

Měření přijímací cesty transvertoru TR144H+40 verze 28/144MHz, v.č.370

Úvod:

K měření jsem se rozhodl po problémech s rušením v mém QTH během VHF kontestu 2013, kdy jsem nebyl schopen pracovat do směrů s větší koncentrací stanic s větším výkonem.

Zaměřil jsem se na odolnost přijímací cesty transvertoru TR144H+40 (verze 28/144MHz, v.č.370), abych si ověřil co transvertor snese.

Měření probíhalo 7.11.2013, v Kornu u Rudy OM6BB na jeho přístrojích.

Jako autor si nepřeji, aby nic z tohoto dokumentu bylo kdekoliv zveřejněno bez mého souhlasu. Za tímto účelem uvádím kontaktní údaje na konci tohoto dokumentu.

Použité přístroje:

Spektrální analyzátor HP8594E 9KHz-2,9GHz

Generátor HP8656B 0,1 – 990MHz

Proměnný útlumový člen EIDEN 927L 0-70dB do 2,5GHz

Dvoutónový generátor vyrobený podle DJ8ES

Stabilizovaný zdroj 13,8V

Útlumový článek 20dB (20dB ATT)

Umělá zátěž 50Ohm

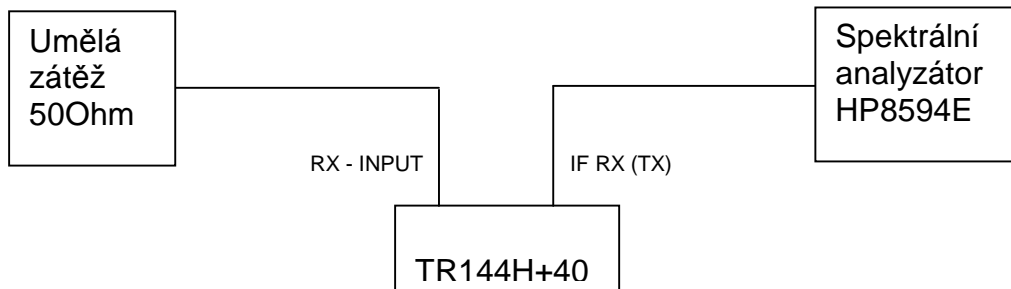
Prováděná měření:

- 1) Měření frekvenčního spektra na výstupu transvertoru bez vstupního signálu
- 2) Měření frekvence lokálního oscilátoru
- 3) Měření konverzního zisku transvertoru
- 4) Měření vstupní hodnoty pro 1dB kompresi na výstupu
- 5) Měření dvoutónovým generátorem

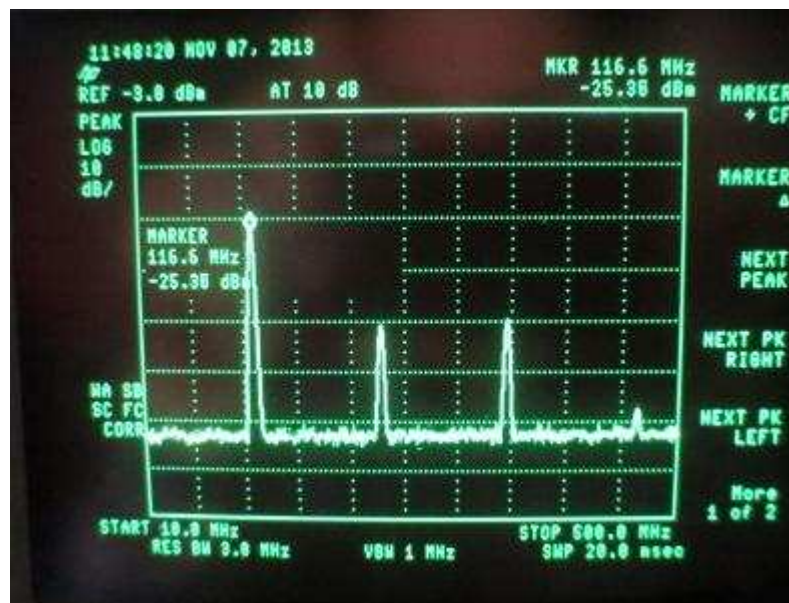
1) Měření frekvenčního spektra na výstupu transvertoru bez vstupního signálu

Postup měření:

Vstup transvertoru byl připojen k umělé zátěži 50Ohm. Výstup transvertoru byl připojen ke spektrálnímu analyzátoru na kterém byl nastaven rozsah 10MHz až 500MHz. Zapojení je ukázáno na obr.č.1



obr.č.1 Blokové schéma zapojení



obr.č.2 Frekvenční spektrum na výstupu transvertoru

Naměřené hodnoty:

116MHz	-25dBm
232MHz	-44dBm
348MHz	-43dBm
464MHz	-60dBm

Komentář:

Lokální oscilátor (116MHz) transvertoru má na jeho výstupu hodnotu -25dBm. Tedy na vstupu KV TRXu je signál úrovně odpovídající hodnotě S9+48dB. Je sice dost daleko od pracovního pásma a vstupní filtr TRXu jej dostatečně sníží, nicméně by tam neměl být v takové síle, pokud by byl v transvertoru dostatečně odfiltrován. V blokovém schématu transvertoru je za směšovačem použit obvod označený jako diplexer a za ním zesilovací stupeň. Pokud bych byl výrobcem a vyráběl transvertor komerčně, použil bych v místě diplexeru kvalitnější pásmovou/dolní propust, aby hodnota signálu lokálního oscilátoru nebyla na vstupu KV TRXu tak vysoká.

