

## Měření krystalového filtru MCF 28,295-30/08



### Úvod:

Po proměření přijímací cesty transvertoru TR144H+40 v listopadu 2013, jsem se rozhodl svou přijímací cestu doplnit o krystalovou bránu vřazenou mezi transvertor a KV TRX. Po zveřejnění dokumentu o měření transvertoru jsem, dostal informaci, že to není vhodné řešení, protože brána vyžaduje na vstupu maximálně hodnotu  $-20\text{dBm}$ , jinak je to naprosto neskutečný zdroj IMD.

Také jsem obdržel odkaz na metodiku měření dvoutónovou zkouškou:  
<https://www.macomtech.com/static/PDFs/TechnicaArticles/RFcharacterization.pdf>

Protože jsem si chtěl ověřit nakolik je tvrzení o  $-20\text{dBm}$  závislé na samotném krystalovém filtru, objednal jsem si ve společnosti KRYSTALY, Hradec Králové, a.s. osmipólový krystalový filtr na střední frekvenci  $28,295\text{MHz}$ , s šířkou pásma  $30\text{KHz}$  a transformací na impedanci  $50\text{ohmů}$  a následně jej proměřil.

Zaměřil jsem se na dvoutónovou zkoušku s různými hodnotami vstupního signálu a různým odstupem frekvencí generátorů a dále na přenos a přízpůsobení filtru.

Měření probíhalo 19.2.2014, 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  
 Vektorový analyzátor HP 8752 C  
 2ks KV TRX KENWOOD TS-480HX  
 Proměnný útlumový člen EIDEN 927L 0-70dB do 2,5GHz  
 Stabilizovaný zdroj 13,8V/25A  
 Výkonové útlumové články 10dB a 20dB  
 Kalibrační sada Kirkby Microwave 85033  
 Odporový slučovač

### Prováděná měření:

- 1) Měření dvoutónovou zkouškou
- 2) Měření přenosu
- 3) Měření přizpůsobení

### 1) Měření dvoutónovou zkouškou

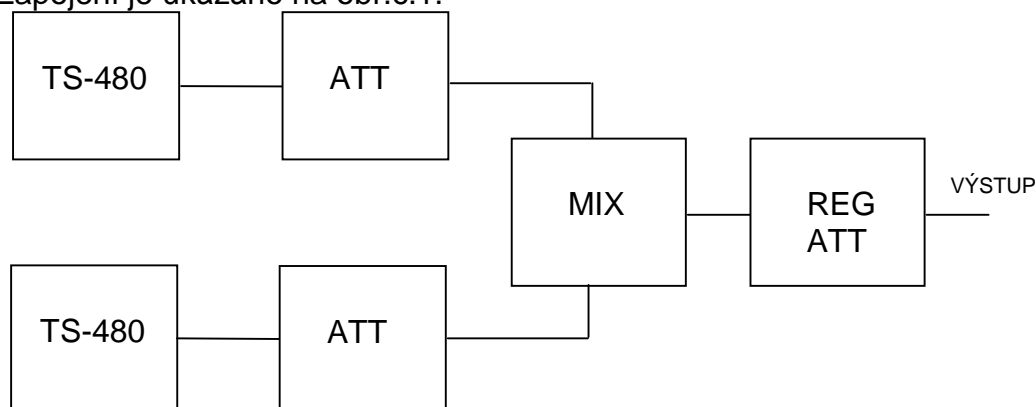
#### Příprava měření:

Několik dní před měřením, jsem uvažoval, jaké použít generátory, jak je sloučit a s jakými hodnotami měřit. Vycházel jsem z faktů, že:

- 1) výstupní hodnota z mého transvertoru pro 1dB komprese pro jeden tón je okolo +23dBm (200mW)
- 2) jednotlivé generátory by od sebe měli být co nejvíce izolovány
- 3) vše generuje nežádoucí intermodulační produkty

Proto jsem jako generátory zvolil dva KV TRXy KENWOOD TS-480HX. Jako slučovač (MIX) jsem použil odporový dělič složený ze tří rezistorů 16,67ohmů. Mezi TRXy a slučovač zařadil útlumové články (ATT) pro zvýšení izolace mezi TRXy. Na výstup slučovače jsem zařadil proměnný útlumový člen (REG ATT).

Zapojení je ukázáno na obr.č.1.



obr.č.1 Blokové schéma zapojení dvoutónového generátoru

Výkonové hodnoty pro měření jsem zvolil 0, +10 a +20dBm, frekvenční odstup 15 a 50KHz a použité frekvence mimo průchozí pásmo filtru, tak aby nežádoucí produkt třetího řádu spadl do propustného pásma filtru.

Před měřením jsem se obával, aby filtr snesl bez následků hodnotu +20dBm. Svůj záměr, měřit s tak vysokou hodnotou, jsem konzultoval také s výrobcem filtru, který mne ujistil, že by to filtr měl vydržet.

## Postup měření:

### A) 0dBm, $\Delta 15\text{KHz}$

Frekvence na TRXech jsem zvolil 28,250MHz a 28,265MHz, sledovaná frekvence nežádoucího produktu tak vyšla do propustného pásma filtru na 28,280MHz. Hodnotu ATT jsem zvolil 20 dB, což udělalo izolaci mezi TRXy 46dB (slučovač 6dB). Výstupní výkon na TRXech jsem nastavil na 5W a REG ATT dostavil hodnotu blížíící se 0dBm pro jeden tón. Celkový výkon z dvoutónového generátoru tak byl přes 3dBm.

Nejprve jsem dvoutónový generátor připojil přímo do spektrálního analyzátoru, abych si ověřil jak vypadá nežádoucí intermodulační produkt třetího řádu. Byl jsem nemile překvapen že při izolaci 46dB byl tento produkt potlačen pouze o **65dB** proti původním signálům(viz. obr.č.2).

