

Intermodulacijsko popačenje

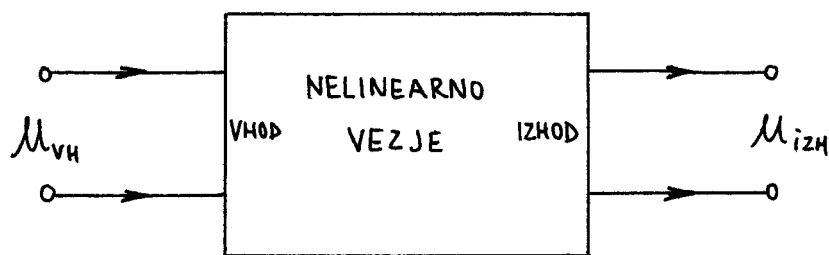
Matjaž Vidmar, S53MV

1. Posledice nelinearnih popačenj signalov

Nobena naprava na tem svetu ni idealna. Prav tako niso idealni sestavni deli, iz katerih so zgrajene naše radijske postaje. Seveda je lahko ista lastnost nekega sestavnega dela škodljiva v določenem vezju, v nekem drugem vezju pa je koristna in nujna za delovanje. Na primer, vsak ojačevalnik proizvaja na izhodu razen osnovne še višje harmonske frekvence. To je v vezju ojačevalnika običajno nezaželeno, povsem isti pojav pa s pridom izkoriščamo v frekvenčni množilni stopnji.

V tem članku si bomo zato bolj natančno ogledali eno od posledic nelinearnega popačenja signalov v ojačevalnikih in drugih elektronskih sestavnih delih, to je intermodulacijsko popačenje. Intermodulacijsko popačenje je namreč skoraj vedno škodljiv pojav v radijskih sprejemnikih in oddajnikih, večina naših radioamaterjev pa si žal ni na jasnem, zakaj nastane, kakšne so posledice in kako ga lahko omejimo ali povsem izločimo.

Za našo razpravo zaenkrat opišemo električno vezje kot je to prikazano na sliki 1, se pravi kot škatlico z vhodnimi in izhodnimi sponkami. Izhodni signal, na primer napetost uizh je sicer odvisna od vhodnega signala, na primer vhodne napetosti uvh, vendar pa ta odvisnost ni nujno enostavna. Ker za našo nadaljnjo razpravo nujno potrebujemo malo srednješolske matematike, zapišimo to odvisnost v matematični obliki! Za našo razpravo je smiselni zapis v obliki polinoma, se pravi je izhoden signal uizh zapisan kot vsota različnih potenc vhodnega signala uvh. Takšen zapis ustreza delovanju resničnih elektronskih sestavnih delov, hkrati pa nam posamezne potence polinoma zelo veliko povejo o tem, kaj se bo zgodilo s signalom in kaj bomo dobili na izhodu vezja.



$$u_{izh} = C_0 + C_1 \cdot u_{vh} + C_2 \cdot u_{vh}^2 + C_3 \cdot u_{vh}^3 + C_4 \cdot u_{vh}^4 + \dots$$

Slika 1 - Matematični zapis nelinearnosti vezja

V radijskih postajah največkrat ojačamo in obdelujemo signale sinusne oblike, zato se je smiselno pogovarjati o spektru signala, se pravi o frekvencah, ki so zastopane v določenem signalu. In kaj nam v tem slučaju pomenijo potence polinoma prenosne karakteristike našega vezja? Konstanta C_0 ne prinaša nobene odvisnosti od vhodnega signala, to je torej enosmerna komponenta na izhodu vezja.

Konstanta C_1 opisuje linearni člen, se pravi linearno ojačanje (ali slabljenje) našega vezja. Sinusni signal lahko opišemo z ustrežno kotno funkcijo, množenje kotne funkcije s konstanto pa nam še vedno da kotno funkcijo istega argumenta. Se pravi, linearni člen ne dodaja novih frekvenčnih komponent v spekter, temveč samo ojači (ali slabi) vse vhodne signale.

