

# Modulace FM a distribuce signálu k vysílači

## Úvod

Cílem tohoto článku je stručné přiblížení problematiky modulačního procesingu pro FM, tedy takového zpracování zvukového modulačního signálu, které dovolí maximalizovat využití vysílače, bez překračování normami daných limitů se zachováním návaznosti na modulační přenosové trasy.

## Proč je modulační procesor třeba?

O zpracování signálu při vysílání FM se snažíme jak z technických, tak z uměleckých důvodů. Technickým cílem je co nejlepší využití poměru signál/šum a šířky pásma přenosového kanálu bez toho, aby docházelo k přemodulování. Uměleckým cílem je možnost nastavení zvuku uživatelem. Může to být nastavení, které téměř neovlivní zvuk, nebo nastavení které vytváří silně specifický zvuk, charakteristický pro danou stanici a silně měnící charakter originálu. Většina stanic pracuje někde mezi těmito extrémy. Hlavním cílem je většinou dosažení vyšší subjektivní hlasitosti při dodržení špičkové modulace, kterou zvládá přenosový kanál.

Pokud vysílaný signál splňuje požadavky na dodržování špičkového zdvihu a šířky pásma (tyto požadavky jsou definovány v ČR ČTÚ) nelze snadno rozlišit dobrý a špatný procesing, neboť zvuk je subjektivní záležitost. Častým požadavkem je zohlednění původního charakteru signálu – proto je procesing značně kontroverzní a někdy vyvolává výhrady proti stanicím, které jej používají. To je dnes ovšem každá stanice pracující na FM (i řada AM či televizních stanic). Procesing musí být posuzován podle výsledků – především podle toho, jestli stanice dosahuje požadované poslechovosti. Pokud by se některá stanice z uměleckých důvodů procesingu vzdala úplně, nízká hlasitost, špatné využití vysílače a nekonzistentnost jejího zvukového projevu by mohla znamenat neschopnost zvukově konkurovat ostatním. Otázkou tedy není zda procesing používat či nepoužívat, ale pouze jak jej nastavit.

Ukazuje se, že procesing musí být nastaven bez ohledu na názory hifi fandů, puristů a všech ostatních, kteří vnímají procesing jako zlo, které není nutné. Navíc je potřeba zohlednit většinové kritérium a reálné poslechové podmínky, které se od puristických stanovisek většinou velmi liší. Nezávislé testy ukazují, že početná skupina posluchačů silně prefe-

ruje procesovaný signál. Tato obliba jde často tak daleko, že posluchači, kteří si zakoupili originální CD, jsou jeho zvukem zklamáni, protože jej dosud znali pouze z rozhlasového vysílání. Z rádia zní díky modulačnímu procesingu „hutněji“ a originální CD se zdá zvukově „suché“.

Potřeba modulačních procesorů se objevila v USA v průběhu šedesátých let. Tehdejší snahy řešit problém snadného přebuzení vysílače pomocí širokopásmových kompresor/limiterů nepřinesly požadovaný efekt. Problému si tehdy povšimnul student elektrotechnické fakulty (ze známé Stanford University) – Robert Orban. Provedl řadu pokusů a podrobně analyzoval vlastnosti vysílacího řetězce z hlediska překmitů. Zkonstruoval prototyp modulačního procesoru, založený na široké analýze problémů. Od roku 1975 vyrábí firma ORBAN modulační procesory pro FM se zabudovaným stereofonním kódérem. Jejich výrobky dostaly název Optimod (optimální modulace). Dodnes si mnoho lidí plete pojem modulační procesor s označením Optimod.

Od doby vzniku prvních modulačních procesorů pro FM u firmy ORBAN uběhlo již téměř 30 let. Podobná zařízení začaly postupně produkovat i další firmy v USA a v Evropě. Do konstrukce modulačních procesorů byla postupně vnesena řada novinek, částečně z popudu jejich konstruktérů, částečně podle požadavků jejich provozovatelů. Inovace lze rozdělit do dvou hlavních oblastí.

