

Technická analýza · CQ.SK

Príjem v náročných podmienkach KV contestu

QRP Labs QMX · Elecraft KX3 · Yaesu FT-991 / FT-991A

Porovnanie troch transceivrov z pohľadu, ktorý v conteste rozhoduje: čo sa stane so slabým signálom, keď je pár kilohertzov vedľa stanica s úrovňou S9+40 dB. Analýza vychádza z laboratórnych dát Sherwood Engineering, z podrobného protokolu merania FT-991 (archív N9EWO), z laboratórnej tabuľky ARRL pre QMX (QST 11/2024) a z praktických princípov RMDR, ako ich opisuje PF9Z. Všetky čísla sú prevzaté zo zdrojov alebo z nich odvodené vyznačeným výpočtom; kde údaj chýba, dokument to uvádza.

Merané kusy

KX3 – Sherwood, 08/2012 · FT-991 S/N 4N020453 – Sherwood, 08/2015 · QMX (5-pásmový, firmware 1_00_21) – ARRL Lab, QST 11/2024

Dôležité upozornenie

QMX v tabuľke Sherwood Engineering nefiguruje. Pre QMX sú použité merania ARRL, ktoré používajú inú metodiku – priame porovnanie po desatinách dB nie je možné.

Dátum spracovania

28. 10. 2026

1. Úvod: prečo contest nie je skúška citlivosti

V bežnej prevádzke na KV je prijímač obmedzený takmer výlučne šumom pásma. Na 80 a 40 m je atmosférický a priemyselný šum na typickej drôtovej anténe o desiatky dB vyšší než vlastný šum moderného prijímača, a aj na 20 m stačí pár dB zosilnenia, aby šumové pozadie určovalo pásmo, nie vstupný stupeň. Citlivosť v zmysle MDS (Minimum Discernible Signal, úroveň vlastného šumu v šírke 500 Hz) je preto v contestovom kontexte nutná, ale nie rozhodujúca. Všetky tri porovnávané rádiá majú bez predzosilňovača MDS v okolí -121 až -131 dBm, čo je viac než dosť.

Contest vytvára úplne iné prostredie. Pásmo je od okraja po okraj obsadené, silné stanice so zosilňovačmi a smerovkami vysielajú v rozstupoch 300 Hz až 2 kHz a v mnohých prípadoch ide o stanice z rovnakej krajiny alebo regiónu, ktorých signál je o 60 až 90 dB nad šumom pásma. V takej situácii slabý signál nezaniká v šume pásma, ale v produktoch, ktoré si prijímač vyrobí sám. Rozhodujú tri mechanizmy: recipročné zmiešavanie (šum lokálneho oscilátora prenesený na silný signál), intermodulácia tretieho rádu (IMD3) a prebudenie, teda kompresia zisku vplyvom silného signálu mimo priepustného pásma.

Odtiaľ pochádza posun pozornosti, ktorý opisuje aj PF9Z: zatiaľ čo kedysi sa prijímače porovnávali hlavne podľa bodu zahradenia IP3, dnes sa pri blízkych odstupoch ako prvý limit ukazuje fázový šum a s ním RMDR. Prijímač s veľkým IP3, ale zašumeným oscilátorom, v hustom pásme nepočuje viac než prijímač so skromnejším IP3 a čistým oscilátorom.

2. Teoretická časť: parametre, ktoré rozhodujú

2.1 RMDR – dynamický rozsah recipročného zmiešavania

Žiadny lokálny oscilátor (LO) nie je čistá spektrálna čiara. Okolo nosnej má „sukňu“ fázového šumu, ktorej výkonová hustota klesá s odstupom od nosnej a udáva sa ako $L(\Delta f)$ v dBc/Hz. V zmiešavači sa každý vstupný signál násobí celým spektrom LO, teda aj touto sukňou. Silný signál vzdialený Δf od prijímaného kmitočtu sa tak premietne do medzifrekvencie nielen ako silná čiara mimo filtra, ale aj ako šumový pás, ktorého časť vždy padne priamo do priepustného pásma. Ten šum už nijaký nasledujúci filter neodstráni, lebo sa nachádza na rovnakom kmitočte ako užitočný signál. To je recipročné zmiešavanie.

RMDR je rozdiel medzi úrovňou rušiaceho signálu, pri ktorej recipročným zmiešavaním vzniknutý šum zdvihne šumové pozadie o 3 dB, a šumovým pozadím (MDS). Výkon šumu recipročného zmiešavania v šírke pásma B je približne:

$$P_{\text{RM}} [\text{dBm}] \approx P_{\text{rušič}} [\text{dBm}] + L(\Delta f) [\text{dBc/Hz}] + 10 \cdot \log_{10}(B [\text{Hz}])$$

$$\text{RMDR} [\text{dB}] \approx -L(\Delta f) - 10 \cdot \log_{10}(B)$$

Pre referenčnú šírku 500 Hz je $10 \cdot \log_{10}(500) \approx 27$ dB. Presne tento prepočet používa aj Sherwood Engineering: hodnotu v stĺpci LO Noise (dBc/Hz) prevedie na RMDR odčítaním 27 dB. Príklad: fázový šum -120 dBc/Hz pri odstupe 10 kHz zodpovedá RMDR ≈ 93 dB.

Prakticky to znamená, že ak má rušiaci signál úroveň presne MDS + RMDR, šumové pozadie stúpne o 3 dB. Každých ďalších 10 dB rušiča zdvihne šum zhruba o ďalších 10 dB. Ako uvádza PF9Z, vysoké RMDR je to, čo v praxi umožní prijať slabú DX stanicu, keď 1 až 2 kHz od nej volá silná stanica. Icom v teste, ktorý PF9Z preberá, porovnával rádiá tak, že k slabému CW signálu priviedol rušič na úrovni S9+40 dB a posúval ho po 100 Hz, kým sa slabý signál znovu neobjavil. Rozdiel medzi prijímačom so starším syntezátorom a prijímačmi s nízkošumovým hodinovým oscilátorom bol rádovo stovky Hz až jednotky kHz potrebného odstupe.

