

## Hardwarové řešení přepínání šířky pásma u radioreleových spojů

L. Vacek<sup>1</sup>, J. Petržela<sup>2</sup><sup>1</sup>Tesla a.s., Poděbradská 56/186, 180 66 Praha 9 - Hloubětín<sup>2</sup>Ústav radioelektroniky, FEKT, VUT v Brně, Purkyňova 118, 612 00 Brno

e-mail : petrzelj@feec.vutbr.cz

### Anotace:

Článek stručně popisuje možnosti obvodového řešení přepínání šířky kmitočtového pásma u radioreleových spojů. Je ukázáno, že tento problém je řešitelný pomocí sady SAW filtrů. Návrh odpovídajícího zařízení je popsán krok za krokem, a to včetně experimentálního ověření. V článku je rozebrána jak motivace hovořící pro přepínání šířky pásma tak také související perspektivní témata pro budoucí radioreleové spoje.

### Abstract:

This paper briefly describes possible circuit implementation of switching bandwidth property in the case of the radio relay connections. It is shown that this problem can be solved by a set of SAW filters. The design of corresponding device is described in step-by-step manner including experimental verification. In this paper both motivation for switching bandwidth and future promising topics dedicated to radio relay machines are discussed.

## ÚVOD

Technika datového přenosu v radioreleových (RR) spojích je v současné době až na několik výjimek založena na kvadraturních modulacích  $m$ -QAM, kde stupeň  $m \in (2^2, 2^3, \dots, 2^8)$ . Obecně platí, že čím větší přenosová kapacita je požadována, tím větší nároky jsou kladeny na kvalitu kanálu, tedy na větší poměr signálu od šumu (S/N) na přijímači. V praxi je často nevýhodné provozovat RR spoj s velkou přenosovou kapacitou i za přechodně zhoršených podmínek, způsobených například úniky, hustým deštěm, atd. Pro zabezpečení dostatečně malé chybovosti je v těchto případech třeba využívat velké antény nebo vysílací výkony, což reprezentuje finanční náročnost. Jako ekonomičtější řešení se jeví dočasné snížení nároků na kvalitu přenosového kanálu snížením spektrální účinnosti (adaptabilní modulací umožňující změnu stupně  $m$ -QAM) nebo zvýšení odstupu S/N zmenšením výkonu šumu v kanálu zúžením jeho šířky. Pro změnu šířky pásma hovoří také fakt, že za každý zabraný MHz šířky pásma se každoročně platí Českému telekomunikačnímu úřadu. Není efektivní provozovat širší kanál než je nezbytné k přenesení požadovaného objemu dat. Filosofii přepínání šířky pásma podporuje i fakt, že naprostá většina dnešních spojů je softwarově definovaných, to znamená, že jejich modemy jsou digitální (mikropočítače), patřičná výstupní spektra jsou přímo syntetizovaná převodníky D/A a o stupni modulace i charakteru přenášených dat rozhoduje pouze aplikační software. Hardware je zde univerzální a umí vše. Pro uživatele je výhodné, když si mohou volit šířku kanálu nejen při instalaci RR zařízení, ale i za provozu. Další kapitoly článku pojednávají o tom, čím je třeba vnější část běžného RR zařízení doplnit, aby se skutečně šířka pásma přepínat mohla. Konkrétní šířky kanálů jsou 7MHz, 14MHz, 28MHz, 40MHz a 56MHz [1].