Da ugotovimo, kaj nam prinesejo višji členi, C_2 , C_3 , C_4 itd bo treba malo pobrskati po srednješolskim matematičnih tablicah, bolj točno po poglavju, ki opisuje razstavljanje potenc in produktov kotnih funkcij. Na primer, kvadrat kotne funkcije se da zapisati kot vsota konstante in kotne funkcije dvojnega argumenta. Konstanta pomeni za nas enosmerno komponento, funkcija dvojnega argumenta pa drugi harmonik osnovne frekvence!

Ker namen tega članka ni kompliciranje z matematiko, si rajši oglejmo kar končni rezultat, ki je prikazan v tabeli na sliki 2. Tabela je pripravljena za dva slučaja: ko krmilimo vezje s signalom z eno samo frekvenco (f) in ko krmilimo vezje z dvema različnima frekvencama (f_1 in f_2), ki nista nujno v harmonskem razmerju, se pravi nista ena mnogokratnik druge. Ker število novih frekvenčnih komponent zelo hitro narašča z redom potence, še posebno v slučaju krmiljenja z dvema frekvencama, sem moral ustaviti pisanje tabele pri potenci 5 in še tu nisem mogel zapisati prav vseh frekvenčnih komponent.

ČLEN	PRISPEVKI PRI KRMI- LJENJU Z ENO FREKVENCO f	PRISPEVKI PRI KRMILJENJU Z DVEMA FREKVENCAMA f_1 in f_2
LINEARNI ČLEN $C_1 \cdot u_{VH}$	f	$f_1 ; f_2$
KVADRATNI ČLEN $C_2 \cdot u_{VH}^2$	0 (= enosmerna!) $2f$	0 ; $2f_1 ; 2f_2 ;$ $f_1 + f_2 ; f_1 - f_2$
KUBNI ČLEN $C_3 \cdot u_{VH}^3$	f $3f$	$f_1 ; f_2 ; 3f_1 ; 3f_2 ;$ $2f_1 + f_2 ; \boxed{2f_1 - f_2} ;$ $f_1 + 2f_2 ; \boxed{f_1 - 2f_2}$
$C_4 \cdot u_{VH}^4$	0 (= enosmerna) $2f$ $4f$	0 ; $2f_1 ; 2f_2 ; 4f_1 ; 4f_2 ;$ $3f_1 + f_2 ; 3f_1 - f_2 ; 2f_1 + 2f_2 ; 2f_1 - 2f_2 ;$ $f_1 + 3f_2 ; f_1 - 3f_2 ; f_1 + f_2 ; f_1 - f_2$
$C_5 \cdot u_{VH}^5$	f $3f$ $5f$	$f_1 ; f_2 ; 3f_1 ; 3f_2 ; 5f_1 ; 5f_2 ;$; $\boxed{3f_1 - 2f_2} ; \boxed{2f_1 - 3f_2} ;$
⋮	⋮	⋮

Slika 2 - Prispevki posameznih členov prenosne karakteristike v spektru izhodnega signala

Iz tabele na sliki 2 vidimo, da nam kvadratni člen vedno prinese komponento s frekvenco nič, se pravi enosmerno komponento. Vežje s kvadratno prenosno karakteristiko (ali katerokoli drugo sodo potenco) se nam torej obnaša tudi kot usmernik ali detektor, kar je lahko nezaželeno, lahko pa omenjeno lastnost vežja tudi s pridom izkoristimo.

Iz tabele tudi vidimo, da nam vsaka potenca prenosne karakteristike zagotovo prinese ustrezni harmonik osnovnega signala. Kvadratni člen zagotovo prinese drugi harmonik, kubni člen prinese tretji harmonik, četrta potenca prinese četrti harmonik, peta potenca prinese peti harmonik itd. Se pravi, za gradnjo frekvenčnih množilnih stopenj nujno potrebujemo vežje, ki ima prenosno karakteristiko z ustrežno potenco.