Poznámka k zdroju PF9Z. Článok PF9Z je praktický a kvalitatívny – opisuje význam RMDR, metodiku porovnávacieho testu a vplyv nízkošumového hodinového oscilátora v rádiách s priamym vzorkovaním. Matematický vzťah uvedený vyššie je štandardný vzťah teórie prijímačov, ktorý je v súlade s prepočtom používaným v tabuľke Sherwood.

2.2 Dynamický rozsah IMD3 pri tesnom odstupe

Dva silné signály s kmitočtami f_1 a f_2 vytvárajú v nelineárnom prvku produkty tretieho rádu na $2f_1 - f_2$ a $2f_2 - f_1$. Pri odstupe 2 kHz padnú tieto produkty 2 kHz pod a nad dvojicu signálov, teda opäť do obsadeného pásma. Dynamický rozsah tretieho rádu (DR3) je rozdiel medzi úrovňou každého z dvoch tónov, pri ktorej produkt IMD3 dosiahne úroveň MDS, a samotným MDS. Pre klasický analógový obvod platí:

$$\begin{aligned} \text{DR3} &= \frac{2}{3} \cdot (\text{IP3} - \text{MDS}) & \text{IP3} &= \text{MDS} + 1,5 \cdot \text{DR3} \\ \text{IP3} &= P_{\text{vstup}} + (P_{\text{vstup}} - P_{\text{IMD}}) / 2 \end{aligned}$$

Kľúčové je, pri akom odstupe sa DR3 meria. Pri 20 kHz je druhý signál u superhetu ďaleko za roofing filtrom a obmedzuje ho len prvý zmiešavač. Pri 2 kHz je už v priepustnom pásme 3 kHz roofing filtra a namáha aj zosilňovače medzifrekvencie a A/D prevodník. Preto Sherwood triedi rádiá podľa „Dynamic Range Narrow Spaced“ pri 2 kHz, a ak je meranie obmedzené fázovým šumom, podľa RMDR (v tabuľke vyznačené poznámkou f).

Pri prijímačoch so softvérovým spracovaním treba DR3 a IP3 čítať opatrne. Produkty skreslenia A/D prevodníka nerastú so smernicou 3:1 ako v diódovom zmiešavači, takže z jedného bodu vypočítané IP3 neplatí pre iné úrovne. V tomto dokumente sú preto hodnoty IP3 vždy uvedené ako odvodené a s poznámkou, z ktorej dvojice čísel vznikli.

2.3 BDR – dynamický rozsah prebudenia

Blocking (prebudenie) je pokles zisku pre užitočný signál spôsobený silným signálom mimo priepustného pásma. Sherwood ho meria pri odstupe 100 kHz ako úroveň rušiča, pri ktorej klesne užitočný signál o 3 dB, a to práve preto, aby meranie neovplyvnil fázový šum. ARRL meria „blocking gain compression“ pri 20 kHz a 2 kHz s inou definíciou kompresie, takže čísla z oboch laboratórií nie sú zameniteľné. Pre rádiá s priamym vzorkovaním Sherwood výslovne uvádza, že stĺpec blocking predstavuje bod preťaženia A/D prevodníka vzhľadom na šumové pozadie, nie kompresiu analógového stupňa.

Pre contestovú prax je BDR pri 100 kHz menej kritické než RMDR a DR3 pri 2 kHz – stanica 100 kHz ďaleko musí byť extrémne silná, aby spôsobila kompresiu. Výnimkou je prevádzka v multi-multi stanici alebo na Field Day, kde susedná anténa toho istého pásma dodá do vstupu úroveň rádovo 0 dBm.

2.4 Vplyv architektúry prijímača

Priame vzorkovanie (direct sampling). Celé KV pásmo (po dolnopriepustnom alebo pásmovom filtri) ide priamo do rýchleho A/D prevodníka. Nie je tu analógový zmiešavač, takže chyba klasický IMD3 zmiešavača; limitom je linearita a šumové pozadie A/D prevodníka a jitter vzorkovacích hodín, ktorý sa správa ako fázový šum. Ako ukazuje PF9Z na príklade IC-7300 a IC-7610, nízkošumový hodinový oscilátor umožnil RMDR nad 100 dB aj v cenovo dostupných rádiách. Žiadne z troch porovnávaných rádií túto architektúru nepoužíva; slúži ako referenčný bod.

Priama (nulová alebo nízka MF) konverzia s kvadratúrnym vzorkovacím detektorom (QMX, KX3). Vstupný signál sa v jednom kroku zmieša priamo do akustickej oblasti ako dvojica signálov I a Q. Kvadratúrny vzorkovací detektor (QSD, Tayloeho detektor) je spínací zmiešavač s veľkým IP3 a malým šumom. Postranné pásmo a zrkadlový príjem sa potláčajú fázovou metódou v DSP, takže potlačenie opačného postranného pásma priamo závisí od vyváženia amplitúdy a fázy kanálov I a Q (typicky 60–70 dB po kalibrácii). Bez analógového roofing filtra vidí A/D prevodník celú šírku I/Q pásma (pri 48 kSps rádovo ± 24 kHz). Druhý signál pri 20 kHz

je pre prevodník rovnako „blízko“ ako pri 2 kHz – preto má takýto prijímač DR3 pri tesnom a širokom odstupe takmer rovnaký.

Klasický superhet s DSP na poslednej MF (FT-991). Signál sa zmieša nahor na 1. MF 69,450 MHz, kde je roofing filter so šírkou 3 alebo 15 kHz, a ďalej cez 2. MF na 3. MF 24 kHz, ktorá sa digitalizuje. Výhodou je, že všetko za roofing filtrom vidí len signály do $\pm 1,5$ kHz (pri 3 kHz filtri). Nevýhodou je, že roofing filter na vysokej MF nemôže byť úzky ako CW filter a že syntezátor pre zmiešavanie nahor pracuje na kmitočtoch 70–100 MHz, kde je dosiahnutie nízkeho fázového šumu náročnejšie. U FT-991 je to – ako ukazujú dáta nižšie – hlavný limit.

3. Porovnávacia tabuľka parametrov

Tabuľka zjednocuje dostupné údaje. Hodnoty zo Sherwood Engineering a z protokolu N9EWO sú pre referenčnú šírku 500 Hz bez predzosilňovača, ak nie je uvedené inak. Údaje QMX pochádzajú z laboratória ARRL (QST 11/2024) a sú merané inou metodikou. Šikmo označené „odvodené“ hodnoty sú vypočítané automom podľa vzťahov z kapitoly 2.

