

1. DIGITÁLNÍ ROZHLAS DAB

1.1 Přejchod od analogového rozhlasu k digitálnímu rozhlasu DAB

Po první světové válce se v **USA** i v evropských zemích začalo rozvíjet rozhlasové vysílání. Všechny stanice tehdy používaly analogovou amplitudovou modulaci a vysílaly v pásmech dlouhých, středních a krátkých vln. Rozhlasové přijímače byly určeny jen pro stacionární použití. Pro mobilní aplikace byly nevhodné, neboť v tehdejší technologii vakuových elektronek byly příliš rozměrné a měly velkou hmotnost, kterou by u mobilních provedení ještě dále zvětšovaly mohutné stejnosměrné napájecí zdroje. Po druhé světové válce se začalo rozvíjet vysílání v pásmech velmi krátkých vln (VKV), využívající kmitočtovou modulaci FM. Toto vysílání, nejprve monofonní a záhy nato stereofonní podobě, přineslo podstatné zlepšení řady jakostních parametrů, především zmenšení nelineárních zkreslení, rozšíření modulačního pásma a značné potlačení atmosférických i průmyslových poruch. Avšak první přijímače FM/VKV ještě používaly vakuové elektronky, takže se pro mobilní aplikace rovněž nehodily. Tranzistorové přijímače, nastupující v padesátých letech, však již měly malé rozměry a hmotnost, proto mohly být bez problémů využívány jako přijímače mobilní, nebo dokonce kapesní. Nicméně rozhlasové systémy s analogovou amplitudovou, ale i kmitočtovou modulací nemohou v pozemských rádiových kanálech s velmi nepříznivými podmínkami pro šíření elektromagnetických vln zajistit dostatečně jakostní příjem, a to zejména u mobilních přijímačů. V těchto kanálech dochází jednak k velkému útlumu přenášeného signálu, jednak zde působí nejrůznější rušení a ve vyšších kmitočtových pásmech, používaných rozhlasem FM, se již začínají projevovat efekty spojené s mnohocestným šířením rádiových vln. Kromě toho stávající standardy pro tento rozhlas nemají dostatek kmitočtového prostoru, který by dovozoval výrazněji zvětšit počet rozhlasových kanálů a zejména zavést do rozhlasového vysílání přídatné služby, které jsou v moderní informační společnosti velice žádané.

Výrazný krok vpřed v rozvoji rozhlasového vysílání představuje zavedení **digitálního přenosu**. Ten může principiálně zajistit libovolně malé zkreslení a extrémně velký dynamický rozsah, vynikající imunitu proti nejrůznějším interferencím a šumu a zlepšení řady dalších parametrů. První digitální rozhlasové systémy se začaly objevovat v projektech odborníků již od sedmdesátých let. Nejprve byly navrženy systémy, u nichž byla na vysílací straně generována soustava subnosných vln ve formě kmitočtového multiplexu FDM a tyto vlny byly poté modulovány vhodnou digitální modulací (nejčastěji QPSK). Lepší výsledky, hlavně z hlediska využití kmitočtového spektra, slibovaly již plně digitalizované rozhlasové soustavy, u nichž se digitální modulační audio signály sloučily ještě v základním pásmu na principu časového multiplexu TDM. Takto vytvořeným kompozitním digitálním modulačním signálem se modulovala jediná, nebo menší počet vysokofrekvenčních či mikrovlnných nosných vln. Ani tyto projekty však nevybočily z rámce teoretických úvah dílčích experimentů.

Jedním z prvních pokusů, které byly realizovány v praxi, byl projekt BBC z poloviny sedmdesátých let. Tento projekt využíval k rádiovému přenosu stereofonní signál, který byl kódován podle digitálního standardu NICAM, který se úspěšně používá k přenosu

digitalizovaného televizního zvukového doprovodu. Pokusy se uskutečnily na kmitočtu 47 MHz a ukázaly, že tato koncepce je velmi dobrá pro příjem digitálního signálu stacionárními přijímači s velmi dobrou anténou s velkým ziskem a směrovostí. Při příjmu na mobilních a přenosných přijímačích s nízko uloženou anténou však výsledky byly velmi špatné. Následující rozbor pak ukázaly, že tyto systémy s kódováním v systému NICAM, využívající modulace 2PSK, QPSK, se nedokáží vyrovnat s tzv. mnohacestným šířením (multipath propagation), které vzniká odrazem, rozptylem rádiových vln. Z tohoto důvodu je nutné použít pro digitální rozhlas dokonalejší způsoby zdrojového kódování, v současné době se používá systém MUSICAM a standardy MPEG. Pro zajištění minimální chybovosti přenosu je nezbytné použít v systému digitálního rozhlasu účinné kanálové kódování a prokládání. Avšak ani tato opatření nedokáží zaručit požadovanou kvalitu přenosu. Rušivé vlivy mnohacestného šíření, (které se neuplatní při šíření rozhlasu analogovými metodami), lze dokonale potlačit novým přenosovým formátem, kterým se stal kódovaný ortogonální kmitočtový multiplex COFDM.

K přenosu jediného digitálního modulačního signálu se běžně používá jediná nosná vlna. Z důvodu odstranění zkreslení mnohacestným šířením (odrazy) se v současné době používají modulační metody s více nosnými vlnami MCM (*Multicarrier Modulation*) na nichž se také přenáší jediný modulační signál. U těchto systémů se na vysílací straně vstupní sériový modulační datový tok s relativně vysokou bitovou rychlostí f_b v seriově-paralelním převodníku **SPC** převádí na N pomalejších paralelních, které se modulují na N subnosných vln s kmitočty f_0, f_1, \dots, f_{N-1} se stejnými rozestupy Δf . Takto vytvořený signál se přenáší rádiovým kanálem a v přijímači se z něho po demodulaci a zpětném převodu v **PSC** převodníku získá původní rychlý sériový datový tok.