## SPECIFIKACE RR ZAŘÍZENÍ

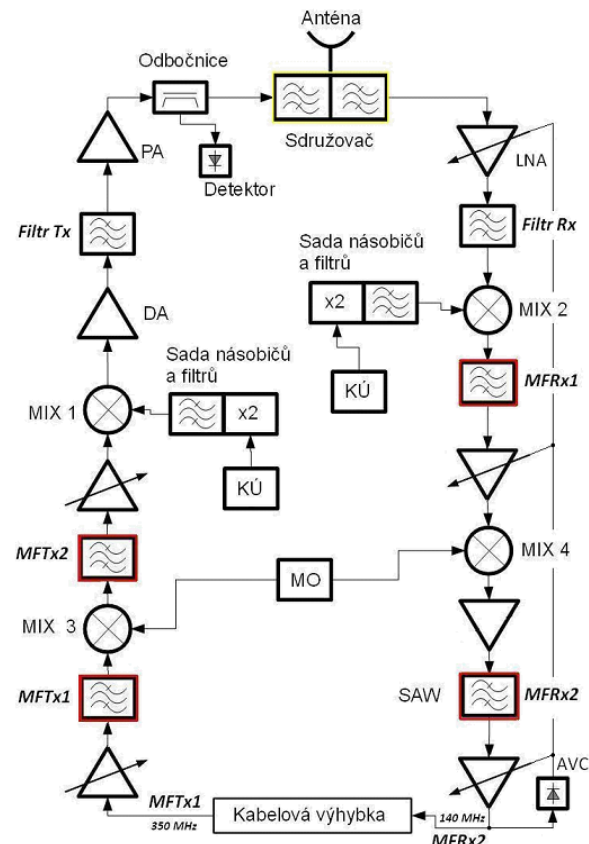
Standardní RR zařízení se skládá ze dvou hlavních částí, vnitřní a vnější jednotky (ODU). Vnitřní blok obstarává kromě zpracování dat i signálové a silové spojení s okolním světem a vždy je umístěno uvnitř stavby nebo skříně. ODU vytváří a zpracovává vlastní rádiový signál, je spojeno s anténou a nejčastěji je umístěno poblíž ní, tedy venku na stožáru. Výjimku tvoří stacionární páteřní síť, kde je ODU u starších zařízení nedílnou či u nových systémů oddělenou součástí vnitřních stojanů. S anténou je zde spojeno přes sdrůžovač dlouhým vlnovodem. Podívejme se nyní blíže na obě části z hlediska kmitočtové závislosti jejich obvodů a bude nás zajímat i systém spojení mezi nimi. Zaměříme se přitom na zařízení mobilního typu, kde anténní sdrůžovač je zpravidla nedílnou součástí ODU.

Při vhodném návrhu a konstrukci vnitřní jednotky RR zařízení není její žádná část natolik závislá na šířce kanálu, aby bylo nezbytné ji se změnou této šířky přepínat nebo jinak obvodově měnit. Obecně lze konstatovat, že je třeba pouze dbát na to, aby veškeré filtry v signálové cestě měly šíři pásma tak velkou, aby neořezávaly pásmo ani toho nejširšího kanálu a veškeré použité řízené zesilovače byly tak pomalé, aby nestačily reagovat na změny amplitudy ani té nejpomalejší čáry modulačního spektra.

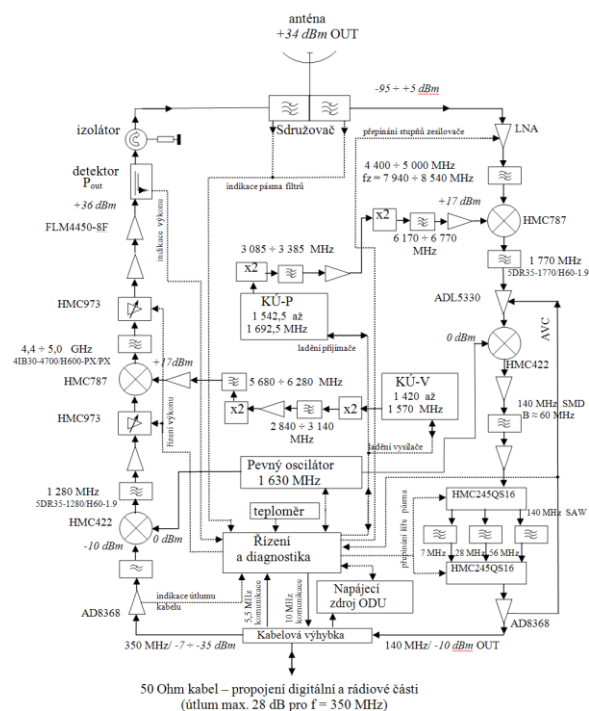
Blokové schéma ODU je uvedeno na obrázku 1, kde jsou bloky související s přepínáním šířky pásma barevně zvýrazněny. Na šířce pásma, respektive přesněji na kanálovém odstupu, jsou nejvíce závislé mezifrekvenční filtry (MFF), které v podstatě utvářejí selektivitu přijímače a výrazně ovlivňují šumy a parazitní složky vysílaného spektra. Zatímco na vysílací straně jsme nuceni dodržet šumová omezení vysílaného spektra a MFF jsou nástrojem k potlačení hladiny těchto šumů, na straně přijímací jsme nuceni