2) Měření frekvence lokálního oscilátoru

Postup měření:

Pro měření bylo použito zapojení dle obr.č.1. Spektrální analyzátor byl nastaven na frekvenci 116MHz, span 20KHz a BW filtr 300Hz.



obr.č.3 Signál lokálního oscilátoru na výstupu transvertoru

Naměřená hodnota: 115,99995MHz

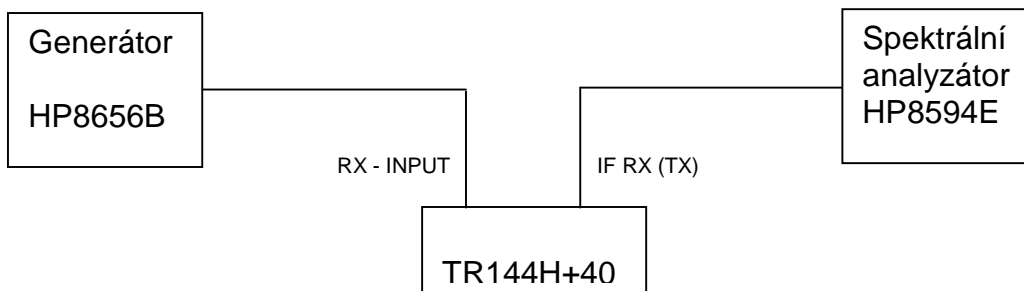
Komentář:

Toto měření považuji pouze za doplňkové a orientační, vzhledem k tomu, že spektrální analyzátor není zrovna nejvhodnější nástroj na přesné měření frekvence. Vzhledem k tomu, že v transvertoru je použit termostat pro lokální oscilátor a vzhledem ke zkušenostem výrobce, si troufám tvrdit, že chyba 50Hz je způsobena odchylkou spektrálního analyzátoru a že lokální oscilátor bude od frekvence 116MHz vzdálen v jednotkách herců.

3) Měření konverzního zisku transvertoru

Postup měření:

Generátor byl nastaven na frekvenci 144,2 MHz a úroveň -45dBm (S9+48dB). Následně byl generátor zapojen do vstupu spektrálního analyzátoru s oběma použitými kabelem spojenými spojkou a byla odečtena hodnota signálu na spektrálním analyzátoru. Pak byla odstraněna spojka a kabely byly zapojeny do transvertoru dle obr.č. 4 a opět byla odečtena hodnota na spektrálním analyzátoru, nyní však na frekvenci 28,2 MHz. Během obou odečtů byl zařazen stejný BW filtr na spektrálním analyzátoru a byla nastavena stejná hodnota amplitudy, což by mělo snížit chybu měření.



obr.č.4 Blokové schéma zapojení

Naměřené hodnoty: 144,2 MHz – 45,4 dBm
28,2 MHz – 19,7 dBm

Vypočítaná hodnota konverzního zisku: 25,7dB

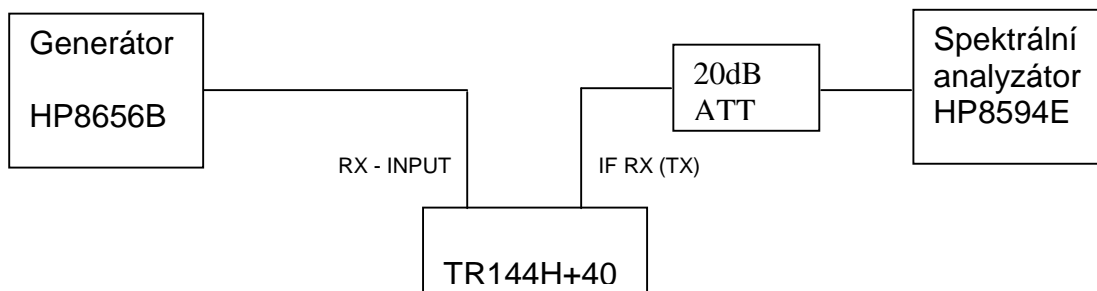
Komentář:

Výrobce udává hodnotu 25dB. Vypočítaná hodnota 25,7dB je zatížena chybou měření, kterou bych odhadl na $\pm 0,5\text{dB}$. Nicméně je škoda, že transvertor je navržen s tak vysokým ziskem (25 dB), protože to zvyšuje nároky na odolnost KV TRXu a každá odchylka směrem k většímu konverznímu zisku tuto situaci jen zhoršuje. Myslím si, že dostačující hodnota konverzního zisku by byla 20-22 dB.

4) Měření vstupní hodnoty pro 1dB komprese na výstupu

Postup měření:

Pro měření bylo použito zapojení dle obr.č. 5. Generátor byl nastaven na frekvenci 144,2 MHz. Spektrální analyzátor byl nastaven na frekvenci 28,2 MHz. Na generátoru byla nastavována vstupní hodnota a na spektrálním analyzátoru byla odečítána výstupní hodnota. Měření probíhalo tak dlouho, až byla na výstupu patrná komprese 1dB vůči vstupnímu signálu. Následně byl generátor přepojen do spektrálního analyzátoru a bylo ověřeno, zda nastavované přírůstky odpovídají naměřeným.



obr.č.5 Blokové schéma zapojení

Naměřené hodnoty:

Vstupní hodnota dBm	Výstupní hodnota dBm	Ideální výstupní hodnota dBm	Komprese dB
-55	-29,7	-29,7	0
-45	-19,7	-19,7	0
-35	-9,7	-9,7	0
-25	+0,3	+0,3	0
-15	+10,4	+10,3	-0,1
-6	+19,3	+19,3	0
-5	+20,3	+20,3	0
-4	+21,1	+21,3	0,2
-3	+21,9	+22,3	0,4
-2	+22,3	+23,3	1
-1	+22,9	+24,3	1,4
0	+23,1	+25,3	2,2
+1	+23,3	+26,3	3
+2	+23,4	+27,3	3,9

Vstupní hodnota pro 1dB kompresi na výstupu: -2dBm

Komentář:

Výrobce udává IP3out typický +40dBm a minimálně +37dBm. Dle teorie je 1dB komprese o 12dB méně než hodnota IP3 (předpokládám, že výrobce použil stejnou teorii), což znamená, že by výstupní signál při 1dB kompresi měl být typický +28dBm a minimálně +25dBm. To by měla být ideální výstupní hodnota. Já jsem naměřil hodnotu +22,3dBm, přičemž tomu odpovídá ideální hodnota +23,3dBm. Odhaduji, že chyba měření by mohla být +/-0,7dB, takže po korekci by ideální výstupní hodnota byla +24dBm. Po přičtení 12dB se dostávám na hodnotu IP3out +36dBm, což je hodnota o 1dB nižší než udává výrobce. Znova opakuji, za předpokladu, že výrobce použil také 12dB jako rozdíl mezi 1dB kompresí a IP3.