Dřívější systémy MCM používaly klasický kmitočtový multiplex FDM u něhož se různé modulační signály přenášejí na různých nosných vlnách a k oddělení těchto signálů se používají běžné analogové kmitočtové filtry. Propustná pásma těchto filtrů jsou oddělena bezpečnostní mezerou, takže spektrální účinnost je malá. Jako příklad je možno uvést systém FDM při přenosu telefonních hovorových signálů v systému vícenásobné telefonie. Každému hovorovému kanálu je přidělena samostatná nosná vlna. Základní přenosové pásmo kanálu je 300 Hz až 3400 Hz, odstup příslušných nosných kmitočtů je však 4000 Hz. Zde je vidět bezpečnostní mezera 900 Hz. Určité zlepšení ve využití spektra poskytuje modulace SQAM, kde se sousední tzv. subkanály navzájem částečně překrývají na úrovni kmitočtových charakteristik -3dB , čímž se získá kompaktní ploché výsledné spektrum.

Výrazný pokrok přineslo použití subnosných vln, které vytvářejí ortogonální soustavu. Tyto vlny mají velmi malé vzájemné frekvenční rozestupy, takže jejich spektra určená při modulaci nefiltrovaným pravouhlým signálem funkcí $\sin x/x$, se již velmi výrazně překrývají. Každá subnosná se nachází na kmitočtu, kde spektra všech ostatních procházejí nulou, takže přitom nedochází ke vzájemným interferencím. V přijímači lze potom uvažované ortogonální signály oddělit na základě korelačních technik. (Korelační funkce = korelace, je velmi důležitou charakteristikou dvou elektrických signálů. Vyjadřuje míru podobnosti mezi jedním z těchto signálů a časově zpožděnou replikou signálu druhého.) Tyto systémy, představující jednu z nejdůležitějších kategorií systému MCM se označují jako systémy s ortogonálním kmitočtovým multiplexem OFDM

OFDM

OFDM je zkratka z anglického *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, česky *ortogonální multiplex s kmitočtovým dělením*. Jedná se o přenosovou techniku pracující s tzv. rozprostřeným spektrem, kdy je signál vysílán na více nezávislých frekvencích, což zvyšuje odolnost vůči interferenci.

OFDM

(Orthogonal Frequency Division Multiplex)

Metoda rozdělení datového toku na dílčí paralelní toky, které jsou přenášeny každý na vlastní nosné frekvenci

Modulační metoda OFDM spočívá v použití několika stovek až tisíců nosných kmitočtů. Nosné jsou dále modulovány dle potřeby různě robustními modulacemi QPSK, 16QAM nebo 64QAM. Jednotlivé nosné jsou vzájemně ortogonální, takže maximum každé nosné by se mělo překrývat s minimy ostatních. Datový tok celého kanálu se tak dělí na stovky dílčích datových toků jednotlivých nosných. Poněvadž jsou ve výsledku toky na jednotlivých nosných malé, je možné vkládat ochranný interval (GI) – čas, kdy se nevysílá žádná nová informace. Na přijímací straně je tak možné nerušeně přijmout (právě) vysílaný symbol, i když přichází k přijímači více cestami s různým zpožděním. Stejný symbol přijatý vícekrát s různým zpožděním tak může odpovídat i více vysílačům. Přijímané výkonové úrovně více vysílačů resp. odrazů se tak na přijímací straně do jisté míry sčítají.

OFDM se používá mimo jiné pro přenos signálu v ADSL, bezdrátových sítích a standardech pro digitální televizi DAB a DVB-T.

Standards dnešního digitálního rozhlasového a televizního vysílání se štěpí do třech variant – **satelitní, kabelové a terestrické**. Základ systému je vždy stejný, liší se však úpravou signálu pro transport vysokofrekvenční přenosovou cestou směrem k divákovi. Každý typ přenosového prostředí má určitý charakter a tomu je přizpůsobena podoba přenášené informace. Je zřejmé, že **nejméně problémů s sebou přináší přenos prostřednictvím kabelového rozvodu. U satelitního vysílání je zásadním omezujícím faktorem dosti napjatá energetická bilance a šum, zatímco terestrické – pozemní vysílání trpí především odrazy a mnohocestným šířením**. Z toho se odvíjejí použitá modulační schémata a zabezpečení proti chybám dle konkrétního způsobu přenosu.

Pro přenos informací komunikačním kanálem se dnes zpravidla používají vícecestavové digitální modulace. U systémů digitálního rozhlasu a televize se jedná o modulace M-QAM – M-stavové kvadraturní amplitudové modulace. Používají se tři typy: QPSK* (4-QAM), 16-QAM a 64-QAM. Každý stav je popsán amplitudou a fází, je představitelný například jako sinusový signál o dané amplitudě a jisté fázi vztahené k nějaké referenci.

Pokud bychom měli k dispozici pouze **dva stavy**, přenesli bychom v jeden okamžik informaci pouze o **jednom bitu**. Se **čtyřmi stavy** již přenášíme najednou informaci o **dvou bitech**, při **16 stavech o 4**

Nerecenzovaný studijní text pro potřebu výuky v předmětu přijímací technika na SOŠ a SOU

Hradební 1029, Hradec Králové

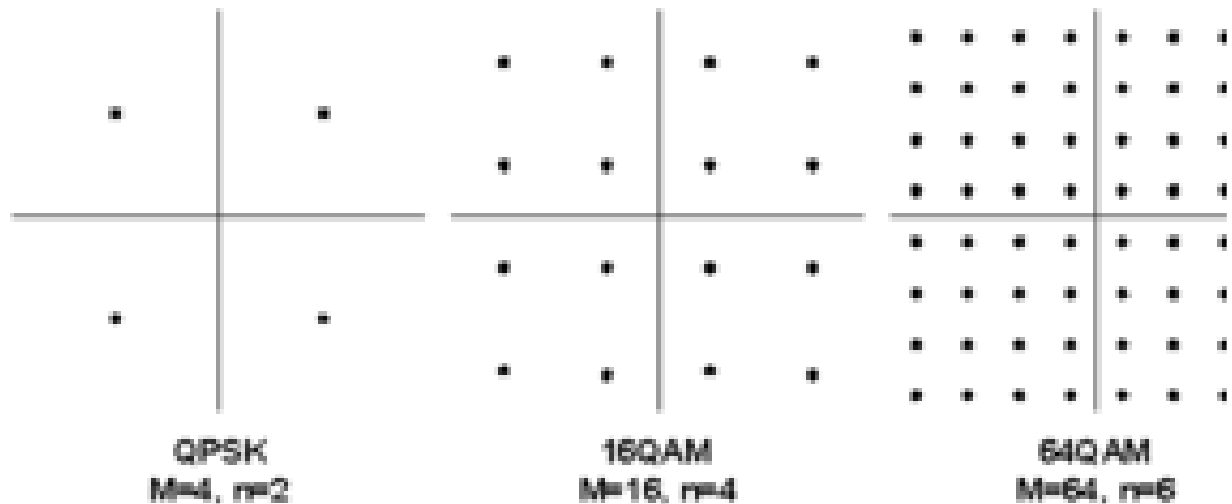
Vytvořil Ing. Jáchym Vacek

použitá literatura: Moderní radioelektronika - Doc. Ing. Václav Žalud CSc.