Parameter	QRP Labs QMX	Elecraft KX3	Yaesu FT-991
Architektúra / zmiešavač	Priama konverzia I/Q; dvojito vyvážený QSD; syntezátor Si5351A s TCXO 25 MHz; 24-bitový ADC PCM1804, 48 kSps; DSP v ARM Cortex-M4 168 MHz; bez analógového roofing filtra	I/Q konverzia s kvadratúrnym vzorkovacím zmiešavačom, DSP; voliteľný analógový roofing KXFL3 500/1500 Hz (ekv. 1000/3000 Hz MF); režim RX SHFT 8.0 = nízka MF 8 kHz	Superhet, trojité zmiešavanie (SSB/CW/AM): 69,450 MHz / 9 MHz / 24 kHz; roofing 3 kHz a 15 kHz; DSP na 3. MF
Šumové pozadie (MDS), bez predzos.	-124 dBm (14 MHz) -121 dBm (3,5 MHz) ARRL	-123 dBm -138 dBm s preamp 20 dB Sherwood, 500 Hz	-123 dBm (IPO) -135 dBm AMP1, -143 dBm AMP2 Sherwood/N9EWO, 500 Hz
RMDR pri 2 kHz	79 dB (14 MHz) 85 dB (3,5 MHz) ARRL	nezverejnené DR3 104 dB nie je v tabuľke označené ako limitované fázovým šumom	≈ 77 dB pri 2,5 kHz odvodené z -104 dBc/Hz (N9EWO)
RMDR pri 5 kHz	101 dB (14 MHz) 111 dB (3,5 MHz)	nezverejnené	≈ 84 dB odvodené z -111 dBc/Hz
RMDR pri 10 kHz	nezmerané 20 kHz: 113 / 111 dB	≈ 117 dB Sherwood LO noise -27 dB	≈ 93 dB Sherwood LO noise -27 dB
Fázový šum pri 2 kHz	≈ -104 až -106 dBc/Hz odvodené z RMDR 79 dB (300–500 Hz)	nezverejnené	-104 dBc/Hz pri 2,5 kHz N9EWO
Fázový šum pri 10 kHz	nezmerané 20 kHz ≈ -138 až -140 dBc/Hz, odvodené	-144 dBc/Hz Sherwood	-120 dBc/Hz Sherwood, N9EWO
DR3 pri 2 kHz (Dynamic Range Narrow)	85 dB (14 MHz) ARRL; IMD -124 dBm pri vstupe -39 dBm	104 dB s KXFL3 96 dB bez KXFL3 65 dB pri 1 kHz*	72 dB kombinácia fázového šumu a IMD3
DR3 pri 20 kHz (Wide)	83 dB (14 MHz) 80 dB (3,5 MHz)	105 dB	96 dB 10 kHz: 89 dB, 5 kHz: 81 dB
IP3 (odvodené)	≈ +3 dBm (2 kHz) ≈ +1 dBm (20 kHz)	≈ +33 dBm (2 kHz, KXFL3) ≈ +21 dBm (2 kHz, bez)	≈ +21 dBm (20 kHz) pri 2 kHz nemá zmysel – limit je fázový šum
Blocking / BDR	113 dB (20 kHz, 14 MHz) 107 dB (20 kHz, 3,5 MHz) 66 / 68 dB** (2 kHz) ARRL gain compression	138 dB Sherwood, 100 kHz	133 dB Sherwood, 100 kHz; limitované RMDR
Prah AGC	nezverejnené	12 μV (bez predzos.) 1,3 μV (preamp)	5 μV (IPO), 1,2 μV (AMP1), 0,33 μV (AMP2)

Parameter	QRP Labs QMX	Elecraft KX3	Yaesu FT-991
Ultimate (konečný útlm filtra)	nezverejnené	110 dB	80 dB 500 Hz filter: limitované fázovým šumom

* Sherwood, poznámka v: pri 1 kHz je výkon KX3 obmedzený potlačením opačného postranného pásma. ** ARRL označuje tieto hodnoty hviezdíčkom ako „noise limited“ (obmedzené spurmi prijímača alebo orezaním ADC); používatelia QRP Labs ich považujú za pravdepodobne chybné interpretované. Rozloženie hodnôt v PDF verzii tabuľky ARRL je čiastočne poškodené, priradenie hodnôt 66/68 dB k riadku 2 kHz blocking vychádza zo súhrnného grafu recenzie.

3.1 Špecifiká FT-991 podľa protokolu N9EWO

Protokol Sherwood pre FT-991 (S/N 4N020453, meraný 4. 8. 2015), ktorý archivuje N9EWO, obsahuje viac detailov než súhrnná tabuľka. Najdôležitejšie zistenie je priebeh dynamického rozsahu v závislosti od odstupu: 96 dB pri 20 kHz, 89 dB pri 10 kHz, 81 dB pri 5 kHz a 72 dB pri 2 kHz. Hodnoty pri 10, 5 a 2 kHz sú v protokole označené ako kombinácia fázového šumu a produktu tretieho rádu – teda nie čistý IMD3. Konečný útlm 500 Hz CW filtra (80 dB) je podľa protokolu daný výlučne fázovým šumom.

