÝCH FILTRŮ	485
9.2.1	Historický vývoj využití počítačů	485
9.2.2	Možnosti využití počítače pro návrh	486
9.2.3	Porovnání programů pro návrh kmitočtových filtrů	490
9.2.4	Základní vlastnosti programu NAF	494
10	PŘÍLOHA: NÁVRHOVÉ TABULKY	498
10.1	TABULKY PRO NÁVRH KASKÁDNÍCH FILTRŮ ARC (KOEFIČIENTY F_0 , Q , F_N) – TAB. P.1 AŽ TAB. P.8	498
10.2	TABULKY PRO NÁVRH PŘÍČKOVÝCH FILTRŮ RLC – TAB. P.9 AŽ P.13	499
	LITERATURA	515
	REJSTŘÍK	523

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

a_i, b_i	koeficienty čitatele a jmenovatele přenosové funkce
ARC	aktivní filtry RC
ASC	filtry se spínanými kapacitami
b, b_r	útlum, útlum odrazu
B, B_3, B_M, B_P	šířka pásma (pro pokles 3 dB, propustného pásma, pro potlačení přenosu)
D	dvojná kapacita
DP, DP _n	filtr typu dolní propust, normovaná dolní propust
HP	filtr typu horní propust
PP	filtr typu pásmová propust
PZ	filtr typu pásmová zadrž
DPN	filtr typu dolní propust s nulou přenosu (2. řádu)
HPN	filtr typu horní propust s nulou přenosu (2. řádu)
f, ω, p	kmitočet [Hz], úhlový kmitočet [rad/sec], komplexní kmitočet
f_{DP}, f_{DPn}	kmitočet na kmitočtové ose charakteristiky DP a normované DP _n
F	činitel rozladění
F_0, Ω_0	rezonanční (střední) kmitočet, úhlový kmitočet
F_{0n}, Ω_{0n}	rezonanční (střední), úhlový kmitočet obvodu 2. řádu pro DP _n
f_k	koeficient kmitočtové transformace
F_N	kmitočet nulového přenosu
$F_{N_{\pm}}$	kmitočty nulového přenosu PP a PZ (symetrické k F_0)
F_{Nn}	kmitočet nulového přenosu pro DP _n
F_M	mezní kmitočet dolní a horní propusti
$F_{M1,2}, F_D, F_H$	dolní i horní mezní kmitočet pásmové propusti a zadržky
F_{MAX}	kmitočet maximálního přenosu (pro obvody 2. řádu)

F_P	mezni kmitočet pásma potlačení přenosu dolní a horní propusti
F_T, GBW	tranzitní kmitočet OZ
F_X	pomocný koeficient kmitočtové transformace
g_M	konstanta gyrátoru
$\mathbf{G}(j\omega)$	provozní činitel přenosu
k_T	koeficient Brutonovy transformace (pomocí GIC)
K_0	koeficient základního přenosu filtru v propustném pásmu
$\mathbf{K}_U(p), \mathbf{K}(p)$	komplexní funkce přenosu napětí
$K_U(\omega), K(\omega)$	kmitočtová závislost modulu přenosu napětí
K_{MAX}	maximální přenos
K_{POT}	maximální přenos v nepropustném pásmu (potlačení přenosu)
K_{ZVL}	maximální odchylka přenosu v propustném pásmu (zvlnění přenosu)
K_C, K_L	koeficienty přepočtu l_i, c_i normovaných DP na L_i, C_i
k_{rC}, k_{rL}	koeficienty rozptylu hodnot kapacit a indukčností
k_F, k_B	koeficienty pro kmitočtovou transformaci
k_{FN}	poměr hodnot F_N a F_0
n	řád filtru
OZ	operační zesilovač
Q, Q_L, Q_C	činitel jakosti (činitel jakosti cívky, kondenzátoru)
P, P_z, P_r	výkon, střední výkon do zátěže, odražený střední výkon
T, Π	tvary LC článků a způsoby zakončení příčkových filtrů
X, Y, Z	označení svorek proudového konvejeoru
α, β, γ	poměry hodnot rezistorů a kapacitorů pro filtry s jedním OZ
$\varphi, \varphi(\omega)$	fázový posuv, závislost fázového posuvu na kmitočtu
$\tau_g, \tau_g(\omega)$	skupinové zpoždění, závislost skupinového zpoždění na kmitočtu
τ_{gn}, τ_f	normované skupinové zpoždění, fázové zpoždění
ρ	koeficient odrazu