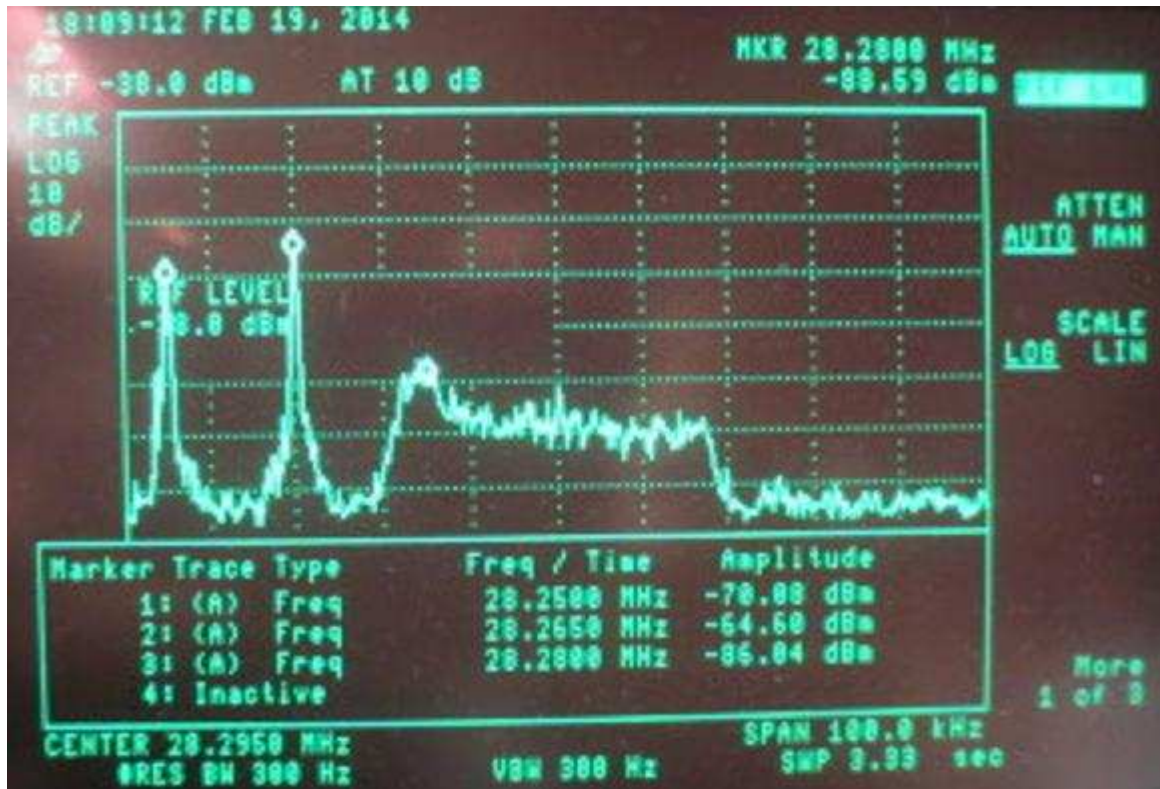


obr.č.2 Frekvenční spektrum na výstupu dvoutónového generátoru (0dBm,  $\Delta 15\text{KHz}$ )

Následně jsem signál pustil přes filtr (viz. obr.č.3). Výsledek je možné vidět na obrázku č.4., tedy nežádoucí intermodulační produkt třetího řádu je potlačen o **86dB** proti původním signálům.



obr.č.3 Blokové schéma zapojení



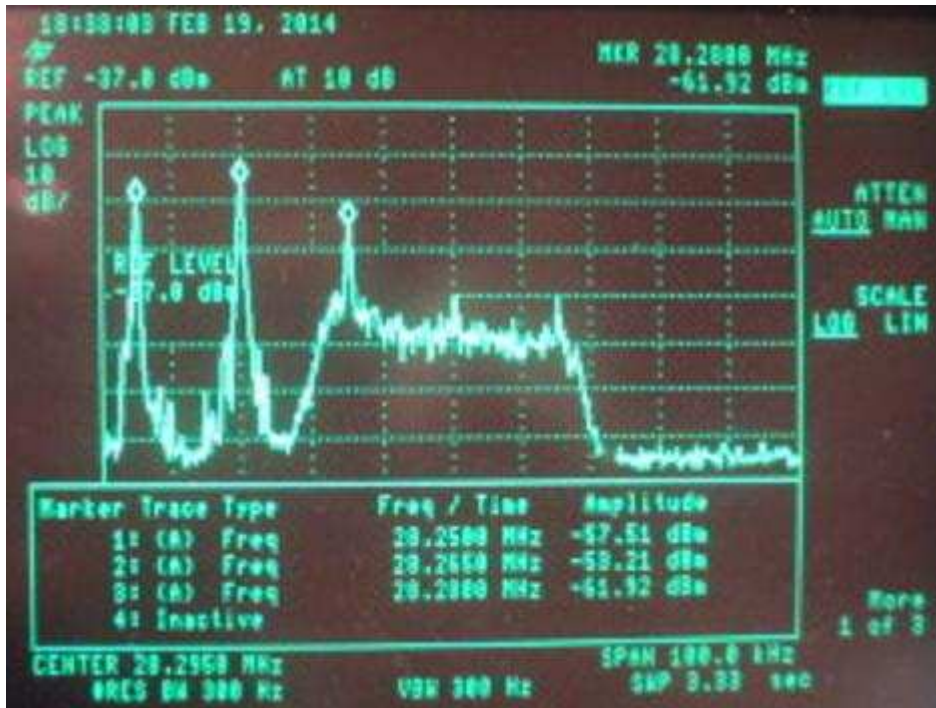
obr.č.4 Frekvenční spektrum na výstupu filtru (0dBm,  $\Delta 15\text{KHz}$ )

