

# Intermodulacijski Produkti

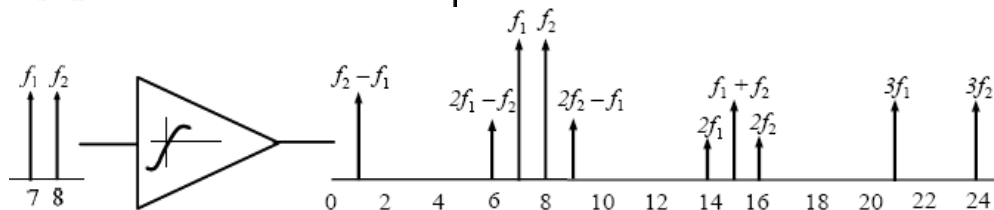
by Goran Popovic AD6IW

Uvod:

Nelinearne karakteristike dioda su značajne za rad mjesaca u primopredajnim sistemima. Upravo zbog nelinearnosti u diodnim mjesacima nastaje i veliki broj neželjenih harmoničnih frekvencija i mjesackih produkata. Ovo se odražava kao conversion loss mjesaca a posljedica je distorzija signala. Ovo je odlika svih pojacivaca, poluprovodnika kao i elektronskih cijevi.

Naponska funkcija za nelinearnu komponentu

$$V_{out} = a_0 + a_1 \cdot V_{in} + a_2 \cdot V_{in}^2 + a_3 \cdot V_{in}^3 + \dots$$
$$a_n \cdot V_{in}^n + \dots$$



F1 i F2 su frekvencije na ulazu pojacivaca, u ovom slucaju to je 7 i 8 MHz a na desnoj strani su harmonične frekvencije koje nastaju mjesanjem. U prvi red spada osnovni produkt mjesanja, ali visi redovi su takodje značajni kod sub harmonic diodnih mjesaca.

Niz je teorijski neograničen, ali za nas je uglavnom značajan drugi i treci red, ili IP2, IP3.

Ova dva reda su vazna zbog toga sto se njihovi

produkti nalaze u propusnom opsegu prijemnika, i nije ih moguće potisnuti.

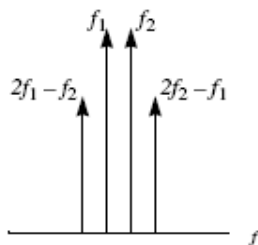
Potiskivanje IP2 i IP3 određuje performanse prijemnika, ili otpornost prema neželjenim signalima.

Pojacivac propusne sirine od jedne oktave npr 100 do 200MHz ima IP2 u propusnom opsegu.

Sa manjom propusnom sirinom pojacivaca i sa dodatnim filterom moguće je značajno oslabiti

IP2. Produkt IP3 na zalost nije moguće eliminisati, on ostaje u propusnom opsegu prijemnika

i zbog toga se i uzima kao mjerna referenca.



Na slici su IP3 produkti mjesanja dvotonskog signala f1 i f2 a produkti mjesanja su 2f1-f2, i 2f2-f1.

Na primjer:

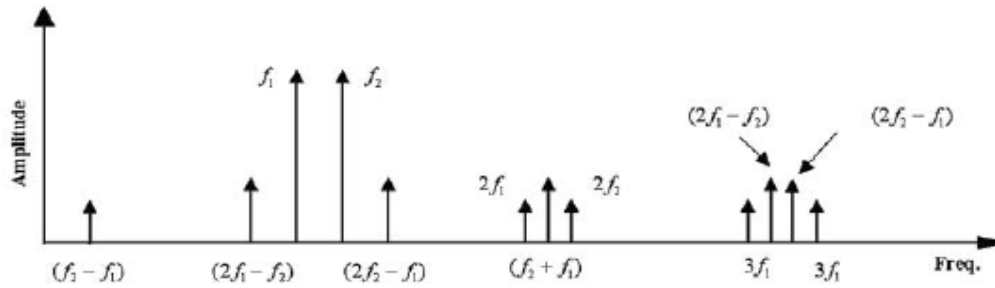
Na ulazu prijemnika su prisutna dva signala f1 = 144.200MHz i f2=144.300MHz

Produkti mjesanja ce biti na 2f1-f2, 2\*144.200 – 144.300 = 144.100MHz

i 2f2-f1 2\*144.300 – 144.200 = 144.400MHz

Vecim rastojanjem izmedju dvotonskih signala, produkti mjesanja

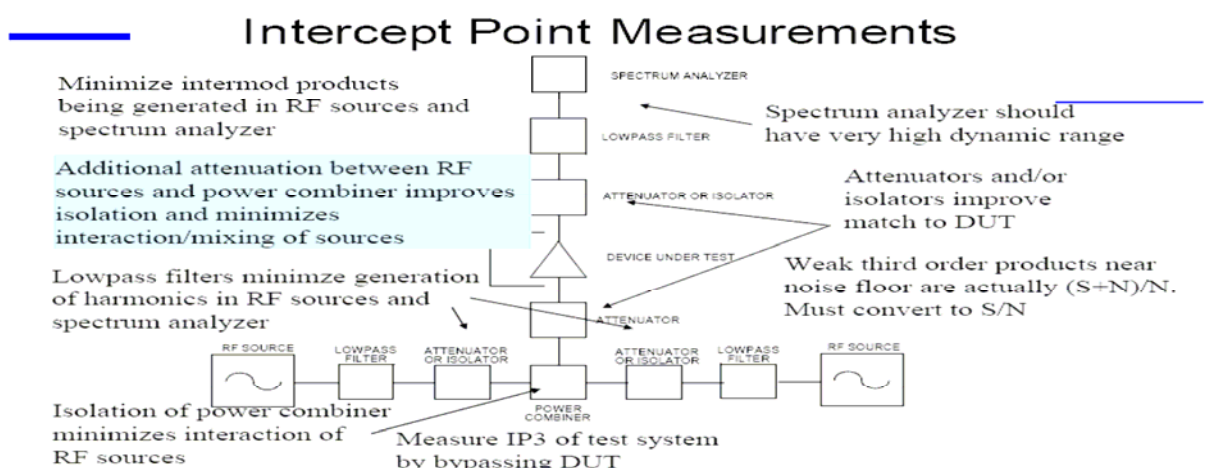
su dalje razmaknuti, pa se visi produkti mjesanja mogu potisnuti izvan propusnog opsega prijemnika..