Strana 3 (celkem 16)

bitech(2^4) a při 64 stavech už o 6 bitech(2^6). Tuto informaci nazýváme symbolem. Výsledný tvar modulace pro všechny stavy, kterých může nabývat, si tak můžeme představit jako čtvercovou síť bodů, z nichž každý představuje jeden stav – určitou kombinaci nul a jedniček pro jednotlivé bity.

Uvážíme-li, že pro všechny zmíněné modulace máme k dispozici stejný rozsah amplitud, je zřejmé, že u vícecestavové modulace musejí být jednotlivé body sítě blíž u sebe. Dojde-li pak vlivem rušení k vychýlení bodu z jeho správné polohy do polohy jiného bodu, vzniká chyba přenosu. **Vícecestavová modulace je tak méně odolná vůči rušení, neboť k chybě dojde snadněji.** Přenosová rychlost je závislá na typu modulace (vícestavové modulace přenesou více informace) a samotné rychlosti vysílání symbolů. Rychlost vysílání symbolů pak určuje šířku obsazeného frekvenčního spektra.



Konstelační diagramy modulací třídy M-QAM

Kabelové vysílání DVB-C používá nejvýnosnější variantu – modulaci 64-QAM, satelitní vysílání DVB-S zase robustnější QPSK, obojí na jediné nosné frekvenci. Pozemské vysílání si však žádá nasazení sofistikovanějších metod, konkrétně se jedná o **OFDM**, o které pojednávají další řádky.

Modulační přístup OFDM – Ortogonální Frekvenčně Dělený Multiplex - používají všechny momentálně zaváděné varianty pozemského televizního a rozhlasového vysílání. Jedná se o DVB-T (Digital Video Broadcasting Terrestrial) v případě televize a T-DAB (Digital Audio Broadcasting Terrestrial) a DRM (Digital Radio Mondiale) za rozhlasové vysílání.

Všechny tři systémy jsou v podstatě datovým kontejnerem pro přenos libovolných dat. DVB-T využívá stejnou šířku kanálu jako je tomu u analogové televize tj. 8 MHz . Na tento prostor se při ještě přípustné kvalitě přenosu vejde až 6 televizních programů ve formátu MPEG2, několik rozhlasových programů a doprovodná data. Rovněž systém DRM využívá stávajícího kmitočtového rastru pro rozhlasové kanály se šířkou 9 a 10 kHz či o šířce poloviční nebo dvojnásobné. Tyto systémy tak fungují spolu s jejich analogovými předchůdci. Oproti tomu T-DAB vyžaduje pro přenos zhruba 6-ti rozhlasových programů v kvalitě blízké se CD nová pásma o šířce kanálu cca 1.5 MHz.

Modulační metoda OFDM spočívá v použití několika stovek až tisíců nosných kmitočtů. Nosné jsou dále modulovány dle potřeby různě robustními modulacemi QPSK, 16QAM nebo 64QAM. Jednotlivé nosné jsou vzájemně ortogonální, takže maximum každé nosné by se mělo překrývat s minimy ostatních. Datový tok celého kanálu se tak dělí na stovky dílčích datových toků jednotlivých nosných. Poněvadž jsou ve výsledku toky na jednotlivých nosných malé, je možné vkládat ochranný interval – čas, kdy se nevysílá žádná nová informace. Na přijímací straně je tak možné nerušeně přijmout (právě) vysílaný symbol, i když přichází k přijímači více cestami s různým zpožděním. Stejný symbol přijatý

Nerecenzovaný studijní text pro potřebu výuky v předmětu přijímací technika na SOŠ a SOU

Hradební 1029, Hradec Králové

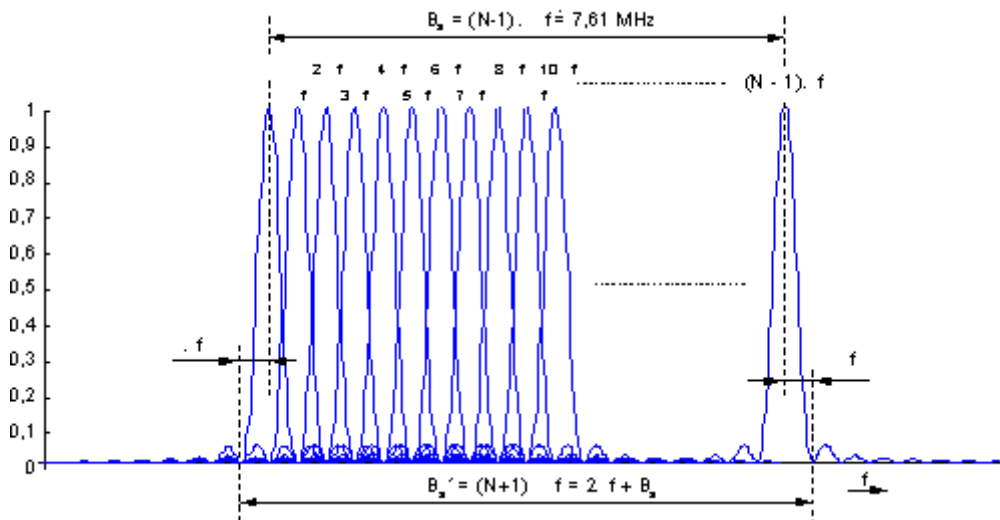
Vytvořil Ing. Jáchym Vacek

použitá literatura: Moderní radioelektronika - Doc. Ing. Václav Žalud CSc.

Strana 4 (celkem 16)

vícekrát s různým zpožděním tak může odpovídat i více vysílačům. Přijímané výkonové úrovně více vysílačů resp. odrazů se tak na přijímací straně do jisté míry sčítají.

