

Prof. Ing. Tomáš D o s t á l, DrSc.  
Katedra elektrotechniky a informatiky,  
Vysoká škola polytechnická Jihlava  
Tolstého 16, 586 01, Jihlava  
[dostal@vpsj.cz](mailto:dostal@vpsj.cz), tel: 567 141 188, mobil: 777 194 307

## Posudek oponenta doktorské disertační práce

### Ing. Lubomíra F r ö l i c h a Aktivní kmitočtové filtry pro vyšší kmitočty

#### Ke zvolenému tématu a názvu práce

Téma předkládané doktorské disertační práce (DP) Ing. Frölicha považuji za aktuální a pro odbornou veřejnost zajímavé. Aktivní RC filtry (AF) pro vyšší kmitočtová pásma (AF-VF) vyžadují specifické přístupy návrhu, výběr vhodných aktivních prvků (ne jen OZ) a studium vlivu reálných součástek a parazitních jevů, což DP neobsahuje. K obsahu by se spíše hodil jiný název, např.: „Aktivní kmitočtové filtry zvláštních struktur“ nebo širěji „Optimalizace a zefektivnění syntézy zvláštních struktur kmitočtových filtrů“. Návrh těchto struktur AF není dosud v literatuře dostatečně zpracován a na školícím pracovišti doktoranda (KTO FEKT VUT Brno) se těmto obvodům věnuje náležitá pozornost s pozoruhodnými výsledky.

#### K rozboru současného stavu

Rozbor současného stavu řešené problematiky provádí doktorand v kap. 1.1, a to v přiměřeném rozsahu vzhledem k cílům, které si dále stanovuje, nikoliv však vzhledem k názvu práce, to by vyžadovalo obsírnější rozbor. Doktorand měl zde více popsat rozpracovanost řešené problematiky na školícím pracovišti, při jeho příchodu do řešitelského kolektivu. Podrobně rozebrat, na které práce a jak navázal. Obzvláště jak navázal na práce svého školitele doc. Sedláčka a popřípadě dalších odborníků i z jiných pracovišť.

#### K náplni a stanoveným cílům DP

Na základě provedeného rozboru současného stavu si Ing. Frölich pro svoji DP stanovuje v kap. 1.2 tři **základní cíle**:

- 1) Zefektivnění syntézy AF se strukturou Leap-Frog (LF).
- 2) Optimalizace syntézy AF z vázaných pásmových propustí.
- 3) Optimalizace syntézy univerzálního multifunkčního přeladitelného AF 2. řádu.

Tyto náměty disertant v kap. 1.2 blíže specifikuje. Stanovené cíle DP považuji za přiměřené a dostačující, i když vzhledem k názvu DP by bylo vhodné je dále rozšířit. Po bližším prostudování předložené DP mohu konstatovat, že vytýčené cíle byly splněny.

#### K formě zpracování DP

Předložená DP Ing. Lubomíra Frölicha obsahuje 121 stran textu a 27 stran příloh, což svědčí o jeho rozsáhlé výzkumné práci. DP má všechny náležitosti a členění požadované prováděcím předpisem pro její zpracování. Obsahuje původní výsledky vědecké práce autora. Neshledal jsem, že by doktorand při vypracování DP porušil etické principy publikování. Řádně cituje použité zdroje informací. Většinou se však omezuje na českou literaturu. Na dané téma je k dispozici daleko více anglicky psaných zdrojů. Pokud se budeme držet názvu DP, tak rešerše mohla být širší a aktuálnější. Seznam literatury je napsán nejednotně a nedůsledně podle vžitě normy. Nechápu citaci [55] (v DP na tutěž DP). Při použití metody grafů signálových toků (GST) bylo vhodné více se odkazovat na

literaturu, jak historickou základní (Mason, Coates), tak i současnou a místní (Mikula, Biolek, Šotner aj.).

