

RADIOAMATÉRSKÝ PROVOZ NA GHZ PÁSMECH

Ing. Vladimír Petržílka

vladimir.petrzilka@gmail.com

Amatéři (diletanti) jsou někdy hrozní, protože často trpí nějakou fixní ideou. Ale i oni občas něco dokáží (viz třeba objevení Tróje). Ale - jsou tihle radioamatéři skutečně jen diletanty?

Radioamatéři na KV pásmech a radioamatéři na VKV a zejména na GHz pásmech se od sebe v mnohém liší. Zatímco na KV je technika jen cílem k navazování spojení, na VKV je cílem samotná cesta. A na GHz pásmech to platí ne dvakrát, ale desetkrát.

Radioamatér na GHz pásmech není a ani nemůže být diletant. Je to člověk, jehož zájmem je překonávání překážek. Aniž by ho za to někdo platil. Proč jsou vůbec mezi námi takoví podivíni? Protože chuť něco objevovat je lidstvu vlastní. Výsledkem je zábava, trochu toho adrenalinu, dobrý pocit z překonání sama sebe i jiných a nakonec, ale nikoli pouze, cesta k dalšímu vzdělávání.

A výraz „mikrovlny“? Mezi radioamatéry se za mikrovlnná pásma označují (nesprávně) všechny radioamatérské kmitočtové příděly nad 1GHz: 1296 - 2320 - 3400 - 5760 - 10368 - 24048 MHz a 47 - 76 - 122 - 134 - 248 - 322 - 411 GHz, (příčemž aktivní provoz se dnes odehrává do 76 GHz včetně). Tento příspěvek se ale bude týkat jen „opravdových“ mikrovlnných pásem, tedy kmitočtů vyšších, než 10GHz.

Radioamatérský provoz na mikrovlnných pásmech není záležitost posledních několika let. Radioamatéři vždy patřili mezi technické průkopníky a stáli u zrodu mnoha radiokomunikačních technologií. Proto nepřekvapí, že světová radiokomunikační konference již v roce 1946 přiděluje pásmo 10,0 až 10,5 GHz pro radiokomunikační provoz a ve stejném roce je již navázáno první regulerní radioamatérské spojení v pásmu o vlnové délce 3cm. Ani Československo v té době nezaostávalo za světem a radioamatérské kmitočtové příděly v těchto pásmech alokovalo již v lednu 1949.

Přehled prvních radioamatérských spojení na mikrovlnných pásmech (svět – Evropa – Československo):

pásmo	překlenutá vzdálenost	rok	stát	značky korespondujících stanic
10GHz	3,2 km	1946	USA	W2JRM a W2JN
10GHz	20 km	1950	GB	G3APY a G8UZ
10GHz	427 km	1960	USA	W7JIP a W7LPL
10GHz	1 km	1961	ČSR	OK1LU a OK1KAD
24GHz	240 m	1946	USA	W1NVL/2 a W9SAD/2
24GHz	150 m	1975	GB	G3BNL/P a G3EEZ/P
24GHz	72 km	1982	ČSSR	OK1KDO a DJ4YJ
47GHz	100 m	1982	USA	W2SZ/1 a ?
47GHz	1 km	1984	Švýcarsko	HB9MIN a HB9AMH
47GHz	500 m	1995	ČR	OK1AIY/p a OK1UFL/p

V první fázi vývoje se na 10GHz, které se celosvětově stalo nejpopulárnějším radioamatérským mikrovlnným pásmem, používaly především přímé samokmitající klystronové vysílače o výkonu řádu desítek až stovek mW s přímou frekvenční modulací, přičemž obě korespondující stanice používaly signál vlastního vysílače současně jako lokální oscilátor pro přijímač. Ten tvořila obvykle jednoduchá mikrovlnná směšovací dioda a výsledná mezifrekvence (s nulovým potlačením zrcadlového příjmu) byl obvykle FM rozhlasový přijímač v pásmu VKV FM.

