

## Posudek dizertační práce

Název : Výkonové VF zesilovače pro nestandardní kmitočtová pásma

Dizertant: Ing. Tomáš Kavalír

Autor předložil poměrně rozsáhlou a nutno říci i fakty nabitou dizertaci o více než 130 stranách vhodně rozčleněnou do hlavního textu a příloh, takže její čtení a sledování hlavního smyslu nečiní potíže. Hned na začátku chci konstatovat, že práci hodnotím vysoko a jestliže teď přijdou připomínky, je to jen proto, aby vyprovokovaly diskusi.

Už název práce není příliš instruktivní. Použití vágně specifikovatelného pojmu "nestandardní kmitočtová pásma" nepřiláká ty čtenáře, pro které tento text může být přínosem. Sem by patřil spíše výraz "gigahertzová pásma" a věc by se projasnila.

Práce se rozpadá na dvě velké kapitoly: řešení ve vakuové a pevnofázové verzi a obě tyto kapitoly obsahují spoustu detailů, často ne dostatečně vypočítaných. Myslím, že chyba je v ne dosti přesně stanovených cílech práce, které jsou zde příliš obecné. Lepší by bylo definování třech, čtyřech bodů, což povědomě nutí autora držet se tématu.

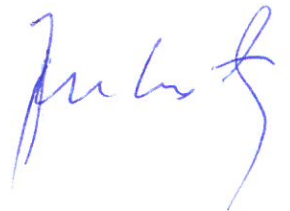
Což je však největší škoda je nedostatečné propojení obou kapitol. Chybí totiž porovnání obou totiž elektronkového a tranzistorového řešení. Od objevu tranzistoru koncem čtyřicátých let a následného rozvoje krystalových elektronek (parafrázuji název knihy Franka a Šnejdara, která vyšla v polovině následujícího desetiletí). Od té doby jsou vakuové součástky takřka kontinuálně vytlačovány z elektronických aplikací. Tato situace trvá dodnes a možná již po šedesáti letech pomalu končí. Poslední velká třída obvodů, kde elektronky, často dokonce ty nejjednodušší (triody), odolávaly byly koncové stupně velkých vysílačů s požadkem na současně vysoký výkon a vysoký kmitočet. Rozvoj sofistikovaných polovodičových součástek LDMOS a součástek příbuzných ukázal zřejmě cestu, jak elektronky i v této aplikaci nahradit. Že je to zatím za cenu nesrovnatelně

vyšších nákladů není až tak důležité, snižování ceny elektronických komponent je světa běh. To vše autor správně identifikoval, technicky zpracoval a nakonec zůstal před posledním krokem, totiž říci tady to jde elektonky a vůbec vakuum opustit a tady zatím ne. To není výtká: sám si totiž nejsem jist jestli už je pro takový závěr dost poznatků. Za diskusi, alespoň u obhajoby to však určitě stojí.

Už jsem předeslal v úvodu, práce je velmi kvalitní. Autor prokázal mimořádné schopnosti v neposlední řadě i konstrukčně-mechanické (jak také jinak u vf) a vůbec vytvořil krásné inženýrské dílo. Rovněž publikace jsou na patřičné úrovni

Práci doporučuji k obhajobě a po jejím úspěšném průběhu i udělení PhD titulu.

Prof. P. Zelinka, 8. 6. 2018



## Oponentský posudek disertační práce

**Název:** Výkonové VF zesilovače pro nestandardní kmitočtová pásma

**Autor disertační práce:** Ing. Tomáš Kavalír

**Obor doktorského studia:** Elektronika

**Vysoká škola:** Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Při posuzování disertační práce jsem vycházel ze skutečností uvedených v předložené disertační práci, aktuálnosti tématu, způsobu a metod řešení, dosažených výsledků, způsobu zpracování práce a dalších mně známých skutečností.

Disertační práce Ing. Tomáše Kavalíra Výkonové VF zesilovače pro nestandardní kmitočtová pásma se věnuje systematickému návrhu, konstrukci a měření výkonových vysokofrekvenčních lineárních zesilovačů pro provoz v oblasti krátkých vln a VKV pásma 144 MHz.