### B) +10dBm, $\Delta 15\text{KHz}$

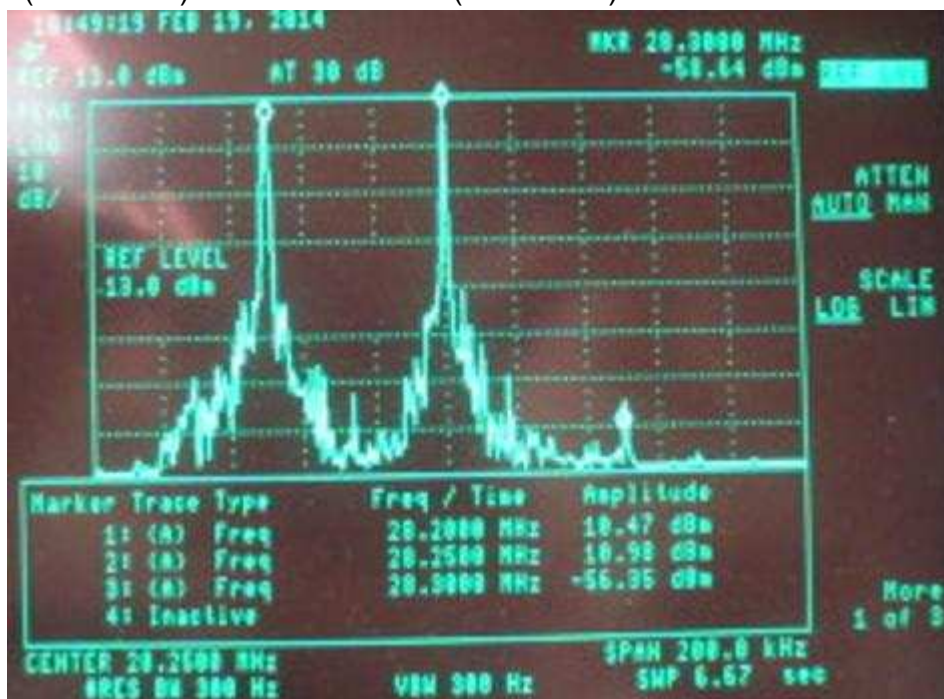
Nastavení zůstalo stejné jako v bodě A, pouze na REG ATT jsem snížil hodnotu útlumu, abych na výstupu dvoutónového generátoru dostal hodnotu pro jeden tón na +10dBm. Nejprve jsem provedl ověření na spektrálním analyzátoru, kdy nežádoucí produkt byl potlačen o **65dB** proti původnímu signálu (viz. obr.č.5). Následně jsem signál prohnal filtrem na jehož výstupu byla hodnota nežádoucího produktu potlačena o **73dB** proti původním signálům (viz. obr. č.6)

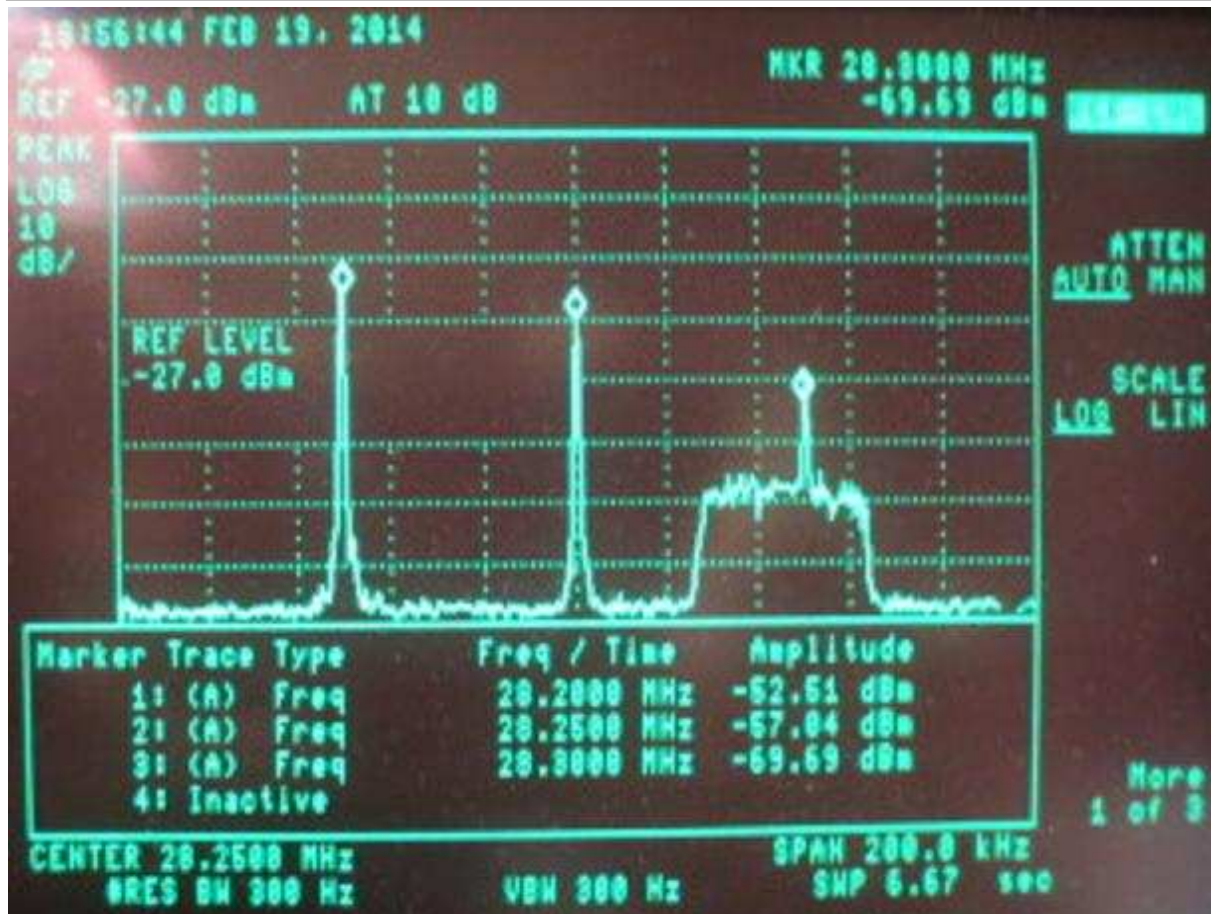


obr.č.5 Frekvenční spektrum na výstupu dvoutónového generátoru(+10dBm, $\Delta 15\text{KHz}$ )

obr.č.6 Frekvenční spektrum na výstupu filtru (+10dBm,  $\Delta$ 15KHz)**C) +10dBm,  $\Delta$ 50KHz**

Po krátké úvaze nad měřením v bodech A a B jsem odstup obou signálů zvýšil na 50KHz a měření zopakoval pouze pro hodnotu +10dBm. Použité frekvence tedy byly 28,200MHz, 28,250MHz a 28,300MHz. Ostatní nastavení a postup měření zůstal zachován jako v bodě B. Odstup na výstupu generátoru vyšel **63dB** (viz.obr.č.7) a za filtrem **80dB** (viz.obr.č.8).