První jsou inovace zvukových vlastností procesorů, kde postupem času došlo k odklonu od původní koncepce téměř neslyšitelného procesingu, sloužícího pouze pro ochranu a lepší využití vysílače. V sedmdesátých a na počátku osmdesátých let nemusel puristicky zaměřený posluchač dokonce vůbec poznat že poslouchá nějakým způsobem upravený signál. Takový procesing ovšem neumožňoval dosažení vysoké hlasitosti a silně charakteristického projevu dané stanice. Dá se říci, že v počátcích procesing plnil primárně technické cíle.

Postupem doby se měnily požadavky provozovatelů. Hlasitost stanice při nepřekračování zdvihu se začala stávat konkurenční záležitostí. Začalo platit, že kdo hraje (při dodržení telekomunikačních norem) nejhlasitěji, ten má silnou konkurenční výhodu. Současně se stupňovaly požadavky na konzistentnost projevu stanice. Znamená to následující: celkový do-

jem ze zvuku se nemá příliš lišit skladbu od skladby. Zvuková ukázka, která má z CD například silné výšky, má znít podobně, jako ukázka, která má v originále výšky nevýrazné. Požaduje se tedy normování spektra zvukového signálu na výstupu procesoru. Tento požadavek vedl k širokému rozšíření vícepásmové koncepce modulačních procesorů, které jsou schopny provádět toto spektrální normování.

Druhou stránkou vývoje modulačních procesorů jsou technologické inovace. Původně analogové obvody s analogovým nastavováním parametrů (potenciometry), se začaly v průběhu devadesátých let nahrazovat číslicově řízenými analogovými obvody a v druhé polovině devadesátých let obvody čistě digitálními. Po roce 2000 je již většina modulačních procesorů realizována digitálními technologiemi. Digitální realizace znamená, že modulační procesor je tvořen rychlým jednocelovým počítačem, který všechny signálové procesy provádí pomocí výpočtů na vzorcích vstupního signálu. Výpočty probíhají podle algoritmů, které určují výsledné zvukové a technické parametry. Nedílnou součástí modulačních procesorů je stereofonní kódér, optimalizovaný pro provoz s procesorem. Často nelze ani vést oddělovací hranici mezi tím, které odvody v zapojení patří do vlastního procesoru a které do stereofonního kódéru. Výstupní zakódovaný stereofonní signál (MPX) vytvářený kódérem musí být v každém případě bezpřekmitový, aby nedocházelo k nepříznivému ovlivnění signálu, který byl již dokonale zpracován v předcházejících obvodech.

## Současný stav

Dnes vyráběné modulační procesory jsou téměř bezvýhradně realizovány pomocí digitálních technologií. Standardním řešením se stalo použití výkonných obvodů DSP (Digitální Signálový Procesor) pro realizaci jádra modulačního procesoru. Veškeré operace, jako jsou kmitočtové filtrace, komprese, limitace atd. jsou prováděny v číslicové doméně, tj. matematickými operacemi s čísly, které představují hodnoty vzorků signálu. Vlastní výpočty jsou realizovány v obvodech DSP, které provádějí instrukce, uložené v programové paměti. Výhodou digitální realizace je mimo jiné i možnost provádět se signálem operace, nerealizovatelné v analogovém zařízení. Jedná se například o fá-