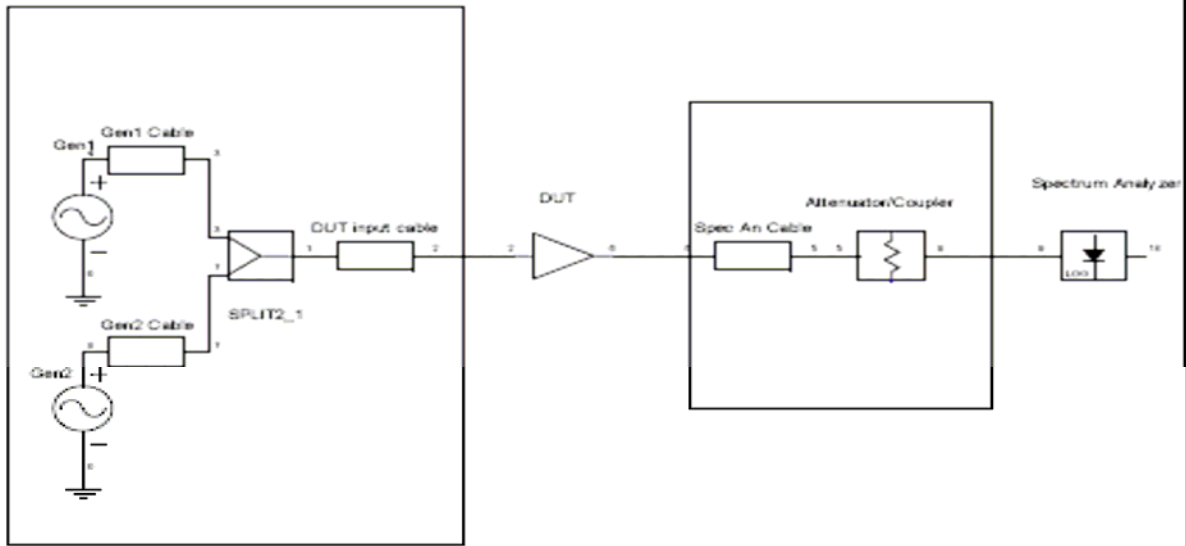
Frequency components	Magnitude	Phase
dc	$a_0 + a_1 \cdot A^2$	...
$f_1, f_2$	$a_1 A + \frac{9}{4} a_3 \cdot A^3$	Sin
$2f_1, 2f_2$	$\frac{1}{2} a_2 \cdot A^2$	-Cosine
$3f_1, 3f_2$	$\frac{1}{4} a_3 \cdot A^3$	-Sin
$(f_1 + f_2), (f_2 - f_1)$	$a_2 \cdot A^2$	-Cosine, cosine
$(2f_1 + f_2), (2f_2 + f_1)$	$\frac{3}{4} a_3 \cdot A^3$	-Sin
$(2f_1 - f_2)$	$\frac{3}{4} a_3 \cdot A^3$	Sin for $2f_1 \cdot f_2$ Otherwise -sin
$(f_1 + 2f_2), (f_1 - 2f_2)$	$\frac{3}{4} a_3 \cdot A^3$	Sin for $2f_2 \cdot f_1$ Otherwise -sin

Lista frekvencija koje nastaju mjesanjem dvotonskog signala

Mjerenje IP sa dvotonskim signalom:  
Za ovo mjerenje potreban je sljedeci setup.



ili malo jednostavnija verzija:

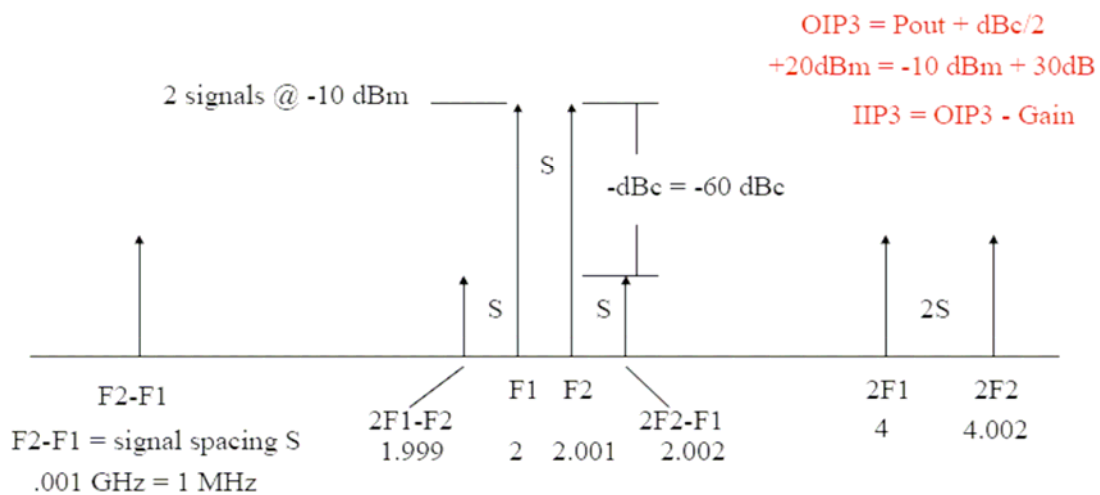


Dva stabilna referentna oscilatora (signal generatora) koja su spojena preko splitera, sa promjenljivim preciznim atenuatorom na mjerni objekat (DUT) pojačivac, prijemnik itd. Na izlazu je priključen spektrom analizador.

Na signal generatorima se podese dvije zeljene frekvencije, f1 i f2 i nivo signala treba da je isti. Kako izabrati nivo signala i razmak izmedju frekvencija?

Treba voditi racuna da nivo referentnih signala koji se zbrajaju ne bude prevelik jer bi mogao zasiti prijemnik ili pojacivac. Nivo signala od 10 do 15dB iznad suma je dobra polazna tacka.

Razmak izmedju f1 i f2 treba izabrati tako da oba produkta mjesanja budu u propusnoj sirini DUT. Pozeljno je da se koristi pasivni (ne otporni) spliter zbog izolacije izmedju portova koji potiskuju recipročno mjesanje referentnih signala.