V 70 letech se namísto klystronů začaly používat Gunnovy diody jako oscilátor, šumové číslo přijímače se zlepšilo tím, že se začaly objevovat (1975) první satelitní konvertory s nízkošumovými tranzistory, takže přijímač měl už nejen aktivní směšovač, ale také VF zesilovač.

Ve druhé polovině 80 let se začaly (zejména v souvislosti s rozvojem satelitní TV a datové komunikace – projekty V-SAT apod.) mezi radioamatéry objevovat i první výkonové mikrovlnné tranzistory, což vedlo k bouřlivému vývoji zařízení pro úzkopásmovou komunikaci ve formě simplexního provozu SSB a CW. Po vyřešení problému stability transpozičního oscilátoru to umožnilo v 90 letech a na přelomu století vytvořit polovodičové vysílače o výkonu stovek mW až jednotek Wattů a dalším vývojem se dostat až na výkony okolo 20 W a šumové číslo RX cesty okolo 1dB.

Se zvýšením výkonu a zejména v souvislosti se zúžením sdělovacího kanálu výrazně stoupla komunikační účinnost této technologie. Radioamatéři tak masově začali používat i dosud jim nedostupné druhy provozu, jako je využití troposférických inverzních duktů pro spojení na velké vzdálenosti, odrazů od dešťových přeháněk a odrazů od letadel, což jim v současné době v pásmu 10GHz umožňuje poměrně běžně navazovat spojení na vzdálenosti větší, než 500 až 700km. Podívejte se na několik **rekordních tropo spojení** na tomto mikrovlnném pásmu, platných v době této konference:

pásmo	překlenutá vzdálenost	rok	stát	značky korespondujících stanic
10GHz	1245 km	2003	ČR - GB	OK2BFH a G3XDY
10GHz	2694 km	2010	Kapverdy - Portugalsko	D44TXV a CT7/F6DPH/p
10GHz	2733 km	2015	Austrálie	VK7MO a VK6DZ

Technologická situace v pásmu 24GHz je v principu obdobná – pouze nástup výkonných polovodičových vysílačů a nízkošumových předzesilovačů byl oproti pásmu 10GHz opožděný. Nevýhodou je vyšší cena jednotlivých komponentů, a menší provozní zajímavost, protože navazování spojení prostřednictvím odrazu od dešťových překážek je zde mnohem obtížnější.

47GHz pásmo bylo dalším radioamatérským evolučním krokem, výkonové tranzistory jsou zde již velice drahé a obtížně sehnatelné, horší jsou i šumová čísla přijímačů a mezi radioamatéry je citelný nedostatek technologické „bižuterie“, jako jsou vlnovody, vhodné koaxiální konektory, anténní relé, přechody z koaxiální na vlnovodnou technologii a v neposlední řadě i dostatečně přesná parabolická zrcadla na antény. To vedlo k poměrně zajímavému radioamatérskému řešení, kdy kompaktní VF zesilovač, realizovaný ve formě vlnovodné techniky a mající v tomto pásmu výkon několika jednotek, či desítek mW se mechanicky „obrácí“ pro použití v simplexním modu mezi dvěma vlnovodnými přírubami a slouží buď jako výkonový zesilovač při vysílání, nebo jako vstupní VF zesilovač při příjmu.

76GHz a vyšší pásma jsou zatím u většiny radioamatérů, kteří je používají pro pozemský provoz, řešena podobným způsobem, TX i RX cesta většinou (z hlediska mikrovlnného pásma) končí směšovačem, často se používá principu, kdy směšovač pracuje zároveň jako zdvojovač oscilátorového kmitočtu. Komunikace je opět úzkopásmová, většinou CW, nebo i SSB. Přehled **prvních spojení** nad 50GHz:

pásmo	překlenutá vzdálenost	rok	stát	značky korespondujících stanic
76 GHz	500 m	1985	Švýcarsko	HB9MIN a HB9AGE
76 GHz	100 m	1997	ČR - SRN	OK1AIY/p a DB6NT/p
122 – 145GHz	1 km	1992	SRN	DB6NT/p a DL1JIN/p
122 – 145GHz	10 m	2002	ČR	OK1UFL/p a OK1AIY/p
241 GHz	100 m	1993	SRN	DB6NT/p a DL1JIN/p
241 GHz	10 m	2003	ČR	OK1UFL/p a OK1AIY/p
322 GHz	50 m	2001	USA	W2SZ/p a WA4RTS/4
411 GHz	50 m	1998	SRN	DB6NT/p a DL1JIN/p

a následně i **přehled rekordních spojení** na pásmech nad 20GHz:

pásmo	překlenutá vzdálenost	rok	stát	značky korespondujících stanic
24 GHz	309 km	2010	ČR - Rakousko	OE5VRL a OL9W
24 GHz	581 km	2011	SRN – Francie	DL7QY a F6DKW
47 GHz	266 km	2006	ČR - Rakousko	OK1AIY/p a OE5VRL/5
47 GHz	345 km	2015	USA	W6QIW/6 a AD6FP/6
76 GHz	289 km	2014	USA	AD6IW a KF6KVG
76 GHz	107 km	2014	ČR	OK1KAD a OK2M
122 GHz	132 km	2013	Rakousko	OE5VRL/p a OE3WOG/p
241 GHz	114 km	2008	USA	WA1ZMS/4 a W4WWQ/4

Trochu neočekávané, že? Nicméně nezapomeňte prosím, že radioamatérský provoz má spíše blízko ke sportu, než k profesionální mikrovlnné komunikaci. Cílem je dosažení úspěchu, překonání dosavadních limitů, nikoli stabilní a spolehlivá komunikace. Fyzika platí pro každého...

Přesto jsem tím chtěl demonstrovat, o jak zajímavou součást radioamatérského provozu se jedná. A co teprve další kapitola:

RADIOAMATÉRSKÁ MIKROVLNNÁ KOMUNIKACE ODRAZEM OD MĚSÍCE

EME – šíření na trase Země - Měsíc – Země

Komunikace na vzdálenost přes 760 000km (zpoždění ~ 2,5s)

Útlum trasy na 10 GHz až 289 dB => není tu místo pro chyby

Změna útlumu trasy při perigeu a apogeu Měsíce až 2,2dB

Úhlový rozměr Měsíce na obloze ~ 0,5°

Měsíc odráží zpět k Zemi na VKV pásmech méně než ~ 7% signálu

Faktor nepozemského šumového pozadí => galaktický šum, měsíční šum, atd..

Dopplerův posuv ($\Delta f = 2 v / \lambda$) posouvá kmitočty (např. na 24 GHz až 60 kHz)

Stáčení polarizační roviny díky Faradayově rotaci (do ~ 2 GHz)

Změny prostorové orientace polarizační roviny => výhody kruhové polarizace

Vliv útlumu atmosféry podle elevačního úhlu antény (důležitý pro 10GHz a vyšší pásma)

Librační pohyb Měsíce ovlivňuje kvalitu (šírku) signálu (důležité pro >3 GHz – dochází k fázovému "rozmazání")

Pod ~3 GHz převládá zrcadlový odraz od plochy kolem středu Měsíce, krajní oblasti Měsíce s převládajícím rozptylovým (difúzním) odrazem se podílí jen málo

Nad ~ 3 GHz postupně převládá rozptylový (difúzní) odraz a krajní oblasti Měsíce se významně podílí na celkové energii odraženého signálu

Na kmitočtech světla je již energie odrazu rozdělena téměř homogenně přes plochu Měsíce („září“ celý Měsíc)

První úspěšný pokus o příjem EME signálů na 112MHz v roce 1946 (neúmyslně již 1944 na 500MHz)

První radioamatérské EME spojení v roce 1960 (na 1296 MHz) v USA

První EME spojení na území ČR v roce 1976 (10 GHz 1993, 24 GHz 2003)