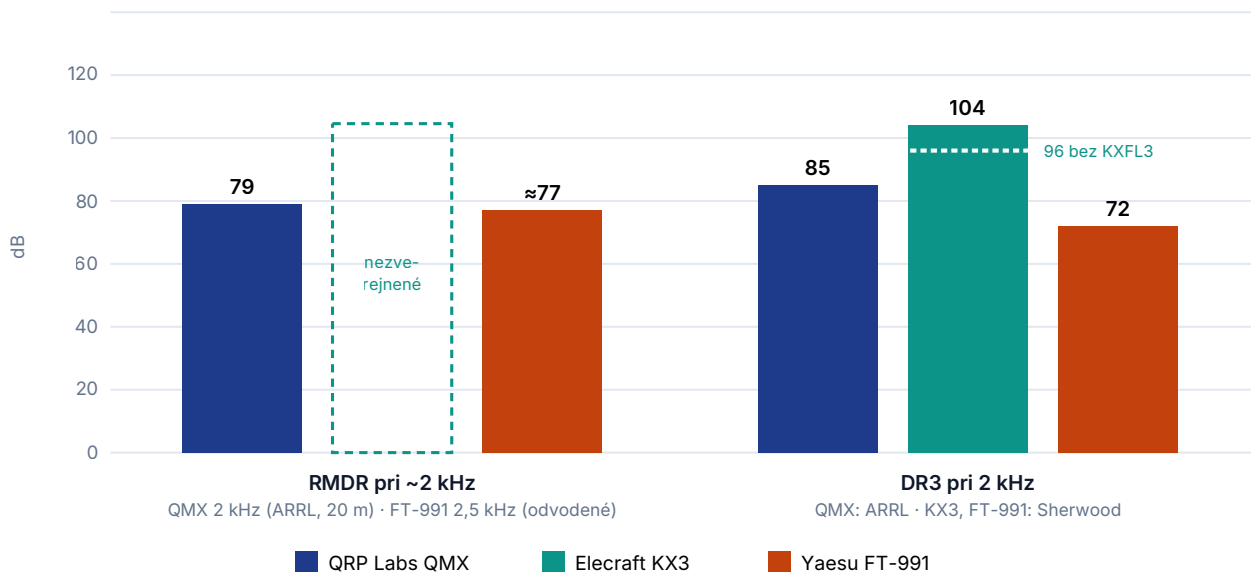
Aj meranie prebudenia pri 100 kHz (133 dB nad šumovým pozadím, AGC zapnuté, 500 Hz, signál 1 μ V) je podľa poznámky v protokole limitované RMDR: pred tým, ako nastala kompresia, stúpol šum na nízkofrekvenčnom výstupe o 3 dB. FT-991 teda nemá problém s preťažením vstupu, ale so šumom syntezátora – a to aj pri pomerne veľkých odstupoch.

Protokol tiež ukazuje vplyv predzosilňovačov. AMP1 má zisk 12 dB a AMP2 23 dB; šumové pozadie v SSB šírke na 14 MHz klesne z -119 dBm (IPO) na -131 dBm (AMP1) a -138 dBm (AMP2). Prah AGC sa pritom posunie z 5 μ V na 1,2 μ V a 0,33 μ V. Úroveň pre S9 je bez predzosilňovača -65 dBm, s AMP1 -77 dBm a s AMP2 -88 dBm, takže S-meter FT-991 nie je kalibrovaný na štandard S9 = -73 dBm v žiadnom režime. Predzosilňovač nezmení RMDR ani DR3 v dB voči rušiču na anténe k lepšiemu – iba posunie celý dynamický rozsah nadol a zvýši úroveň rušičov v reťazci za ním.

FT-991A. Sherwood ani N9EWO nemerali FT-991A samostatne. Podľa dostupného opisu priniesla verzia „A“ najmä spektrálny displej s vodopádom a lepšie chladenie koncového stupňa; o zmene prijímacieho reťazca zdroje nehovorí. Prenos uvedených výsledkov na FT-991A je teda rozumný predpoklad, nie overený fakt.

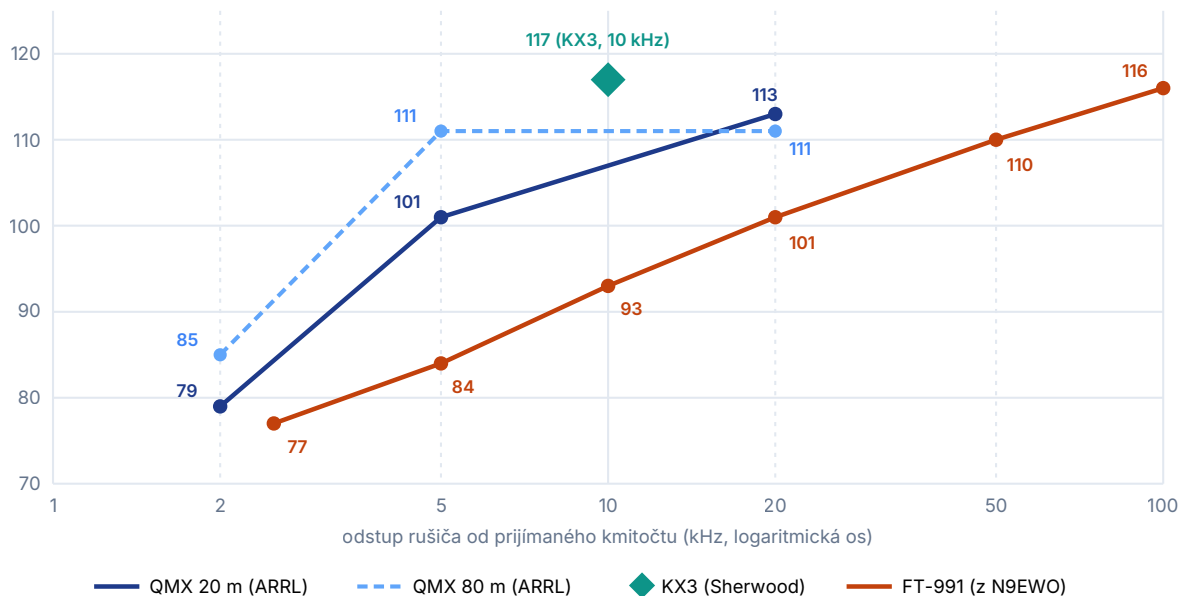
4. Vizualizácia: RMDR a DR3 vedľa seba

Blízky odstup: RMDR a DR3 (dB, viac = lepšie)



Graf 1 – Pruhy začínajú od nuly. RMDR pre KX3 pri 2 kHz nie je v použitých zdrojoch publikované. Hodnota QMX je meraná metodikou ARRL, hodnota FT-991 je odvodená z normalizovaného fázového šumu pre 500 Hz.

RMDR v závislosti od odstupu rušiča (dB)



Graf 2 – Krivka FT-991 je odvodená z normalizovaného fázového šumu v protokole N9EWO ($RMDR = -L(\Delta f) - 27$ dB). Bod KX3 je prepočet hodnoty LO Noise zo Sherwood. Krivky QMX sú priamo merané RMDR podľa ARRL. Os y nezačína nulou, pretože ide o čiarový graf priebehu.