Oproti klasickým analogovým modulačním metodám tak v rádiovém kanálu můžeme použít více vysílačů na stejné frekvenci. Nevadí odrazy – což např. u televizního vysílání znamená možnost mobilního příjmu a odstraňuje potřebu použití úzce směřových antén pro zabránění tzv. duchů známých z analogové TV. Všechny nosné systémy však nejsou určeny jen pro přenos dat. Pro synchronizaci informací přenášených na datových nosných a ekvalizaci, jež umožňuje opravit deformace signálu po cestě radiovým kanálem, se vkládají na určená místa pilotní nosné. Další nosné s jednodušší modulací přenášejí nejzákladnější informace o systému a přenášeném multiplexu.



Frekvenční spektrum signálu OFDM

Velkou odolnost systémů s OFDM proti rušení a úniku pak zaručuje aplikace kanálového kódování. Jedná se především o zavedení redundance (vkládání nadbytečných dat) umožňující opravit nebo alespoň detekovat určité množství chyb vnesených do přenášené informace při přenosu v rádiovém kanálu a bitové prokládání, které zamezuje dlouhým shlukům chyb při delším trvání nepříznivého stavu na přenosové cestě.

Rodina systémů založených na modulačním principu OFDM je dosud velmi mladá, ale již dnes přináší dříve nepoznané výhody, spočívající především v daleko lepším využití přiděleného frekvenčního spektra oproti dříve používaným analogovým prostředkům. Výsledek je nejen ekonomický, ale i ekologický, tím že přenášíme více programů na jednom kanále, s nižším vysílacím výkonem, zaručujícím stejné obslužené území.

* modulace QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) – kvadrurní modulace fázovým posuvem, odpovídá modulaci 4-QAM, označení QPSK je však více používané.

1.2 Základní vlastnosti systému OFDM.

Systémy OFDM mají proti systémům s jednou nosnou vlnou řadu výhod. Především mají velmi dobrou spektrální účinnost, ta je v porovnání s frekvenčním multiplexem FDM téměř dvojnásobná. Další přednosti se projevují u pozemských rádiových kanálů s impulsními interferencemi, zejména u kanálů s mnohacestným šířením vln. Impulsní interference u systémů s jedinou nosnou vlnou mohou zcela znehodnotit několik vzájemně sousedících krátkých symbolů (1,0) a vytvářejí tak shluky chyb. U systémů OFDM, kde se rychlý sériový datový tok převádí na pomalejší paralelní datový tok, se interference rozptylují do mnoha paralelních subkanálů, kde však postihují jen relativně malé úseky podstatně delších symbolů. Potom ke spolehlivé rekonstrukci signálu stačí systémy OFDM s jednodušším kanálovým kódováním. Pro zajištění co nejmenší chybovosti přenosu je dále nezbytné použít v systému digitálního rozhlasu účinné kanálové kódování a prokládání. Ani tato opatření však nedokázala zaručit, zejména u pozemních mobilních přijímačů odpovídající kvalitu přenosu. Rušivé vlivy mnohacestného (odrazového) šíření se dají dokonale potlačit vylepšeným formátem, kterým se stal systém COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex).

Standart COFDM se stal základem pro digitální rozhlasové vysílání, tedy pro systém DAB(Digital Audio Broadcasting). Tento systém je vhodný pro přenos digitálního rozhlasu jak při příjmu stacionárními tak i mobilními přijímači. Může být využíván nejen při pozemním vysílání DAB-T, ale i při vysílání z družic DAB-S. Při všech těchto aplikacích zaručuje vysokou kvalitu srovnatelnou se systémy CD(Compact Disk). Digitální podoba signálu dále umožní snadné vřazení různých přídatných služeb. Standart DAB má tři charakteristické rysy:

a) pro zdrojové kódování používá metodu MUSICAM, která plně využívá poznatky z psychoakustiky, které vedou ke snížení bitové rychlosti digitálních audio signálů. To umožní redukovat bitovou rychlost lineárně kódovaného monotónního signálu se vzorkovacím kmitočtem 48kHz a se 16 bitovou reprezentací vzorků, ze $768 \text{ kbits}^{-1} = (48 \cdot 16)$ na pouhých 96 kbits^{-1} při kvalitě CD.

b) problém mnohacestného šíření v pozemském vysílání řeší pomocí kódovaného ortogonálního kmitočtového multiplexu COFDM. Při tomto modulačním způsobu je vstupní sériový, modulační, datový tok po digitalizaci analogového signálu pomocí PAM kódování ve vysílači převeden na tok paralelní(pomalejší), kterým je nadále pomocí D-QPSK modulován větší počet ortogonálních nosných vln, jak bylo uvedeno v úvodu. K efektivnímu spolupůsobení všech složek signálu-přímé složky a složek odražených-, je zde aplikována koncepce ochranného intervalu(gard interval) a použito prokládání(interleaving)

c) jsou-li signály COFDM vysílané větším počtem vysílačů DAB synchronizovány tak, aby v libovolném okamžiku vysílaly prakticky stejné bity(nevzniká žádný posun), mohou pracovat na stejném kmitočtu. Tyto vysílače pak vytvářejí **monofrekvenční síť SFN(Single Frequency Network)**, která zajišťuje celému systému vysokou spektrální účinnost a současně nabízí zvýšení energetické účinnosti..

1.3 DAB /Digitální rozhlas (T-DAB, DRM)/

Výhody T-DAB T(terrestriální –pozemní vysílání)

- Kvalitní zvuk
- Výborný mobilní příjem
- Doprovodná data související i nesouvisející s programem (např. zpravodajství, aktuální počasí, dopravní informace či jízdni řády)

Základní principy

- zdrojové kódování zvuku MPEG Layer 2
- modulace OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
- využívá se III. televizní pásmo (174 - 230 MHz) nebo pásmo L (1452 - 1492 MHz)
- jeden T-DAB multiplex využívá jeden blok s pásmem 1536 KHz
- v jednom bloku cca 6 programů s bitovým tokem 192 kHz (standardně)
- pro Českou republiku jsou ve III.pásmu (12.k) alokovány bloky 12C (Čechy) a 12D (Morava) a v pásmu L blok LC (1455,616-1457,152 MHz)

T-DAB ČRa

Vysílání bylo zahájeno v květnu 1999 v pásmu L (blok LC - 1455,616-1457,152 MHz) s vysílači pracujícími na lokalitách Praha - město a Cukrák (výkony vysílačů 200 W, vyzářený výkon cca 500 W) a ukončeno v prosinci 2000.