zajistit minimální odolnosti proti zarušení signály sousedních kanálů a MFF jsou nástrojem k potlačení jejich kmitočtů. MFF s označením MFTx2 je filtrem vyšší (druhé) mezifrekvence vysílače. Má potlačovat parazitní kmitočty prvního směřování a především kmitočty pevného místního oscilátoru (MO) a obzvláště ty jeho násobky, které by eventuelně padly do vysílaného pásma. Též zajišťuje frekvenční oddělení obou směšovačů vysílače (MIX 1 a MIX 3). Vzhledem k tomu, že druhý mezifrekvenční kmitočť vysílače se většinou pohybuje v jednotkách GHz, bývá tento filtr takřka výhradně z dielektrických koaxiálních rezonátorů, které představují kompromis mezi velikostí, útlumem a pořizovací cenou. Neslouží k tvarování širší spektra (to je na vysílací straně doménou modemu), z důvodů teplotní stability a výrobních tolerancí (filtry bývají na požadovanou frekvenci jemně doladovány) musí být vždy o něco širší (i když třeba jen o málo), než je šířka kanálu. Jeho přepínání by připadalo v úvahu pouze v případě nutnosti omezení šumů vysílaného spektra, pokud by jeho univerzální šíře (nejširšího kanálu) vedla k neshodě s administrativními předpisy, to jest šumy by vylézaly přes povolenou masku v případě užších kanálů. Blok MFTx1 slouží k ochraně řízeného kabelového zesilovače, respektive jeho detektoru, před signálem MO. Většinou plně postačuje filtr typu dolní propust. Pokud však nastanou problémy s velikostí šumů ve spektrální masce pro užší kanály a budeme chtít tyto šumy potlačit, je lépe udělat tento filtr jako laděnou pásmovou propust a v různých šířkách ji přepínat současně se změnou šířky pásma. Dosáhneme tím srovnatelných výsledků jako přepínáním filtru MFTx2, ovšem za výhodnějších ekonomických podmínek. Blok označený MFRx1 potlačuje parazitní produkty prvního směšování přijímače a vymezuje pásmo kmitočtů zesílených na jeho prvním mezifrekvenčním kmitočtu. Jedná se o analogii k MFTx2 včetně kmitočtů i typu filtru. Zde však nejsou problémy se šumem mimo pásmo, neboť šumové číslo přijímače je v dB řádově nižší než vysílače a tento filtr může být realizován univerzální, tedy nepřepínaný se šíří nejširšího pracovního kanálu. Dalším filtrem ODU je MFRx2, který je z hlediska selektivity přijímače nejdůležitější. Je posledním z filtrů přijímací kaskády a musí zvládnout to, co filtry před ním pro svou nadbytečnou šířku pásma zvládnout nemohly. Vymezuje totiž pásmo kmitočtů, na které bude reagovat automatické řízení citlivosti (AVC). Standardně se používají filtry v technologii SAW, jejichž fyzikální činnost je založena na šíření tzv. povrchové akustické vlny. Tyto filtry jsou ostře selektivní, laděné přesně na šíři kanálu. Z hlediska vlastní funkce přijímače není extrémní strmost tohoto filtru nutná. Stačí, budou-li potlačeny kmitočty oscilátorů, které by mohly narušit činnost koncového řízeného zesilovače (ovládajícího činnost AVC). Protože je však nutno zajistit uspokojivou činnost přijímače nikoliv jen v laboratorních podmínkách, ale

i za plného provozu v hustě zaplněném éteru, je přepínání tohoto filtru se změnou šíří pásma naprosto nutné. Detailnější realizace ODU včetně systému pro přepínání šířky pásma je uvedena na obrázku 2.



Obr. 1: Obecné blokové schéma ODU



Obr. 2: Podrobnější blokové schéma ODU s implementovanou možností přepínání šířky kmitočtového pásma

Blok zesilovače a detektoru na výstupu přijímacího řetězce má zajistit konstantní výstupní úroveň signálu přijímače bez ohledu na velikosti úrovně vstupní a je řízen, případně současně s dalšími předchozími zesilovači kaskády, detekovaným napětím (výkonem) ze svého výstupu, které představuje ovládací napětí AVC. Pro časovou smyčku řízení výkonu platí to, co o všech ostatních řízených zesilovačích – čas odezvy na změny zisku nesmí ovlivnit modulační změny signálu v žádné z uvažovaných šířek kanálů.