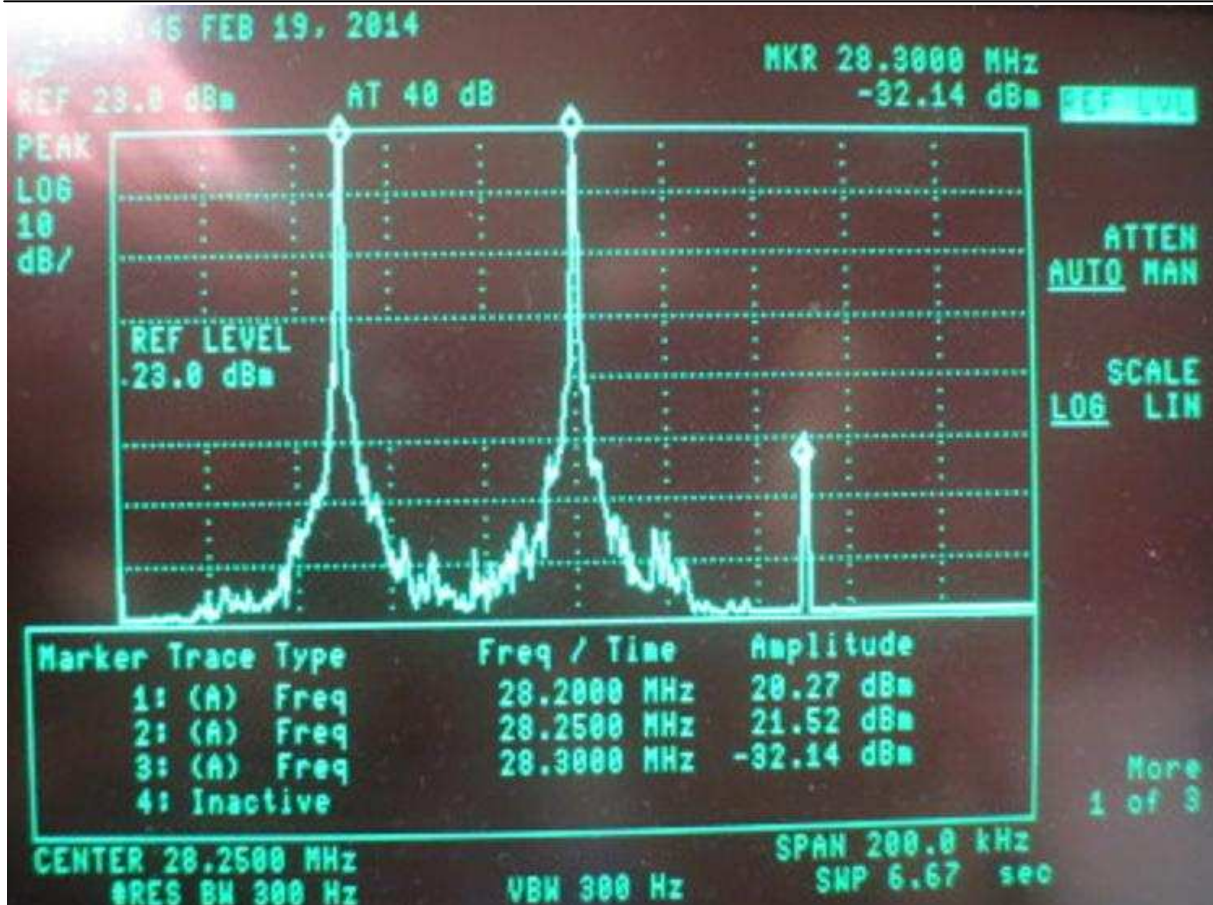
obr.č.7 Frekvenční spektrum na výstupu dvoutónového generátoru(+10dBm, $\Delta$ 50KHz)

obr.č.8 Frekvenční spektrum na výstupu filtru (+10dBm,  $\Delta$ 50KHz)**D) +20dBm,  $\Delta$ 50KHz**