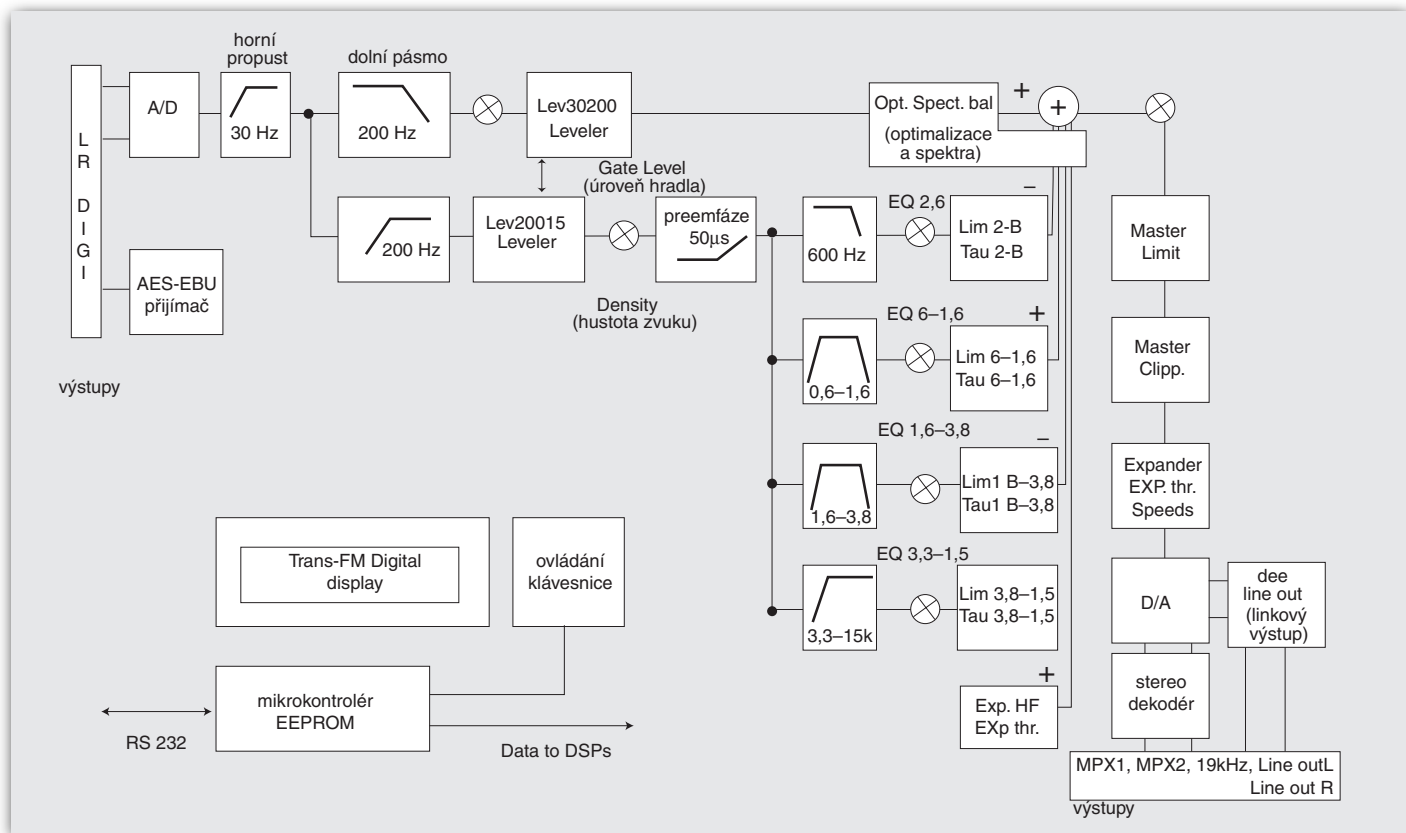
zově-lineární filtrace, nebo obecně procesy, které vyžadují znalost budoucího průběhu signálu (predikce). Takové procesy umožňují zdokonalit vlastnosti například filtrací a limitací prostřednictvím procesoru. Typickým příkladem jsou digitální filtry se strukturou FIR. Programová paměť je obvykle výměnná, nebo přeprogramovatelná, což umožňuje snadné a rychlé modifikace (upgrade). Celá struktura procesoru je tedy definována softwarově, podobně jako u počítačových programů.

### Princip činnosti

Na vstupu zařízení je blok vstupní desymetrizace signálu, který převádí analogový signál ze symetrického vstupu XLR na vnitřní nesymetrickou formu. Následují A/D převodníky, pracující v rozlišení 16 bitů se vzorkovacím kmitočtem 32 kHz. Vzorkování na kmitočtu 32 kHz není zvoleno náhodně. Vzhledem k šířce pásma zvukového signálu přenášeného na FM (15 kHz) zaručuje tento vzorkovací kmitočet zpracování celé šířky pásma s určitou

cházejícím signálu indikováno použitím preemfáze (50/15  $\mu$ s nebo J17). V obvodech DSP běží program, který podle algoritmů provádí zpracování signálu v digitální formě. Vnitřní výpočty v DSP probíhají s přesností na 32 bitů.