Graf 2 ukazuje podstatnú vec, ktorú jednotlivé čísla zakrývajú. FT-991 a QMX majú pri 2 až 2,5 kHz takmer rovnaké RMDR (77 vs. 79 dB), no ich krivky sa potom rýchlo rozchádzajú. QMX dosiahne pri 5 kHz 101 až 111 dB, kým FT-991 sa dostane nad 100 dB až pri 20 kHz. V conteste, kde sú silné stanice rozložené po celom pásme, je pre FT-991 rozhodujúca práve táto „široká sukňa“ fázového šumu: stanica 5 kHz ďaleko so silou S9+40 dB (-33 dBm) zdvihne jeho šumové pozadie v 500 Hz približne o 6 dB, pri S9+50 dB už o vyše 15 dB. QMX má pri rovnakom odstupe rezervu o 17 až 27 dB väčšiu.

5. Hĺbková analýza jednotlivých zariadení

5.1 QRP Labs QMX

QMX je v prvom rade pozoruhodný pomerom ceny a výsledkov. Dvojito vyvážený QSD, nízkošumové operačné zosilňovače v diferenciálnom zapojení a 24-bitový prevodník PCM1804, ktorého dynamický rozsah výrobcu uvádza 110 dB, dávajú prijímaču solídny základ. ARRL namerala MDS -121 až -131 dBm podľa pásma, čo je pre prevádzku obmedzenú šumom pásma viac než dostatočné. RMDR pri 5 a 20 kHz (101–113 dB) je na úrovni, ktorú pred desiatimi rokmi dosahovali len stredné a vyššie triedy superhetov – Si5351A s TCXO je pri týchto odstupoch prekvapivo čistý.

Limitom je priama konverzia bez analógového roofing filtra. A/D prevodník vidí všetky silné signály v šírke I/Q pásma, a preto je DR3 pri 2 kHz (85 dB) prakticky rovnaký ako pri 20 kHz (80–83 dB). Na rozdiel od superhetu tu nepomôže, že rušič je ďalej – kým je v okne prevodníka, záleží len na jeho úrovni. Druhým limitom je RMDR pri 2 kHz (79 dB na 20 m), ktoré je o 20 až 30 dB horšie než pri 5 kHz; syntezátor má teda pri veľmi malých odstupoch výrazne vyšší fázový šum.

Tretí bod je potlačenie opačného postranného pásma. Výrobca uvádza 60–70 dB potlačenia nechceného postranného pásma, čo je typické pre fázovú metódu. Výsledok však závisí od kalibrácie konkrétneho kusa – vo fóre QRP Labs sa objavila správa o kuse, ktorý mal na 17 m len okolo 30 dB. Pre contest je dôkladná kalibrácia vyváženia I/Q povinnosťou, nie voľbou.

Hodnoty blocking pri 2 kHz (66/68 dB) ARRL sama označila za obmedzené spurmi alebo orezaním ADC. Číslo ukazuje, že pri veľmi silnom signáli v tesnej blízkosti môže prevodník dosiahnuť strop skôr než analógová časť. Zároveň ho treba čítať opatrne: v recenzii nebola rozobratá špecifická metodika pre SDR prijímače a používatelia QRP Labs ho spochybňujú.

Obmedzenia QRP sú v conteste zrejmé, ale netýkajú sa príjmu: 5 W výkonu znamená, že QMX v conteste spravidla „hladá a volá“ (S&P), nie „volá výzvu“ (run). Pri S&P je však dobrá schopnosť prijať slabú stanicu medzi silnými kľúčovými. Základná verzia QMX pokrýva päť pásiem (80–20 m alebo high-band varianty); merania ARRL sa týkajú tejto verzie, nie QMX+.

5.2 Elecraft KX3

KX3 v tabuľke Sherwood stojí so svojimi 104 dB pri 2 kHz medzi rádiami triedy K3S, TS-890S a FTdx-101 – teda v spoločnosti zariadení, ktoré stoja niekoľkonásobne viac. Kľúčom je kombinácia kvadratúrneho vzorkovacieho zmiešavača s veľkým IP3, čistého syntezátora (LO noise -144 dBc/Hz pri 10 kHz, prepočítané RMDR ≈ 117 dB) a voliteľného modulu KXFL3.

KXFL3 je dvojpásmový analógový filter so šírkou 500 a 1500 Hz zaradený pred A/D prevodník. Keďže pracuje v I/Q oblasti, zodpovedá ekvivalentnej šírke 1000 a 3000 Hz na medzifrekvencii. Rádio ho prepína automaticky podľa nastavenej šírky DSP filtra. Sherwood nameral s KXFL3 DR3 pri 2 kHz 104 dB, bez neho 96 dB. Rozdiel 8 dB je presne to, čo modul robí: druhý tón dvojice pri 2 kHz odfiltruje skôr, než sa dostane k prevodníku. Prepočítané IP3 $\approx +33$ dBm s filtrom je hodnota, ktorú v tejto triede nedosahuje nič iné.

Achillovou päťou je 1 kHz. Sherwood výslovne uvádza, že pri odstupe 1 kHz je výsledok (65 dB) obmedzený potlačením opačného postranného pásma, nie zmiešavačom ani fázovým šumom. Ide o princíp priamej konverzie: signál 1 kHz na „nesprávnej“ strane sa objaví ako zrkadlo v priepustnom pásme a jeho potlačenie závisí od vyváženosti kanálov I a Q. Elecraft na to reaguje kalibračným postupom, ktorý podľa aplikačnej poznámky dosiahne 60–70 dB alebo viac, a režimom RX SHFT 8.0, ktorý posunie príjem na nízku MF 8 kHz. Zrkadlo sa potom presunie do vzdialenosti 16 kHz, kde ho možno samostatne vynulovať (od firmvéru 1.36). Z aplikačnej poznámky zároveň vyplýva, že v režime RX SHFT 8.0 sa nuluje len filtrová cesta FL1, takže užšie

roofing filtre KXFL3 sa v ňom zjavne nevyužívajú – ide o kompromis, ktorý sa oplatí len v špecifických situáciách.

Prah AGC je bez predzosilňovača vysoký (12 μ V, s predzosilňovačom 1,3 μ V), čo v praxi znamená, že na nízkych pásmach treba AGC a citlivosť nastavovať vedome. Meranie Sherwood pochádza z roku 2012; neskoršie kusy a firmvér mohli správanie mierne zmeniť, novšie meranie v tabuľke nie je.