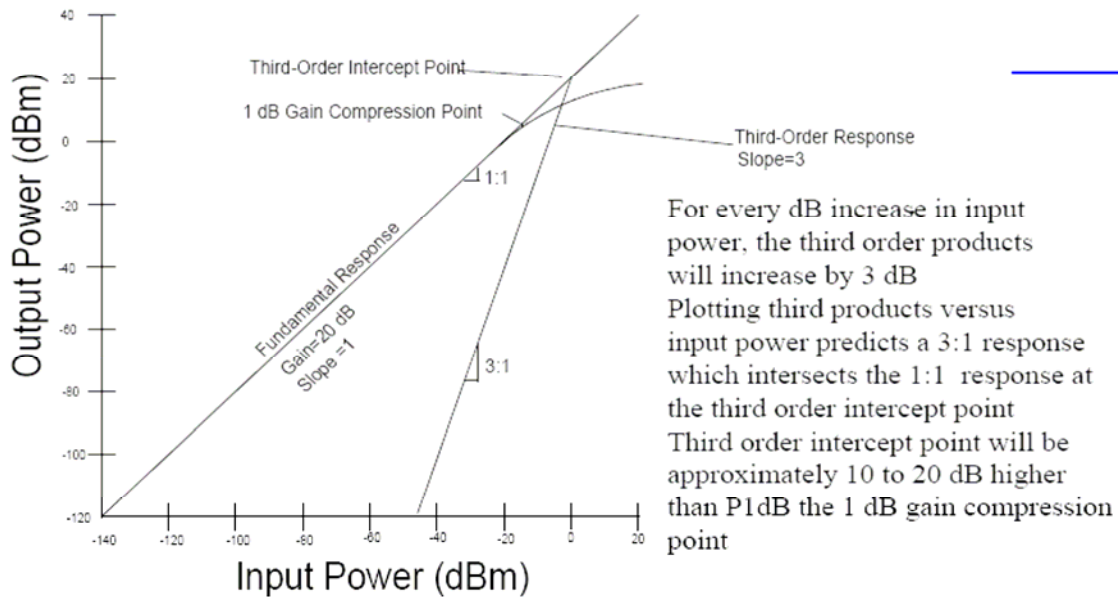


Kako to izgleda na SA. Dva ulazna referentna signala f1 od 2 i f2 2.001 GHz svaki -10dBm, IP3 produkti mjesanja 2f1-f2 na 1.999 i 2f2-f1 na 2.002 GHz sa amplitudama signala nizim za 60dB

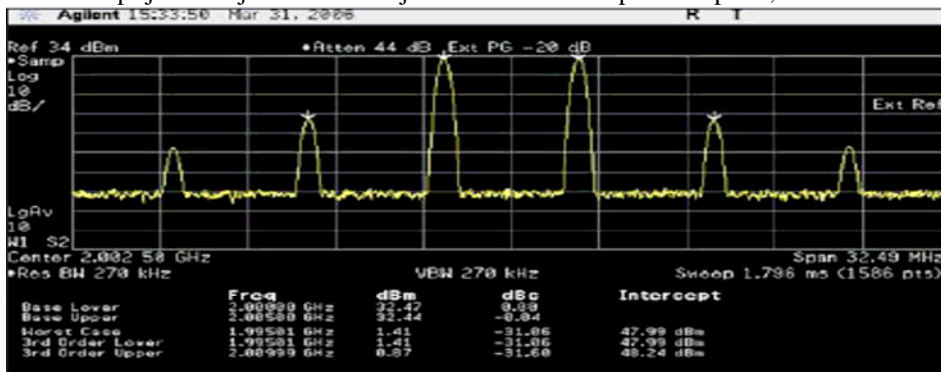
$$IP_n = P + \frac{\Delta P}{n-1}$$

od referentnih signala ili na -70dBm. Prema sljedećoj formuli za  $IP_3 = P_{out} + (-dBc/2)$ . OIP je naziv za izlazu vrijednost  $IP_3$ , a IIP je oznaka za ulaznu vrijednost  $IP_3$ . Razlika je samo za pojačanje DUT u dB. U ovom slučaju OIP3 je 20dBm, a IIP3 je IIP3=OIP3-gain (10dB), odnosno IIP3 je 10dBm. Kako to izgleda na plotu.