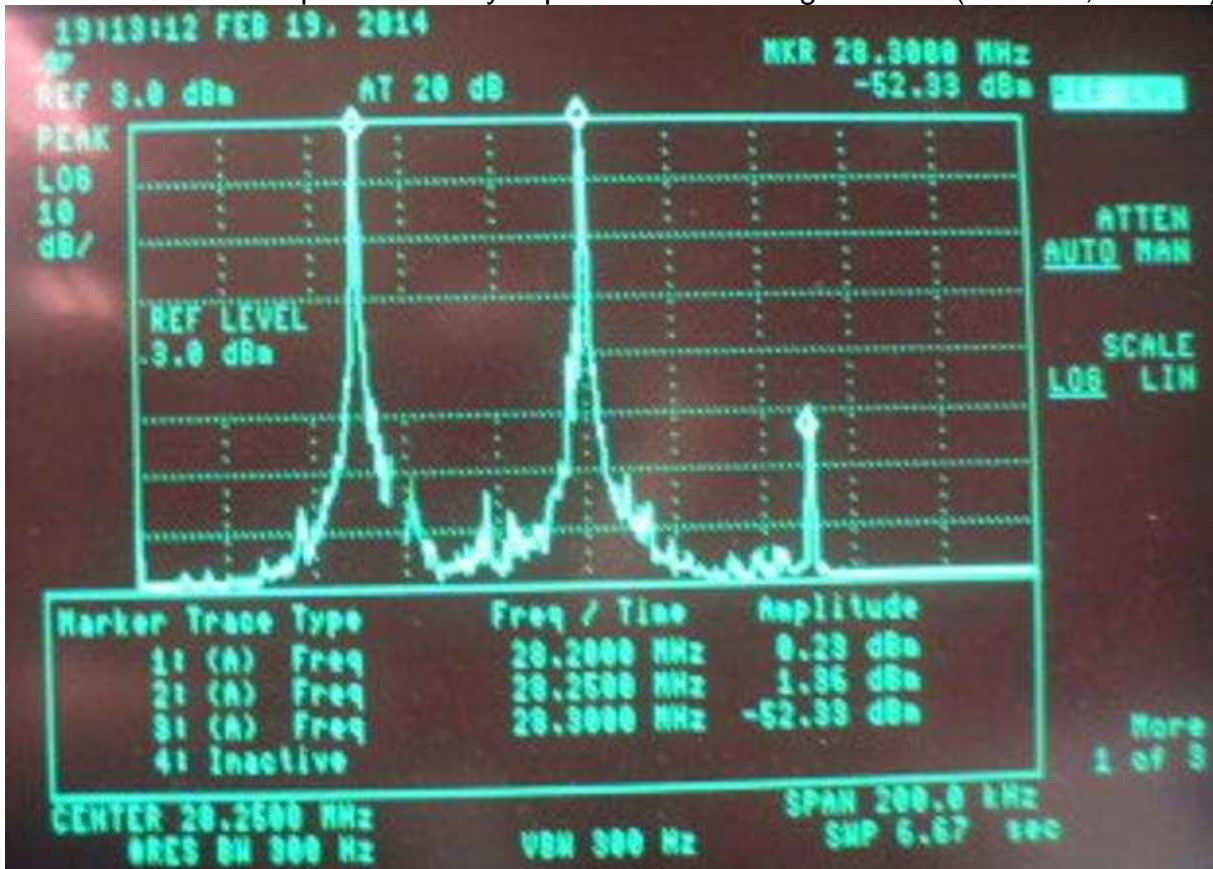
Aby bylo možné na výstupu dvoutónového generátoru dosáhnout hodnotu každého jednoho tónu +20dBm, bylo nutné změnit hodnoty ATT z 20dB na 10dB nebo zvýšit výstupní výkon z 5W na 50W. Zvolil jsem variantu změny hodnoty ATT na 10dB, což snížilo hodnotu izolace mezi TRXy na 26dB a vedlo ke snížení odstupu hodnoty nežádoucího intermodulačního produktu na výstupu dvoutónového generátoru na **47dB** proti původním signálům (viz. obr.č.9).

Abych si ověřil nakolik je tato hodnota ovlivněna samotným spektrálním analyzátozem (na výstupu dvoutónového generátoru byla celková výkonová hodnota +24dBm a maximální dovolená vstupní hodnotu použitého spektrálního analyzátozu je +30dBm), zařadil jsem na vstup spektrálního analyzátozu útlumový článek 20dB. Hodnota zůstala **47dB** proti původním signálům (viz.obr.č.10).

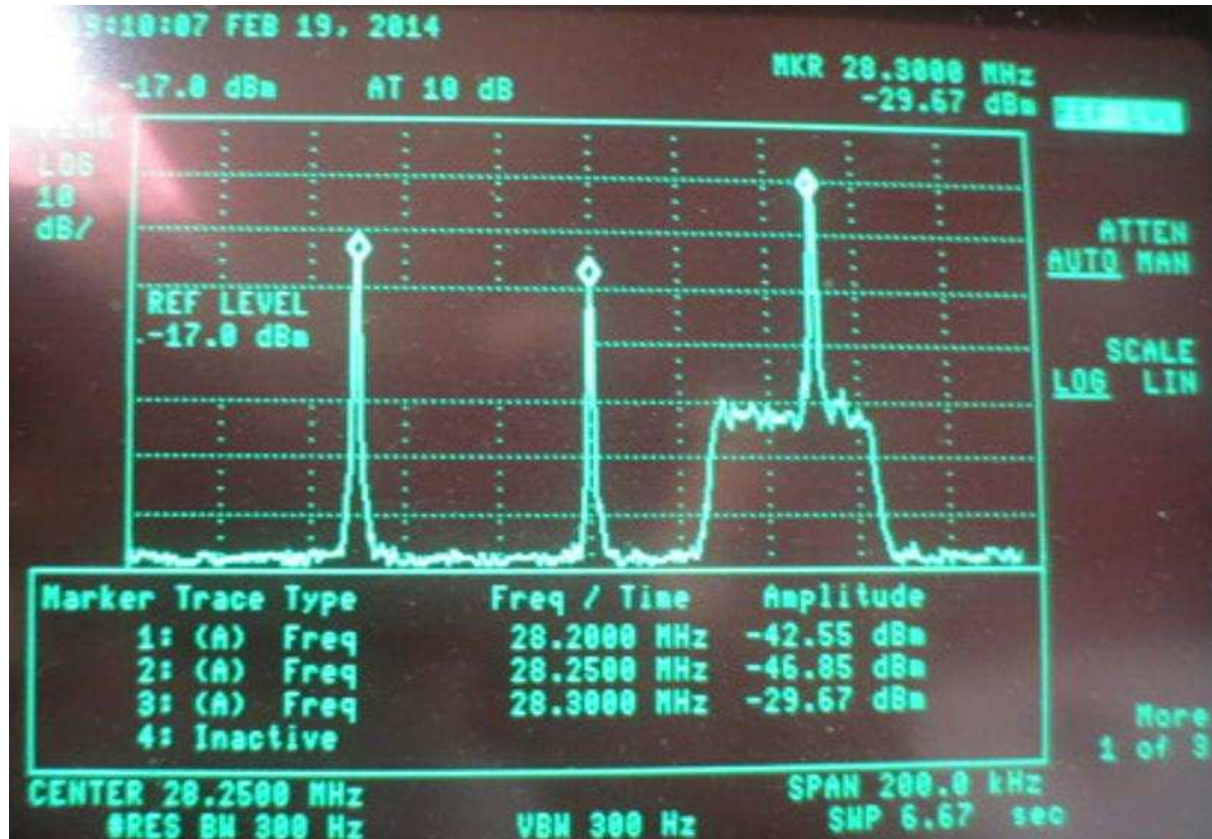
Útlumový článek jsem vyřadil a signál prohnal filtrem. Výsledný odstup byl **50dB** proti původním signálům (viz.obr.č.11).