### a) Význam disertační práce pro obor

Problematika sledovaná v práci je dnes, v porovnání s další problematikou radiotechnického oboru, velmi zanedbávána. Způsobuje to částečně malé komerční využití těchto zesilovačů i jejich využívání pro analogový radiotelefonní provoz s jedním postranním pásmem a potlačenou nosnou vlnou, který v dnešním „digitálním světě“ není považován za moderní. Cílem práce je nalezení nových způsobů návrhu těchto zařízení s podporou softwarových nástrojů, optimalizace známých konstrukcí pro dosažení lepších vlastností, případně nalezení nových postupů a konstrukcí, které pro výkonové vysokofrekvenční zesilovače v této kmitočtové oblasti nebyly dosud používány.

V souladu s reálným stavem, ve kterém jsou, vedle polovodičových zesilovačů, neustále vyráběny a používány elektronkové zesilovače, disertant ve své práci zpracovává problematiku polovodičových i elektronkových zesilovačů.

Řešení elektronkového zesilovače, včetně rozboru použitých součástek s použitím prostředků počítačové simulace, je do značné míry unikátní a přispívá k snazší optimalizaci řešení těchto zařízení.

V oblasti polovodičových zesilovačů jsou řešeny výkonové zesilovače s tranzistory LDMOS. Cílem práce v této oblasti je aplikace Dohertyho principu ve výkonovém zesilovači se zvýšenou účinností, pracujícím na frekvenci 144 MHz. Tento princip, který umožňuje optimalizovat řešení lineárních výkonových VF zesilovačů, je sice znám již téměř 80 let, ale byl dříve aplikován pouze u středovlnných a dlouhovlnných rozhlasových vysílačů velkých výkonů, dnes je používán u polovodičových vysílačů vyšších výkonů, pracujících v pásmu UKV. Konstrukce zesilovače pro pásmo 2 m je ale značně specifická, odlišná od zesilovačů pro nižší nebo vyšší kmitočtová pásma. Proto je toto téma aktuální a jeho a jeho vyřešení lze považovat za přínos.

Nejvýznamnějším cílem práce je přehledné vyhodnocení parametrů dosažitelných se zesilovači různých koncepcí a stanovení metodiky konstrukce optimálního zesilovače. Protože výsledné parametry zesilovače jsou vždy ovlivňovány volbou a nastavením řady konstrukčních parametrů, je hledání optimalizace konstrukce aktuálním problémem.

### b) Postup a metody řešení problému

Práce je psána na 139 stranách, z toho tvoří 10 stran přílohy shrnující výkresy a fotografie, 5 stran seznam publikací autora a 2 strany seznam použité literatury. Práce je rozdělena do 2 stěžejních kapitol, kde kapitola 1 je věnována výkonovým vysokofrekvenčním zesilovačům,

kteře jsou osazeny vakuovými elektronkami a kapitola 2 je věnována tranzistorovým výkonovým zesilovačům.

V obou kapitolách je vždy proveden rozbor daného typu zesilovače s ohledem na použité aktivní prvky a přizpůsobovací obvody, návrhy experimentálních zesilovačů a výsledky měření, která byla na realizovaných zesilovačích provedena. Realizovány a testovány jsou následující zesilovače: elektronkový zesilovač 2,5 kW pro 144 MHz, elektronkový zesilovač 3 kW pro pásmo 1-30 MHz, tranzistorový zesilovač 250 W s napájecím napětím 32V pro 144 MHz, tranzistorový zesilovač 250 W s napájecím napětím 50V pro 144 MHz, tranzistorový zesilovač 250 W pro 144 MHz se zvýšenou účinností pracující podle principu Doherty a tranzistorový zesilovač 250 W pro pásmo 1-50 MHz.

V závěru práce jsou vyhodnoceny parametry zesilovačů dosahované s různými konstrukcemi, jsou porovnávány vzájemně i vzhledem k parametrům, které jsou požadovány při provozu zesilovačů v koncových stupních vysílačů.

#### c) Výsledky disertační práce

Disertant popisuje ve své práci návrh, konstrukci, realizaci a změřené parametry 6 vzorků výkonových vysokofrekvenčních zesilovačů. Výsledky jednotlivých experimentů jsou shrnuty v závěru práce, kde autor dosažené výsledky porovnává s výsledky uváděnými v literatuře a zákonnými podmínkami pro provoz radiokomunikační služby.

Cíle, sledované v disertační práci, byly splněny.

Metodika používající softwarové nástroje byla používána pro obvodový návrh všech zesilovačů, v případě elektronkového zesilovače pro 144 MHz byl pomocí softwarového simulátoru optimalizován cívkový rezonátor.