## PŘEPÍNÁNÍ ŠÍŘKY PÁSMO

Přepínat šířku pásma nelze bez ztráty dat, neboť během přepnutí provádíme současně softwarovou rekonfiguraci obou bodů RR spoje a nezbytně dojde k přerušení spojení. Přerušení je však krátkodobé, odhadem stovky ms až jednotky s, přesnější údaj by vyžadoval měření na zbudovaném systému. Proto k přepínání šíře pásma za provozu nejsou určeny spoje v režimu synchronních přenosů, ale výlučně spoje s nesynchronním provozem, tedy Ethernet. Jedním z důvodů vedoucím k nutnosti přepnout šířku pásma je unifikace ODU při provozně pevné šíři pásma. Jedná se v podstatě o případ, kdy se provozovateli vyplatí ze servisních a logistických důvodů provozovat spoje různých datových rychlostí v placených frekvenčních pásmech jedním typem zařízení (ODU), byť i nepatrně dražším. Šířka kanálu je pak za provozu pevná, rozhodují požadavky na datovou prostupnost trasy. Cílem je provozovat jen nezbytně nutnou kanálovou šíři a tím ušetřit na každoročních poplatcích radiokomunikačnímu úřadu. Analogickým případem může být spoj typu poslední míle ve volném i placeném pásmu, kdy na základě kvality trasy (délka skoku, přijatelná velikost antény) lze zvolit šířku kanálu tak, aby spojení svou spolehlivostí vyhovělo bez nutnosti přidávat další skok či nadmíru zvětšovat antény. Kapacita spoje pak není libovolná, ale závislá právě na této použitelné šíři kanálu a ostatních parametrech trasy. Dalším případem, kdy může být požadováno ODU s úzkou šíří kanálu, je příliš zaplněné kmitočtové pásmo (typické pro volná pásmo), které v dané lokalitě nedovoluje použití nového zařízení se širokou šíří pásma, aniž by došlo ke vzájemnému rušení stávajících a nového zařízení. I zde je výhodné použít univerzální ODU, kde se šíře pásma pouze přepne, než kupovat zcela odlišné od jiného výrobce. Všechny takto koncipované spoje lze provozovat i v synchronním režimu (PDH). Dalším důvodem přepnutí šířky pásma je odezva na změnu kvality trasy. Zde máme na mysli adaptibilitu spoje, který je schopen na základě vlastní inteligence reagovat na aktuální kvalitu trasy. Při zhoršení poměru S/N na vstupu demodulátoru se spoj bude snažit tento poměr zlepšit. Prvním krokem zřejmě bude zvýšení výkonu protějšího vysílače (APC). Dalším krokem pak může být změna stupně modulace (ACM). Dle tabulky 1 se změna modulace projeví změnou S/N zhruba o 3 dB na každý stupeň

změny QAM. To je zcela ekvivalentní změně šířky pásma na dvojnásobek respektive napolovic. Snížení stupně QAM sice přináší i možnost zvýšení výstupního výkonu, avšak velmi nepatrně, prakticky činí rozdíl jen 4 až 5 dB mezi 4-QAM a 256-QAM. Vzhledem k tomu, že zhoršení poměru S/N vyžaduje v kritických momentech korekci co největší (3 dB v případě vyčerpání možností APC jsou příliš málo), je vhodné kombinovat změnu šíře pásma se změnou stupně QAM. Pak v rozmezí 4-QAM až 256-QAM lze S/N změnit o cca 20dB a v rozmezí šířek kanálů B=7MHz až B=56MHz o dalších 9dB, celkem lze tedy takto ovlivnit poměr S/N o zhruba 30dB, což většinou přesahuje i rozsah praktického použití APC. Dynamiku řízení S/N lze navíc ještě ovlivnit volbou různé silných zabezpečovacích kódů (FEC typu RS či LDPC různého stupně odolnosti). Datová kapacita trasy se pak v závislosti na stupni modulace, šířce kanálu a typu kódu též dynamicky mění, proto lze takováto zařízení využívat výhradně pro asynchronní provoz (Ethernet). V tabulce 2 jsou uvedeny velikosti datových toků při konstantním nastavení pro provoz ACM pro různé stupně modulace v závislosti na modulační rychlosti, potažmo na šíři pásma kanálu. Srovnáním se vstupní citlivostí jednotlivých modulací (viz tabulka 1) je vidět, že pokud se kvalita trasy nezhoršuje v důsledku vnějšího rušení, je pro její vylepšení mnohem výhodnější použít ACM, než měnit šířku pásma. Zlepšení kvality trasy o 3dB v důsledku snížení stupně modulace o jeden řád, což je ekvivalentní zúžení šířky pásma kanálu napolovic, totiž znamená výrazně menší ztrátu přenosové rychlosti, navíc ji lze provést bez přerušení datového toku. Přepínání šířky pásma tedy hlavně přichází v úvahu v případě cizího rušení a v případě potřeby posílit dynamiku provozu ACM.

Spectral Efficiency		10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-9</sup>
2	QPSK	9,8	13,5	15,6
4	16-QAM	16,6	20,5	22,6
5	32-QAM	19,5	23,5	25,7
6	64-QAM	22,6	26,8	29,1
7	128-QAM	25,6	30,0	32,6
8	256-QAM	29,4	36,0	44,1

Tab. 1: Nekódovaný BER a požadovaný poměr S/N

modulační rychlost [MBaud]	šíře kanálu [MHz]	velikost celkového datového toku [Mbps]						
		QPSK	8 APFK	16 QAM	32 QAM	64 QAM	128 QAM	256 QAM
46,6	56	69,9	104,7	139,5	176,4	229,2	273,9	318,9
35,7	40	53,3	80,1	106,7	134,8	175,3	209,5	243,9
25	28	37,3	56,1	74,7	94,4	122,8	146,7	170,8
12,5	14	18,6	28,0	37,3	47,2	61,4	73,3	85,4
6,25	7	9,3	14,0	18,6	23,6	30,7	36,6	42,7