V slučaju krmiljenja vežja z dvema frekvencama prinese kvadratni člen tudi

komponenti z vsoto obeh frekvenc f_1+f_2 in razliko obeh frekvenc f_1-f_2 . Kvadratni člen je torej osnova za delovanje mešalnika v superheterodinskem sprejemniku. Višji členi omogočajo mešanje s harmoniki, kar je lahko nezaželeno.

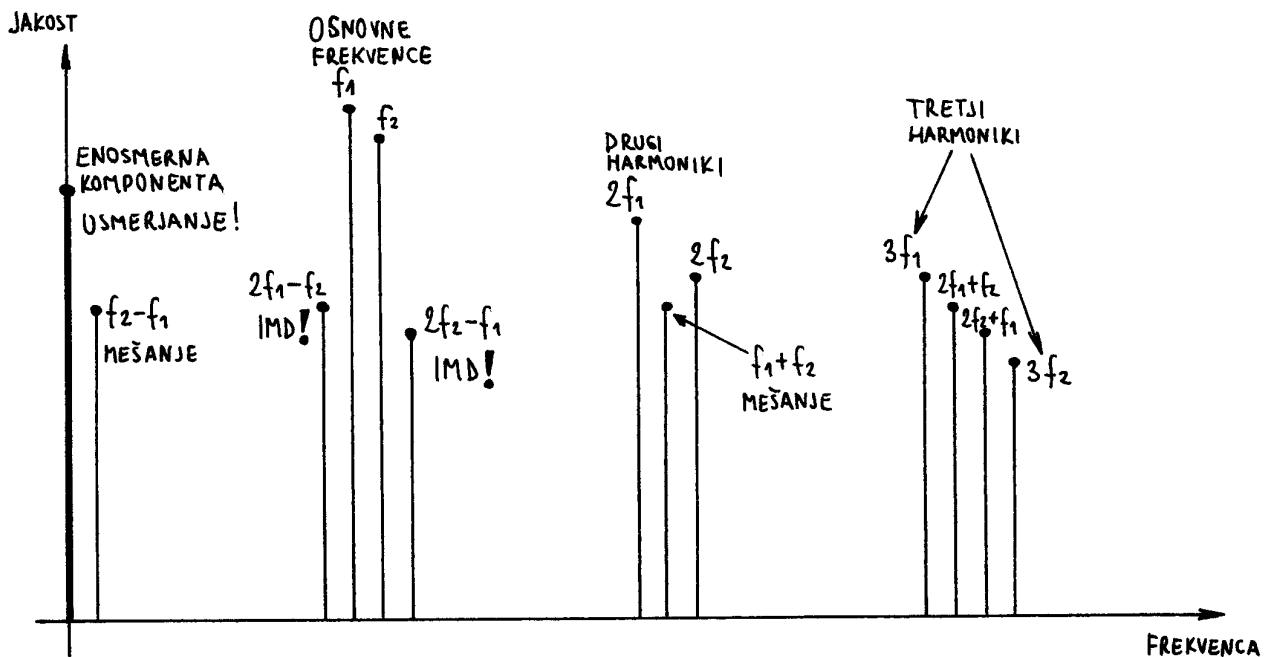
Višji členi tudi sicer povzročajo nezaželjene pojave. V tabeli na sliki 2 opazimo, da kubni člen prinaša tudi signal z osnovno frekvenco. To pomeni, da kubni člen nekoliko spremeni ojačanje vezja, saj se ta signal z osnovno frekvenco prišteva tistemu, ki ga daje linerani člen. Spreminjanje ojačanja zaradi močnih vhodnih signalov lahko povzroči navzkrižno modulacijo v sprejemniku, in to je bil eden prvih opaženih motečih pojavov zaradi nelinearnosti vezja.