Výkonový lineární zesilovač pro frekvenci 144 MHz se zvýšenou účinností s použitím Dohertyho principu byl navržen, realizován a proměřen. Konstrukce zesilovače, na mezi kmitočtových pásem, kde některé části obvodů jsou konstruovány ze soustředěných reaktancí, a jiné z úseků vedení, je do značné míry unikátní. Realizací byla prokázána možnost zvýšení účinnosti výkonového zesilovače, při zachování ostatních parametrů v přijatelných mezích.

V závěru autor přehledně rekapituluje výsledky experimentální části práce a vyslovuje závěry vedoucí k optimalizaci konstrukce výkonových VF lineárních zesilovačů.

Problematika řešená v disertační práci je aktuální, v předložené práci je dostatečně popsána, práce problematiku rozvíjí a přináší nové přístupy a poznatky, přispívá k optimalizaci řešení zařízení a jejich a technologií.

#### d) Systematika, přehlednost, formální a jazyková úprava práce

Autor vytvořil práci poměrně značného rozsahu. Charakter práce odpovídá formálním nárokům na disertační práci. Práce je psána přehledně a pečlivě, předkládané skutečnosti jsou systematicky a logicky uspořádány.

Bohužel se autor nevyvaroval řadě gramatických chyb, jako například:

str. 21, ř. 9 – velikostí parazitní kapacity anodové chladiče

str. 37, ř. 9 – dvěma keramickými elektronkami

str. 66, ř. 17 – klemmy – v češtině spíše třmeny

str. 66, ř. 18 – transistoru – všude jinde tranzistor

str. 72, ř. 11 – Ruthroffovi širokopásmové transformátory

#### d) Publikace studenta

V seznamu publikací autora je uvedeno 42 publikací. Z uvedeného výčtu 1 publikace je článek v tuzemském časopisu a autor práce je jedním ze dvou spoluautorů, 16 publikací jsou konferenční příspěvky na konferencích v ČR i v zahraničí, 6 publikací jsou výzkumné zprávy, 1 publikace je rigorózní práce autora disertační práce, 16 publikací v seznamu jsou funkční vzorky a 2 publikace jsou uvedeny dvakrát.

Několik publikací nemá přímý vztah k disertaci (např. nízkošumové zesilovače). Škoda, že dosažené výsledky nebyly více publikovány v časopisech.

#### e) Přípomínky věcného charakteru a dotazy k práci

- Reaktance zkratovaného úseku vedení  $Z_0 = 80 \Omega$ , délky 0,2 m na frekvenci 144 MHz nemůže být  $0,83 \Omega$  (podle vztahu 1.45). Je mnohem větší, přibližně  $55 \Omega$ . Nicméně však v obvodu na obr. 1.4 jsou uvedeny hodnoty součástek, se kterými obvod může fungovat.
- Velikost napětí na koncích kapacitně zatíženého půlvlnného rezonátoru podle obr. 1.6, stejně jako u dalších rezonátorů, nebude dosahovat velikosti několika desítek kV (str. 31, 33, 41). Pro zátěž  $Z=50 \Omega$  a při výstupním výkonu 1,5 kW bude (podle vazební kapacity 3 pF) na konci rezonátoru u zátěže napětí asi 2 kV.
- Přizpůsobovací obvod na vstupu zesilovače podle obr. 1.14 ve tvaru  $\Gamma$  článku nemůže být, podle mého názoru, s nelineární zátěží tvořenou katodou elektronky, optimální. Je možné výhodnější řešení?
- V práci není uveden ani náznak řešení „vstupních obvodů“ výkonového zesilovače 1,8-30 MHz (podle obr. 1.23). Jak je přizpůsobovací obvod řešen?
- Do jaké míry zajišťuje obvod podle obr. 2.17 teplotní stabilitu výkonových tranzistorů, nebo obvod teplotní stabilizace není v práci uveden (str. 112)? Jak se v tomto zapojení změní klidový proud tranzistorů 2x300 mA při zvýšení teploty tranzistorů o  $50^\circ\text{C}$  ?
- Musí být pro zajištění přizpůsobení na vstupu zesilovače podle obr. 3.31 použit útlumový člen? Není možné výhodnější řešení?

#### f) Závěr

Předložená práce představuje ucelené zpracování problematiky výkonových VF zesilovačů pro kmitočtová pásma 1-30 MHz a 144 MHz. V oponované práci nejsou patrné zásadní chyby věcného charakteru. Práce přinesla původní výsledky a má nesporný význam pro vědní obor. Doktorand prokázal v práci orientaci v dané problematice a schopnost samostatné vědecké práce.