Tab. 2: Celková kapacita spoje RR 4700spec v závislosti na modulaci a šířce kanálu

## NÁVRH A REALIZACE PŘÍPRAVKU

Ukazuje se, že v blokovém schématu ODU je nutno přepínat pouze filtr druhé mezifrekvence přijímače 140MHz na místě SAW. Pro informativní měření vlastností přijímače s přepínáním kanálových filtrů (konkrétně máme na mysli odolnosti proti zarušení

sousedními kanály) navíc tento přepínací blok nemusí být nutně umístěn před detektorem AVC, ale může se nacházet až v přijímací části vnitřní jednotky RR spoje, případně může být přímo součástí přijímací strany kabelové výhybky. To umožní provést orientační měření s užitím ODU sériové výroby, kde je možno povelově vyřadit z činnosti kanálový filtr před detektorem AVC v přijímači, tedy udělat tento přijímač širokopásmovým.

Teoreticky lze přepínací blok MFF koncipovat v podstatě několika způsoby. První postup je takový, že na každou šířku kanálu použijeme vlastní filtr, laděný přesně na šířku kanálu. Tedy přepínat filtry šířky 7, 14, 28, 40 a 56 MHz (celkem 5 různých kusů). Užší filtry (7MHz a 14MHz) jsou navíc příliš úzké pro SMD konstrukci a zřejmě by musely být typu SAW, a pak ostatní asi také. Ve výsledku se jedná o drahé řešení, navíc vzhledem k selektivitám vlastního modemu a v důsledku nepřepínaných dalších filtrů už stejně snížené odolnosti proti zarušení zbytečně přepychové. Toto řešení by přicházelo v úvahu pro speciální použití, vyžadovala-li by se maximální odolnost proti ovlivnění detektoru AVC a byl-li by současně mikrovlnný vstup přijímače mimořádně odolný (řízený LNA). Pro laciná RR zařízení typu poslední míle vcelku nevhodné.

Další možností je využít vlastní selektivity modemu a použít o něco širší filtry než je šířka kanálu, které by se už snáze daly udělat jako SMD. V případě selektivity filtru šířky 56MHz by bylo možno vypustit vlastní filtr pro šířku 40MHz, toto pásmo by se pokrylo strmým filtrem šířky 56MHz. Přepínaly by se tedy pouze čtyři filtry (7+14+28+56 MHz). Opět je nepříjemný úzký filtr o šířce pásma 7MHz, jehož provedení v SMD verzi nepřipadá v úvahu s ohledem na příliš nízkou kvalitu součástek. Komerčně dostupné součástky pro SMD montáž umožňují zkonstruovat se slušnými vlastnostmi pouze filtr šířky 56MHz, užší filtry by zřejmě musely být LC konstrukce s laděnými cívkami s velkým činitelem jakosti a filtr 7MHz by byl asi opět SAW. Vzhledem k pracnosti ladění LC filtrů se ani tato varianta nejeví optimální.

Třetí variantu lze považovat kompromis mezi první a druhou variantou. Použití ostré SAW filtry 7MHz a 28MHz a strmý SMD filtr se šířkou pásma 56MHz. Pak SAW filtr 28MHz pokryje i šířku pásma 14MHz a strmý SMD 56MHz šíří 40MHz. Výrobně je to přijatelné, není třeba nic ladit, samozřejmě cena za to je využití dvou SAW filtrů. Tato varianta se zdá být nejschůdnější a z hlediska náročnosti vývoje, protože není třeba experimentovat s SMD a LC filtry, SAW filtry lze vybrat z nabídky řady firem a SMD filtr použít z vývojového setu firmy Provigent. Lze volit i mírně dražší, ale technologicky kompaktnější řešení, kdy na místo SMD filtru s šířkou pásma 56MHz opět použijeme SAW filtr o stejné šířce pásma. V praxi lze volit strmosti filtrů i jinak, a to vypustit šířku 7MHz a pásmo filtrovat až filtrem se šířkou 14MHz (který pak ale musí být ostrý), dále použít ostrý filtr 40MHz,

který bude filtrovat zároveň i šířku 28MHz, a na místě filtru 56MHz pak použít méně strmý filtr. Vzhledem k tomu, že v případě, kdy se snažíme zužováním šířky pásma zbavit rušení, je šířka 7MHz poslední nadějí, raději volíme filtraci této šířky co nejlepší a pro praktické ověření preferujeme poslední, třetí variantu obvodové realizace.