2. Pojav intermodulacijskega popačenja

V naših radijskih postajah imamo vedno opravka z nelinearnimi vezji, bodisi zato, ker ne znamo narediti boljših, bolj linearnih ojačevalnikov, ali pa zato, ker nelinearnost nujno potrebujemo, na primer v mešalnikih in v množilnih stopnjah. Nezaželjene komponente frekvenčnega spektra potem skušamo izsejati z ustreznimi električnimi siti: nihajnimi krogi, rezonatorji, kristalnimi filtri ipd.

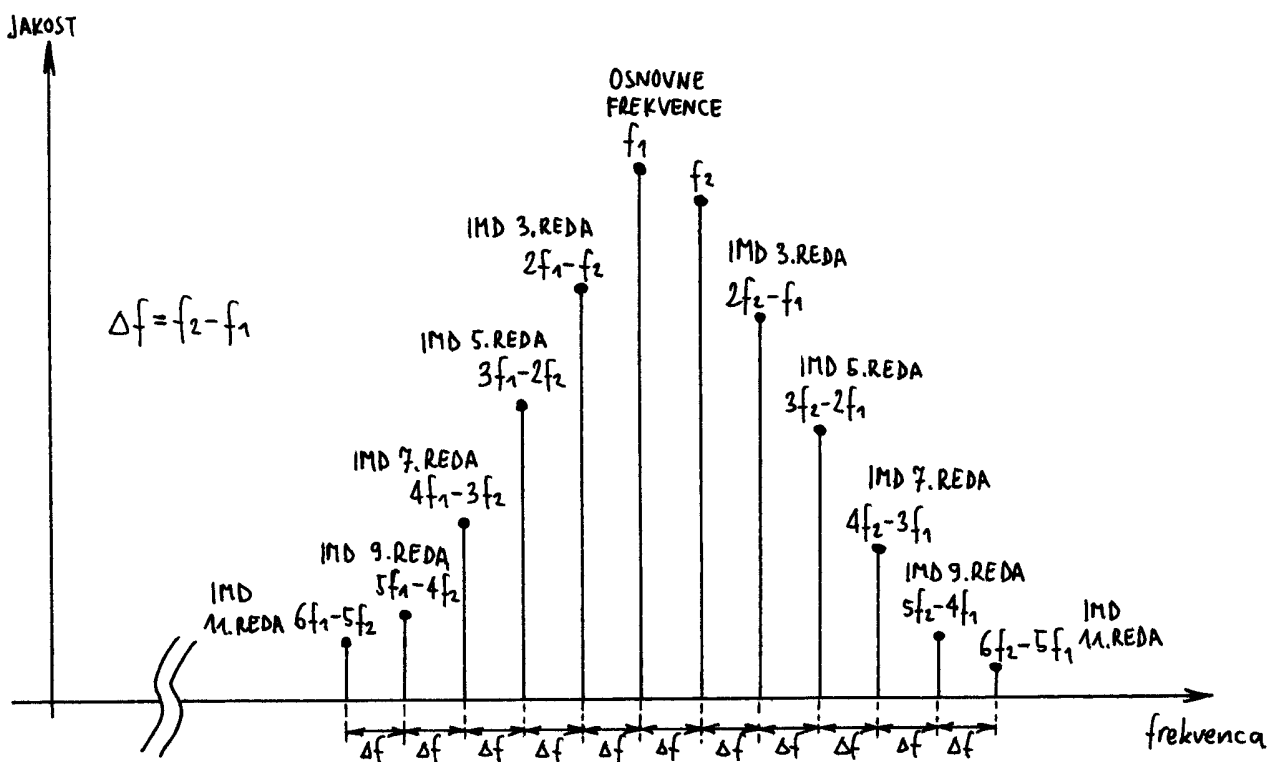
Povsem jasno je najtežje izsejati ravno tiste frekvenčne komponente, ki so zelo blizu željenim frekvencam, saj bi za to rabili zelo ostru, selektivna sita. Omenjeni problem se pojavi takrat, ko nelinearno vezje krmilimo z dvema frekvencama (f_1 in f_2), ki sta si zelo blizu skupaj (razlika f_1-f_2 zelo majhna). Pri tem je najtežje izsejati nezaželjene frekvenčne komponente, ki so na sliki 2 postavljene v okvirčke. Te frekvenčne komponente imenujemo intermodulacija, pojav pa intermodulacijsko popačenje ali s tujko InterModulation Distortion (IMD).