ČRa obnovily pokusné digitální rozhlasové vysílání T-DAB dne 2. 11. 2005 v 15:20 h při příležitosti pražské konference organizace WorldDAB Forum v paláci Žofín ve dnech 3. - 4. listopadu 2005. V rámci obnoveného experimentu ČRa v Praze a jejím okolí šířily signál tří největších komerčních rozhlasových stanic:

- Frekvence 1;
- Evropa 2;
- Rádio Impuls.

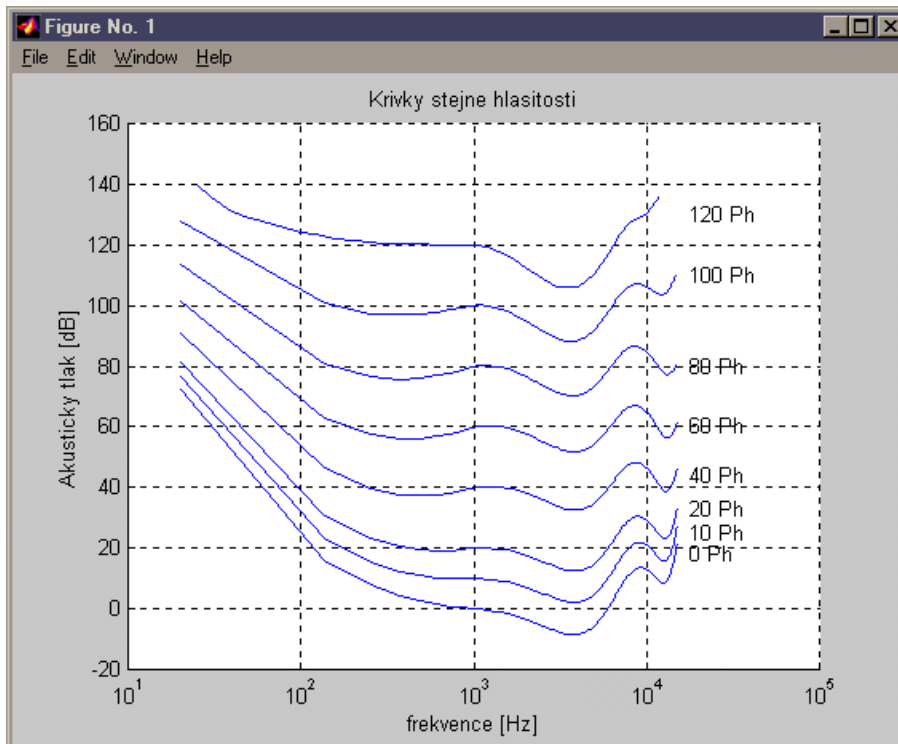
Jejich signály byly šířeny dvěma vysílači:

- v pásmu L v bloku LC (1456,384 MHz) ze stanoviště Praha-město (žičkovská věž);
- ve III. televizním pásmu v bloku 12D (229,072 MHz) ze stanoviště Praha-Strahov.

Pokusné vysílání T-DAB trvalo do konce měsíce listopadu 2005.

1.4 Fyziologie slyšení

Při komprimaci zvukového signálu se využívá hlavně jevu maskování slabších signálů silnějšími a omezení slyšitelnosti na určitou frekvenční oblast. Práh slyšitelnosti je frekvenční závislost akustického tlaku p , při níž lidský sluch přestává vnímat sinusový akustický signál. V běžném životě slyšíme směs různých frekvencí. Trvá-li zvuk déle než 200 ms, nezáleží na jeho časovém rozložení. Jev maskování spočívá v tom, že jeden silnější zvuk zakrývá (maskuje) slabší zvuky i když jejich frekvence není stejná. Křivky udávající hladinu akustického tlaku LT , od které je např. slyšitelnost zvuku T sinusového průběhu s určitou akustickou hladinou LT maskována silnějším úzkopásmovým šumem, jehož akustická hladina $LŠ > LT$, se nazývají prahy současné slyšitelnosti. Průběh křivek, udávajících prahy současné slyšitelnosti, je závislý na dílčím pásmu frekvencí mezi 16 Hz a 16 kHz. Závisí také samozřejmě na velikosti maskujícího signálu. Čím je maskující signál silnější, tím je vyšší i práh současné slyšitelnosti. Maskování nastává i v tom případě, kdy maskovaný krátkodobý signál přichází až po ukončení maskujícího zvuku s hladinou $LŠ$. Nanejvýš zajímavá je skutečnost, že rovněž může být maskován krátký zvukový impuls, který přijde před maskujícím signálem. To je evidentní porušení v přírodě jinak striktně dodržovaného zákona kauzality. Komprimační metody jsou založeny největší měrou právě na svrchu uvedených principech. Využívá se toho, že určitý sinusový signál dané frekvence maskuje úroveň kvantizačního šumu. Příslušné křivky prahů současné slyšitelnosti udávají rozhraní, pod kterým nejsou jiné zvuky (šумы) odpovídající frekvence a úrovně slyšitelné. Frekvenční rozsah 20 Hz až 20 kHz se rozdělí na několik (zpravidla 32) frekvenčních subpásem, ve kterých se signál kvantuje s různou hrubostí. Počet bitů pro kvantování se tedy adaptivně mění, čímž lze znatelně omezit datový tok audiosignálu.



Fletcher - Munsonovy křivky stejné hlasitosti, udávající při kterých intenzitách zvuku je pro různá frekvenční pásma vjem hlasitosti stejný (vykresleno programem MATLAB)

1.5 Trochu blíže ke standardům pro kompresi zvuku

IS 11172-3 normy MPEG-1 popisuje kompresi audio signálu. Existují tři kódovací schémata nazývaná Layer 1 až 3. Zvyšující se číslo "vrstvy" vyjadřuje zvyšující se kvalitu zvuku a tím i složitost kódovacího procesu. Pro každou vrstvu je specifikován formát datového toku a dekodér. V souladu se zvyšující se náročností a složitostí použitého algoritmu se zvyšujícím se číslem vrstvy je použita hierarchická kompatibilita vrstev. To znamená, že dekodér postavený na vrstvu N je schopen dekódovat i vrstvu s nižším číslem.