Po formální stránce má DP velmi pěknou úroveň. Je napsána čtivě, bez překlepů a s minimem pravopisných a stylistických chyb. Vytknul bych mu jen časté a někde nevhodné použití kurzívy. Hodnoty a jednotky veličin se takto neformátují. Zbytečně používané dvojtečky před uváděnými vzorci. Jejich zdlouhavé a často se opakující úvodní formulace a popis (např. na s. 81 aj.). Operátor Laplaceovy transformace je označován nejednotně, někde  $p$  (kap. 2) jinde  $s$  (kap. 4). Osobně doporučuji (pod vlivem západní literatury) používat jednotně  $s$ . Symbol  $p$  popřípadě použít pro normovanou proměnou. Použité anglické zkratky (např. FDNR aj.) mohly být pro lepší pochopení doplněny v seznamu plnými anglickými termíny. Zkratky názvu filtrů (např. K-H-N) lze psát běžně bez pomlček. Symbolem  $A_x$  označují odborníci útlum nikoliv přenos, jak to v seznamu ztotožňujete s  $K_x$ . Obdobně zkratka GBW vyjadřuje něco jiného než tranzitní kmitočet ( $f_T$ ).

Obrázky a schémata jsou v DP kreslena dle zavedených zvyklostí a norem, až na obrázky sejmuté z grafického postprocesoru s černým pozadím (např. Obr. 3. 21 a řada dalších), což bylo možno invertovat a příliš malé obrázky s drobným popisem (např. Obr. 2. 110 a řada dalších), které v tištěné verzi jsou čitelné jen s lupou. Řada obrázků i tabulek má nedostatečný popis. Např. u Tab. 2.1 není uvedeno jaký parametr je sledován. Některé obrázky (např. Obr. 3.37 a Obr. 3.38 a další) nesou stejný název, ale grafy i měřítko jsou jiná. Pro rozlišení a upřesnění by byla třeba detailnější popiska. Některé popisky jsou matoucí, např. u Obr. 2.20 (cožpak integrátor může být bez  $C$ ?). Netradiční a nepříliš šťastné je i kreslení GST (blíže viz dále).

### Připomínky k odbornému vyjadřování

- Nedůsledné použití názvů akumulčních prvků  $L$  a  $C$  (např.  $80^{1,2}$ ). Správně má být induktor a kapacitor, místo cívka a kondenzátor, ty jen když jde o jistou technickou realizaci.
- Nepoužívat nevhodný a matoucí název dvojný kapacitor (např.  $81^7$ ), ale správně bicistor nebo pouze zkratku FDNR.
- Obdobně je nevhodný název jeho parametru ( $D$ ) - dvojná kapacita (např.  $81_{10}$ ).
- Někde chybně zaměňujete prvek - rezistor jeho parametrem - odpor (např.  $80^{16}$ ).
- Místo názvů fáze/fázová je vhodnější používat argument/argumentová (např. charakteristika  $79^6$ ).
- Místo výborné citlivosti ( $116_2$ ) je lépe použít malé citlivosti.
- Místo vykreslení obvodu ( $64_{12}$  aj.) je vhodnější nakreslení (vykresluje se něco předkresleného).
- Místo nula přenosu nebo aproximace s nulami (např.  $116_{14}$ ), správně má být aproximace s nulovými body přenosu (nula je jen jedna).

### K původnímu přínosu DP

Předložená DP bezesporu obsahuje řadu původních přínosů v oblasti moderních filtrů. Většina kapitol však vychází z publikací, kde Ing. Frölich byl spoluautorem. Z mého pohledu je pak těžké blíže určit jeho vlastní podíl. V DP tak doktorand dostatečně nečiní. Proto bych mu doporučil, aby během obhajoby svůj osobní podíl bez ostychu více zvýraznil. Neurčitý nebo neosobní způsob vyjadřování, který s oblibou ve své DP používáte, raději nahraďte 1. osobou jednotného čísla. Blíže popište rozpracovanost řešené problematiky na školícím pracovišti, při vašem příchodu do řešitelského kolektivu a jasně vymezte svůj podíl na společných publikacích.

### Za hlavní přínos disertanta považují:

1. Vypracování metody syntézy a návrhu málo citlivých AF z pasivního prototypu LF s využitím GST.
2. Porovnání navržených AF-LF s jinými realizacemi mající obdobné základní parametry. Vhodné počítačové simulace a srovnávací analýzy zkoumaných struktur a z toho vytvořené praktické závěry.