Po průchodu DSP se signál dostává k výstupním D/A převodníkům. Používají převzorkování a digitální filtraci FIR. Tento druh filtrace zaručuje minimální překmity a vysokou spektrální čistotu v pásmu nad 16 kHz. To je velká výhoda,



Obr. 1 Příklad struktury modulačního procesoru

Struktura bývá vícepásmová, typických je 4–6 kmitočtových pásem, ve kterých se zvukový signál zpracovává nezávisle. Pouze základní modely modulačních procesorů dnes používají jen dvě kmitočtová pásma.

Procesor v tomto případě pracuje se dvěma levelery (obvody pro normování vstupní úrovně) a pětípásmovým zpracováním signálu. Obsahuje zabudovaný stereofonní kodér s výstupem pro dva vysílače. Veškerá nastavení parametrů lze provádět po sériovém rozhraní RS232 z počítače PC. Mimo to je možno nastavovat parametry i z předního panelu pomocí klávesnice a zabudovaného displeje. Parametry jsou zpravidla uloženy v paměti typu EEPROM, která není závislá na napájení. Zařízení si tedy pamatuje nastavené parametry naprosto nezávisle na výpadcích napájení. Uvedené blokové schéma charakterizuje poměrně dobře typickou strukturu současného modulačního procesoru s vícepásmovým zpracováním signálu.

rezervou. Volbou vyššího vzorkovacího kmitočtu (např. 48 kHz) by se zvýšily nároky na rychlost výpočtů v DSP, aniž by to jakkoli ovlivnilo kvalitu signálu v daném kmitočtovém pásmu. Lepší volbou je tedy věnovat celý výkon DSP na výpočty podle složitějších algoritmů, které mají pozitivní vliv na kvalitu zvuku i na dodržení celkového zdvihu vysílače. Navíc je zaručena spektrální čistota v oblasti nad 16 kHz (polovina vzorkovacího kmitočtu) a tím i vynikající spektrální ochrana pilotního signálu 19 kHz.

Vstupní převodník pracuje s převzorkováním a vstupním digitálním FIR-filtrem. Je tím zaručena necitlivost na buzení v oblasti nad 16 kHz (polovinou vzorkovacího kmitočtu).

Blok digitálního vstupu AES-EBU pracuje s převodníkem vzorkovacích kmitočtů a vzorkovací kmitočty v rozsahu 32–48 kHz převádí na 32 kHz, na kterých pracují DSP. Automaticky též přepíná režim digitální deemfáze, pokud je v při-

protože navazující stereofonní kodér nemusí být vybaven filtračními obvody pro potlačení kmitočtů v oblasti pilotního kmitočtu 19 kHz. Bez těchto dolnoproustných filtrů negeneruje stereokodér žádné překmity a tím dokonale reprodukuje výstupní signál D/A převodníků. V okolí pilotního kmitočtu je dosaženo vysoké spektrální čistoty –75 dB vzhledem k plně úrovni, resp. –55 dB vzhledem k úrovni pilotního signálu.

Zavádění parametrů procesingu do DSP obstarává mikrokontrolér, který přijímá data z PC, komunikuje s klávesnicí a displejem a uchovává data v paměti EEPROM, která není závislá na trvalém napájení. Po každém zapnutí přístroje nebo po změně parametrů uživatelem se parametry znovu zavádí do DSP, případně ukládají do EEPROM.

Další vysvětlení se týká struktury procesoru, tedy toho, co se odehrává v DSP. Popis budeme provádět pomocí blokového schématu. Na rozdíl od klasického analo-

gového zařízení nepředstavuje toto blokové schéma samozřejmě fyzickou strukturu systému. Jedná se spíše o popis struktury signálového zpracování, které je v tomto případě zajištěno programově v číslicové doméně.

Prvním blokem signálového zpracování je hornopropustný filtr 30 Hz. Potlačuje složky na velmi hlubokých kmitočtech, jako například retnice a jiné složky, které nemají na kvalitu zvuku žádný vliv a pouze by rušily zpracování. Na druhé straně je spektrum omezeno FIR-filtrem vstupního D/A převodníku a vzorkovacím kmitočtem na 16 kHz.