Pojav inermodulacijskega popačenja postane bolj razumljiv, če si tabelo s slike 2 preišemo v merilu v frekvenčni spekter signala, kot je to narejeno na sliki 3, zaradi enostavnosti in preglednosti le do produktov tretjega reda (kubna prenosna karakteristika). Iz slike 3 je jasno razvidno, da bo najtežje izsejati frekvenčne komponente $2f_1-f_2$ in $2f_2-f_1$, saj so te zelo blizu željenim frekvencam f_1 in f_2 . Te nezaželjene frekvenčne komponente imenujemo intermodulacija tretjega reda, ker jih povzroča kubni člen v prenosni karakteristiki vezja.



Slika 3 - Spekter signalov na izhodu vezja s kubno prenosno karakteristiko

Intermodulacijo seveda povzročajo tudi višje potence, vendar vedno samo lihih redov. Zato govorimo o intermodulaciji tretjega, petega, sedmega, devetega, enajstega itd reda. Spekter intermodulacijskega popačenja v okolici željenih signalov f_1 in f_2 je prikazan na sliki 4. Kot zanimivost naj omenim še to, da so intermodulacijski produkti vedno razmaknjeni točno za razliko osnovnih frekvenc f_2-f_1 , jakost intermodulacijskih produktov pa upada z višanjem reda.



Slika 4 - Spekter intermodulacijskega popačenja

Intermodulacija je skoraj vedno zelo škodljiv pojav v sprejemnikih in oddajnikih, zato si bomo v nadaljevanju tega članka ogledali, kaj jo povzroča, kakšne so posledice in kako jo omejimo ali odpravimo.

3. Intermodulacija v aktivnih sestavnih delih

Intermodulacijo vedno povzroča neka nelinearnost uporabljenih sestavnih delov. Od elektronskih sestavnih delov so za intermodulacijo običajno povsem nedolžni upori, kondenzatorji in tuljave, saj so ti sestavni deli linearni, se pravi je tok skozi njih premo sorazmeren napetosti oziroma neki drugi veličini, se pravi v prenosni karakteristiki ni členov višjega reda.

Seveda obstajajo tudi nelinearni upori, še bolj pogost slučaj pa so tuljave z nelinearnim jedrom. Na primer, antenski prilagoditveni ali simetrični transformator, navit na feritnem toroidnem jedru je lahko izvor hudega intermodulacijskega popačenja (motnje za druge postaje!), če je naš oddajnik zadosti močen, da krmili feritno jedro v nasičenje.

Najbolj nelinearni elektronski sestavni deli so vsekakor polprevodniki. Naloga raznih vrst diod v vezju je običajno prav ta, da izkoriščamo takšno ali drugačno obliko nelinearnosti. Prenosna karakteristika diode je eksponentna: tok je odvisen od eksponentne funkcije napetosti na priključkih diode. Eksponentno funkcijo pa znajo matematiki pretvoriti v polinom z neskončnim številom členov, se pravi je čisto navadna dioda sposobna napraviti neskončno število višjih harmonskih frekvenc in neskončno

število intermodulacijskih produktov!