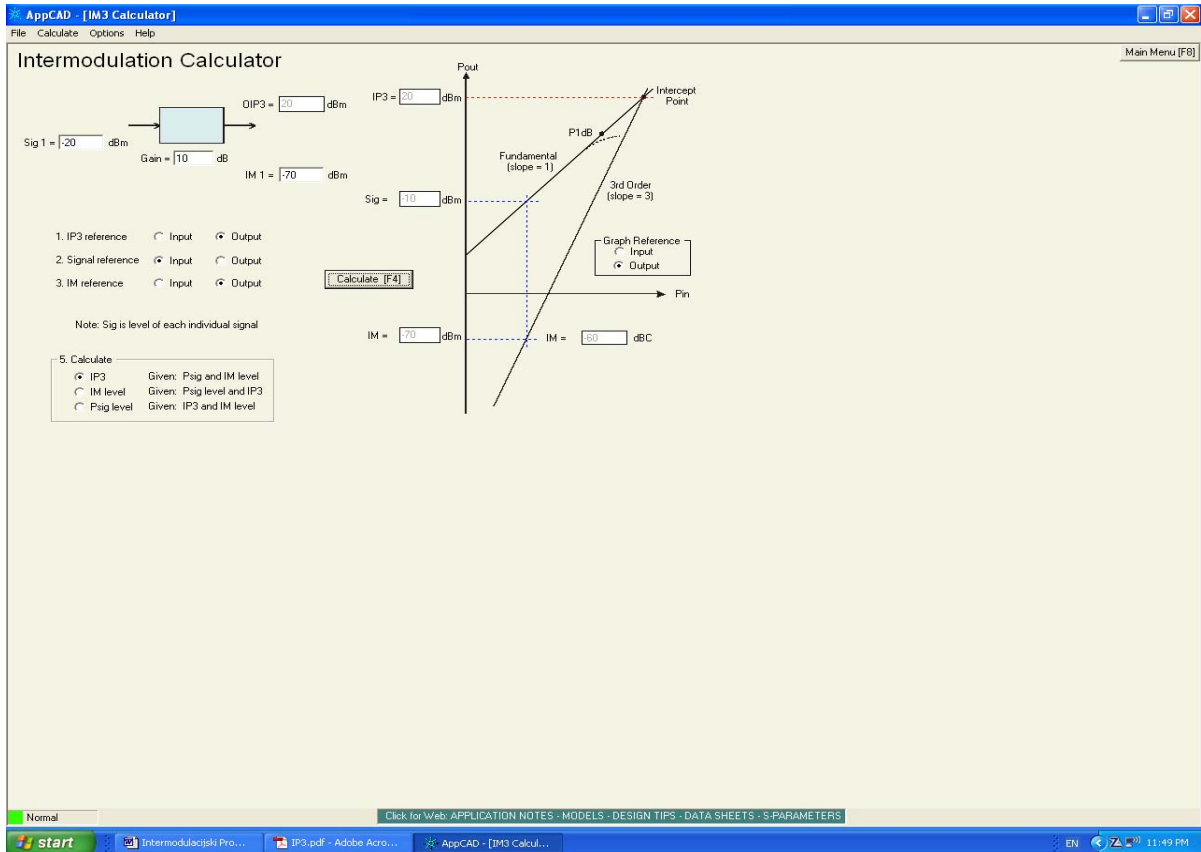
## Plotting Third Order Response



Fundamental kriva je izlazni signal iz DUT na osnovnoj frekvenciji, npr f1 ili f2 sa rastom od 1, dok je 3<sup>rd</sup> order kriva (signal 2f2-f1) sa rastom od 3. Očigledno je da kod rasta osnovnog signala za 1dB, 3<sup>rd</sup> order intercept raste za 3dB. Radi toga IP3 produkti sa rastom od 3 nastaju već kod malih ulaznih nivoa, daleko prije second order produkti pa ih je vrlo tesko potisnuti. Vazno je napomenuti da je Third order intercept point imaginarna tacka ili mjesto gdje se ove dvije krive ukrstaju. 5<sup>th</sup> order response kriva bi imla slope od 5, i mjesto na kome bi presjecala fundamental response krivu je fifth order intercept point. P1dB je compression point, odnosno kada pojačivac dolazi u zasícenje i fundamentalna kriva ne prati linearnu promjenu, odnosno kada povećanje ulaznog signala uzrokuje pad pojačanja za 1dB. Ova tacka se uzima kod mjerenja dinamike prijemnika, odnosno dinamika prijemnika je P1dB-MDS. Dinamika prijemnika je odnos izmedju nivoa suma i kompression point, izrazena u dB.

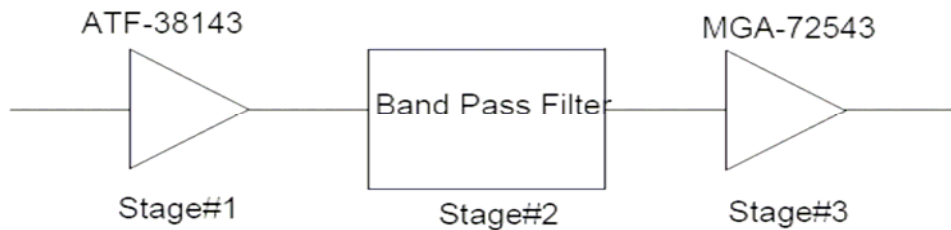


IP3 se obicno nalazi oko 10dB iznad P1dB compression point.



APPcad program za izracunavanje IP.  
Sljedi racunaje IP kod kaskadnih pojacivaca:

## Cascade IP3 Calculation



	ATF-38143	Band Pass Filter	MGA-72543
	Stage#1	Stage#2	Stage#3
OIP3	+21dBm(125.9)	$\infty$ dBm( $\infty$ )	+25 dBm(316.2)
Gain	15 dB (31.62)	-3 dB (.5)	15 dB (31.62)
	$\frac{1}{OIP3}$	$\frac{1}{OIP3_1 \cdot G_2 \cdot G_3}$	$\frac{1}{OIP3_2 \cdot G_3}$
	$\frac{1}{OIP3}$	$\frac{1}{(\infty)(31.62)}$	$\frac{1}{316.2}$
	$\frac{1}{OIP3} = \frac{1}{(125.9)(.5)(31.62)} + \frac{1}{(\infty)(31.62)} + \frac{1}{316.2}$		
	$OIP3 = 273.075 = 24.4 \text{ dBm} , IIP3 = 24.4 - 33 = -8.6 \text{ dBm}$		

Prema sljedećoj tabeli moguće je približno izračunati nivoe intermodulacijskih produkata. Sa pravilnim izborom frekvencija i nivoa za mjesac moguće je naći spurius free IF.

(LO) n	(RF) m	$S_{nm}$ Suppression (dBc)
1	1	0
1	2	$\Delta P-41$
1	3	$2\Delta P-28$
2	1	-35
2	2	$\Delta P-39$
2	3	$2\Delta P-44$
3	1	-10
3	2	$\Delta P-32$
3	3	$2\Delta P-18$
4	1	-35
4	2	$\Delta P-39$
5	1	-14
5	3	$2\Delta P-14$
6	1	-35
6	2	$\Delta P-39$
7	1	-17
7	3	$2\Delta P-11$

**Table 1.** Formulas approximating suppression of certain IM products. n corresponds to the high-level (LO) input, and m corresponds to the low-level (RF) input.  $\Delta P = P_{RF} \text{ (dBm)} - P_{LO} \text{ (dBm)}$ .

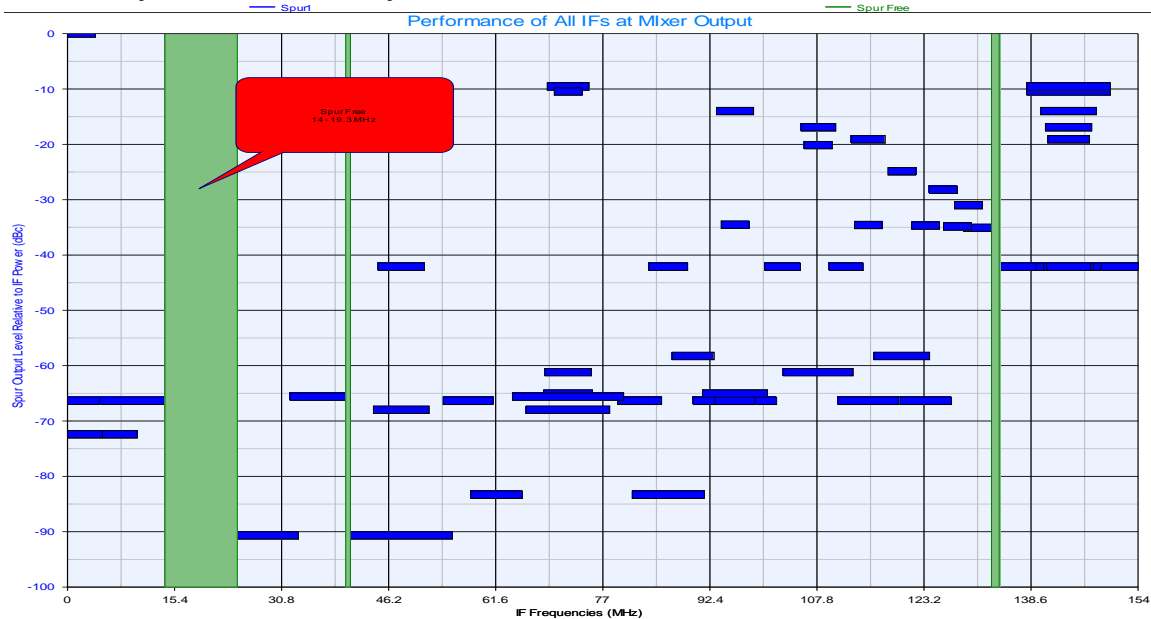
Najprije treba oduzeti LO input power u dBm od RF input power, i to je Delta P.