Posuzovaná práce splňuje podmínky samostatné tvůrčí vědecké práce podle § 47 odst. 4 zákona č. 111/1998 Sb. a prováděcích předpisů k obhajobě disertační práce.

#### **Práci doporučuji k obhajobě.**

V Praze, dne 26.5.2015

Adresa:

České vysoké učení technické v Praze,

Fakulta elektrotechnická

Technická 2, 166027 Praha 6

Tel. : 02-2453 2165, e-mail: papez@fel.cvut.cz

  
doc. Ing. Václav Papež, CSc  
oponent

## **Oponentní posudek na disertační práci:**

### **Ing. Tomáše Kavalíra: Výkonové vf. zesilovače pro nestandardní kmitočtová pásma**

Cíle předložené disertační práce byly zaměřeny na návrhové postupy a technická řešení lineárních výkonových zesilovačů pro kmitočtová pásma KV a VKV a to jak s využitím klasických vakuových aktivních prvků, tak i s aplikací moderních polovodičových LDMOS tranzistorů. Práce shrnuje dosavadní poznatky v dané problematice a přispívá i novými inovativními náměty řešení dílčích subsystémů lineárních vysokofrekvenčních zesilovačů s výstupním výkonem v řádu stovek Wattů až jednotek Kilowattů. Velkým bonusem disertační práce je realizace všech diskutovaných koncepcí a experimentální ověření jejich parametrů. Oceňuji rovněž širokou a poměrně precizní diskuzi ke všem realizačním konceptům a to nejenom z hlediska návrhových metod a simulací, ale také z hlediska konstrukčního řešení. Právě oblast konstrukčního řešení skýtá mnoho úskalí při volbě vhodných materiálů a především pak z pohledu spolehlivého chlazení (odvádění tepla ztrátového výkonu) při různých provozních podmínkách. To vše tato práce do detailu diskutuje a může být inspirací při vývoji obdobných zařízení i v profesionální praxi. Zásadním problémem při návrhu zesilovačů pro uvažovaná „nestandardní“ pásma je menší atraktivita z hlediska masové produkce takovýchto zařízení a z toho vyplývající omezená dostupnost kýžených parametrů aktivních prvků pro návrh zesilovačů pro tato kmitočtová pásma a nutnosti hledat metody jak tyto parametry určit nebo odhadnout pro úspěšný návrh a reprodukovatelnost. I tato problematika je v práci široce diskutována. Na první pohled se může zdát, že téma práce je již poněkud zastaralé a netýká se problematiky moderních komunikačních systémů, ale opak je pravdou. V první řadě mohou být návrhová metodika a konstrukční řešení v práci prezentované inspirativními i pro zesilovače využitelné pro „atraktivní“ pásma a ve druhé řadě se pak nabízí řada aplikací i v uvažovaných pásmech od modernizace stávajících komunikačních systémů přes využití uvolňovaných pásem novými službami s moderními modulačními formáty až po průmyslové nebo lékařské aplikace např. v oblasti nanotechnologií. Práce se zabývá výlučně lineárními zesilovači, což je právě doména současných digitálních komunikačních módů (OFDM, FBMC, high-order QAM) i systémů uvažovaných pro budoucí aplikace jako je DAB, DRM, DVB, trunkové sítě apod. U všech takových systémů je zásadní dostatečná linearita výkonového stupně a následně i energetická účinnost, k čemuž vedou řešení Doherty topologií, která jsou do předložené práce rovněž zapracována. Předložené cíle práce a jejich řešení reprezentují kombinaci teoretického bádání a poměrně rozsáhlého experimentálního výzkumu a jednoznačně splňují požadavky na obsah disertační práce (čl. 98 Studijního a zkušebního řádu ZČU), neboť jsou směřovány k vědeckým metodám zkoumání a přináší nové poznatky podpořené experimentem v oboru „Elektronika“.

Rozsah práce v českém jazyce je 139 stran včetně příloh, kde jsou uvedeny technické výkresy k realizovaným prototypům zesilovačů a fotodokumentace. Specifikovaná problematika je členěna do sedmi základních kapitol (Cíle disertační práce, Současný stav řešeného problému, Úvod, dvě číslované kapitoly obsahující vlastní stať práce a rozdělené na zesilovače s vakuovými prvky a tranzistorové zesilovače, dále Závěr a Shrnutí). Práce je vypracována pečlivě bez gramatických chyb a s minimem překlepů, precizně popisuje řešené úkoly a prezentuje výsledky. Některé drobnosti lze přesto vytknout. Např. v simulačních modelech (obr 2.15, 2.16, 2.29, 2.30) je výstup definován jako port 6, ve výsledcích simulací jsou pak parametry S66 a VSWR6, přičemž autor bez dalšího doplnění píše o parametrech S22, což je poněkud matoucí. Symboly veličin nejsou psány v textu a tabulkách kurzívou,