Kako lahko potem diodo sploh uporabimo v radijski postaji, ko pa proizvaja neskončno velik spekter nezaželenih frekvenc? No, na srečo velikost posameznih členov polinoma hitro upada z višanjem reda. Za majhne signale (10mV) je torej dioda povsem linearen sestavni del, za nekoliko večje signale, okrog 100mV, prevladuje kvadratični člen in šele za veliko večje signale (1V in več) pridejo do izraza višji členi polinoma.

Kar se popačenja in intermodulacije tiče, se bipolarni tranzistorji obnašajo podobno kot diode, saj je kolektorski tok prenosorazmeren toku skozi diodo baza-emitor. V tranzistorjem ojačevalniku imamo seveda lahko še druge izvore popačenja, na primer, če tranzistor krmilimo do nasičenja ali pa do popolne prekinitve kolektorskega toka.

Poljski tranzistorji (spojni FET, MOSFET, GaAs FET) so kar se tiče intermodulacijskega popačenja nekoliko boljši od bipolarnih tranzistorjev. Karakteristika teh tranzistorjev vsebuje v teoriji le linearni in kvadratični člen, če seveda poljskega tranzistorja ne prekrmilimo in ne prekoračimo kakšne druge omejitve. Zaradi neidealnosti izdelave pa so poljski tranzistorji le za 10dB do 20dB boljši od bipolarnih tranzistorjev.

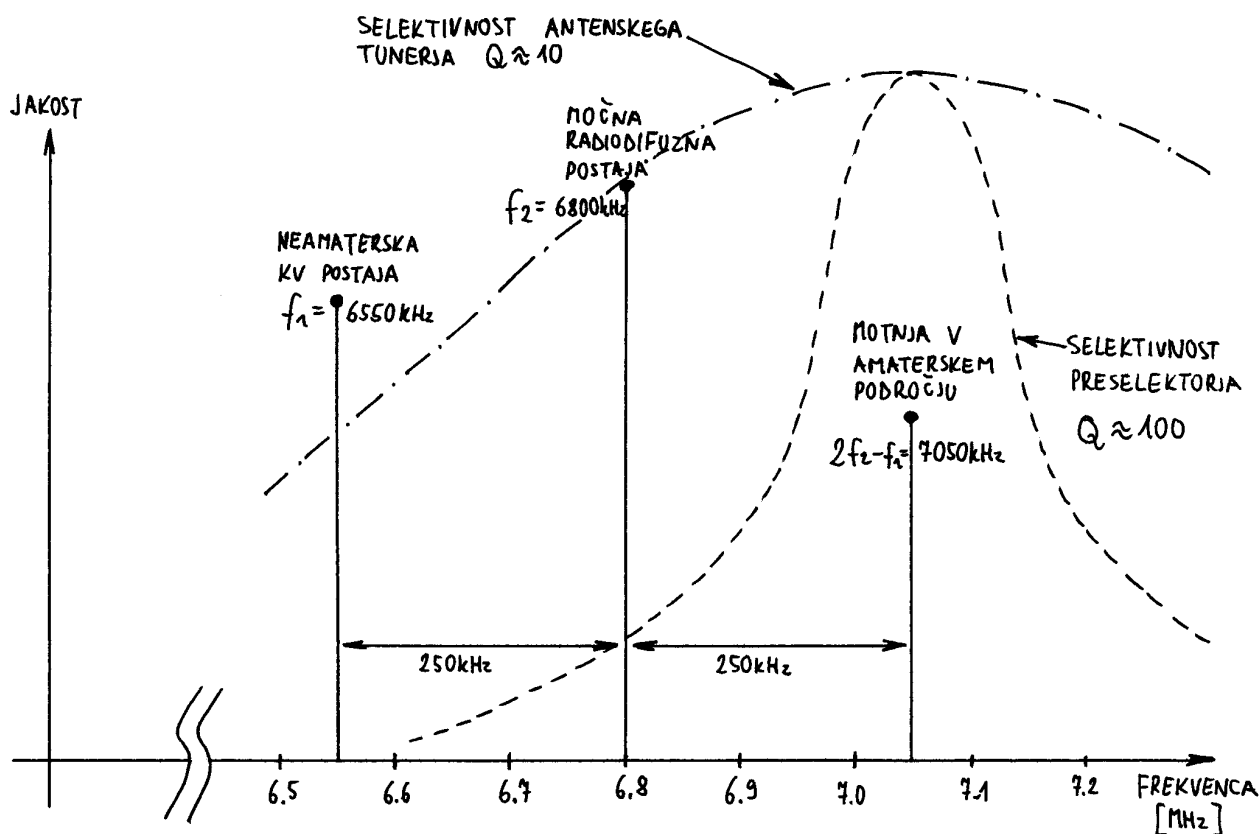
Nizkofrekvenčne elektronke s krmilnimi mrežicami delujejo na podobnem načelu kot poljski tranzistorji in se obnašajo podobno tudi kar se tiče intermodulacijskega popačenja. Mikrovalovne elektronke (klistron, TWT) poznajo seveda svoje mehanizme popačenja signala in so bolj podobne bipolarnim tranzistorjem kar se intermodulacije tiče.