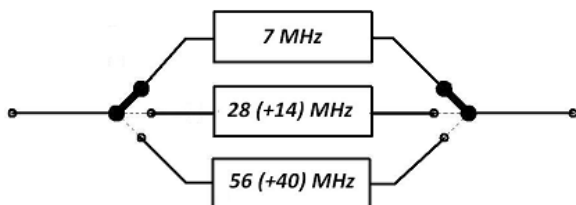
Filtry jsou nejpodstatnější částí přepínacího bloku. Další částí bude elektronický přepínač s ovládním softwarově spřaženým s rekonfigurací RR spoje. V případě použití SAW filtrů bude blok nutno doplnit zesilovačem kompenzujícím útlumy filtrů. V rámci experimentálního ověření byla testována varianta dle obrázku 3. Teoreticky lze všechny potřebné filtry sestavit jako LC, které mají oproti SAW výrazně menší útlum, a to o cca 20dB. Zde je ovšem třeba se smířit s jejich ručním doladováním, jehož pracnost při výrobě bude nepřímo úměrná péči věnované jejich vývoji, hlavně technologickému řešení jednotlivých typů rezonancí pro danou šířku filtru a jejich fixaci (co nejméně pracně nastavení na frekvenci). V podstatě by to vyžadovalo zdoluhavý vývoj s nejistým výstupem, byť s vidinou nejnižší výrobní ceny. Pro systémové ověření funkce bloku přepínání šířky pásma raději preferujeme řešení se SAW filtry, a to zřejmě i na místě filtru šířky 56MHz. Ke konstrukci přepínacího bloku filtrů tedy potřebujeme SAW filtry se šířkou pásma 7MHz a 28MHz (eventuelně i 56MHz) a přepínač z jedné do tří poloh slušně fungující (s dostatečnou izolací) na 140MHz. Pro SAW filtry se lze rozhodovat mezi řadou výrobců, zůstáváme u typů už u výrobků firmy TESLA Hloubětín použitých (a u osvědčeného výrobce). Použijeme zřejmě filtry Sawtek dle [3] a [4], případně [5].

Jednotlivé filtry realizovaného vzorku jsou přepínány polovodičovým přepínačem typu SP3T, přepínání z jedné do tří poloh. Pro tuto variantu byl nalezen vyhovující typ integrovaného obvodu, detaily viz [6]. Pro vyrovnání výkonových úrovní je blok filtrů třeba doplnit jedním nebo několika zesilovači, zřejmě typu ERA-1 [7]. Vše je napájeno z externího zdroje +5V, inicializace přepnutí je ruční pomocí trnového jumperu (viditelného na fotografii) nebo z výstupů řídicího mikroprocesoru.

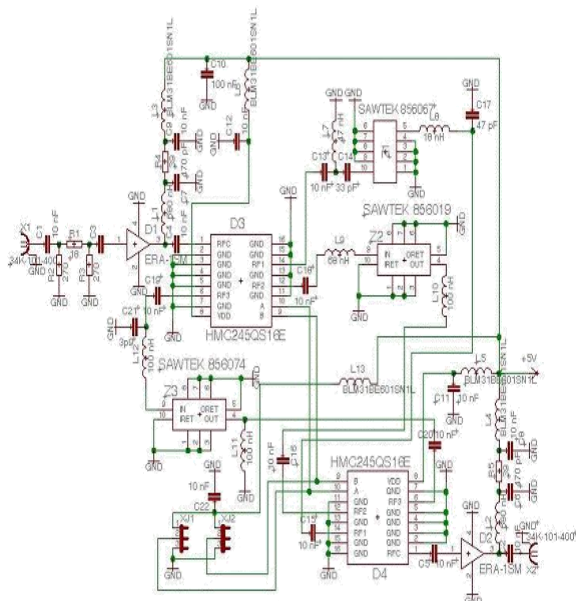
Na základě výše uvedených úvah podepřených detailním měřením byl navržen jednoduchý přípravek pro experimentální ověření vlastností jak jednotlivých filtrů, tak přepínacího bloku jako celku. Přípravek je koncipován jako autonomní blok se ziskem 0dB, který je možno vložit do obvodů přijímače jakékoliv vhodné ODU, případně přímo před modem, aniž by došlo k velkým změnám zisku celé přijímací kaskády. To alternativně umožní použít při měření zarušení už vyvinutý či vyráběný RR spoj jen s malými úpravami (třeba jen najít místo, kam je možno tento přípravek vložit) a není třeba vyvíjet celý nový systém. Základním požadavkem je, aby filtry v jednotlivých větvích výrazněji potlačovaly až kmitočty vzdálené dvě kanálové šířky od středu pracovního kanálu.

Skutečné návrhové schéma zapojení je na obrázku 4, na obrázku 5 je pak fotografie přípravku přepínaného bloku filtrů. Vnitřní provedení ODU se zabudovaným přípravkem pro přepínání šířky pásma je uvedeno na obrázku 6. Po ověření byl celý systém RR spoje sloučen, viz obrázek 7.