KX3 zostáva benchmarkom QRP contestovania preto, že je jediný z trojice, ktorý kombinuje čistý syntezátor, vysoký IP3 a analógovú selektivitu pred prevodníkom. Pri odstupe 2 kHz a viac sa správa ako veľké stacionárne rádio.

5.3 Yaesu FT-991 / FT-991A

FT-991 je univerzálne rádio pre KV, 6 m, 2 m a 70 cm a jeho prijímač je navrhnutý s ohľadom na túto šírku pokrytia. Architektúra so zmiešavaním nahor na 69,450 MHz je pre all-band rádio logická, no prináša dve obmedzenia, ktoré v conteste vychádzajú na povrch.

Prvým je roofing filter. Na 1. MF je k dispozícii 3 kHz a 15 kHz filter. Pri CW s odstupom 2 kHz je rušič na hrane alebo v priepustnom pásme 3 kHz filtra a jeho energia prechádza do 2. a 3. MF až k A/D prevodníku. Ochranu potom zabezpečuje len DSP filter, ktorý však nedokáže odstrániť IMD vzniknuté pred ním. Pri 1 kHz je rušič v priepustnom pásme roofing filtra vždy.

Druhým, závažnejším obmedzením je fázový šum syntezátora. Protokol N9EWO ukazuje -104 dBc/Hz pri 2,5 kHz a -120 dBc/Hz pri 10 kHz. Pre porovnanie: KX3 má pri 10 kHz -144 dBc/Hz, teda o 24 dB menej šumu. Dôsledkom je, že dynamický rozsah 72 dB pri 2 kHz je zo značnej časti daný fázovým šumom, že konečný útlm 500 Hz filtra je fázovým šumom obmedzený na 80 dB a že aj meranie prebudenia pri 100 kHz zastavil šum, nie kompresia.

V praxi to znamená, že FT-991 netrpí tým, že by ho silný signál „zahltil“ – vstupná časť je dostatočne lineárna (DR3 96 dB pri 20 kHz, odvodené IP3 $\approx$ +21 dBm). Trpí tým, že každý silný signál v okolí niekoľkých kHz pridá do priepustného pásma šum. Contestový operátor to vníma ako „hustý“ alebo „zasyčaný“ príjem, ktorý sa pri prepnutí na IPO alebo zaradení atenuátora nezlepší pomerovo – šum klesne rovnako ako slabý signál, pretože obidva sú úmerné úrovni na vstupe.

IPO, ATT a AGC preto u FT-991 slúžia na iný účel než u rádii s čistým syntezátorom. IPO a ATT pomáhajú, keď je problémom IMD alebo preťaženie (napríklad na 40 m večer s rozhlasovými stanicami), a znižujú riziko, že silné signály dosiahnu prah AGC a začnú „pumpovať“. Proti recipročnému zmiešavaniu pomáha len to, čo zníži úroveň rušiča voči užitočnému signálu: smerová anténa, otočenie antény alebo väčší odstup na pásme.

6. Priame porovnanie v contestových scenároch

Pre kvantitatívny pohľad použijeme štandardnú úroveň S9 = -73 dBm (50 μ V) na KV. Silná stanica s úrovňou S9+40 dB teda dodá na vstup -33 dBm, blízka stanica s kilowattom a smerovkou môže pri miestnom šírení dosiahnuť S9+60 dB, teda -13 dBm. Výkon šumu recipročného zmiešavania v 500 Hz pásme je $P_{\text{RM}} = P_{\text{rušič}} - \text{RMDR}$.

Situácia (500 Hz)	QMX (2 kHz, 20 m)	KX3	FT-991 (2,5 kHz)
RMDR	79 dB	2 kHz nezverejnené 10 kHz: ≈ 117 dB	≈ 77 dB
Rušič S9+40 (-33 dBm): šum RM	≈ -112 dBm 12 dB nad MDS	pri 10 kHz ≈ -150 dBm pod MDS, bezvýznamné	≈ -110 dBm 13 dB nad MDS
Rušič S9+60 (-13 dBm): šum RM	≈ -92 dBm	pri 10 kHz ≈ -130 dBm	≈ -90 dBm

Výpočet je zjednodušený: predpokladá konštantný fázový šum v rámci priepustného pásma a nezahŕňa IMD. Hodnota pre QMX vychádza z merania ARRL v šírke CW filtra rádia, nie presne v 500 Hz.

6.1 CW contest (200–500 Hz, stanice tesne vedľa seba)

Otázka „ktoré rádio zvládne kilowattovú stanicu 1 kHz vedľa“ nemá v nameraných dátach pohodlnú odpoveď. Pri odstupe 1 kHz existuje jediné meranie (KX3, 65 dB) a z trendov ostatných dát vyplýva, že ani jedno z troch rádii tu nemá viac než zhruba 65–80 dB rezervy. U KX3 je pri 1 kHz limitom potlačenie opačného postranného pásma (65 dB podľa Sherwood). U FT-991 je rušič v priepustnom pásme 3 kHz roofing filtra a fázový šum pri 1 kHz bude podľa trendu krivky horší ako -104 dBc/Hz pri 2,5 kHz (meranie pri 1 kHz chýba). U QMX meranie pri 1 kHz nie je a RMDR pri 2 kHz (79 dB) naznačuje, že pri 1 kHz bude rezerva ešte nižšia.

Ak má rušič úroveň S9+40 dB, všetky tri rádiá budú mať v tejto situácii zdvihnuté šumové pozadie zhruba o 10 až 20 dB. Pri S9+60 dB je slabá stanica 1 kHz vedľa pre všetky tri prakticky nečitateľná. Rozdiel sa ukáže pri 2 kHz a ďalej: KX3 s KXFL3 drží DR3 104 dB, QMX 85 dB a FT-991 72 dB. Pri 5 kHz má QMX RMDR 101–111 dB, kým FT-991 len okolo 84 dB.

Poradie pre CW: KX3 s KXFL3 jasne prvý, QMX druhý (pri odstupoch od 5 kHz veľmi dobrý, pri 2 kHz porovnateľný s FT-991 v RMDR, lepší v DR3), FT-991 tretí.