Hodnota IP3out je v praxi nic neříkající a dal bych jí přívlastek obchodní. V praxi je pro mě důležitá vstupní hodnota pro 1dB komprese na výstupu, protože z ní poznám kde je hranice použitelnosti zařízení. Tuto hodnotu jsem naměřil -2dBm. Pokud budu přepočítávat údaje výrobce, tak by tato hodnota měla být typický +3dBm a minimálně 0dBm. Opět za předpokladu že výrobce také použil oněch 12dB z teorie. Při výrobcem udávaném typickém konverzním zisku 25dB. Já jsem se dopočítal k hodnotě zisku 25,7dB s odhadovanou chybou +/-0,5dB. Řekněm, že by konverzní zisk byl 26,2dB, pak by vstupní hodnota pro 1dB komprese na výstupu z IP3out min (37dBm) byla -1,2dBm. Zde je vidět na co má vliv konverzní zisk.

Poznámka:

Vraťme se k hodnotě -2dBm, která se liší od deklarovaných 0 až +3dBm. Co to znamená v praxi? Pokud mám anténní systém se ziskem 18dB (2x14el.DK7ZB), protistanice je vzdálená 10km a má zisk anténního systému také 18dB(8x6el.DK7ZB), jsme nasměrování na sebe a protistanice má výkon 1,6KW na anténním konektoru, tak na mém anténním konektoru bude signál od protistanice mít teoretickou hodnotu +2,5dBm. Jen pro informaci, pokud bude protistanice vzdálena 15km, bude to -1dBm, při 20km to bude -3dBm, při 30km to bude -7dBm a při 60km to bude -13dBm. Výše uvedenými příklady jsem chtěl ukázat jak se může projevit v praxi rozdíl mezi mnou naměřenou hodnotou -2dBm a deklarovanou minimální hodnotou 0dBm a typickou hodnotou +3dBm.

Je nutno podotknout, že v reálném provozu není na pásmu pouze jeden jednotónový signál. K reálným podmínkám se přibližuje následující měření dvoutónovým generátorem.

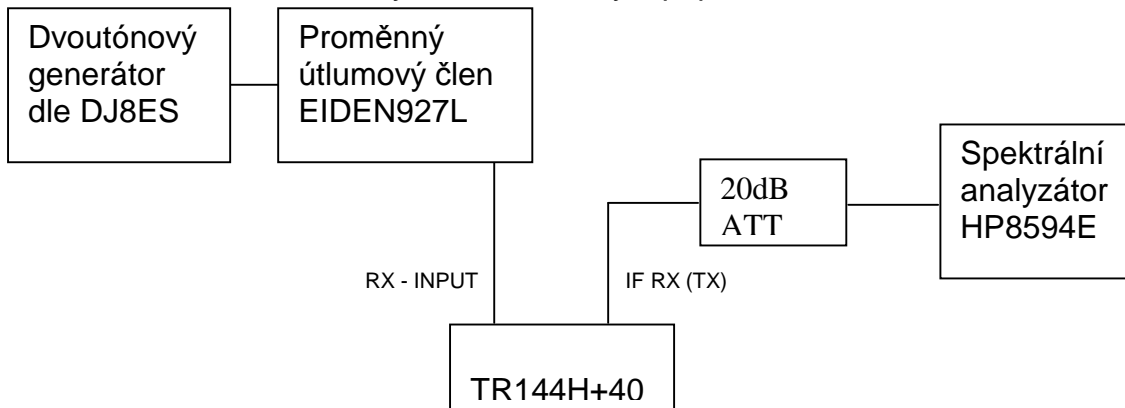
Abych nezapoměl, vstupní hodnota -2dBm odpovídá hodnotě S-metru na VKV TRXu S9+91dB a výstupní hodnota +23dBm odpovídá hodnotě S-metru na KV TRXu S9+96dB. U většiny KV TRXů je hodnota +23dBm (IP3out=+35dBm) již za bodem IP3. To znamená, že nejslabším článkem nebude tranvertor, ale KV TRX nebo LNA.

Aby KV TRX nebyl nejslabším článkem přijímací cesty, musí být mezi tranvertor a KV TRX vřazena krystalová brána, která také pomáhá snížit postranní šum KV TRXu a to jak na příjem tak na vysílání. Je to řešení, které eliminuje nedokonalost KV TRXu mimo propustné pásmo této brány, s tím že propustné pásmo považuji za šířku odpovídající potlačení 20-40dB podle použitého KV TRX. V takovém případě bude nejslabším článkem tranvertor případně LNA u antény.

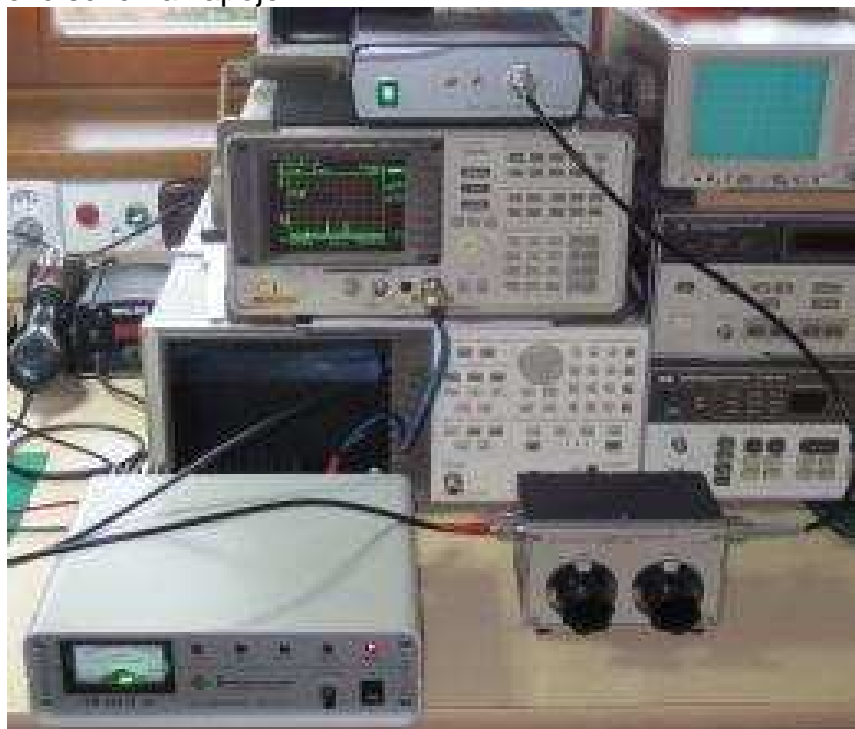
5) Měření dvoutónovým generátorem

Postup měření:

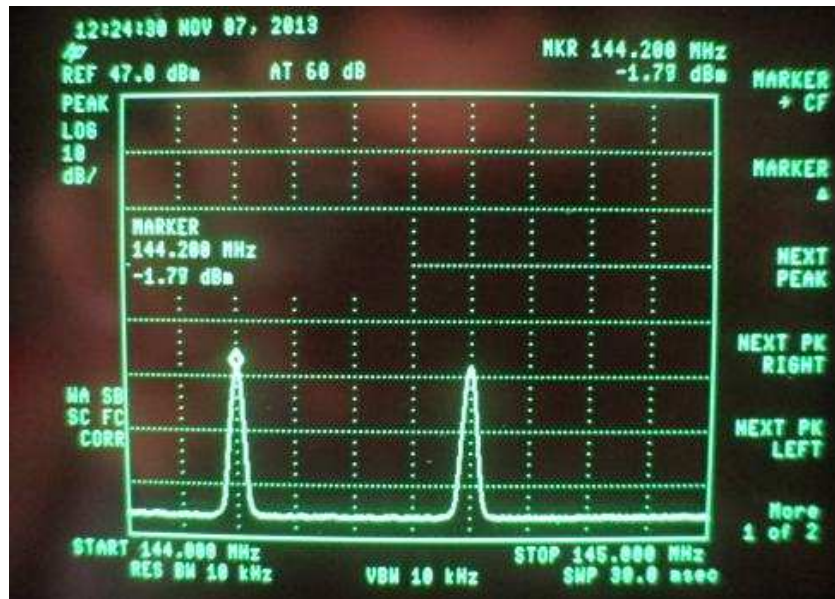
Pro měření bylo použito zapojení dle obr.č. 6. Obr.č. 7 ukazuje jak to vypadalo v praxi. Dvoutónový generátor pracuje na frekvencích 144,2 a 144,6 MHz s výstupními hodnotami $-1,8\text{dBm}$ a $-1,3\text{dBm}$ (viz. obr.č. 8 a 9). Proměnným útlumovým členem byla hodnota z dvoutónového generátoru nastavována na vstupu transvertoru. Na spektrálním analyzátoru byly kontrolovány hodnoty výstupní úrovně z transvertoru na 28,2 a 28,6 MHz a dále hodnoty nežádoucích intermodulačních produktů. Vše bylo zapisováno do tabulky s naměřenými hodnotami (viz. níže). Je nutno podotknout, že výstupní hodnoty dvoutónového generátoru nejsou nijak kontrolovány a tudíž se během měření mohli měnit, což se projevilo na naměřených hodnotách výstupní úrovně na 28,2 a 28,6MHz (viz. chyba měření č.1 níže). Dále během nastavení spektrálního analyzátoru nedošlo k zapnutí korekce externího útlumu 20dB, tudíž k naměřeným hodnotám bylo připočteno v tabulce 20dB.



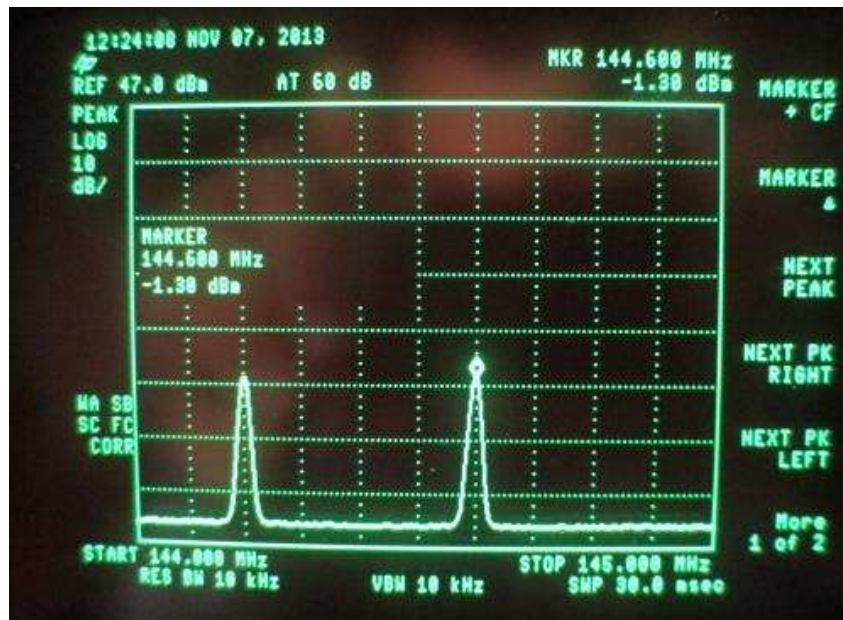
obr.č.6 Blokové schéma zapojení



obr.č.7 Foto měřicího pracoviště



obr.č.8 Výstup z dvoutónového genrátoru 144,2MHz -1,79dBm



obr.č.9 Výstup z dvoutónového genrátoru 144,6MHz -1,3dBm

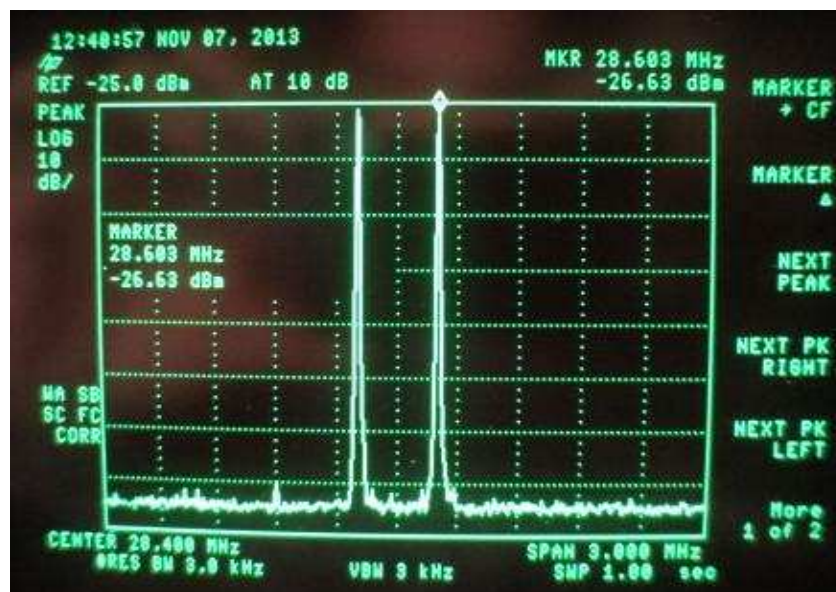
Naměřené hodnoty:

č. měř.	č. obr.	vstup 144,6MHz		výstup 28,6MHz žádoucí signál		výstup 27,8MHz produkt IP3		výstup 29MHz produkt IP5	
		zvolený útlum dB	hodnota signálu dBm	hodnota signálu dBm	komprese dB	hodnota signálu dBm	přírůstek dB	hodnota signálu dBm	přírůstek dB
1	10	30	-32,3	-6,6	0	-	-	-	-
2	-	29	-31,2	-5,4	0	-	-	-	-
3	-	28	-30,3	-4,5	0	-73	-	-	-
4	11	27	-29,2	-3,4	0	-71,7	1,3	-	-
5	-	26	-28,2	-2,4	0	-71,2	0,5	-	-
6	-	25	-27,2	-1,4	0	-69	2,2	-	-
7	-	24	-26,2	-0,4	0	-67	2	-	-
8	-	23	-25,1	+0,7	0	-64,9	2,1	-	-
9	-	22	-24,1	+1,7	0	-64	0,9	-	-
10	-	21	-23,1	+2,7	0	-62,4	1,6	-	-
11	-	20	-22	+3,8	0	-59,7	2,7	-	-
12	-	19	-21	+4,8	0	-56,2	3,5	-	-
13	12	18	-19,9	+5,9	0	-53,6	2,6	-	-
14	-	17	-18,9	+6,9	0	-49,6	4	-	-
15	-	16	-17,9	+7,9	0	-46	3,6	-	-
16	-	15	-16,9	+8,9	0	-43,4	2,6	-63,2	-
17	-	14	-15,9	+9,9	0	-42,7	0,7	-59,4	3,8
18	13	13	-15	+10,8	0	-35,3	7,4	-59	0,4
19	-	12	-14	+11,8	0	-31,7	3,6	-55,1	3,9
20	-	11	-12,9	+12,9	0	-27	4,7	-51,4	3,7
21	14	10	-11,9	+13,8	0,1	-22,3	4,7	-42,6	8,8
22	15	9	-10,9	+14,6	0,3	-17,6	4,7	-33	9,6
23	16	8	-9,9	+15,4	0,5	-11	6,6	-27	6
24	17	7	-8,9	+15,9	1	-7	4	-26	1
25	18	6	-7,9	+16,4	1,5	-3	4	-24	2

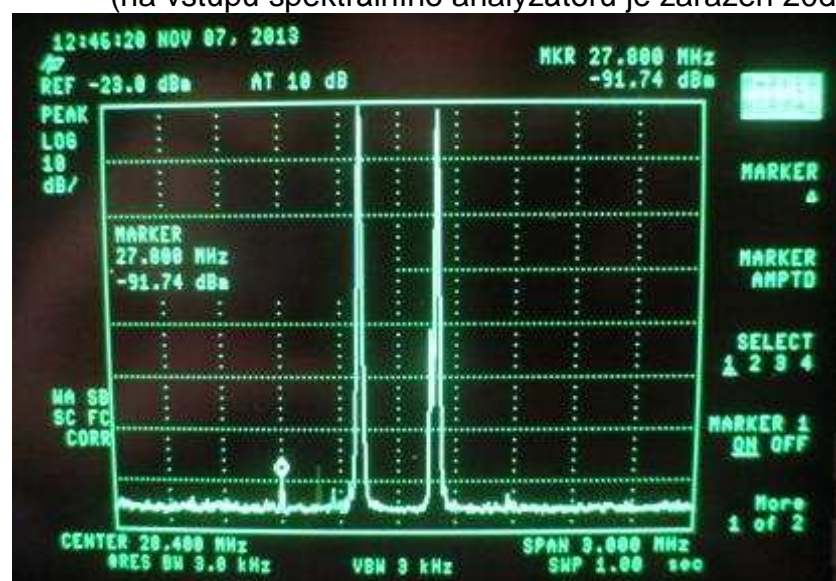
Chyby měření:

- 1) V průběhu měření jsem si všimnul, že rozdíl mezi vstupním a výstupním signálem neodpovídá hodnotě konverzního zisku a je na hodnotě 24,7dB. Proto jsem při zařazeném útlumu 10dB na proměnném útlumovém členu přepojil kabel ze vstupu transvertoru do spektrálního analyzátoru a změřil tak hodnotu na vstupním konektoru transvertoru. Naměřil jsem hodnotu -12dBm pro signál na 144,6MHz. To znamená, že skutečná hodnota na vstupu transvertoru není -10,8dBm, ale -12dBm a konverzní zisk není 24,7dB, ale vychází na 25,8dB, což už je údaj blížíící se spočtenému konverznímu zisku během měření č.3. Tato chyba vznikla při prvotním měření výstupních úrovní dvoutónového generátoru, kdy byl použit pouze jeden propojovací kabel a nikoli kabel+proměnný útlumový člen+kabel. Ve výše uvedené tabulce je tato chyba odečtena od hodnot vstupního signálu.