Nejvyšší EME frekvence využívaná radioamatéry 47 GHz (zaznamenané odrazy na 76 GHz)

Radioamatérský EME provoz až 365 dní v roce (zejména na 144 a 1296 MHz)

EME radioamatérský provoz na 10GHz a výše

10GHz:

První EME spojení na 10 GHz v roce 1989, v ČR 1993

Oblíbené EME pásmo, intenzivně používané po celém světě

Útlum trasy na 10 GHz 289 dB, nízký atmosférický útlum, s výjimkou ČR relativně nízká úroveň rušení

Dopplerův posuv mění frekvenci na 10 GHz až o 25 kHz

Šumové číslo předzesilovače (LNA) kolem 0,7dB

Běžně používané zařízení 3m parabola, 20W PA (max. 4,5m parabola 0,45° => ozáří 100% povrchu Měsíce)

Špičkové zařízení DL0SHF 7,6m parabola a 600W out, SP6JLW 600W, W7CJO 400W, DC6UW 200W...

EME signály DL0SHF lze přijímat i s 48cm parabolou

Expediční provoz (např. DL1YMK) s 1,4m parabolou a 40W PA

Menší koncové zesilovače dnes již většinou s tranzistory (do cca 50W)

Možnost digitálního druhu provozu JT4F (WSJT), který umožní pracovat již s 20W a 60cm parabolou, v tomto případě je ale nutné použít softwarově ovládaných přijímačů, které automaticky vyrovnávají posouvání kmitočtu vzhledem k změně dopplerova posuvu (200 Hz za minutu).

Předpoklad plánování pokusů je výpočet minimálního „rozmazávání“ libračním pohybem Měsíce

24GHz:

První EME v roce 2001, první spojení v ČR 2003 (OK1UWA)

Útlum trasy na 24 GHz 297 dB

Dopplerův posuv mění frekvenci na 24 GHz max až o 60 kHz

Kolem 20 aktivních stanic na celém světě (v ČR zatím jediná - OK1KIR)

Šumové číslo předzesilovače (LNA) ~ 1,4 dB

Běžně používané zařízení 1,5m offset parabola, 20W PA (2m parabola 0,45° – ozáří 100% povrchu Měsíce)

TOP stanice používají až 80W TWT (W5LUA, VE4MA a RW3BP) provoz je možný s 1,4m parabolou a 20W PA

Koncové zesilovače s tranzistory začínají vytlačovat TWT

Nejvyšší pásmo, kde se pracuje digitálními druhy provozu, velký boom teprve v posledních 5 letech, kdy konečně začaly být více dostupné výkonové tranzistory

Předpokladem plánování pokusů je správný výpočet minimálního „rozmazávání“ libračním pohybem Měsíce a počasí bez deště a mraků + Měsíc ve větší výšce nad obzorem z důvodu útlumu v atmosféře

47GHz:

První spojení v roce 2005, nyní jsou aktivní 4 stanice (RW3BP, AD6FP, W5LUA, VE3MA)

Útlum trasy na 47 GHz 303 dB, Dopplerův posuv až 118 kHz

Šumové číslo předzesilovače (LNA) kolem 4dB, při chlazení tekutým dusíkem u AD6FP dosažená šumová čísla až kolem 1,5 až 1,7dB, výkon 32W

Paraboly s nízkou účinností povrchu (60cm parabola 0,45°– ozáří 100% povrchu Měsíce), W5LUA 2,4m offset, AD6FP 1,8m Prodellin 1183 offset dish (0,25° pro -3dB)

Koncové zesilovače výhradně přeladěné armádní TWT, které jsou velmi těžko k sehnání (32W TWT Hughes 8030H). Problémy s přesností směrování, útlum atmosféry přes 2dB při 45° elevaci a problémy s librací Měsíce.