Vstupní signál se následně rozkládá do dvou kmitočtových pásem. První do 200 Hz, druhé nad 200 Hz. Každé z nich je zpracováno samostatným levelerem. Signál hlubokotónového pásma prochází nejprve přes nastavitelný prvek Bass Density (míra zpracování basů) a potom vstupuje do hlubokotónového leveleru (obvod pro automatické nastavení úrovně). Ten reguluje s nastavitelnými parametry úroveň signálu v tomto pásmu. Signál z něj prochází přes nastavitelný prvek Optimizer Spectral Balance bass do součtového bodu.

Signálové zpracování v pásmu nad 200 Hz je podstatně složitější. Stejně jako u hlubokých kmitočtů prochází signál nejprve hlavním levelerem. Oba levelery (hlubokotónový i hlavní) mají nastavitelné 3 parametry. Dva z nich jsou pro oba společné. Jedním z nich je Gate Level (úroveň hradla). Pokud úroveň vstupního signálu poklesne pod tuto úroveň, dojde ke zmrazení zisku obou levelerů současně. Úroveň hradla lze nastavit v rozsahu -10 až -30 dB oproti úrovni plného vybudování A/D převodníku (dBFS). Druhým parametrem je Leveler Ranges (rozsahy levelerů) – parametr určující rozsah regulace zisku v obou levelerech. Nastavitelný je v rozsahu 6–20 dB. Vyšší hodnota zaručuje regulaci leveleru i při slabším vstupním signálu. Poslední regulační prvek je pro každý leveler samostatný. Jedná se o Bass plus Master release. Pomocí těchto prvků nastavujeme rychlost návratu levelerů k plnému zisku. Basový leveler má tyto časy 1,5× delší než hlavní. Důvodem je nutnost respektovat zkraslení, které vzniká činností levelerů a které nesmí ani při nekratším návratovém čase překročit určitou mez. Pro hlubokotónový leveler vychází minimální čas na 0,5 s, pro hlavní 0,25 s. Za levelery je signál co do úrovně znormován, tedy hlasitě i slabší pasáže programu mají stejnou nebo podobnou úroveň.

Za hlavním levelerem následuje nastavitelný prvek Density (hustota), který má dominantní vliv na mohutnost zpracování. Čím větší hustotu nastavíme, tím více se signál v tomto bodě zesílí a následná struktura limiterů způsobuje jeho silnější

limitaci. Za prvkem Density následuje preemfáze. Jedná se o normou definované zesílení vyšších kmitočtů, které je v přijímači kompenzováno jejich následným potlačením (deemfáze). Aplikace preemfáze a následně deemfáze pomáhá docílit lepšího odstupu signál/šum na výstupu přijímače. Za preemfází se signál dělí do 4 kmitočtových pásem. V každém z pásem následuje dále obvod equalizéru ( $\pm 6$  dB), pomocí kterého lze upravit míru buzení jednotlivých pásem. Následují vlastní limity. U každého z nich lze nastavit odběhovou časovou konstantu. Limiter nejvyššího pásma (3,8–15 kHz) je následován expanderem výšek. Úroveň, od které má expanze probíhat je nastavitelná v rozsahu -30 až -45 dB. Expanze výšek přispívá k podstatnému potlačení šumových modulačních jevů, které by jinak při zpracování ne zcela bezvadného (zašuměného) originálu mohly nastávat.

Následující blok signálového zpracování se nazývá Optimizer. V něm se signály z jednotlivých pásem nejprve sčítají. Sčítací poměry jsou nastavitelné uživatelem. Následuje prvek Optimizer drive, pomocí kterého lze nastavit míru buzení výstupního limiteru. Ten se stará o dosažení konstantní výstupní úrovně, nezávisle na stavu a nastavení předcházejících stupňů. Následuje výstupní ořezávač (Clipper). Úroveň jeho záběru je nastavitelná. Pomocí vzájemného nastavení prvků Optimizer drive a Master clip můžeme nastavit, do jaké míry bude výstupní signál úrovně vyhlazen limitací a do jaké míry ořezáváním. Na úplném výstupu je hlavní expander s nastavitelným prahem expanze. Pokud dojde k poklesu úrovně pod nastavenou hodnotu, expander svou činností zvýší dynamický rozsah výstupního signálu při malých úrovních. Výsledný signál je filtrován digitálním filtrem typu FIR a přichází do D/A převodníku. Tato koncepce zaručuje vysokou čistotu pásma v oblasti nad 16 kHz a žádné překmitování.