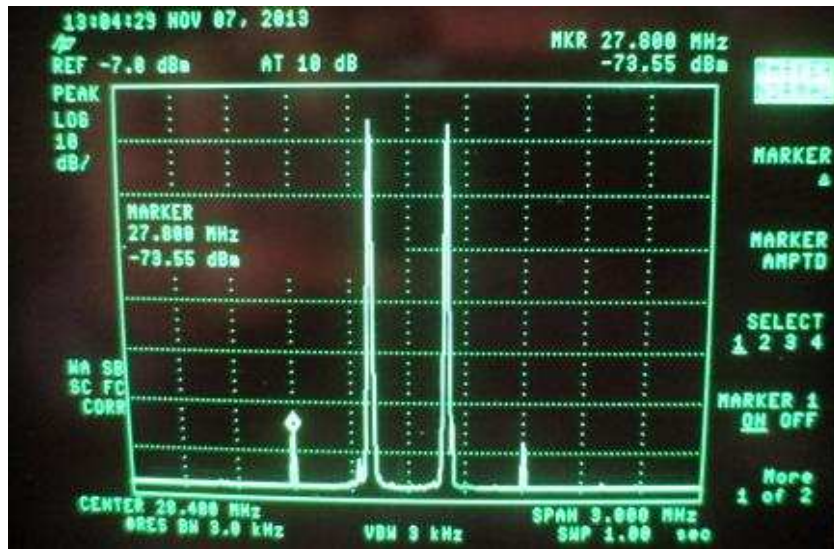
- 2) Další chybou, která byla zkorigována byl nárůst výstupního signálu dvoutónového generátoru z původní hodnoty $-1,3\text{dBm}$ na $-0,8\text{dBm}$ na konci měření. Je mi sice s podivem, že signál narostl, nicméně korekce byla lineární v čase a odpovídala zachování nulové komprese do hodnoty vloženého útlumu 9dB .
- 3) Během měření byl žádoucí signál relativně stabilní a měnil se $\pm 0,1\text{dB}$, zatímco signály produktů vyšších řádů byli nestabilní a měnily se odhadem $\pm 1,5\text{dB}$ (mám na mysli několik odečtů výstupní hodnoty bez změny hodnoty vstupního signálu). Proto přírůstky u produktů IP_3 a IP_5 uvedené v tabulce nejsou lineární a ani jsem se nepokusel je nijak korigovat.



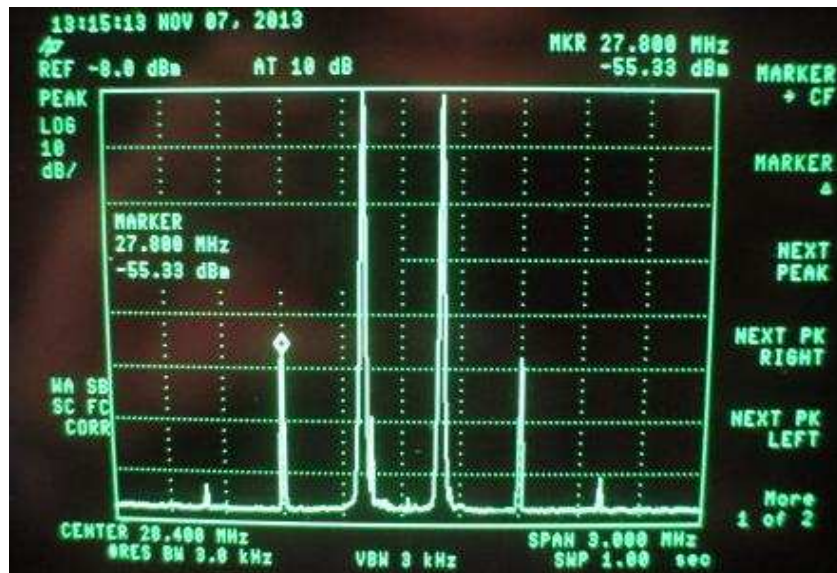
obr.č.10 Výstupní signál z transvertoru při vstupním signálu $-32,3\text{dBm}$ (na vstupu spektrálního analyzátoru je zařazen 20dB útlum)



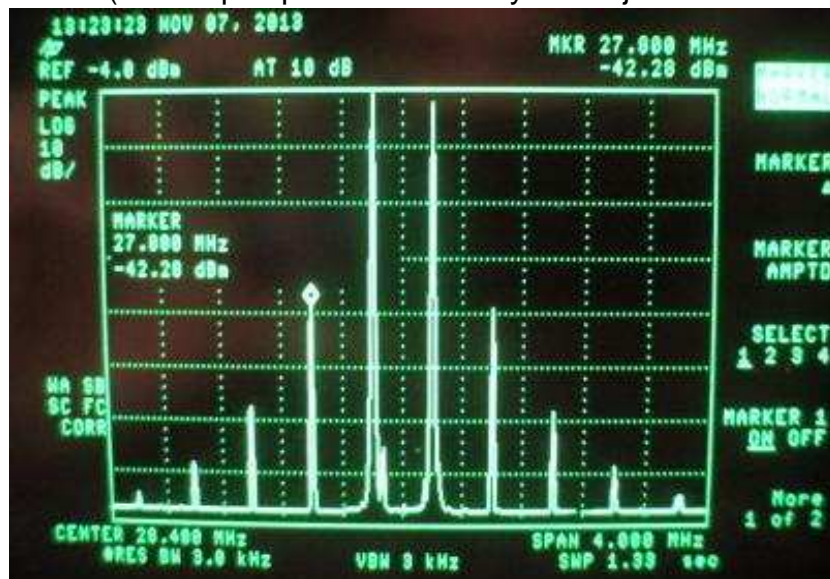
obr.č.11 Výstupní signál z transvertoru při vstupním signálu $-29,2\text{dBm}$ (na vstupu spektrálního analyzátoru je zařazen 20dB útlum)