obr.č.9 Frekvenční spektrum na výstupu dvoutónového generátoru(+20dBm,Δ50KHz)



obr.č.10 Frek. spektrum na výstupu dvoutónového generátoru (+20dBm, Δ50KHz) se zařazeným útlumovým článkem 20dB na vstupu spektrálního analyzátoru

obr.č.11 Frekvenční spektrum na výstupu filtru (+20dBm,  $\Delta$ 50KHz)**Naměřené hodnoty:**

Měření	Vstupní hodnota jednoho tónu dBm	Frekvenční odstup tónů KHz	Izolace mezi generátory dB	Odstup nežádoucího tónu na vstupu filtru dB	Odstup nežádoucího tónu na výstupu filtru dB
A	0	15	46	65	86
B	+10	15	46	65	73
C	+10	50	46	63	80
D	+20	50	26	47	50

**Komentář:**

Nechci zde spekulovat nad tím proč je hodnota odstupu nežádoucího intermodulačního produktu třetího řádu nižší na výstupu než na vstupu. To nechám pánům profesorům.

Pro mne je podstatné, že u všech měření není hodnota na výstupu vyšší než na vstupu, což vnímám tak, že filtr není při výkonových hodnotách do +24dBm v nelineárním režimu a tudíž nebude nijak zásadně zhoršovat intermodulační vlastnosti celého řetězce. Z přírustků je patrné, že na něm vzniká jisté zkreslení, ale v porovnání s naměřenými hodnotami u transvertoru je toto zanedbatelné a nebude to mít zásadní vliv na intermodulační odolnost celého řetězce.

V případě měření D, jsem měl raději zvolit zvýšení výstupního výkonu na 50W a zachovat hodnotu útlumových článků na 20dB, než jejich snížení na 10dB. To mělo za následek snížení izolace mezi koncovými stupni TRXů a následné zhoršení odstupu nežádoucích intermodulačních produktů třetího řádu, které vznikají na proti sobě zapojených tranzistorech koncových stupňů TRXů. Nicméně ani zde není patrný přírustek proti vstupu a troufám si odhadnout, že při izolaci 20dB a výkonech 50W by hodnota odstupu byla někde kolem 70dB.

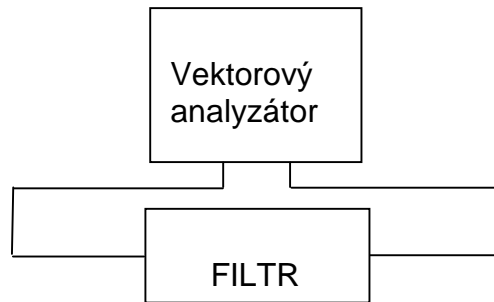


## 2) Měření přenosu

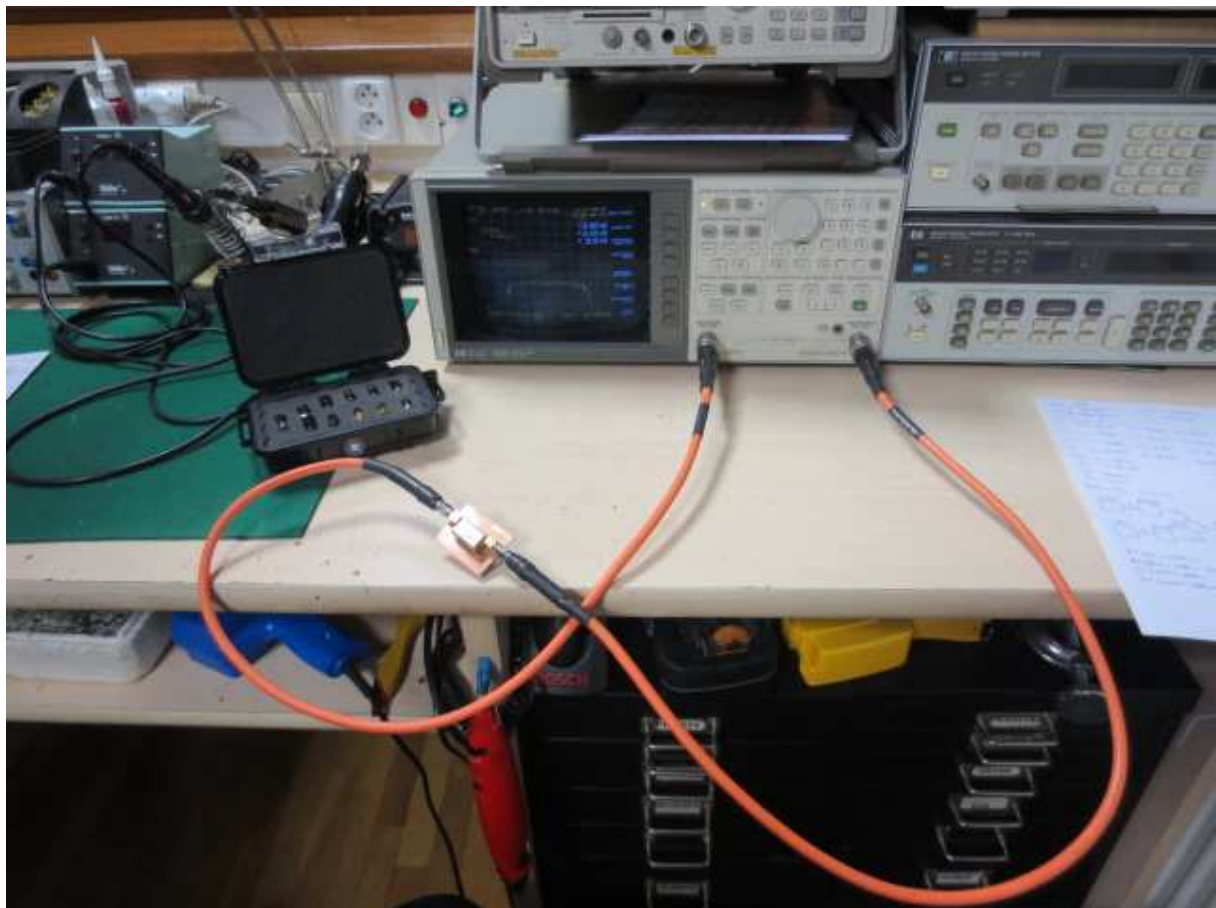
### Postup měření:

Pro měření bylo použito zapojení dle obr.č.12, v reálu to pak vypadalo dle obr.č.13.

Měření přenosu proběhlo pro tři různá nastavení analyzátoru (šířka pásma 200KHz / 20dB na dílek, 50KHz / 10dB na dílek a 50KHz / 1dB na dílek) viz. obrázky 14, 15 a 16. Před každým měřením byla provedena kalibrace pomocí kalibrační sady. Měření probíhalo při hodnotě  $-10\text{dBm}$ .



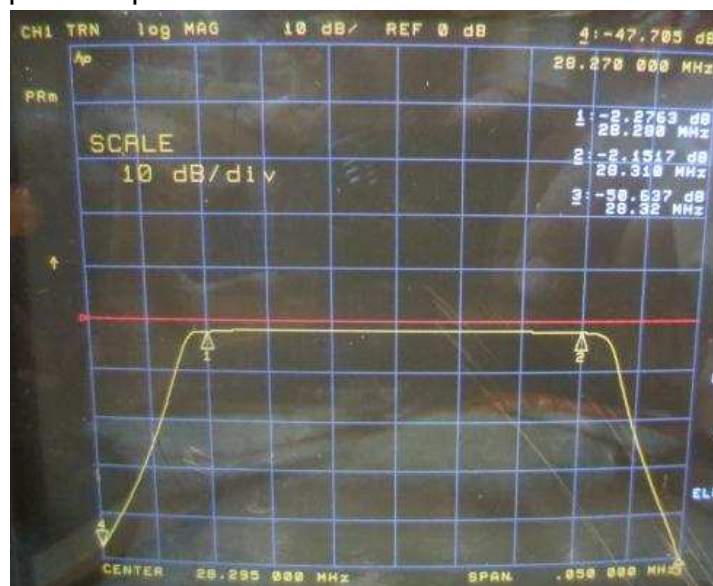
obr.č.12 Blokové schéma zapojení



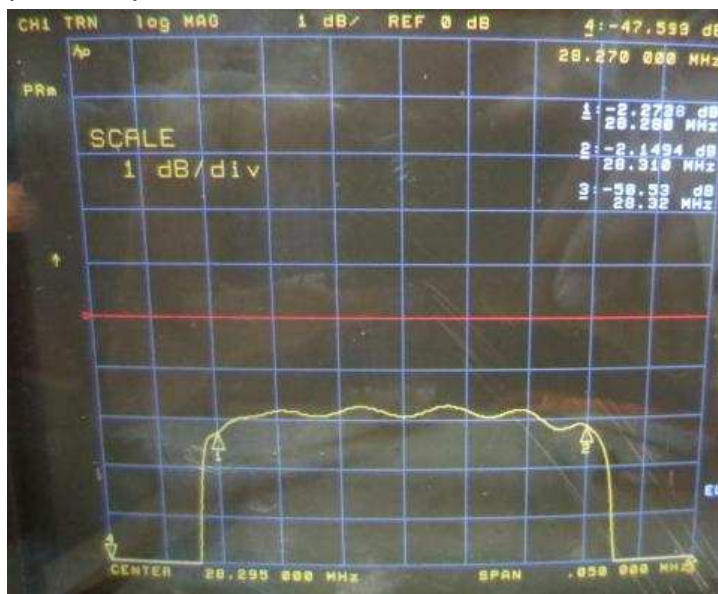
obr.č.13 Foto měřícího pracoviště pro přenos a přizpůsobení



obr.č.14 Přenos při šířce pásma 200KHz a 20dB na dílek



obr.č.15 Přenos při šířce pásma 50KHz a 10dB na dílek



obr.č.16 Přenos při šířce pásma 50KHz a 1dB na dílek

**Komentář:**

Reálný stopband filtru je lepší než 56dB (viz.obr.č.14). To je pro účely krystalové brány hodnota víc než dostatečná.

Strmost filtru je excelentní. Ve vzdálenosti 10KHz od hrany filtru, je potlačení lepší 47dB. (viz.obr.č.15). Tento parametr je dán použitím osmi pólového filtru. Při zadání výroby jsem volil tento počet polů s ohledem na to, aby bylo možné pracovat co možná nejbliže od silné protistanice.

Zvlnění v propustném pásmu filtru je do 0,5dB a průchozí útlum je v rozmezí 1,8dB až 2,3dB. To jsou hodnoty dostačující pro účely použití v krystalové bráně.

**Poznámka:**

Každý filtr by měl pracovat v úseku pásma šířky 30KHz. Na levé hraně měřeného filtru (28,280MHz) bude signál z levé strany ořezán a stejně tak na pravé hraně filtru (28,310MHz) bude signál ořezán z pravé strany. Při CW provozu to nebude mít žádný negativní vliv na kvalitu signálu. Při SSB provozu je situace složitější.