v rovnicích ano. Rušivě působí rovněž časté nevhodné zalamování řádků, především kdy číselná hodnota a jednotka jsou zvláště na dvou řádcích. Některé obrázky mají v tištěné podobě nižší kvalitu, např. bloková schémata obr. 2.12, 2.27, 2.42 nebo grafy z Excelu obr. 2.21, 2.35, 2.49, 2.65 apod. Jinak je po formální stránce práce přehledná a logicky členěná a vlastní stať věrně postupuje s vývojem řešení.

Kapitola „Cíle disertační práce“ stručně shrnuje náplň práce a specifikuje zaměření poměrně širokého tématu. Kapitola „Současný stav řešeného problému“ je poněkud zavádějící. Diskutuje se v ní nutné zázemí pro řešení cílů práce a popisují možnosti akademického pracoviště disertanta. Následuje kapitola „Úvod“, kde je vysvětlováno, co je skryto pod pojmem „nestandardní kmitočtová pásma“, využití výsledků práce a jistý historický exkurz. Všechny tři zmíněné kapitoly jsou takovou velmi obecnou směsicí úvodních informací k projektu a nejsou příliš vhodně koncepčně uspořádané. Definovat hned v úvodu cíle disertační práce není typické. Naopak se obvykle očekává několikastránkový a důsledný rozbor současného stavu poznání obsahující velký soubor odkazů na reference, které definují skutečný stav problematiky a prostor pro další bádání v této oblasti. Zde nemusí být vysvětlovány podrobnosti, avšak očekává se, že zde budou otevřeny nové směry pro další výzkum s jistým zdůvodněním potřeby návazného bádání právě v disertační práci. Na základě této kapitoly by pak měly být definovány realistické cíle disertační práce i s ohledem na vybavení akademického pracoviště.

Následuje vlastní stať práce, přičemž první část práce je věnována zesilovačům s vakuovými elektronkami. Tato oblast se může zdát na první pohled již probádaná, avšak v řadě aplikací se vakuové prvky neustále uplatňují, např. z důvodů ceny, vysoké linearity, odolnosti proti radiačnímu záření a podobně. Tato kapitola je velmi vyčerpávající, je zde uveden komplexní rozbor na základě analytických vztahů, návrh a doporučení ke konstrukčnímu řešení, řešení problematiky odvodu ztrátového tepla apod. Velmi precizně a didakticky je zpracována problematika přizpůsobení s aplikací různých metod (vedení, prvky se soustředěnými parametry) včetně využití analytických výpočtů a obvodových a EM simulátorů. Kapitola popisuje návrh úzkopásmového VKV triodového zesilovače s buzením do katody a uzemněnou mřížkou o výstupním výkonu cca 1 kW PEP a širokopásmový KV tetrodový zesilovač s buzením do první mřížky o výstupním výkonu cca 3 kW PEP. V práci je uveden komplexní postup návrhu doplněný vlastními pomocnými programy pro návrh anodových obvodů. Za původní lze v této kapitole považovat metodiku návrhu anodového cívkového rezonátoru pro VKV zesilovač, který výrazně přispívá ke zmenšení rozměrů zesilovače v porovnání se čtvrtlnnými (či půllnnými) rezonátory. Druhá část stať je věnována tranzistorovým zesilovačům s LDMOS tranzistory. Zde jsou opět řešeny zásadní konstrukční limity a řešení přizpůsobovacích obvodů různých variant s využitím EM a obvodových simulátorů. I tato část je velmi přehledná a má také vhodný didaktický charakter. Opět je zde proveden komplexní návrh a realizace úzkopásmového zesilovače pro VKV pásmo s napájením 32 V, dále s napájením 50 V, zesilovače 32 V s Doherty architekturou a širokopásmový zesilovač pro pásmo KV. I v této části lze nalézt řadu původních námětů a metodických postupů, jako hlavní přínos lze však považovat ucelenost problematiky a její komplexní pojetí, které bude užitečné pro další vývoj a praxi. Část věnovaná tranzistorovým LDMOS zesilovačům se mi zdá o poznání chudší ve srovnání s kapitolou o zesilovačích s elektronkami. A je zde ještě řada otevřených otázek a prostor pro další výzkum. Všechny zesilovače byly realizovány a změřeny jejich parametry. Z výsledků lze odvodit řadu očekávaných závěrů i již deklarovaných námětů na budoucí výzkum. Např. otázkou je další vylepšování dynamických parametrů u LDMOS zesilovačů s vyššími napájecími napětími aktivních LDMOS prvků, které jsou postupně světovými výrobci

připravovány (100 V technologie). Důležité je rovněž připomenout, že disertant musel připravit komplexní měřicí pracoviště a metodické postupy měření, což není zcela jednoduchá záležitost, a lze tvrdit, že sestavené měřicí pracoviště je v akademické sféře jedním z mála v ČR.