76GHz:

Útlum trasy na 76 GHz 307 dB, Dopplerův posuv mění frekvenci na 76 GHz max až o 190 kHz

Zatím nedošlo k oboustrannému spojení, RW3BP s 60W PA a 2,4m D. poslouchá svá echa a W5LUA detekoval signál RW3BP, nemá však dostatečný výkon („pouze“ 1W). Kompenzace nepřesností paraboly u RW3BP použitím speciálně tvarované dielektrické čočky ze tří vrstev PTFE – viz obrázek. Šumové číslo předzesilovače (LNA) kolem 6 dB. Prvním spojením brání extrémně vzácné výkonové zesilovače (TWT), 2,4m offset parabola Sergeje, RW3BP, změřený zisk 63 dBi a šířka 1. laloku 0,11°, šum Slunce 6dB, Měsíce 0,5dB

„JINÉ“ ZÁJMY MIKROVLNNÝCH RADIOAMATÉRŮ.

Příjem a detekce signálů vesmírných sond na 8,4 GHz

Luis Cupido CT1DMK (5,6m parabola a LNA 0,7dB NF) přijal signály například od sond:

- Cassini během letu k Saturnu 5dB S/N, vzdálenost 1 412 000 000 km (9,4 AU)
- Rosetta 20dB S/N, vzdálenost 389 000 000 km (2,6 AU)
- Mars Reconnaissance Orbiter 30dB S/N, vzdálenost 243 000 000 km (1,6 AU)
- Venus Express 21dB S/N, vzdálenost 152 000 000 km (1,0 AU)
- detekce přítomnosti signálů sondy Voyager 1 (20W vysílač do 3,7m paraboly) v roce 2006 na vzdálenost více, jak 14,5 miliard km (98 AU) tedy 3x dál než je Pluto. Pro detekci použil CT1DMK 2h pro zprůměrování dat, signál byl 7,3dB pod šumem, identifikace se podařila na základě spočteného dopplerova posuvu, pravost data byla potvrzena nezávislou analýzou dat.

Radioamatérská radioastronomie na GHz pásmech

- Zcela běžné je měření šumu Slunce a Měsíce pro srovnání vypočtených parametrů přijímacího řetězce
- Zaznamenán příjem odrazů radioamatérských signálů na 2304MHz od povrchu Venuše
- Prokázán příjem šumu Jupiteru i na 77 GHz (RW3BP)
- Radioamatéři jsou zapojeni do programu detekce zbytků supernov, radiových galaxií, mlhovin, pulzarů, ...
- Nejvzdálenější radioamatérská detekce vesmírného objektu (CT1DMK na 23cm) kvazar 3C273 (46 Jy) ve vzdálenosti 2,4 miliardy světelných let
- Nejvzdálenější objekt detekovaný radioamatérem (W8QOP) na 21cm kvazar 3C147 (23Jy) vzdálenost 5,1 miliardy světelných let

LITERATURA:

Webové stránky www.ok2kkw.com a ostatní otevřené publikační zdroje radioamatérské komunity, například: <http://mailman.pe1itr.com/pipermail/moon-net/> a <http://lists.moonbounce.info/pipermail/moon/>, <http://www.cbjilemnice.com/index.php?page=145>, <http://www.ok1kkd.cz/pasmo-47-ghz/>, <http://www.dl2am.de/241-ghz-transverter.pdf>, <http://f5aye.pagesperso-orange.fr/241.pdf> a řada dalších.

O AUTOROVI:

Ing. Vladimír Petržílka (OK1VPZ), absolvent ČVUT FEL (1979), věnuje se radiokomunikační problematice a telekomunikačnímu provozu již 40 let, více jak 20 let pracoval v privátním telekomunikačním sektoru v ČR i zahraničí, v poslední době je pracovníkem Odboru implementace strukturálních fondů na Ministerstvu průmyslu a obchodu. Radioamatérství se věnuje od roku 1974, od roku 1996 ve spolupráci se svým synem Matějem (OK1TEH), který je také spoluautorem tohoto příspěvku.