PŘEDMLUVA

S kmitočtovými filtry se můžeme setkat v různých oblastech elektrotechniky a elektroniky. Mnoho pracovníků z těchto oborů se s problematikou kmitočtových filtrů ve své práci alespoň částečně zabývá, a proto o nich potřebují mít určité znalosti i v případě, že nejsou přímo specialisty v uvedené oblasti. Vzhledem k tomu, že jde o oblast poměrně širokou a teoreticky náročnou (dosud byly vydány k této problematice řádově tisíce různých publikací), je poměrně obtížné najít vhodné publikace, které by splňovaly představy širšího okruhu zájemců o tuto problematiku.

Dostupné publikace o kmitočtových filtrech jsou buď příliš úzce zaměřené jen na určité typy problémů a obvodů a neposkytují dostatečně široký přehled, nebo jsou určeny pro specialisty a kladou příliš vysoké nároky na běžné čtenáře. Vzhledem k současné situaci, kdy stále více mizí potřeba hluboké znalosti návrhových postupů s ohledem na překotný vývoj teoretických poznatků i stylu naší práce, spolu s možnostmi použití zpracovaných katalogů či počítačových programů, vyvstává naopak stále důraznější potřeba dobré a široké orientace uživatelů katalogů a programů o obecných vlastnostech a využití kmitočtových filtrů. Zvláště je to zřejmé pro takové úlohy, kde optimální řešení problémů nenabídne ani ten nejlepší program (nanejvýš může v rozhodování napomoci). V oblasti komplexního řešení filtrů jde zejména o úlohy spojené s volbou typu aproximace, volbou typu realizace, volbou některého z mnoha typů konkrétních zapojení, optimalizace z hlediska minimalizace vlivu parazitních vlastností apod. Na druhou stranu, při použití dobrého programu a dobrém přehledu o problematice může i běžný uživatel programu, který není specialista na tuto problematiku, poměrně snadno dospět k optimálnímu řešení.

S ohledem na tuto situaci jsme se pokusili nabídnout co nejširšímu okruhu čtenářů – tedy inženýrům, technikům ale i studentům škol s elektrotechnickým zaměřením a dalším zájemcům o elektrotechniku – pokud možno univerzální nástroj pro orientaci v problematice kmitočtových filtrů. V první části se kniha věnuje přenosovým vlastnostem a řešení aproximační úlohy pro všechny typy kmitočtových filtrů (poznatky lze aplikovat i pro číslicové filtry). Ve druhé části, týkající se návrhu konkrétních kmitočtových filtrů, je zaměřena pozornost na oblast filtrů realizovatelných z diskrétních prvků, kterou může většina uživatelů snadno aplikovat. Oproti tomu se kniha nevěnuje problematice návrhu filtrů pro integrované, elektromechanické a jiné náročné technologie, protože jde o příliš speciální

problematiku, se kterou se většina čtenářů patrně nikdy nesetká. Použití knihy lze předpokládat v několika úrovních.

Pro nejjednodušší aplikace umožnit realizovat požadovaný návrh kmitočtového filtru i bez použití počítače nebo rozsáhlých katalogů. Buď lze přímo použít uvedené jednoduché návrhové postupy pro návrhy filtrů 2. řádů RLC či aktivních filtrů RC (filtrů ARC), nebo případně z příložených stručných tabulek navrhnout podle uvedených návrhových postupů i jednodušší filtry vyšších řádů.

Hlubší využití uvedených poznatků předpokládáme při řešení problematiky návrhu filtru ve spolupráci s vhodným návrhovým programem. V tomto případě dává kniha dostatečnou orientaci v již uvedených problémech jako je volba typů aproximace, výběr typů realizace a jednotlivých zapojení apod. a tím může být nápomocná k optimálnímu využití programu. Na www stránkách nakladatelství BEN je k dispozici uživatelům volná verze programu NAF (operační systém DOS, aproximační úlohy bez omezení, realizace plně přístupné jen pro Čebyševovu aproximaci). Po dokončení bude přístupná i nově připravovaná verze programu pracující pod Windows.