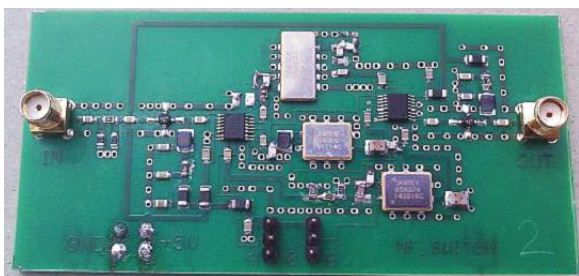
Pro dosažení co nejlepších vlastností je třeba věnovat zvýšenou pozornost návrhu tištěného spoje, který musí v maximální možné míře zajistit izolace mezi vstupem a výstupem všech filtrů, jakož i vysokou izolaci mezi oběma přepínači, detail na obrázku 8. Uvážíme-li, že základní útlumy filtrů se pohybují kolem 20dB, pak k dosažení odstupu 60dB na filtrech je třeba zajistit základní izolaci desky 80dB, což skutečně vyžaduje použití všech možných prostředků. Zdá se, že z tohoto pohledu je již dosaženo praktického maxima, tudíž odstup 40dB (viz obrázek 9) je třeba brát jako reálný stav.



Obr. 3: Koncepce bloku přepínaných filtrů



Obr. 4: Kompletní návrhové schéma bloku přepínaných filtrů



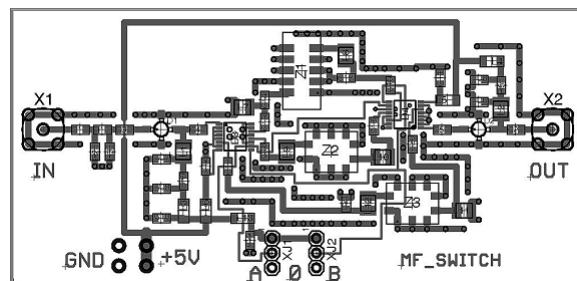
Obr. 5: Fotografie přípravku pro přepínání šířky pásma



Obr. 6: Fotografie realizace ODU se separátní deskou pro přepínání šířky pásma



Obr. 7: Fotografie výsledné realizace ODU s integrovanou možností přepínání šířky pásma

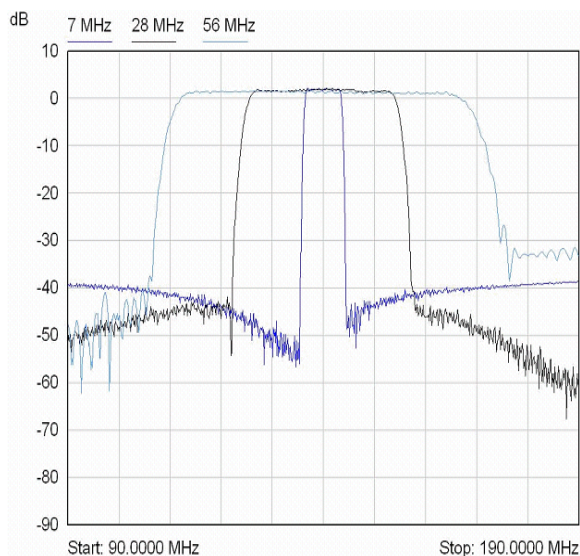


Obr. 8: Deska tištěného spoje bloku přepínání filtrů

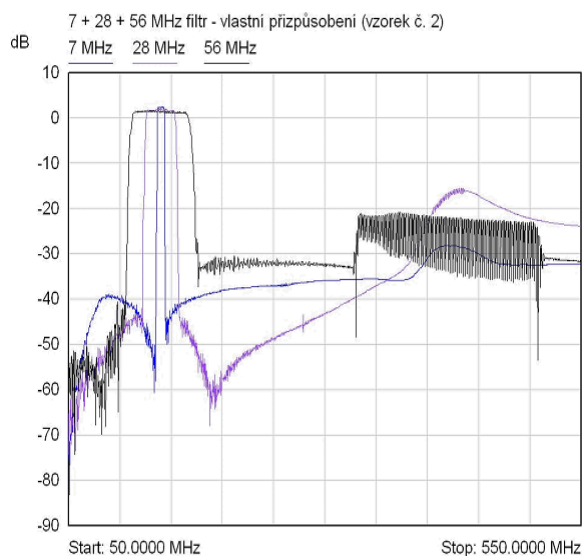
## EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ

Přípravek byl nejprve měřen separátně (doladěno přizpůsobení jednotlivých SAW filtrů), i v rámci RR zařízení, kde byl umístěn až za řízeným zesilovačem AD8368 (viz obrázek 6), tedy v blokovém schématu (obrázek 1 a 2) mezi výstup přijímače a kabelovou výhybkou. Po ověření, že tento systém splní požadavky normy [1], bylo přistoupeno ke konstrukci finální verze (blokové schéma podle obrázku 2). Vzhledem k tomu, že oproti samotnému přípravku u finální verze došlo ke změně fyzické realizace topologie zapojení, je nutno přizpůsobení filtrů zkontrolovat a případně upravit. Naměřené kmitočtové vlastnosti přepínaného bloku MFV v návrhovém zapojení (při konstantním zesílení řízeného zesilovače AD8368) se však od

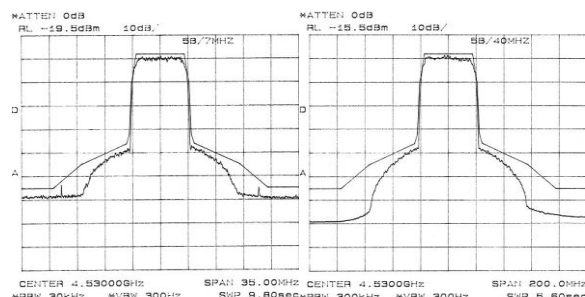
měření na přípravku uvedeném na obrázku 9 a 10 nikterak neliší. Naměřené charakteristiky tedy napovídají, že přizpůsobení filtrů je blízko optima a není tedy třeba žádných dalších úprav. Na obrázku 11 jsou pro ilustraci uvedena změřená spektra ve vztahu k normativní spektrální masce pro modulační rychlosti odpovídající šířce kanálu 7MHz a 40MHz.



Obr. 9: Naměřené přenosové charakteristiky přípravku



Obr. 10: Přenosové charakteristiky bloku přepínaných filtrů měřené v širokém kmitočtovém rozsahu



Obr. 11: Spektra pro symbolovou rychlost 6,25 Mbaud (vlevo) a 35,7 Mbaud (vpravo) při  $P_{out}=+29$  dBm

## ZÁVĚREČNÉ SHRNTÍ

Článek se zabývá možností přepínat šířku pásma kanálu u RR zařízení, na něž nejsou kladeny extrémní požadavky na odolnost vůči zarušení. Jedná se hlavně o RR spoje v kmitočtově nekoordinovaných volných pásmech, nejčastěji typu poslední míle a typicky pracující pouze v režimu Ethernet. V textu je uvedena typická koncepce RR zařízení a její bloky, které mají přímou vazbu na šířku přenášeného pásma signálu. Je uvažován systém s modulací QAM obecného stupně, založený na digitálním zpracování signálu až do úrovně modemu, jehož funkčním představitelem je obvod PVG610 firmy Provigent. Studie se soustřeďuje na RR spoj složený z oddělené vnitřní a vnější jednotky navzájem propojených koaxiálním kabelem, kde širokopásmový anténní sdrůžovač je nedílnou součástí ODU. Takovéto klasické uspořádání je totiž systémově nejproblematičtější a jiná konstrukční řešení znamenají z hlediska přepínání kanálové šířky jen zjednodušení. S využitím výsledků testovacích měření je navržen součástkově optimalizovaný a cenově nejvýhodnější systém, umožňující přepínat šířky kanálů v rozsahu  $B=7+14+28+40+56$  MHz. Tento systém přepíná pouze tři typy filtrů, dva ostré typu SAW šířky 7MHz a 28MHz a jeden typu SMD či laděný LC, eventuelně také SAW, šířky 56MHz.

## PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl s podporou projektu FR-TI3/447 s názvem Nové technologie pro mikrovlnné spoje.

## LITERATURA

- [1] harmonized european standard ETSI EN 302 217-2-2 V1.4.1 fixed radio systems; characteristics and requirements for point-to-point equipment and antennas; part 2-2: digital systems operating in frequency bands where coordination is applied.
- [2] soubor firemní dokumentace Provigent PVG610 data sheet PVG610\_DSH\_002\_H4; PVG9610 development kit data sheet: PVG9610\_DSH\_001\_C1, Provigent Ltd. Herzlia, Israel, 2008.
- [3] preliminary data sheet: part number 856019, 140MHz SAW Filter, Sawtek.
- [4] data sheet: part number 856067, 140 MHz SAW filter, Sawtek.
- [5] preliminary data sheet: part number 856074, 140MHz SAW filter, Sawtek.
- [6] data sheet: HMC245QS16/245QS16E, GaAs MMIC SP3T non-reflective switch, DC-3.5 GHz, Hittite Microwave Corporation.
- [7] data sheet: monolithic InGaP HBT MMIC amplifier ERA-1SM+, Mini-Circuits.