Celkový datový tok MPEG-1 může být maximálně 1,5 Mb/s - z toho je 1,2 Mb/s rezervováno pro video data a 0,3 Mb/s pro audio data. Pro srovnání: datový tok u CD (stereo, 16 bitů, 44,1 kHz) je 1,4 Mb/s. MPEG podporuje kompresní poměry od 1:2,7 až po 1:24. Kompresní poměr 1:6 (256 kb/s) se jeví co do kvality při vhodných poslechových podmínkách podle zkušeností jako naprosto nerozeznatelný od originálu. Vyšší kompresní poměry se již mohou projevit na kvalitě reprodukováného zvuku, protože i v případě komprese zvuku se jedná o ztrátovou kompresi. Důležitým pojmem pro kompresi audio dat ve formátu MPEG je psychoakustika, přesněji psychoakustický model. (O aplikaci psychoakustického modelu se často mluví jako o "perceptual noise shaping" nebo "perceptual subband transform coding".) Kompresce je u tohoto ztrátového modelu založena na stejném principu jako využití redundance informací v grafických datech - kompresor vynechá detaily, jež jsou pro lidské ucho nepostizitelné. Průměrné lidské ucho je schopno zachytit zvuk přibližně v těchto mezích:

- _ frekvenční rozsah 20 Hz - 20 kHz
- _ dynamický rozsah (ticho - hluk) asi 96 dB

Citlivost je u lidského ucha nelineární a právě toho se využívá.

První metoda zvaná Frequency Masking je založena na tom, že lidské ucho není schopno rozlišit v přítomnosti silného signálu signál slabší, který tak zanikne.

Druhá metoda zvaná Temporal Masking je založena na setrvačnosti vjemu zvuku. Například když budeme přehrávat signál 1 kHz hlasitostí 60 dB a k němu ještě tón 1,1 kHz hlasitostí 40 dB, bude druhý tón překryt a tudíž bude neslyšitelný. Poté co vypneme silnější signál, bude tón ještě asi 5 ms neslyšitelný. Tuto prodlevu lze taktéž využít ke zjednodušení dat.

Jak již bylo uvedeno, formát MPEG definuje v základu 3 typy vrstev. Data se dělí na tzv. frames. Každý frame se pak skládá z 384 jednotlivých vzorků.

_ Layer 1 - dělicí filtr pracující s critical band (poměr hlasitosti a závislosti citlivostí na frekvenci), je aplikován na jednotlivé frames a používá stejnou frekvenci. Psychoakustický model zde používá pouze Frequency Masking. Datový tok se může pohybovat od 32 kb/s do 448 kb/s.

_ Layer 2 - oproti Layer 1 dělicí filtr pracuje s 3 framy najednou (předchozí, současný a následující = 1152 vzorků) a je zde použito jednoduché Temporal Masking. Soubory mají koncovku *.mp2 a datový tok je z intervalu od 32 kb/s do 384 kb/s.

_ Layer 3 - je použit lepší dělicí filtr s proměnnou frekvencí. Psychoakustický model zde používá plně Temporal Masking a redukce vazeb mezi stereo signály. Soubory mají koncovku *.mp3. Datový tok je z intervalu od 32 kb/s do 320 kb/s.

(Všechny tři vrstvy mohou používat vzorkovací frekvenci 32 kHz, 44,1 kHz nebo 48 kHz.

Všechny tři vrstvy používají stejnou banku akustických filtrů. Layer 3 navíc používá diskrétní kosinovou transformaci pro zvýšení frekvenčního rozlišení.

V toku dat používají všechny vrstvy stejnou identifikační "hlavičku" i celkovou strukturu datového toku. To umožňuje dříve zmíněnou hierarchickou kompatibilitu všech tří vrstev.)

Samozřejmě je možné kompresní schéma MPEG používat i pro přehrávání a kopírování zvukových CD nosičů. **Je ovšem nutné připomenout, že při tom nesmějí být porušena práva pro šíření a kopírování nahrávek.**

Programům, které dokáží přímo z audio CD uložit skladby do formátu WAV, se obecně říká "grabovací programy" (CD Rippers). Podmínkou je ovšem dobrá mechanika CD-ROM, která umožňuje načítat audio stopy na CD jako datové soubory.

Soubory MP3 používají kompresi MPEG Audio Layer 3. Když při kompresi stereo audio souboru typu WAV (stereo, 16 bitů, 44,1 kHz) použijete parametry 128 kb/s a vzorkovací frekvenci 44,1 kHz, získáte soubor MP3, který se kvalitou blíží audio CD.

Soubory WAV v kvalitě CD získáte grabováním z audio CD nebo nahráváním pomocí LINE IN na zvukové kartě. Při nahrávání LINE IN však dochází ke dvěma konverzím signálu D/A a A/D, a tudíž ke zkreslení - lepší grabovací programy tento nedostatek dokáží obejít.

Největší výhodou MP3 je velikost souboru - kompresní poměr při CD kvalitě dosahuje 12:1. Na jedno datové CD je tak možné uložit 12 až 13 klasických audio CD. Toto datové CD je pak možné přehrávat (s použitím příslušného softwaru) v kvalitě, která se i pro cvičené ucho jeví jako nerozeznatelná od originální nahrávky.

1.6 Trochu historie

V listopadu 2005 v Praze proběhlo u příležitosti konání 11. výročního shromáždění World DAB Fóra zkušební vysílání v systému T-DAB (Terrestrial – [Digital Audio Broadcasting](#)). Vůbec poprvé se v ČR vysílal signál systému T-DAB ve III. TV pásmu. Z Rošického stadionu v Praze 6 se vysílal v bloku 10A multiplex Českého rozhlasu naplněný mimo jiné i novými programy: Leonardo, D-Dur a Rádio Česko. O něco později se připojil multiplex Českých radiokomunikací v bloku 12D naplněný pro změnu stanicemi soukromými – Frekvence 1, Evropa 2 a Impuls, tentokrát ze Strahovské věže – tedy nedaleko od vysílače Českého rozhlasu.

Aby toho nebylo málo, spustily České radiokomunikace i svůj letitý vysílač pro blok LC (v pásmu L – na cca 1456 MHz), umístěný na Žižkovské věži (tento vysílač představil systém T-DAB v ČR již v roce 1999). V současné chvíli je zkušební vysílání ukončeno.