V případě náročných filtrů, kde je potřebná např. minimalizace vlivu reálných vlastností součástek, se snaží kniha hlubším vysvětlením principu funkce a vlastností obvodů filtrů nabídnout cesty, jak hledat a dosáhnout optimálního řešení.

Bylo snahou autorů, aby čtenář nebyl zatěžován zbytečnými požadavky na hluboké teoretické znalosti matematiky, elektrotechniky a elektroniky, avšak pro hlubší pochopení vysvětlovaných principů a vlastností filtrů byly alespoň v nezbytné míře některé teoretické poznatky a vztahy uvedeny. Naprosto nezbytné pro další přehled a porozumění funkce a základních vlastností filtrů je však zvládnutí alespoň základního popisu přenosových vlastností filtrů a jejich interpretace odpovídajícími charakteristikami, jak je to uvedeno v kapitole 1.

Strukturu knihy jsme volili tak, aby dávala potřebný přehled, umožnila snadno nalézt přímé řešení konkrétního úkolu, ale aby také na druhé straně pomohla i při hledání řešení některých speciálních dílčích problémů. Tomu odpovídá obsah kapitol 2 až 6, které uvádějí poznatky o řešení obecných přenosových vlastností filtrů, řešení aproximační úlohy a v dalších částech pak poznatky a postupy standardního návrhu RC, RLC a aktivních RC (ARC) filtrů. Určitým doplňkem je kapitola 7, kde jsou stručně uvedeny možnosti a postupy návrhů filtrů s integrovanými filtry a bloky ASC. Všechny hlavní postupy jsou dokumentovány příklady návrhu.

Osmá kapitola se snaží ukázat návrh kmitočtových filtrů z pohledu některých speciálních aplikací (např. laditelné filtry, ekvalizéry, filtry s „nulovým“ ofsetem, kmitočtové výhybky s diskusí jejich vlivu na elektroakustický signál, filtry ARC pro velmi nízké kmitočty, oscilátory RC a ARC). Zde je vzhledem k nutnému omezení rozsahu uvedena problematika spíše orientačně, s omezením hlubších vysvětlení, rozborů a podrobných návrhových postupů a předpokládají se zde již určité znalosti čtenáře o dané problematice.

Poslední kapitola, optimalizace filtrů a použití počítače pro jejich návrh, nabízí čtenářům s hlubším zájmem přehled o možnostech optimalizace kmitočtových filtrů z širšího pohledu celého návrhového procesu a poskytuje i orientační přehled o možnostech použití počítačů při návrhu filtrů. V závěru knihy jsou uvedeny stručné tabulky pro jednoduché použití při návrhu filtrů vyšších řádů.

V závěru bychom chtěli vyjádřit naději, že zpracováním této publikace alespoň částečně zaplníme určitou mezeru v naší literatuře a pokud naše publikace pomůže některým zájemcům při řešení jejich problémů v oblasti kmitočtových filtrů, pak naše práce věnovaná po dlouhá léta těmto obvodům a úsilí věnované přípravě a zpracování této publikace, nebylo zcela marné.

Vřelý dík chceme vyslovit i našim spolupracovníkům, kteří svými cennými připomínkami zejména při přípravě rukopisu napomohli ke vzniku této publikace. Zvláštní dík v tomto směru patří Prof. Ing. Daliboru Biolkovi, CSc., za neocenitelnou pomoc a za poskytnutý program SNAP [7], který byl velice účinným nástrojem při analýze jednotlivých obvodů a při rozboru a ověření mnohých návrhových vztahů.

Autoři budou vděčni čtenářům za jakékoliv dotazy, náměty, či kritické připomínky, které mohou zaslat na adresu vydavatelství BEN – technická literatura nebo přímo na e-mailové adresy autorů –

karel.hajek@vabo.cz. nebo **sedlacj@feec.vutbr.cz.**

Brno, červen 2001

Autoři