3. Implementace získaných poznatků do nadstavby návrhového programu NAF, čímž se zvýšila možnost využití těchto filtrů v praxi.
4. Studium velmi selektivních aktivních pásmových propustí (APP), vycházející z pasivních vázaných RLC prototypů (PVPP) a využívající jednoduché SI a FDNR (ztrátové, uzemněné, s kmitočtově závislými parametry).
5. Vytvoření programu pro kompletní analýzu PVPP a APP, umožňující rychlý návrh těchto filtrů do 6. řádu.
6. Porovnání vlastností dvou multifunkčních ARC bikvadů (AM a KHN), s ověřením možností elektronického nastavování jejich parametrů.
7. Praktická realizace vhodně navržených funkčních vzorků všech zkoumaných AF a jejich změření.

## **K publikaci jádra DP**

Většina myšlenek uváděných DP byla již předem publikována na domácím i mezinárodním odborném fóru. Za nejvýznamnější považuji oba dva příspěvky na konferenci PIERS 2012, kde Ing. Frölich byl spoluautorem. Jeho příspěvek na konferenci IMAPS 2012 a článek v českém internetovém časopisu Elektrovue 2011.

Z mého pohledu je největším přínosem autora první část DP (kap.2), týkající se nepříliš známých AF-LF. Proto doporučuji tuto část publikovat v renomovaném časopisu (např. Radioengineering), upravenou dle připomínek a doplněnou novými poznatky.

S přiloženého seznamu publikací, reprintů a hodnocení tvůrčích aktivit 101 bodu vyplývá, že Ing. Frölich je pracovník s příkladnou vědeckou erudicí.

## **Připomínky zásadnějšího odborného rázu**

Doktorand se ve své DP zaměřil na AF využívající pouze klasické napěťové OZ. Pro oblast VF se však hodí i jiné moderní funkční bloky, jako jsou různé proudové konvejory, transimpedanční a transadmitanční zesilovače (OTA), analogové násobičky, OZ s proudovou ZV (CFA), z nichž řada je v současnosti již komerčně dostupná. Některé z nich umožňují i jednodušší elektronické přeladování a nastavování parametrů. Možný je i vhodný přechod daných filtrů do proudového módu. To vše mohlo být v DP také rozebíráno (alespoň stručně).

Výhrady mám k metodě GST prezentované v kap. 2.2. Nelíbí se mi forma GST se symbolickými značkami prvků R, Z a Y (např. Obr. 2.15). Bez nich by se obešel a nahradil je větvemi s odpovídajícími přenosy, kde bych rozlišil přenosy U nebo I také tvarem šipek, obrobně i různé tvary uzlů. Zavedl bych další vhodné stavební prvky a funkce: 1) sumace a distribuce U a I, 2) převodníky

$U \rightarrow I$  a  $I \rightarrow U$  a jejich reprezentaci větvemi s odpovídajícími přenosy včetně různých šipek. Pak lze grafem snadno a výstižně reprezentovat dané obvodové rovnice.

U navrhovaných struktur AF-LF (kap. 2) postrádám rozbor možností elektronického přeladování a nezávislého nastavování parametrů těchto filtrů. Obávám se, že z tohoto hlediska budou AF-LF horší než jiné typy filtrů.

Na základě vaší poznámky na s. 26<sub>1</sub> předpokládám, že ve všech simulacích jste použil model konkrétního OZ typu CLC440 z knihovny PSpice. Podle mne by bylo však vhodnější realizovat některé analýzy nejprve s ideálními OZ. Pak si udělat vlastní model reálného OZ, který lze postupně doplňovat a studovat vliv jednotlivých parametrů. Variací kmitočtu dominantního pólu lze pak vybrat potřebný komerční OZ.

Pro srovnání zkoumaných struktur filtrů nepoužíváte citlivostní analýzu, jak ve své DP chybně uvádíte, ale statistickou toleranční analýzu, realizovanou obvodovým simulátorem PSpice. Volil jste dost velké tolerance součástek (C až 10 %), což selektivní filtry většinou v reálu vyžadují menší. A proto prezentované výsledky se mi zdají až příliš optimistické. Hodně záleží na nastavení modulu pokročilých analýz, zda změna hodnot byla skupinově korelovaná nebo individuální. Pro studium a srovnání vlivu tolerancí hodnot pasivních součástek by bylo vhodnější použít model ideálního OZ.