6.2 SSB contest (2,4 kHz, širšie pásmo šumu)

Pri SSB sa šírka pásma zväčší z 500 Hz na približne 2,4 kHz, teda o 6,8 dB. O toľko vzrastie výkon recipročného šumu v priepustnom pásme, ale rovnako aj vlastný šum prijímača a šum pásma. Pomer sa teda nemení, mení sa však geometria: SSB stanice sú od seba vzdialené typicky 2,5–5 kHz a ich spektrum je široké. Väčšinu toho, čo operátor v SSB conteste vníma ako „rušenie od suseda“, netvorí prijímač, ale vysielač susednej stanice – postranné pásma IMD a splatter z prebudeneho koncového stupňa alebo procesora modulácie. Proti tomu nepomôže ani najlepší prijímač, pretože tieto produkty sú skutočne na vašom kmitočte.

Prijímač rozhoduje o tom, či k tomuto vonkajšiemu rušeniu pridá vlastné. Tu je FT-991 v nevýhode: jeho RMDR pri 5 kHz ≈ 84 dB a pri 10 kHz ≈ 93 dB znamená, že silné SSB stanice na susedných kanáloch zdvihnú šumové pozadie viditeľne. QMX pri 5 kHz (101–111 dB) a KX3 pri 10 kHz (≈ 117 dB) sú o 15 až 25 dB lepšie. KX3 s 3 kHz roofingom (KXFL3, FL2) navyše chráni prevodník pred stanicami mimo pásma SSB kanála.

Poradie pre SSB: KX3, potom QMX (ak je osadený pre SSB a firmvér to podporuje), FT-991 posledný. V SSB je však rozdiel v praxi menší než v CW, pretože prevláda vonkajšie rušenie.

6.3 FT8 a digitálne contesty (in-band IMD)

Pri FT8 je situácia iná. Prijímač má otvorené pásmo 3 kHz a v ňom môže byť naraz 20–40 signálov s rozdielmi úrovni 40–60 dB. Problémom nie je rušič mimo pásma, ale intermodulácia signálov v pásme a správanie AGC. Ak najsilnejší signál prekročí prah AGC, zníži zisk pre celé pásmo a slabé signály klesnú pod rozlišovaciu schopnosť dekodéra.

Všetky tri rádiá spracúvajú celé 3 kHz pásmo digitálne s rozlíšením, ktoré FT8 postačuje. Rozhoduje teda nastavenie: AGC a úroveň signálu do prevodníka. QMX je pre digitálne režimy navrhnutý od začiatku (vstavaná

24-bitová zvuková karta, IQ režim) a jeho DR3 je prakticky nezávislé od rozostupu, takže in-band IMD je dané celkovou úrovňou v okne prevodníka. KX3 vďaka KXFL3 (FL2, ekv. 3 kHz) odreže silné signály mimo okna FT8 pred prevodníkom. FT-991 je chránený 3 kHz roofing filtrom na 1. MF; jeho slabší fázový šum sa pri FT8 prejaví vtedy, keď je silná CW alebo SSB stanica tesne mimo FT8 okna.

Poradie pre FT8: rozdiely sú malé; pri správnom nastavení AGC a vstupnej úrovne sú všetky tri použiteľné. KX3 má najväčšiu rezervu, QMX najlepšiu integráciu s počítačom.

7. Záver a odporúčania operátora

Elecraft KX3

Najlepší contestový prijímač z trojice, ale len s KXFL3. DR3 104 dB pri 2 kHz, čistý syntezátor. Slabina: zrkadlo pri 1 kHz (65 dB), ktoré treba udržiavať kalibráciou. Meranie je z roku 2012.

QRP Labs QMX

Výborný pomer cena/výkon. RMDR 101–113 dB od 5 kHz vyššie, DR3 okolo 85 dB nezávisle od odstup. Slabina: chýbajúci roofing filter a RMDR 79 dB pri 2 kHz. Kalibrácia I/Q rozhoduje.

Yaesu FT-991 / 991A

Univerzálne rádio s dostatočne lineárnou vstupnou časťou, ktorú v conteste brzdi fázový šum syntezátora: 72 dB pri 2 kHz, RMDR nad 100 dB až od 20 kHz. Na contest skôr kompromis.

Ak by bolo treba výsledok zhrnúť jednou vetou: z pohľadu príjmu v preplnenom pásme je KX3 s KXFL3 v inej lige než ostatné dve rádiá, QMX je nad očakávania svojej ceny a pri odstupoch od 5 kHz prekonáva FT-991 o 15 až 25 dB v RMDR, a FT-991 je univerzálne rádio, ktoré v conteste funguje, ale jeho syntezátor mu nedovolí využiť lineárny vstup.

7.1 Nastavenie QMX pre contest

Používajte aktuálny firmvér a vykonajte kalibráciu vyváženia I/Q a potlačenia opačného postranného pásma na každom pásme, ktoré v conteste používate; bez nej sa zrkadlové signály stanú hlavným zdrojom rušenia. Zvoľte čo najužší CW filter, ktorý ešte pohodlne prečítate. Úroveň signálu do prevodníka nastavte tak, aby silné stanice v pásme nespôsobovali orezanie ADC – pri silných signáloch je bezpečnejšie znížiť zisk než ho zvyšovať. Na 80 a 40 m, kde je šum pásma vysoko nad MDS, je jednoduchou pomocou externý krokový atenuátor (6–12 dB), ktorý zníži úroveň všetkých silných signálov v okne prevodníka a citlivosť prakticky nezmení. Kto chce ísť ďalej, môže doplniť externý úzky pásmový filter (preselektor) pred vstup.

7.2 Nastavenie KX3 pre contest

KXFL3 je pre contest nevyhnutný; bez neho klesne DR3 pri 2 kHz zo 104 na 96 dB. Skontrolujte, či je v menu povolený (RX XFIL) a či sa filtre FL2/FL3 pri zúžení pásma automaticky prepínajú. Ak má rádio sériové číslo nižšie ako 2324 alebo nebol postup nikdy vykonaný, vykonajte nulovanie opačného postranného pásma podľa aplikačnej poznámky Elecraft (firmvér 1.36 a novší) – je to priama obrana proti problému pri 1 kHz. Predzosilňovač na nízkych pásmach vypnite; prah AGC sa ním posunie z 12 μ V na 1,3 μ V a silné stanice začnú ovládať AGC. Atenuátor použite na 40 m večer a všade, kde S-meter ukazuje vysoké pozadie. RX SHFT 8.0 berte ako nástroj na špecifický problém (napríklad silný signál na zrkadlovom kmitočte), nie ako trvalé nastavenie, pretože obide užšie roofing filtre.