V kapitole „Závěr“ je proveden přehledný souhrn dosažených parametrů, provedena srovnání jednotlivých přístupů především s ohledem na úroveň intermodulačních produktů lichých řádů. V kapitole „Shrnutí“ je pak uveden stručný výčet řešených oblastí disertační práce. Práce obsahuje třicet referenčních zdrojů. Přestože téma není obecně příliš publikováno, mohl být výčet zdrojů širší, viz poznámka k rozboru současného stavu poznání.

V seznamu vlastních publikací figurují nejen příspěvky k tématu práce, ale i z jiných více či méně vzdálených oblastí a je zjevné, že disertant má široký záběr a přehled. V soupisu jsou také příspěvky na zahraničních konferencích, ale myslím, že některé partie po dotažení a provedení většího objemu experimentálních měření by mohly být prezentovány i na prestižnějších fórech (konference či žurnál).

Přínos a význam disertační práce Ing. Tomáše Kavalíra pro obor „Elektronika“ je nesporný. Práce má atributy původních vědeckých přínosů a je podpořena teoretickými rozborů s návaznými experimenty. Zvláště je třeba ocenit značný objem realizací a provedených experimentů. A je třeba uznat, že disertant je vynikající konstruktér a experimentátor.

Prezentované výsledky jsou založeny na relevantním vědeckém bádání, proto **předloženou práci doporučuji k obhajobě.**


#### **Otázky k obhajobě:**

- 1) Jaké jsou ztráty (obecné vzájemné srovnání) v anodových obvodech VKV úzkopásmového zesilovače při použití půlvlnného vedení, čtvrtvlnného vedení a cívkového rezonátoru?
- 2) Jak se chovají jednotlivé typy zesilovačů v případě výrazného nepřizpůsobení zátěže (zkrat, odpojení antény)? Jaké metody lze v těchto případech použít k ochraně aktivního prvku?
- 3) Proč bylo nejlepší přizpůsobení v simulacích o pár MHz mimo uvažované pásmo (např. obr. 2.16, 2.30)? Má význam pro praktický návrh „přesnější“ simulace?
- 4) Jak byly určeny impedance LDMOS tranzistoru pro aplikaci v zesilovači 144 MHz s napájecím napětím 50 V? Podle katalogového listu BLF278 jde zjevně o extrapolaci impedancí pro třídu AB při klidovém proudu 2 x 500 mA. Je však zjevné, že podobné výsledky lze získat rovněž extrapolací impedancí pro třídu A s klidovým proudem 2 x 100 mA. Je to obecně typické u LDMOS tranzistorů, že vst. a výst. impedance není příliš závislá na pracovní třídě (alespoň tř. A vs. tř. AB)?
- 5) K čemu slouží kapacitor Ct1 ve vstupním obvodu zesilovače s BLF278?



- 6) Jak kritická je volba substrátu pro řešení přizpůsobovacích obvodů s mikropásky? Lze odhadnout hranici použitelnosti (výkon vs. kmitočet) levných materiálů typu FR4 a jejich přídavné ztráty?
- 7) U LDMOS zesilovačů je zjevné, že rostoucí provozní napětí má za následek lepší potlačení intermodulačních produktů pro zesilovač s přibližně shodným dosažitelným výstupním výkonem. Lze odhadnout nebo již byly zveřejněny výsledky, jaké potlačení IMD produktů bude dosaženo 100 V LDMOS technologie?
- 8) U Doherty topologie byla prezentována pouze jedna kombinace pracovních tříd u větvi zesilovačů. Lze obecně pro specifický signál (např. M-QAM) definovat optimum k dosažení maximální účinnosti a současně potlačení IMD produktů?

V Brně dne 1. 6. 2015

  
-----  
doc. Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.  
Ústav radioelektroniky  
FEKT, VUT v Brně  
Technická 3082/12, 616 00 Brno