Následuje stereofonní kodér, který pracuje na multiplexním principu na násobku pomocné nosné 38 kHz. Výstupní průběh syntetizuje pomocí diskretního D/A převodu. Vzhledem k použitým algoritmům a jelikož na vstupu kodéru je signál filtrovaný digitálním filtrem se strukturou FIR (Finite Impulse Response), syntetizovaný průběh je zcela bezpřekmitový. Činnost stereofonního kodéru (taktování signálů a ovládání diskretního D/A převodníku) je řízena mikroprocesorem.

MPX (zakódovaný stereofonní signál) je vyveden na dva nezávislé konektory BNC, každý s vlastním nastavením výstupní úrovně na zadním panelu. Dále je zde výstup pilotního kmitočtu 19 kHz, který je potřebný k synchronizaci některých typů kodérů RDS.

Signál levého a pravého kanálu je vyveden přes analogovou deemfázi na výstupní konektory levého a pravého linkového (XLR) výstupu. Uvedený popis struktury a principu modulačního procesoru odpovídá zařízení Trans-FM 2005 DIGITAL firmy Phobos Audio se softwarovou strukturou Classic.

Modulační procesor je nutným doplňkem vysílacího řetězce, pokud požadujeme nepřekračování zdvihu a naopak nechceme mít vysílač trvale silně podmodulovaný. Při nejlepší snaze se totiž sledováním výstupních měřičů úrovně na mixážním stole nedá zajistit rozumně přesné modulování vysílače. Mimo jiných vlivů (časové konstanty měřičů, indikace pouze přibližné obálky signálu atd.) je to především preemfáze (zdůraznění výšek ve stereofonním kodéru vysílače o zhruba 12 dB), která neumožňuje ani přibližně modulovat vysílač manuálně. Výsledkem vysílání bez procesoru je buď systematicky malý zdvih s občasnými špičkami k 75 kHz (nebo i nad něj), nebo trvalé překračování zdvihu. Samostatným argumentem pro použití modulačního procesoru jsou umělecké aspekty zvuku, tedy jeho konzistentnost, spektrální normování a vysoká hlasitost, v dnešním konkurenčním prostředí nezbytná.

### Přenos signálu ze studia na vysílač

Z provozních důvodů je velmi výhodné, pokud může být modulační procesor umístěn v budově rozhlasové stanice. Vlastnosti signálu, pečlivě zpracovaného v procesoru mohou být zásadním způsobem ovlivněny vlastnostmi přenosové trasy k vysílači. I když procesor dodává na svůj výstup precizně zpracovaný signál, následkem přenosu tohoto signálu k vysílači mohou být jeho vlastnosti silně znehodnoceny.

K vysílači se signál přenáší buď trasou pro přenos zakódovaného stereofonního signálu (MPX), nebo trasou pro přenos levého a pravého kanálu (L,R). Probereme postupně obě možnosti.

### Trasa MPX

Tento druh trasy pracuje v ČR zpravidla s FM modulací (zpravidla na kmitočtech 1–2 GHz), nebo s modulací PCM (zpravidla v pásmu 10 GHz). Trasa určená pro přenos signálu MPX musí s určitou rezervou přenášet kmitočtový rozsah do 58,2 kHz. Na tomto kmitočtu totiž končí spektrum signálu MPX (to je do 53 kHz) a RDS (s šířkou pásma  $\pm 1,2$  kHz) na 57 kHz pomocné nosné. Vyrovnanost amplitudové charakteristiky a fázová charakteristika trasy mají vliv na dosažitelnou stereofonní separaci L/R a na vznik dodatečných překmitů způsobených trasou.