Teprve pak studovat vliv reálných parametrů aktivních prvků. Vhodné by bylo provést srovnání jednotlivých struktur pomocí klasické citlivostní analýzy, porovnat citlivosti před a po optimalizaci dynamického rozsahu AF.

Rozbor AF vycházející z vázaných RLC prototypů (kap. 3) je místy příliš stručný a pro nezasvěceného málo srozumitelný. Chybí bližší vysvětlení principu (přechod DP s vysokým Q na nesymetrickou PP) a bližší vlastností těchto obvodů. Především to, že princip lze aplikovat jen na velmi úzkopásmové PP, kdy navrhovaná různá zapojení jsou ekvivalentní pouze v blízkém okolí maxima přenosu. To šlo udělat alespoň stručně s odvolávkami na klasickou literaturu (píše se o nich i v našich skriptech) a hlavně také na publikace svého školitele a Prof. Hájka, kteří se touto metodou úspěšně zabývali. Některé zde uváděné úpravy a zjednodušení vztahů pro hledané parametry, získané symbolickou analýzou, na první pohled vzbuzují pochybnosti o správnosti (např. 3.18 nebo 3.25).

Některá zapojení AF, uváděná v DP, jsou pro jednoúčelová využití (jistý typ propusti) až příliš složitá (např. 7 OZ pro PP 3. řádu), čímž ztrácejí pro praxi význam. Stálo by za úvahu modifikovat je a zjednodušit přechodem do proudového módu nebo využitím modernějších i vícebranových funkčních bloků (např. CC).

V rozporu s názvem práce (AF pro VF) jsou vámi navržené, simulované a změřené filtry pouze v pásmu NF (převážně na 1 nebo 10 kHz). Mohl byste to zdůvodnit? Myslíte, že uvedené AF se budou stejně chovat i na VF? Při popisu experimentů není dostatečně popsáno měřící pracoviště a použité přístroje.

### **Otázky k obhajobě:**

1. O jaká témata, byste rozšířil pokračování vaší odborné práce, aby ještě více odpovídala názvu vaší DP? Které další funkční bloky by byly vhodné pro vyšší kmitočtová pásma a které dávají lepší možnosti elektronického přeladování a nastavování parametrů AF? Stručně uveďte jejich princip a vlastnosti.
2. Co soudíte o možnostech přechodu navržených filtrů do proudového módu? Stručně uveďte jeho princip a vlastnosti. Které aktivní prvky by se daly v něm vhodně použít?
3. Uveďte vlastní model reálného OZ vhodný pro různé simulace v PSpice, který by dovolil studovat vliv jeho jednotlivých parametrů.
4. Jaké citlivosti a citlivostní funkce používáme pro srovnání různých zapojení AF? Vysvětlete rozdíl a princip od vámi nazývané metody počítačové citlivostní analýzy.
5. Rozeberte možnosti přeladování a nezávislého nastavování parametrů u navrhovaných AF-LF. Lze vůbec tyto parametry řídit, aniž by se rozhodilo nastavení dalších?

### **Závěr**

Disertační práce Ing. Lubomíra Frölicheho svým rozsahem i kvalitou překračuje obecně uznávané požadavky k udělení akademického-vědeckého titulu doktora v oboru Teoretická elektrotechnika. Práce splnila veškeré stanovené cíle, obsahuje původní nové myšlenky, má všechny náležitosti prováděcího předpisu a studijního řádu, proto ji **doporučuji přijat k obhajobě.**

Ing. Frölich prokázal, že je schopen tvůrčí vědecké práce, nové poznatky přiměřeně publikoval převážně na konferencích. Je mi známo, že příspěvky, kde byl Ing. Frölich spoluautorem, byly pozitivně přijaty odbornou veřejností. Při obhajobě by měl doktorand jasně prokázat svůj osobní podíl na uvedených společných publikacích a vhodně reagovat na podstatné připomínky a dotazy.

V Brně dne 13. září 2014