Na primjer LO = +10dBm, RF je -20dBm, a Delta P je -30dBm.

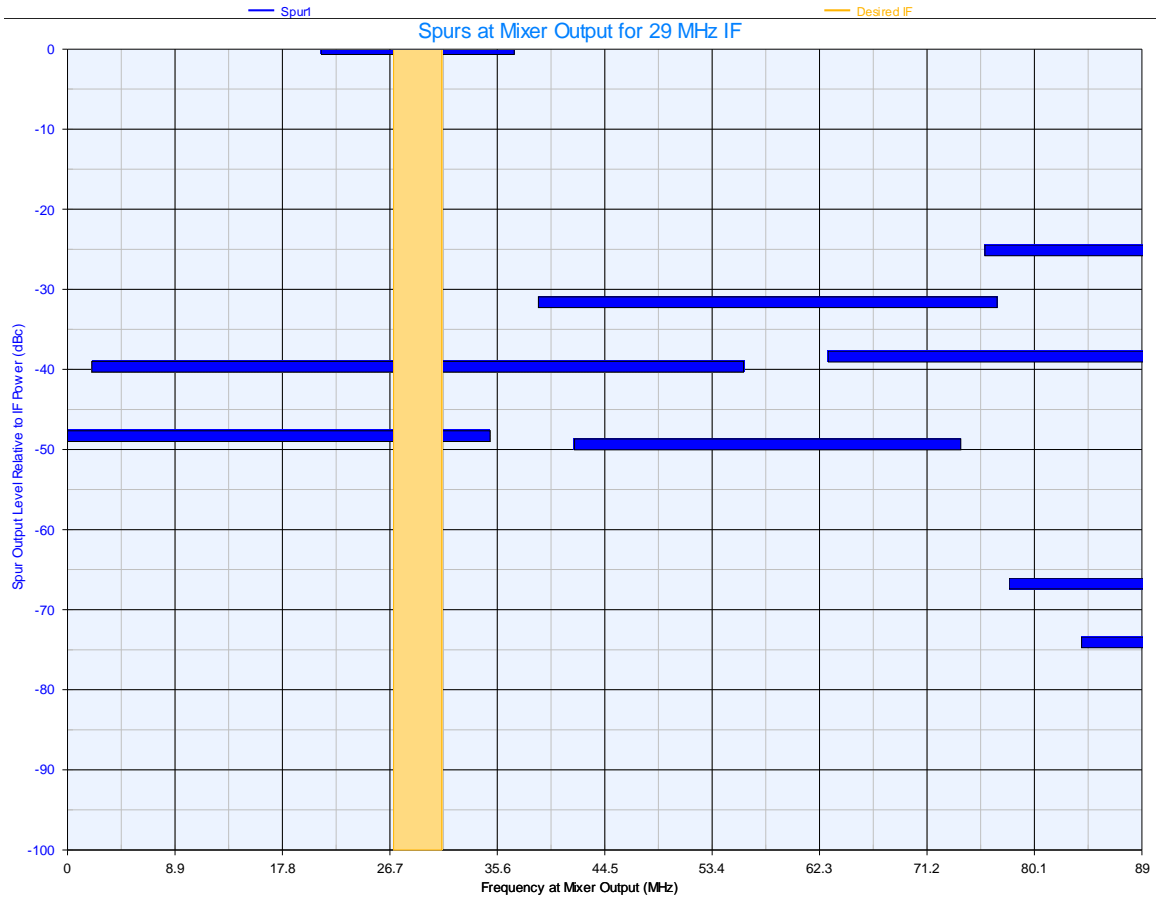
Prema tome 2 x 2 je Delta P-39 ili -60dBc.

2 x 1 produkt je -35dBc

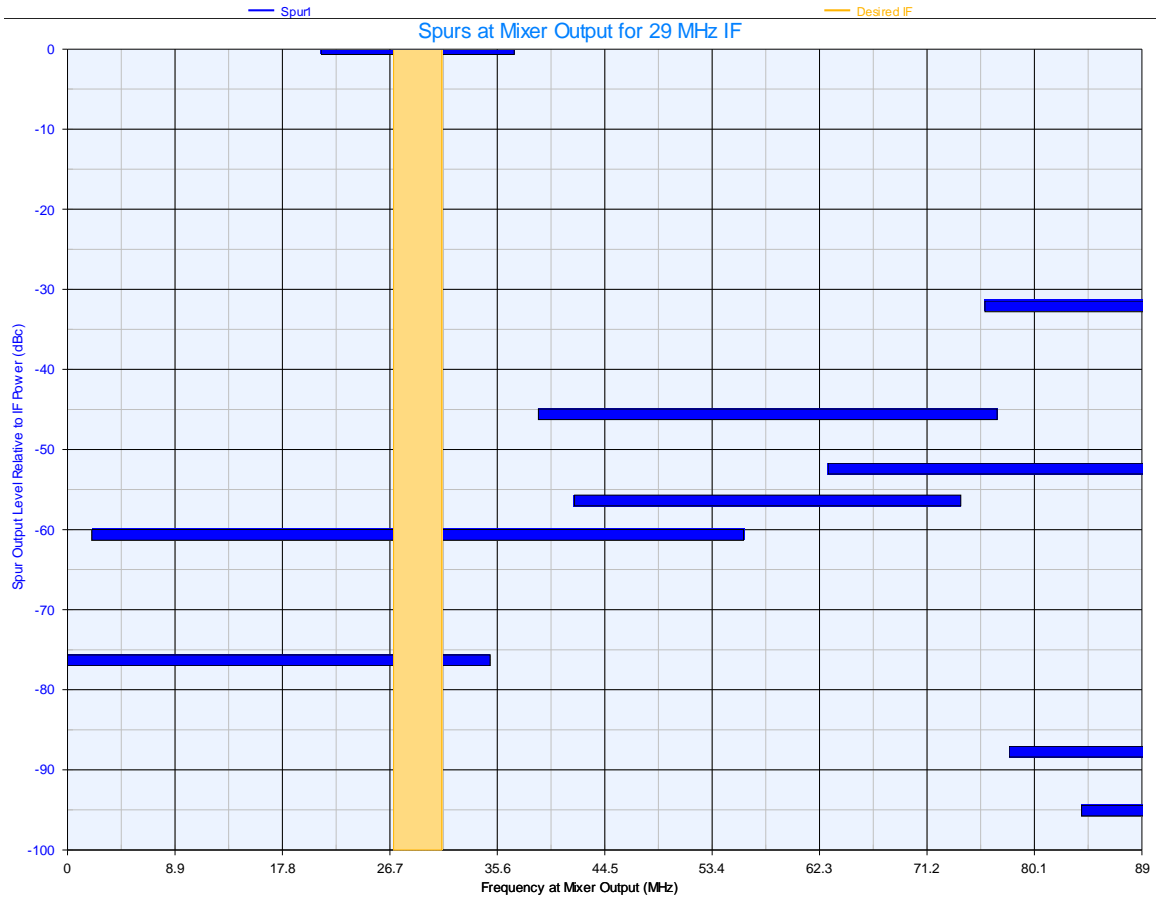
Uz korištenja spread sheet programa vrlo brzo i efikasno se mogu naći intermodulacijske frekvencije i nivoi signala. Na sljedećem primjeru je spurius free IF za 2M transverter sa dvostrukim balansnim mjesecom od 17dBm. IF je od 14 -19.3MHz. Hmmm, Javornik??