Překmitování jsou většinou způsobeny nevyrovnanou kmitočtovou charakteristi-

kou v oblasti subakustických kmitočtů. Na výstupu procesoru se totiž typicky vyskytují subakustické složky, vzniklé procesingem. Tyto složky je nutné věrně přenášet. Pokud je trasa potlačí, nebo naopak zdůrazní, dojde ke změně tvaru přenášeného průběhu. To se ve svém důsledku projeví vznikem překmitů přes plnou úroveň a to i v případě, že trasa subakustické kmitočty tlumí. Překmity mohou dosahovat při běžných nedostatcích trasy asi 15 %, o které jsme následně nuceni snížit zdvih vysílače. Navíc zdvih již není exaktně limitován na předepsaných 75 kHz, ale stává se do jisté míry statistickou veličinou.

Pokud chceme, aby překmity způsobené trasou nepřesáhly v reálném programu 2 % (což je akceptovatelná míra překmitů), spodní mezní kmitočet trasy pro pokles amplitudové charakteristiky o -3 dB nesmí ležet výše než na 2 Hz. Pokud budeme nekompromisní a budeme vyžadovat překmity menší než 1 % u obdélníkového signálu o kmitočtu 50 Hz, vyjde nám spodní mezní kmitočet pro pokles -3 dB 0,15 Hz. Tento případ je limitní a při zpracování reálného signálu procesorem jej není nutné uvažovat. Požadovaný spodní mezní kmitočet 2 Hz je však opodstatněný.

Také zesílení podakustických kmitočtů (například rezonanční průběh na spodním kraji pásma) způsobuje překmity. Tento druh nedostatků je poměrně typický pro trasy pracující s modulací FM. Je způsoben nesprávným návrhem smyčky PLL pro udržování nosného kmitočtu trasy. Smyčka není výrobcem zpravidla testována na subakustické parametry. Zesílení i +10 dB na kmitočtech řádu jednotek Hz je tu poměrně častým nedostatkem.

Mírně nevyrovnaná kmitočtová nebo fázová charakteristika v oblasti středních a vysokých kmitočtů (asi v pásmu 500 Hz až 53 kHz) má naopak primárně vliv na stereofonní separaci L/R. Pokud požadujeme dosažení separace více než 40 dB, musí kmitočtová charakteristika trasy ležet v desetínách decibelu a fázová charakteristika nesmí mít na žádném kmitočtu odchylku větší než asi  $\pm 2^\circ$  od ideálního průběhu.

Požadované parametry na nízkých kmitočtech jsou snáze dosažitelné u trasy s modulací PCM (digitální modulací). Modulace PCM je též velmi odolná proti šumu a umožňuje retranslace (několik skoků směrového spoje) beze ztráty kvality.

Výhodou použití trasy MPX je možnost instalovat kodér RDS přímo do studia k modulačnímu procesoru. Plná kontrola nad RDS včetně vysílání dynamických dat je pak velmi snadná. Nastavování parametrů modulačního procesoru je též pod plnou kontrolou. Použití

kvalitní trasy MPX pro přenos rozhlasové modulace lze silně doporučit.

### Trasa pro přenos kanálu L/R

Tento druh trasy není příliš vhodný pro přenos rozhlasové modulace, protože není možno využít zabudovaný stereokodér modulačního procesoru. Již pouhá skutečnost, že musíme použít kodér vysílače, který zpravidla není bezpřekmitový, může vést ke vzniku překmitů 10–20 % (asi 1–2 dB).

Trasy pro přenos kanálu L/R jsou dnes většinou digitální, pracující s redukcí datového toku. Redukce datového toku, neboli ztrátová komprese (Musicam, MP3 atd.) zpracovává zvukový signál s ohledem na vlastnosti lidského sluchu. Lidský sluch je citlivý především na amplitudovou složku spektra, přičemž vyhodnocuje pouze složky, ležící nad tzv. maskovacími prahy. Některé složky spektra, které nejsou dominantní proto mohou být pozmeněny, aniž se to projeví na charakteru zvuku. Toho se využívá při psychoakustické kompresi, která snižuje datový tok, není entropická. Snižování datového toku umožňuje přenášet levněji a větší množství zvukových kanálů v dané šířce pásma. Přenesený signál je sluchově prakticky nerozpoznatelný od originálu. Například v satelitních přenosových systémech tento druh přenosu dominuje. Celoplošné rozhlasové stanice v ČR distribuují signál tímto způsobem.