Přijímače pro digitální systém T-DAB

V zemích západní Evropy (nejvíce Velká Británie a Německo) jsou k dispozici [desítky různých přijímačů](#) určených primárně pro příjem digitálního vysílání - od kapesních přijímačů přes autorádia, přenosná rádia až k Hi-Fi komponentům. Jejich účelu odpovídá i výbava. Oproti VKV-FM přijímačům DABové přijímače často disponují odnímatelnou teleskopickou anténou, lepší modely pak i optickým digitálním výstupem nebo přímým záznamem na hard disk nebo na paměťovou kartu. Samozřejmostí jsou doprovodné informace k přenášeným programům. Přenosná a stolní rádia jsou často ve stylu „retro“, samotná většinou hrají jen monofonně (nutno podotknout, že i přesto s kvalitním zvukem), mnoho posluchačů si je totiž stejně připojí prostřednictvím stereovýstupu k domácímu audiosystému nebo do sluchátek.

V České republice zatím T-DAB přijímače nejsou v obchodní síti prodejen spotřební elektroniky, takže jedinou možností, jak si poslechnout zkušební digitální vysílání a přitom neopustit ČR, bylo oslovit samotné provozovatele vysílání nebo prodejce speciální radioelektroniky.

Fakta - srovnání T-DAB vysílání s vysíláním v pásmu VKV-FM:

U digitálního vysílání se do výsledného zvukového signálu nedostává šum. Rovněž nedochází ke zkreslení výsledného signálu vlivem vícecestného šíření a tím také nedochází ke snížení stereoeffektu. Kvalita zvuku přenášeného programu je naopak striktně dána přidělenou přenosovou rychlostí svázanou s vlastnostmi digitální technologie zdrojového kódování MPEG 2. V místě s vynikajícím příjmem FM vysílání je zvuk vycházející z T-DAB srovnatelný s FM přibližně při datové rychlosti 192 kbit/s.

Příjem digitálního signálu je v závislosti na síle možný jen do určité úrovně elektromagnetického pole vysílače. Po zeslábnutí signálu na kritickou úroveň dochází ke krátkodobým výpadkům reprodukce, zvuk má jakoby „bublavý“ charakter a při dalším snížení hodnot signálu reprodukce vypadne úplně.

Přijímače, dostupné na trhu, byly podrobeny měření na Katedře radioelektroniky ČVUT-FEL. Citlivost přijímače v režimu digitálního vysílání byla přibližně -103 dBm pro nepřerušovanou reprodukci. Obdobná hodnota vyšla i pro příjem v pásmu VKV-FM s uvážením odstupe signál/šum výstupního nízkofrekvenčního signálu cca 20 decibelů, což odpovídá téměř nerušenému FM příjmu. V extrémním případě však přijímač na FM vykazoval jisté náznaky signálu ještě při hodnotě výkonové úrovně přijímaného signálu cca -116 dBm – tedy více než desetkrát slabším signálu.

Z měření tedy vyplývá, že DAB pro své fungování vyžaduje podobnou úroveň signálu jako pro kvalitní příjem VKV-FM. T-DAB multiplex však při stejném výkonu přenáší přibližně 8 krát širší frekvenční spektrum, které umožňuje současně přenášet až deset rozhlasových programů.

Pro srovnání šíření a možnosti příjmu v budovách byly provedeny testy příjmu v budově ČVUT-FEL v pražských Dejvicích, která se nachází cca 3 km od T-DAB vysílače ve III.TV pásmu (blok 12D, ERP cca 500 W) a asi 8 km od vysílače v pásmu L (blok LC ERP 250 W). Blok 12D hrál bez problémů po celé budově, jen v suterénu byly místy výpadky. Příjem byl znemožněn pouze v ocelové kabině výtahu v nižším suterénu. Blok LC byl na tom řádově hůř, ve třetím patře již trpěl výpadky a první patro již bylo takřka bez signálu. Není se co divit, jedná se už téměř o mikrovlnné kmitočty.

1.7 Slovníček pojmů

AC-3

Zvuková perceptuální kompresní metoda, která je základem vícekanálového zvukového systému Dolby Digital.

ATRAC

Zvuková perceptuální kompresní metoda, která je základem systému Sony MiniDisc. Modifikovaná verze tohoto algoritmu je použita ve vícekanálovém zvukovém systému SDDS (Sony Digital Dynamic Sound) pro kina.

CA

Conditional Access = podmíněný přístup

Některé programy v multiplexu či celý multiplex mohou být kódovány a pro jejich příjem je třeba mít přijímač vybavený patřičným dekódovacím (CA) modulem a dekódovací čipovou kartou. CA modul může být buďto integrován přímo v přijímači, anebo externí v podobě tzv. PCMCIA karty, která se zasune do CI slotu.

CI

Common Interface = jednotné rozhraní

Jedná se o normou definované rozhraní pro DVB přijímače a zásuvné CA moduly.

CVBS

Color, Video, Blank and Sync

Způsob kódování barevného obrazu, kdy v jednom signálu přenášíme informace o barvě, jas, zatemnění a synchronizaci (např. PAL).

Datový karusel

Přenosový systém, který cyklicky přenáší určité datové informace k uživateli, např. teletext, vybrané internetové stránky, apod.

DD

Dolby Digital

Systém vícekanálového digitálního zvuku vyvinutý firmou Dolby Laboratories, Inc. Používá kompresní metodu AC-3.

DTS

Digital Theatre Sound

Systém vícekanálového digitálního zvuku vyvinutý firmou Digital Theater Systems Ltd. Používá kompresní metodu Coherent Acoustic Coding.

DTT

Digital Terrestrial Television

Obecné označení pro pozemní digitální televizi, společné pro všechny tři ve světě používané standardy, tedy americký ATSC, japonský ISDB-T a „evropský“ DVB-T.

DTV

Digital Television

Obecné označení pro digitální televizi.

DVB

Digital Video Broadcasting

Expertní skupina mající asi 200 členů z 25 zemí světa. Skupina se zabývá řešením digitální televize v Evropě. Zahrnuje problematiku digitální satelitní televize (DVB-S), digitální kabelové televize (DVB-C) a digitální pozemní televize (DVB-T).

DVB-T

Digital Video Broadcasting Terrestrial

Evropský standard digitální pozemní televize, vytvořený sdružením DVB.

EPG

Electronic Program Guide = elektronický programový průvodce

Služba, usnadňující divákovi orientaci v programové nabídce jednotlivých televizních stanic v rámci jednoho multiplexu.