Většina KV TRX používá pro SSB filtr šířky 2,4KHz. Díky této šířce je přenášena SSB modulace charakteristická jak ji známe z reálného provozu. Při práci na hranách filtru bude docházet k potlačení půlky přenášeného spektra SSB signálu krystalovou bránou. Dle obrázku č.16 odhaduji, že potlačení ve vzdálenosti 1,2KHz od hrany filtru bude do hodnoty 0,5dB a to na obou stranách filtru krystalové brány. To je hodnota, která jistě nebude mít vliv na kvalitu přenášeného spektra SSB modulace. Je však otázkou zda všechny použité filtry v krystalové bráně budou mít na hranách stejné parametry, tedy jak se podaří výrobcům vyrobit obálku filtrů identickou.

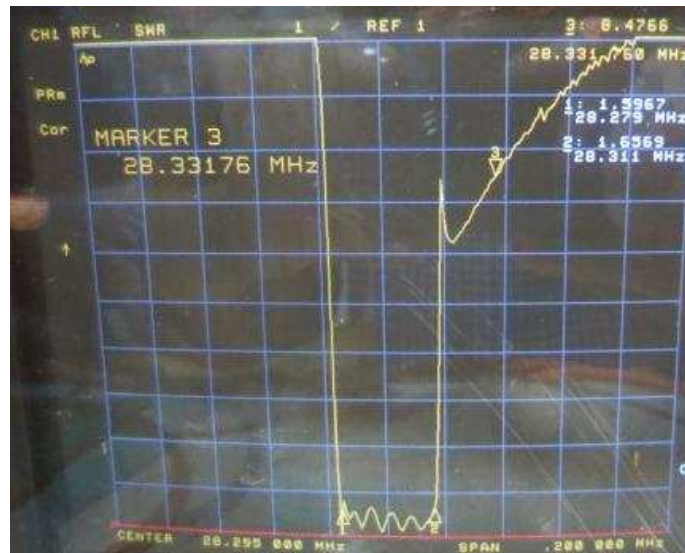
### 3) Měření přizpůsobení

#### Postup měření:

Pro měření přizpůsobení bylo použito stejné zapojení jako u měření přenosu v bodě 2.

Měření přizpůsobení proběhlo pro dvě různá nastavení analyzátoru (šířka pásma 200KHz a 50KHz) viz. obrázky 17 a 18. Před každým měřením byla provedena kalibrace pomocí kalibrační sady.

Měření probíhalo při hodnotě  $-10\text{dBm}$ .



obr.č.17 Přizpůsobení při šířce pásma 200KHz



obr.č.18 Přizpůsobení při šířce pásma 50KHz

#### Komentář:

Bylo by naivní si myslet, že mimo přenášenou šířku pásma bude přizpůsobení vpořádku. V propustném pásmu je hodnota PSV lepší jak 1:2, což je dle mého názoru dostačující.

## Závěr:

Měřením jsem si ověřil, že na filtru nevznikají nežádoucí intermodulační produkty s hodnotami, které by znehodnocovali přijímací/vysílací cestu víc než samotný transvertor. A zdůrazňuji že píšou o filtru, nikoli o vřazení filtru do přijímací/vysílací cesty.

Jak jsem uvedl v úvodu, po zveřejnění dokumentu o měření transvertoru jsem obdržel informaci, že vřazení krystalové brány do řetězce není vhodné řešení, protože brána vyžaduje na vstupu maximálně hodnotu  $-20\text{dBm}$ , jinak je to naprosto neskutečným zdrojem IMD.

Netvrdím že tomu tak nemůže být. Příčina však nebude v samotném krystalovém filtru. Hledal bych ji v obvodech před filtrem, které mimo propustné frekvenční pásmo filtru pracují do nepřizpůsobené zátěže. Je to viditelné na obrázku č.17.

U vysílací cesty bude většinou signál z KV TRXu veden přes útlumový článek do filtru z důvodu zeslabení signálu na požadovanou hodnotu vstupu transvertoru. Výstupní obvody KV TRXu tak budou dostatečně přizpůsobeny v celém frekvenčním pásmu.

U přijímací cesty je výstupní obvod transvertoru připojen do krystalového filtru. Mimo propustné pásmo filtru bude výstupní obvod transvertoru nepřizpůsoben, laicky řečeno bude mít špatné výstupní PSV. Na tento stav jistě nebyl tento obvod transvertoru navržen. Pokud je výstup z transvertoru zapojen přímo do vstupu KV TRXu, bude hodnota přizpůsobení výstupního obvodu v celém frekvenčním rozsahu nízká a nežádoucí intermodulační produkty nebudou vznikat v takové míře jako při nepřizpůsobení. Myslím, že to je příčina maximální hodnoty  $-20\text{dBm}$  jak jsem na ni byl upozorněn - viz.výše.

Řešením u přijímací cesty je vřazení útlumového článku mezi výstup z transvertoru a filtr. Je otázkou zda bude stačit hodnota 3dB případně hodnota o pár dB vyšší.

Na základě měření uvedených v tomto dokumentu, doplním svou TS-480 o krystalovou bránu. Zvažoval jsem použití méně pólových filtrů jak tomu je například u slovinske verze, kterou jsem měl možnost vyzkoušet v praxi u OM6W, ale vzhledem ke strmosti hran měřeného filtru a malému cenovému rozdílu, zůstanu u měřené verze.

Bude se tedy jednat o 13ks osmipólových filtrů šířky 30KHz s impedancí transformovanou na 50ohmů přímo z výroby. V prvním kole použiju šířku pásma 30KHz i pro CW část pásma a po praktických zkušenostech se budu rozhodovat, zda na CW část pásma použít užší filtry. To by však znamenalo zvýšení jejich počtu.

Přepínání jednotlivých filtrů bude prováděno automaticky dle aktuální frekvence TRXu, protože na ruční přepínání během provozu není čas, jak jsem si to měl možnost na vlastní kůži vyzkoušet u OM6W.

Doufám, že se mi podaří vyrobit a zprovoznit funkční kus do II.subregionálu a záměrně nepíšu kterého roku.

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

73! Martin OK2EZ, OM6EE

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