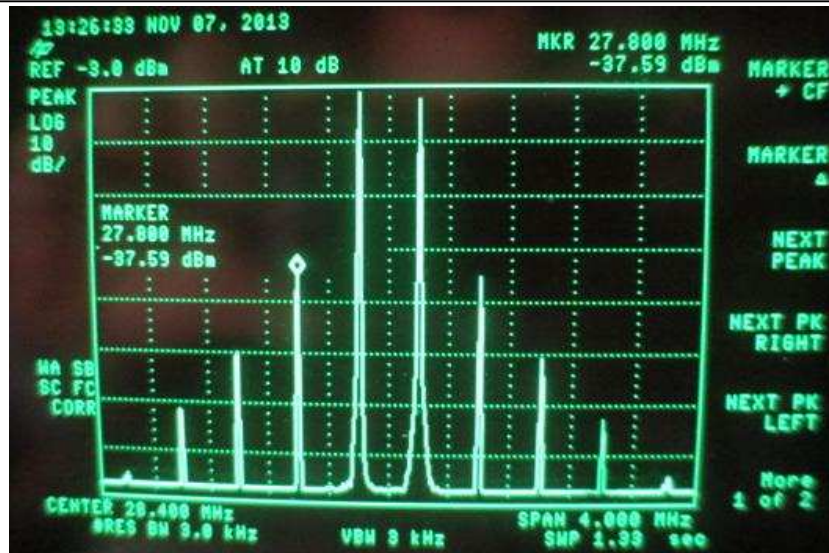
obr.č.12 Výstupní signál z transvertoru při vstupním signálu $-19,9\text{dBm}$
 (na vstupu spektrálního analyzátoru je zařazen 20dB útlum)



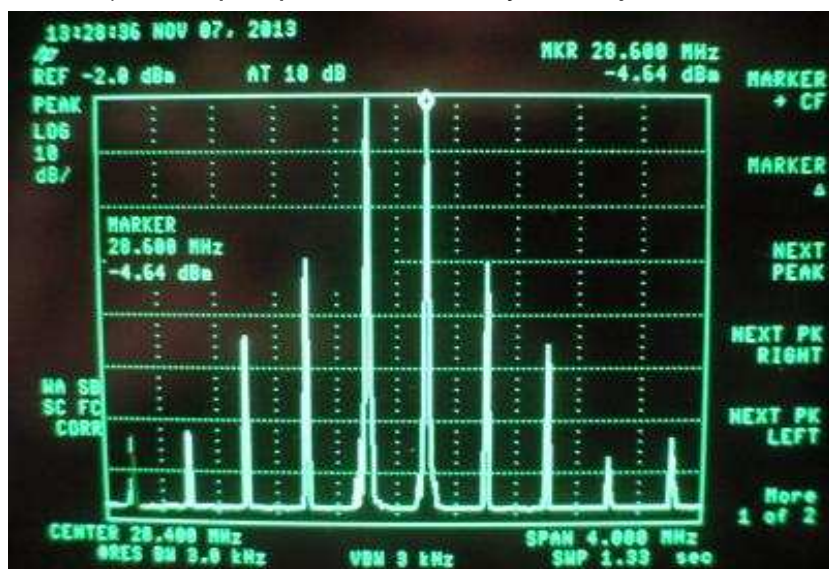
obr.č.13 Výstupní signál z transvertoru při vstupním signálu -15dBm
 (na vstupu spektrálního analyzátoru je zařazen 20dB útlum)



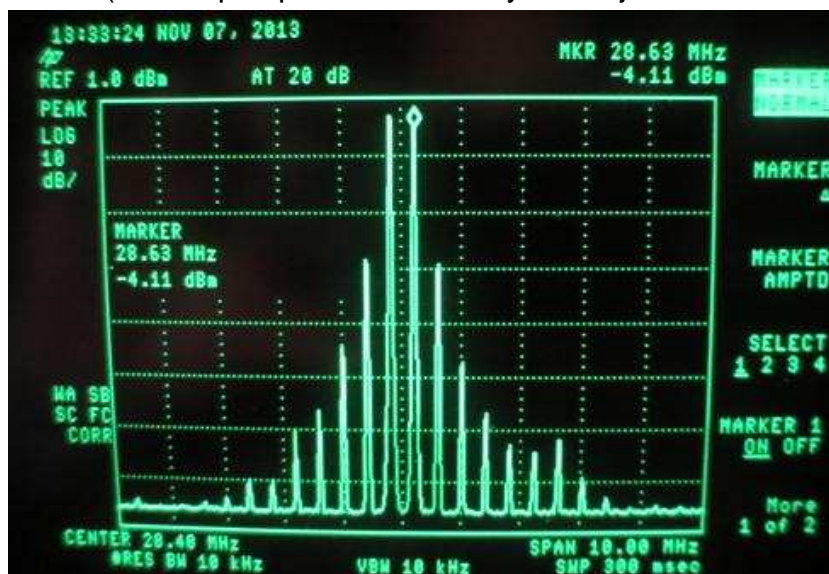
obr.č.14 Výstupní signál z transvertoru při vstupním signálu $-11,9\text{dBm}$



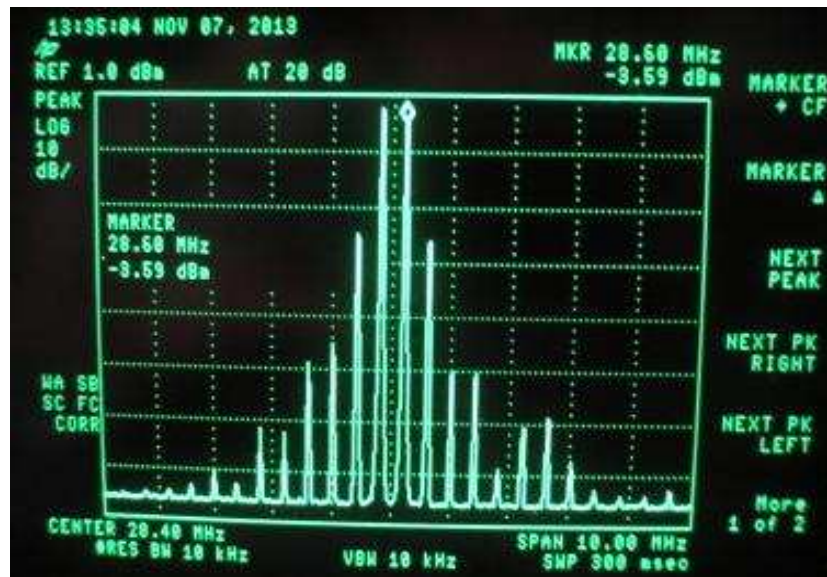
obr.č.15 Výstupní signál z transvertoru při vstupním signálu $-10,9\text{dBm}$ (na vstupu spektrálního analyzátoru je zařazen 20dB útlum)



obr.č.16 Výstupní signál z transvertoru při vstupním signálu $-9,9\text{dBm}$ (na vstupu spektrálního analyzátoru je zařazen 20dB útlum)



obr.č.17 Výstupní signál z transvertoru při vstupním signálu $-8,9\text{dBm}$



obr.č.18 Výstupní signál z transvertoru při vstupním signálu $-7,9\text{dBm}$

Komentář:

Je naivní si myslet, že nežádoucí intermodulační produkty třetího a dalších řádů se začnou u nelineárního prvku objevovat až v momentě kdy se začne blížit bod 1dB komprese. Teorie říká, že s přírůstkem výstupního signálu na nelineárním prvku se intermodulační produkt třetího řádu zvyšuje s větším přírůstkem než u žádoucího signálu, což je také patrné z naměřených hodnot. Přijímací cesta transvertoru se dle blokového schématu skládá pravděpodobně ze tří po sobě jdoucích nelineárních prvků.

Z naměřených hodnot je vidět, že 1dB komprese žádoucího výstupního signálu u dvoutónového signálu nastala při vstupní hodnotě $-8,9\text{dBm}$. Je tedy horší o zhruba 7dB než u jednotónové zkoušky u měření č.4. Z čehož zhoršení o 3dB jednoznačně způsobí výkonové zatížení druhým „žádoucím“ tónem. Zbývající rozdíl 4dB přisuzují výkonovému zatížení nežádoucími produkty a je otázkou na kterém stupni/stupních řetězce vzniká. Pravděpodobně se bude jednat o IF zesilovač. Pro tento fakt hovoří také vysoká hodnota signálu lokálního oscilátoru na výstupu transvertoru (viz.měření č.1). Myslím, že příčina je v obvodu označeném jako diplexer, kdy tento obvod má nízkou hodnotu potlačení nežádoucích produktů po směšování.

Poznámka:

Měření s dvoutónovým generátorem prezentuje to, co se děje v přijímacím řetězci v reálném provozu, mnohem lépe než měření 1dB komprese. Na výsledky měření je možné pohlížet dvěma způsoby. Buďto jsou dva tóny produkovány jednou stanicí, nebo jsou produkovány dvěma stanicemi.

První případ se projevuje hlavně na ssb a z výsledků to není nic tragického pokud protistanice nedosáhne na vstupu transvertoru hodnoty 1dB komprese. I za touto hodnotou se dá ještě na pásmu pracovat, ale to vše za předpokladu, že vysílací cesta protistanice je správně nastavena.

Druhý případ představuje dva silné signály od protistanic, které vygenerejví minimálně další dva nežádoucí signály vždy ve vzdálenosti rozdílu frekvencí obou stanic. Jev je v reálném provozu závislý na současné časové a výkonové přítomnosti na anténním konektoru přijímacího řetězce.

Silných stanic je na pásmu vždy několik a většinou je každá z jiného směru. Pokud však některé stanice používají antény do fixních směrů, jsou vůči přijímací anténě z jednoho směru (+/- 15°) a mají fixní antény směřovány k přijímací anténě, je výkonová podmínka splněna. Tehdy se na pásmu budou oběhovat nežádoucí časově sečtené signály, které budou hlavně dobře detekovatelné na cw. Na ssb tyto signály nebudou tak výrazně detekovatelné, protože výkonová intenzita signálů bude proměnná v rytmu modulace. To vše za předpokladu že vysílací cesta protistanic je správně nastavena.

Na základě měření si trůfám tvrdit, že pokud budou dvě stanice, které na vstupu transvertoru vygenerují signály S9+60dB v jednom okamžiku na dvou frekvencích, pak na výstupu transvertoru budou vznikat dva nežádoucí součtové signály s intenzitou S5. To je fakt který ukázalo měření a myslím, že výsledek u konkrétního měřeného kusu transvertoru je velmi dobrý. Teď je jenom otázka jestli tento stav nastane v reálném provozu a nakolik bude pozorovatelný např. díky přítomnosti dalších silných signálů, které nežádoucí signály překryjí. Principiálně obdobná situace může nastat na kterémkoli nelineárním prvku přijímacího řetězce a může být o to horší, čím je nižší jeho hodnota 1dB komprese.

Závěr:

Před měřením i po něm zastávám názor, že měřený transvertor TR144H+40 je to nejlepší komerční zařízení pro 2m pásmo co se týče odolnosti přijímací cesty, které je na trhu dostupné. Měřením jsem však zjistil rezervy, které dané zařízení má a je mi s podivem, že za cenu za kterou je prodáváno jsem vůbec něco takového shledal. Mám na mysli zbytečně vysoký konverzní zisk a malé potlačení nežádoucích produktů po směřování. Pokud bych byl na místě výrobce, tak bych záležitost konverzního zisku nechal jako možnost volby zákazníkem a odfiltrování nežádoucích signálů po směřování bych řešil kvalitnější pásmovou propustí.

Jak jsem uvedl v úvodu, důvodem proč jsem tato měření prováděl bylo rušení v mém QTH během VHF kontestu 2013, kdy jsem nebyl schopen pracovat do směrů s větší koncentrací stanic s větším výkonem. Konkrétně jsem byl rušen širokopásmovým modulovaným šumem, alespoň tak jsem jej vnímal ve sluchátkách na mé TS-480 (bez předřazených krystalových brán před TRXem). Již během kontestu jsem měl podezření na nízkou odolnost mé přijímací cesty a ne na některou z protistanic. Transvertor jsem také podezřívával, ale po tomto měření konstatuji, že není nejslabším článkem mého přijímacího řetězce. Příčinu vidím v použité TS-480, kterou za tímto účelem hodlám doplnit o krystalové brány. Abych posunul transvertor na nejslabší článek přijímacího řetězce, hodlám také „apgrejdovat“ stávající LNA s BF988 na LNA s ATF5x189.

Na závěr bych chtěl poděkovat Rudovi OM6BB za přístup k měřicí technice.

73! Martin OK2EZ, OM6EE

Kontaktní údaje:
Martin Karasz
Hlavní trída 1027/47
708 00 Ostrava-Poruba
Tel: +420 732 854 851
E-mail: ok2ez@atlas.cz
www.ok2ez.com