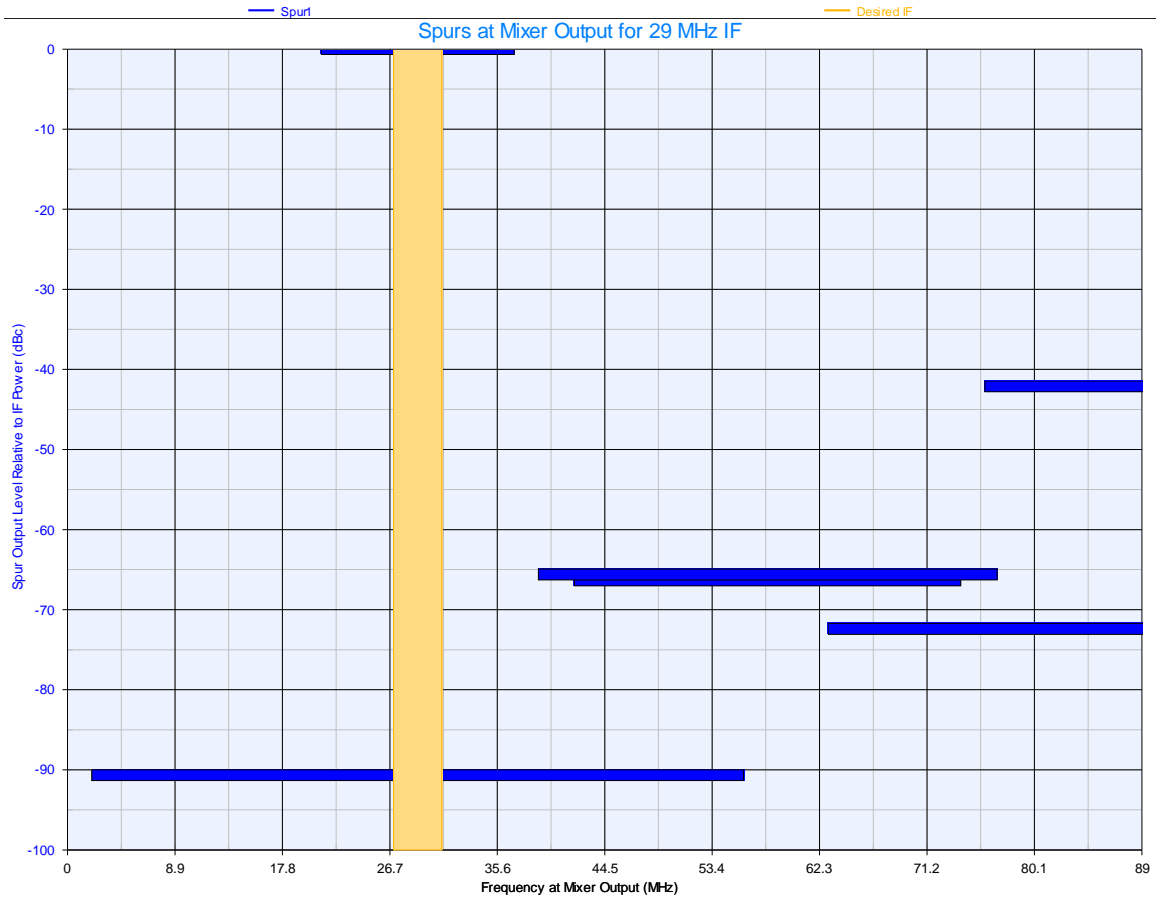
Zelena široka linija predstavlja IF frekvencije, a poprecne linije su harmonične frekvencije i slabljenja. Kako izgleda 144 / 28MHz transverter sa različitim nivoima u DBM.