Při návrhu neentropických (ztrátových) kompresních algoritmů (např. Musicam) byly vzaty v úvahu pouze psychoakustické vlastnosti signálu, nikoliv tvar přenášeného průběhu. Ten se v procesu kódování/dekódování poměrně silně mění. S ním se mění i špičková hodnota modulačním procesorem zpracovaného signálu a to tak, že se zvětšuje. Toto zvýšení dělá u přenosové rychlosti 192 kb/s pro stereo asi 3 dB (tj. asi 30 %). O tuto hodnotu musíme dále snížit zdvih vysílače, aby nedocházelo k přemodulování. Sečteme-li tedy 3 dB ztráty na trase a (již dříve zmíněné) 2 dB ztráty ve stereokodéru, dojdeme k úrovni 5 dB. Výsledek může být ve skutečnosti ještě horší, neboť problémy s nedostatečně nízkým spodním mezním kmitočtem (podrobněji probrané u trasy MPX) se zpravidla také projeví. Snižování průměrného zdvihu o 5 dB nebo i více je pro většinu stanic již neakceptovatelné, protože představuje značnou konkurenční nevýhodu.

Podstatnou vlastností kompresních algoritmů je též jejich vysoká citlivost na ořezávání (clipping) ve zdrojovém signálu. V případě, že jsou ve zdrojovém signálu přítomny produkty clippingu, kompresní algoritmus se je snaží zakódovat a vyplývá na tento proces značnou část datového toku, který je k dispozici. Ostatní

(podstatné) složky signálu jsou potom kódovány při nižší přenosové rychlosti a tím dochází zbytečně k omezení zvukové kvality. Produkty clippingu, přenášené přes kompresní algoritmus totiž na přijímací straně po dekódování stejně nevyjadí (na časovém průběhu signálu) jako clipping, tedy se ztratí jejich technické opodstatnění, zůstane jen pokles kvality. Závěrečný clipping je stejně nutné provést na straně vysílače. Proto se doporučuje v případě, že procesor předchází podobnou trasu, omezit clipping v procesoru na minimální míru. Za trasou je nutné použít další procesor pro vymezení definitivní modulační úrovně.

Proto v ČR celoplošné stanice používají modulační procesory až na vstupu vysílače, za satelitní přenosovou trasou. Počet modulačních procesorů se tedy rovná počtu vysílačů. To koncepci citelně prodražuje, výsledná kvalita rozhlasové služby je ovšem bez kompromisů. Pokud se v tomto případě používá i modulační procesor ve studiu, je nastaven pouze velmi konzervativně, jen na ochranu trasy proti přemodulování.

Problémy s trasami L/R vedly některé výrobce ke koncepci rozděleného modulačního procesoru. Vstupní část je umístěna ve studiu, koncová část (limitery, clippery a vnitřní stereokodér) za trasou u vysílače. Tato koncepce se však neukázala příliš životaschopnou, především díky problémům s nastavováním rozděleného procesoru. Lze spíše doporučit dva modulační procesory, jeden konzervativně nastavený před trasou, druhý se silným nastavením, (které definuje zvuk) za trasou u vysílače.

Zbývá dodat, že i v případě, kdy trasa L/R nepoužívá redukcí datového toku (je například analogová metalická), nezbývá pro přenos signálu k vysílači příliš vhodná. I tehdy se totiž projeví problémy s dolním mezním kmitočtem a zpravidla i s vyrovnaností kmitočtové a fázové charakteristiky. I v případě starších analogových tras L/R tedy nezbyvá než modulační procesor umístit až za trasu, případně použít procesory dva.

Obecnou nevýhodou použití trasy L/R je nutnost umístit kodér RDS až k vysílači a tudíž nutnost použít datovou trasu pro přenos dat RDS, pokud chceme vysílat dynamická data RDS. Taktéž případná změna nastavení parametrů modulačního procesoru (procesorů) je více problematická.

### Závěr

Uvedené krátké shrnutí problematiky modulačních procesorů a následného přenosu signálu k vysílači si neklade za cíl být vyčerpávajícím. Má spíše sloužit jako upozornění na některé problémy, které ještě nevstoupily do všeobecného povědomí.

XXXXX Straňák