FEC

Forward Error Correction = dopředná korekce chyb

Jedna z metod protichybového zabezpečení přenosového kanálu. Úroveň toho zabezpečení je na straně vysílatele volitelná (v poměru 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 nebo 7/8), a proto je to zároveň jeden z nastavitelných parametrů OFDM demodulátoru digitálního přijímače. Namísto FEC se někdy používá označení Viterbi.

Guard Interval

Ochranný interval

Část doby trvání jednoho OFDM symbolu, která není zpracována (dekódována) přijímačem jako užitečný signál. Do tohoto intervalu spadnou všechny odrazy signálu (duchy). Velikost ochranného intervalu je vyjádřena zlomkem (1/4, 1/8, 1/16 nebo 1/32) vzhledem k délce trvání celého OFDM symbolu. Další z nastavitelných parametrů demodulátoru, někdy se označuje termínem Interguard.

iDTV

Integrated Digital Television = integrovaný digitální televizor

Televizor schopný příjmu pozemního digitálního televizního vysílání (DVB-T) a většinou i analogového pozemního vysílání (hybridní přijímač).

OFDM

Orthogonal Frequency Division Multiplex = ortogonální, frekvenčně dělený multiplex

Modulační princip, používaný systémem DVB-T. Televizní kanál obsahuje velký počet subnosných vln (kmitočtů) s rovnoměrným odstupem, přičemž každá subnosná je modulována jedním ze dvou typů digitálních modulací – QPSK nebo QAM.

MHP

Multimedia Home Platform = multimediální platforma pro domácí přijímače

Jeden ze standardů, na kterém mohou být jsou postaveny téměř všechny doplňkové služby digitálního televizního vysílání, především nejrůznější multimediální a většinou interaktivní aplikace.

Mód 2k/8k

Modulační princip OFDM je používán ve dvou modech – 2k nebo 8k. V módu 2k (používán pouze ve Velké Británii) přenosový kanál obsahuje 1705 subnosných kmitočtů, v módu 8k přenosový kanál obsahuje 6817 subnosných kmitočtů. Další z nastavitelných parametrů demodulátoru, někdy označovaný slovy FFT mode.

MPEG 1

Kompresní metoda kódování obrazu a zvuku.

MPEG 2

Kompresní metoda kódování obrazu a zvuku, používaná v systému DVB. Stejný princip kódování je používán i u systému DVD, avšak obě varianty se většinou liší nastavením určitých parametrů.

Multiplex (příp. Digitální multiplex)

Souhrnný datový tok skládající se z dílčích datových toků, náležejících jednotlivým televizním (či rozhlasovým) programům a doplňkovým službám, upravený pro společné šíření prostřednictvím vysílací sítě.

OFDM

Orthogonal Frequency Division Multiplexing

Způsob digitální modulační signálu použitý např. v systému DVB-T.

PAL

Phase Alternating Line

Systém analogového kódování obrazu používaný v téměř celé Evropě včetně České republiky (viz též CVBS).

PDC

Programme Delivery Control System

Systém přenosu dat, který v rámci teletextu přenáší informace mající vztah k vysílanému programu, a který dokáže na dálku řídit domácí videorekordéry (systém podobný systému VPS).

RGB

Způsob kódování barevného obrazu, kdy se veškeré informace přenáší pomocí tří signálů: R – červeného, G – zeleného, B – modrého.

S-video někdy též Y/C

Způsob kódování barevného obrazu, kdy se veškeré informace přenáší pomocí dvou signálů: Y – jasového, C – barevného.

QAM

Quadrature Amplitude Modulation = kvadrurní amplitudová modulace

Druh vícecestavové digitální modulace, která je aplikována na každý subnosný kmitočet multiplexu OFDM. Nejčastěji je používána varianta 64-QAM, kde číslice 64 znamená, že amplituda a fáze subnosné vlny mohou nabývat 64 různých hodnot a přenášejí tedy současně 6 bitů ($2^6 = 64$).

QPSK

Quadrature Phase Shift Keying = kvadrurní fázová modulace

Další druh vícecestavové digitální modulace, kterou je možno aplikovat na každý subnosný kmitočet multiplexu OFDM. Amplituda a fáze subnosné vlny může nabývat 4 různých hodnot a může tedy přenášet současně pouze 2 bity ($2^2 = 4$). V systému DVB-T je její použití předpokládáno pouze tam, kde je požadována vysoká robustnost, tedy odolnost vůči signálu vůči rušení, tj. např. v případě požadavku na mobilní příjem.

SFN

Single Frequency Network = jednofrekvenční síť

Modulační princip OFDM umožňuje provozovat všechny vysílače DVB-T na jednom nosném kmitočtu (v jednom vf. kanále), tedy v tzv. jednofrekvenční síti.

SDI

Serial Digital Interface

Způsob studiového digitálního propojení obrazového signálu o bitové rychlosti 270 Mb/s. Používá se zejména v televizních studiích.

STB

Set Top Box

Přijímač a dekodér digitálního vysílání DVB-T umístěný v samostatném jednotce (boxu), který je připojen k televiznímu přijímači např. pomocí kabelu SCARTscart.

Teletext

Způsob jednosměrného přenosu textových informací, které může divák zobrazit na obrazovce svého televizního přijímače. Přijímač musí být osazen teletextovým dekodérem (viz též Datový karusel).

TS

Transport stream = transportní tok

Souhrnný datový tok skládající se z dílčích datových toků, náležejících jednotlivým televizním (či rozhlasovým) programům a doplňkovým službám. Je výstupním signálem tzv. transportního multiplexeru a vstupním signálem DVB-T (C, S) modulátoru.

VPS

Video Programming System

Systém přenosu dat, který přenáší informace mající vztah k vysílanému programu, a který dokáže na dálku řídit domácí videorekordéry (systém podobný systému PDC). Vysílá se v 16. řádku televizního videosignálu.

WSS

Wide Screen Signalling

Uzavedení televizních služeb, u nichž je poměr stran obrazu 16 : 9, se u televizního standardu PAL usnadní tím způsobem, že se spolu s vlastním televizním signálem přenáší mj. též signalizace o poměru stran obrazu (WSS), která se přivede do televizního přijímače. Na tento signál pak televizní přijímač zareaguje příslušnou změnou poměru stran obrazu. Přenáší se v první polovině 23. řádku televizního signálu.