7.3 Nastavenie FT-991 / FT-991A pre contest

Na 160 až 40 m pracujte v režime IPO; protokol N9EWO ukazuje, že AMP1 a AMP2 posúvajú prah AGC na 1,2 a 0,33 μ V a zvyšujú úroveň silných signálov v reťazci za vstupom bez toho, aby zlepšili čitateľnosť slabých staníc, ktorú obmedzuje šum pásma. AMP1 zapínajte len na 15–10 m a len vtedy, ak sa po pripojení antény šum výrazne nezdvihne. Atenuátor zaradte vtedy, keď silné stanice pumpujú AGC. Pre CW používajte úzky DSP filter a pri silných susedoch skúste regulátor RF zisku znížiť tak, aby AGC nereagovalo na šum vytvorený recipročným zmiešavaním. Najúčinnnejším „nastavením“ FT-991 v conteste je však výber miesta na pásme: zaistíte si od silných staníc čo najväčší odstup, ideálne 5 kHz a viac, a využívajte smerovú charakteristiku antény.

Príloha A: Kód vizualizácie (Mermaid.js)

Pre webovú verziu článku (WordPress s doplnkom pre Mermaid) je možné použiť nasledujúci kód grafu typu xychart. Mermaid zatiaľ nepodporuje skupinové pruhy s chýbajúcimi hodnotami, preto je KX3 v grafe RMDR vynechaný a uvedený v popise.

```
---
config:
  xyChart:
    width: 720
    height: 380
  themeVariables:
    xyChart:
      plotColorPalette: "#1e3a8a, #c2410c"
---
xychart-beta
  title "RMDR pri blízkom odstupu (dB)"
  x-axis ["QMX 2 kHz (20 m)", "QMX 2 kHz (80 m)", "FT-991 2,5 kHz"]
  y-axis "dB" 0 --> 120
  bar [79, 85, 77]
```

```
---
config:
  xyChart:
    width: 720
    height: 380
  themeVariables:
    xyChart:
      plotColorPalette: "#1e3a8a"
---
xychart-beta
  title "Dynamický rozsah IMD3 pri 2 kHz (dB)"
  x-axis ["QMX (ARRL)", "KX3 s KXFL3", "KX3 bez KXFL3", "FT-991"]
  y-axis "dB" 0 --> 120
  bar [85, 104, 96, 72]
```

```
---
config:
  xyChart:
    width: 720
    height: 380
---
xychart-beta
  title "FT-991: RMDR podľa odstupu (odvodené z N9EW0, 500 Hz)"
  x-axis ["2,5 kHz", "5 kHz", "10 kHz", "20 kHz", "50 kHz", "100 kHz"]
  y-axis "dB" 70 --> 120
  line [77, 84, 93, 101, 110, 116]
```

Príloha B: Chýbajúce a neoverené údaje

QMX nie je zaradený v tabuľke Sherwood Engineering; všetky jeho hodnoty sú z laboratória ARRL (QST 11/2024, firmvér 1_00_21), ktoré meria RMDR, blocking aj IMD odlišnou metodikou. Textová vrstva PDF recenzie je čiastočne poškodená; hodnoty IMD (vstup -39 dBm, IMD -124 dBm, DR 85 dB pri 2 kHz) sú vnútorne konzistentné, priradenie hodnôt 66/68 dB k 2 kHz blocking je menej isté. Pre QMX+ meranie neexistuje.

Pre KX3 nie je v použitých zdrojoch publikované RMDR ani fázový šum pri 2 kHz. Z toho, že DR3 104 dB pri 2 kHz nie je u Sherwood označené ako limitované fázovým šumom, možno nepriamo usúdiť, že RMDR pri 2 kHz nie je nižšie ako zhruba táto hodnota – ide však o úsudok, nie meranie.

Pre FT-991 nie sú v protokole hodnoty pri 1 kHz ani na 50 MHz (príslušné riadky sú prázdne). FT-991A nebol samostatne meraný. Hodnoty IP3 vo všetkých stĺpcoch sú vypočítané z DR3 a MDS a pre prijímače so softvérovým spracovaním majú len orientačný význam.

Zdroje

Sherwood Engineering: Receiver Test Data (tabuľka, aktualizácia 1. 8. 2026). <http://www.sherweng.com/table.html>

Sherwood Engineering HF Test Results, Yaesu FT-991, S/N 4N020453, 4. 8. 2015 (archív N9EWO). https://www.qsl.net/n9ewo/sher_ft991.pdf

PF9Z: RMDR. <https://pf9z.com/about-the-rmdr/>

ARRL / QST, Product Review, November 2024: QRP Labs QMX 5W QRP Transceiver (A. Milluzzi, KK4LWR). <https://www.arrl.org/files/file/ProductReviewsForDeb/2025/pr112024.pdf>

QRP Labs: QMX multi-band transceiver (produktová stránka). <https://qrp-labs.com/qmx>

H. Summers, G0UPL: Bringing SSB to QMX (FDIM). <http://qrp-labs.com/images/qmx/fdim/G0UPL.pdf>

QRP Labs groups.io: diskusia „QMX/QMX+ Receiver Capability“, „QCX-mini vs QMX“, „QMX article in the QST“. <https://groups.io/g/QRPLabs/>

Elecraft: KX3 Application Note – All-Band Receive Opposite Sideband and I.F. Image Nulling, Rev. A8, 2013. <https://ftp.elecraft.com/KX3/Mod%20Notes%20Alerts/RX%20sideband%20null%20A8.pdf>

Elecraft: KXFL3 Roofing Dual-Bandwidth Filter – Installation and Calibration Instructions, Rev. A3, 2015; produktová stránka KX3. <https://elecraft.com/>

CQ.SK: Yaesu FT-991A – end of an era. <https://cq.sk/en/yaesu-ft-991a-end-of-an-era/>