LO=0dBm

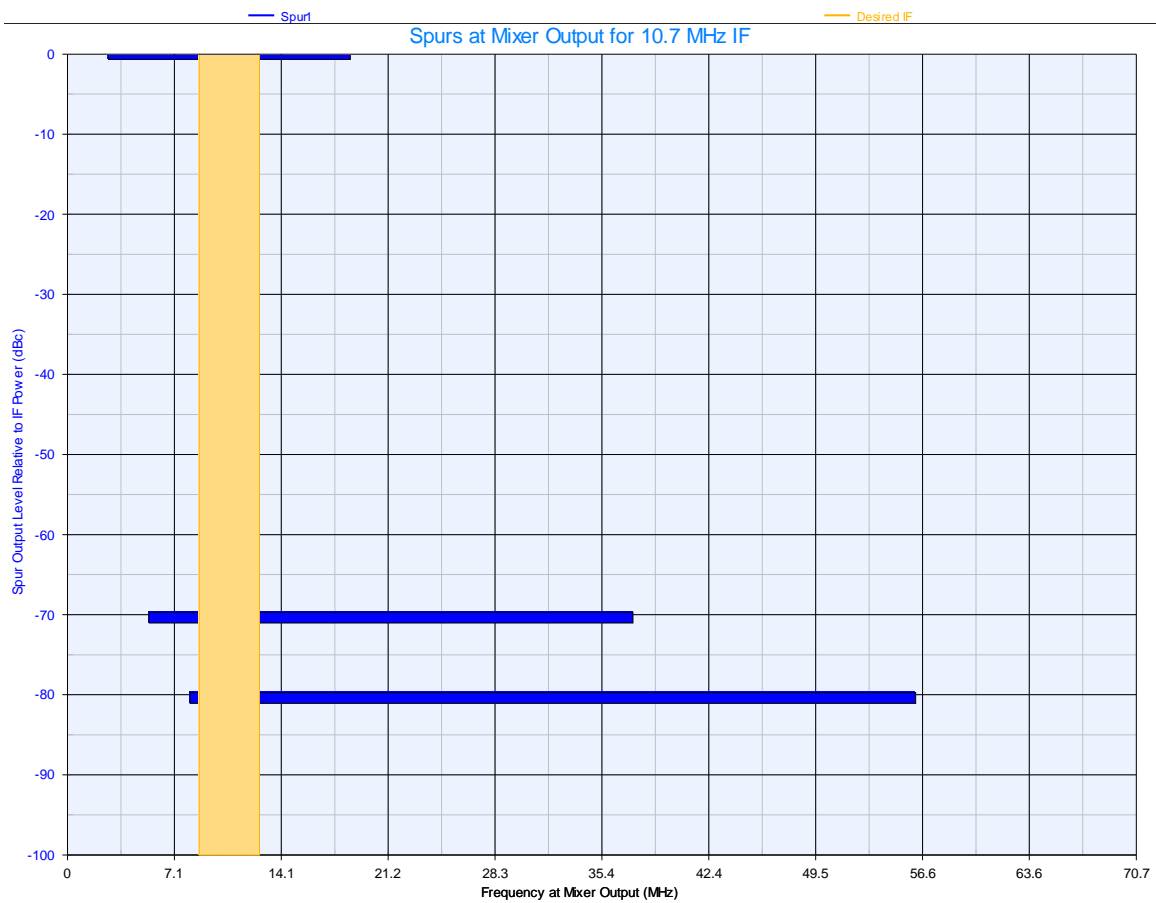


Lo=7dBm

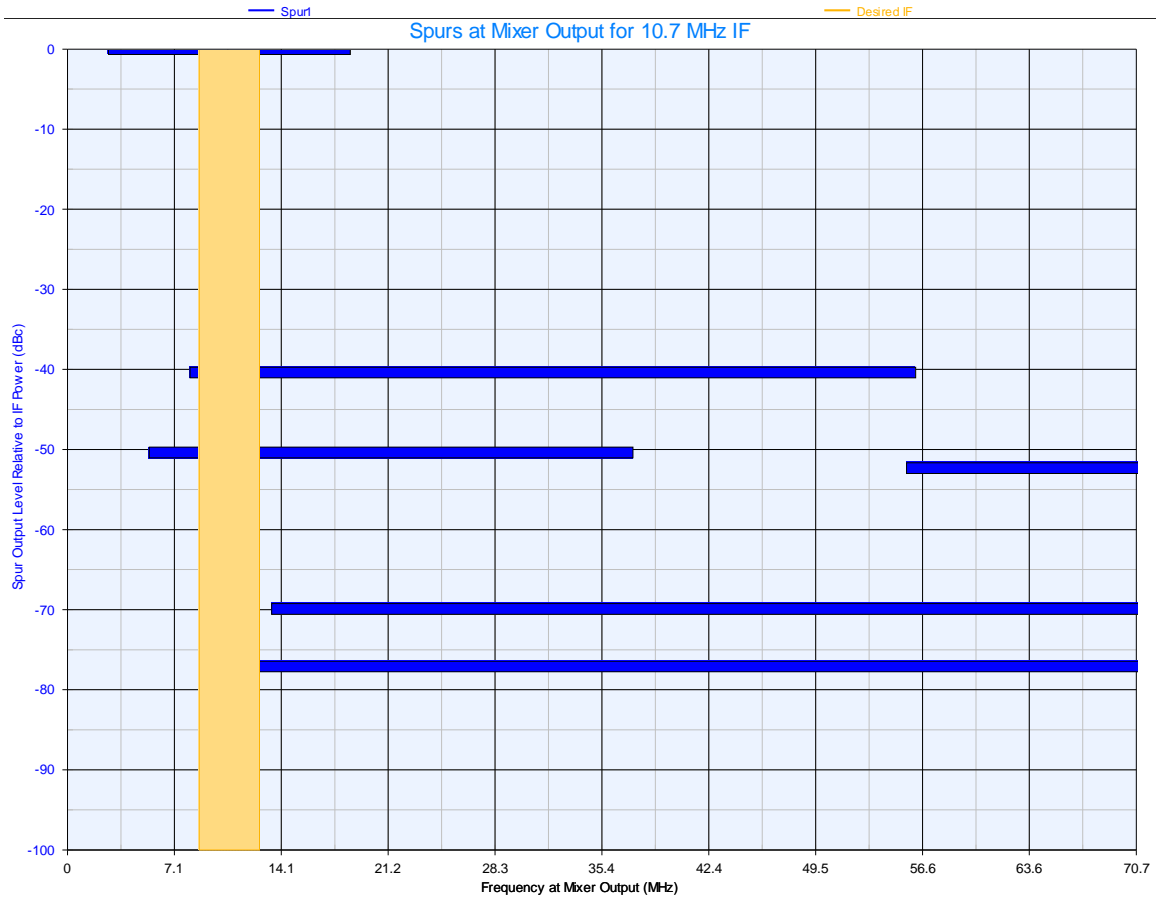


LO=17dBm

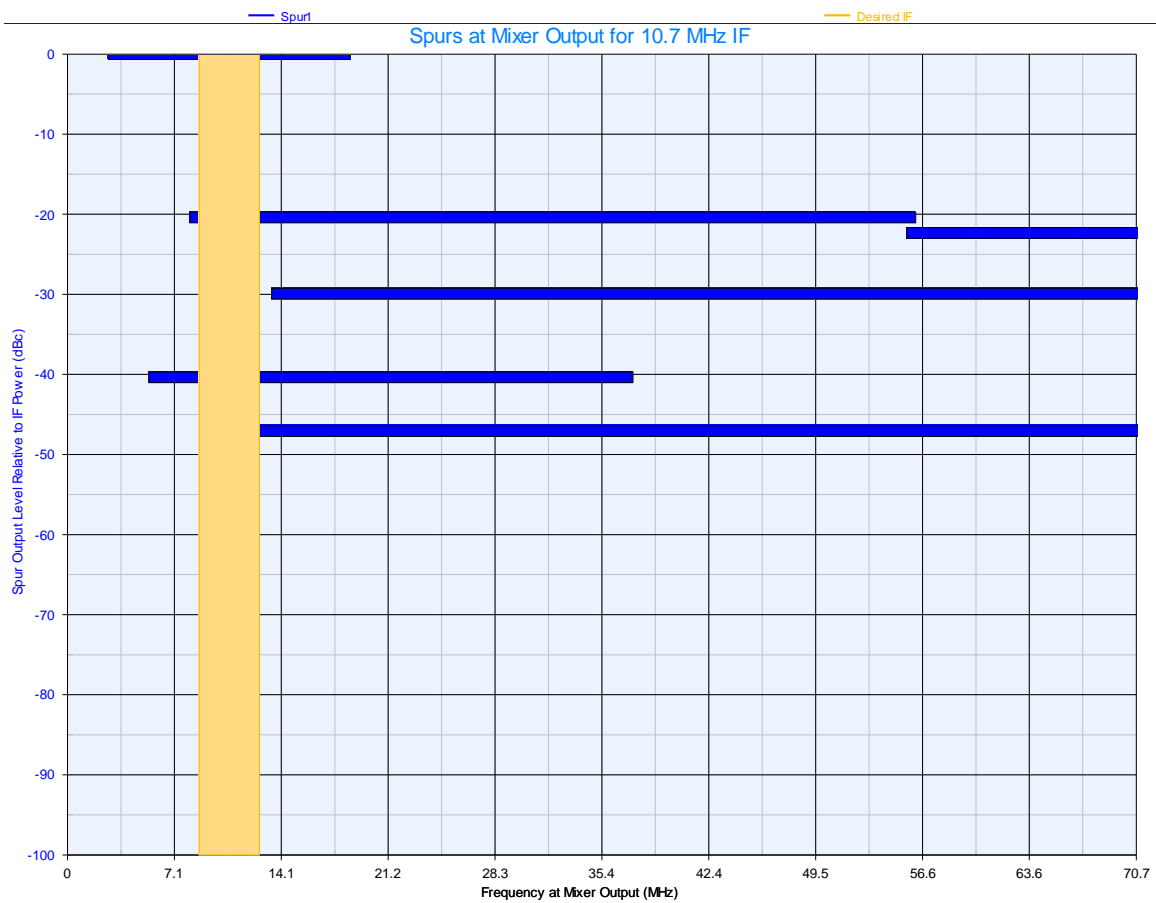
Sada IC-202 sa -30dBm ulaznim signalom



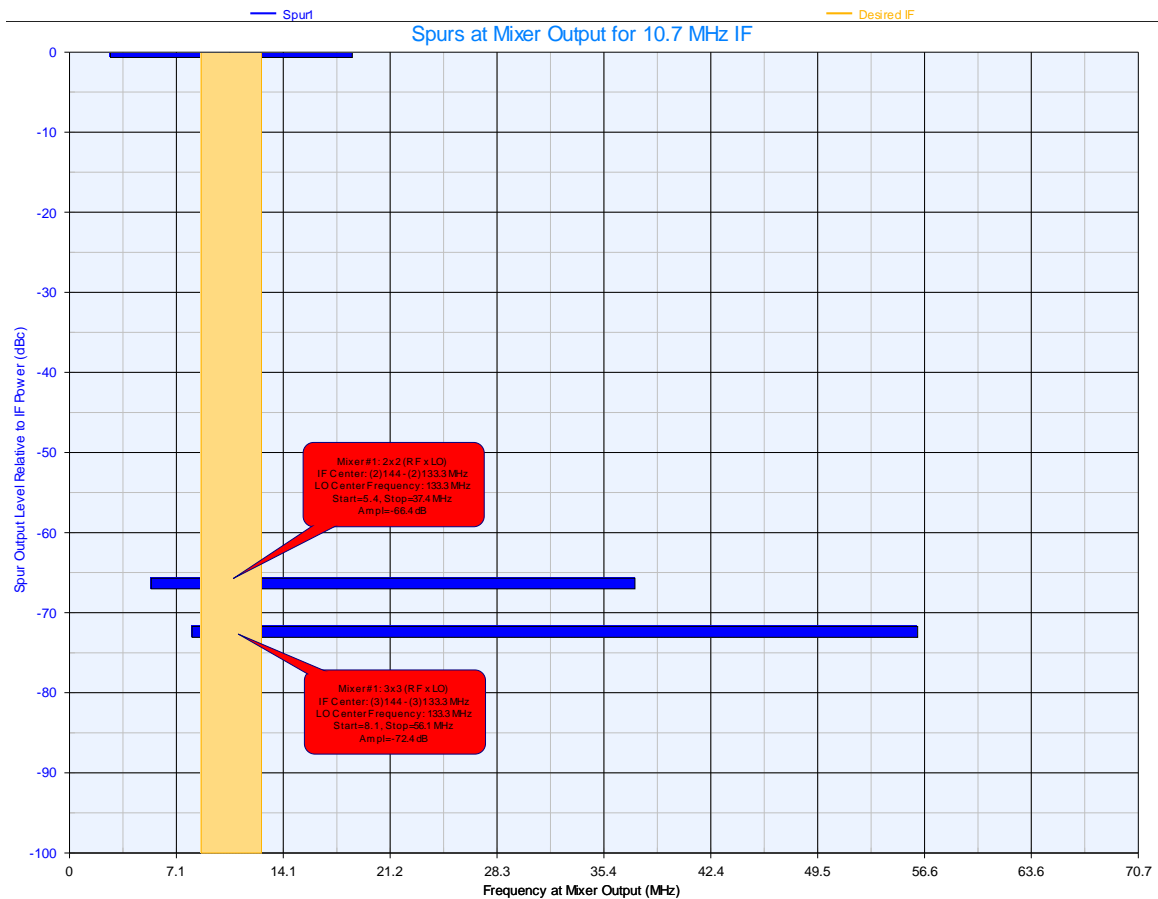
IC-202 sa -10dBm ulaznim signalom



IC-202 sa 0dBm na ulazu



I na kraju IC-202 “na stereoidima” sa 17dB DB mikserom na ulazu



Kako mjeriti IP bez posebne opreme, SA, SG? Mjerenja neće biti vrlo precizno ali dovoljna za upoređivanje. Potrebno je izbazariti S metar na prijemniku, uz pomoć signal generatora, tako da se za svaku S jedinicu oznaci nivo u dB. Sa step attenuatorom na ulazu prijemnika moguće je precizno slabiti ulazni signal i vrsiti očitavanje na s metru. Frekvencije se lako izracunaju iz navedenih formula. Kao dvotonski generator mogu se koristiti dva DDS kojima je poznat izlazni nivo. Izlazni nivoi iz generatora treba da su istog reda velicine.

Zaključak:

Intermodulacijska mjerenja su vrlo važna za karakterizaciju primopredajnih komunikacijskih uređaja. Uz pažljivi izbor mjesackih frekvencija i ulaznih nivoa moguće je izabrati spurs free IF i time značajno poboljšati performanse uređaja.