Jakost intermodulacije je v vsakem slučaju odvisna od izbrane delovne točke polprevodnika ali elektronke. Pri tem bo večji mirovni tok ali večji nivo signala lokalnega oscilatorja zagotavljal bolj linearno delovanje ojačevalnika ali mešalnika, torej manjše intermodulacijsko popačenje. Nekateri nezaželeni produkti popačenja signalov se da zmanjšati tudi s simetrično izvedbo vezja, na primer push-pull ojačevalnika ali pa balančnega mešalnika.

4. Intermodulacija v sprejemniku

Intermodulacija je pogost pojav v sprejemniku. Do intermodulacije pride takrat, ko je na vhodu sprejemnika prisoten zadosti močen signal, da v karakteristiki vhodnih stopenj sprejemnika že pridejo do izraza višje potence prenosne karakteristike in ne samo linearni člen. V polprevodniškem sprejemniku to pomeni, da morajo doseči nivoji v visokofrekvenčnem delu velikostni razred 100mV. Teh 100mV ni nujno na vhodu sprejemnika, pač pa kjerkoli pred glavnim frekvenčnim sitom.

Da bojo stvari bolj jasne si oglejmo dva zelo pogosta praktična primera. Prvi primer je amaterski kratkovalovni sprejemnik, spekter prisotnih signalov je prikazan na Sliki 5. Radi bi sprejemali drugo postajo na 7050kHz in naj tej frekvenci ni trenutno nobenih motenj, vendar naš sprejemnik veselo žvižga. Kaj se je zgodilo? Na frekvenci 6800kHz oddaja močna kratkovalovna radiodifuzna postaja, pa tudi v okolici 6550kHz so prisotni signali. Vsi ti signali naj nas ne bi prav nič zanimali, saj niso v radioamaterskem področju...



Slika 5 - Intermodulacija v KV sprejemniku

Radiodifuzne postaje so ponavadi zadosti močne, da v anteni inducirajo več kot 10mV napetosti. Po VF ojačevalni stopnji našega sprejemnika nastane iz tega 100mV in več, se pravi povsem zadosti, da krmili mešalnik našega sprejemnika v nelinearno področje. Radiodifuzna postaja na 6800kHz se bo potem obnašala kot nov lokalni oscilator našega sprejemnika, drugi harmonik 6800kHz je 13600kHz in ta bo preslikal kakršenkoli signal na 6550kHz v sredino radioamaterskega področja na 7050kHz. In pri tem sploh ni nujno, da je signal na 6550kHz močen! Račun je torej $2 \cdot 6800\text{kHz} - 6550\text{kHz} = 7050\text{kHz}$, to je čisto navadna intermodulacija tretjega reda.

Za takšne intermodulacijske motnje ne moremo nikakor obtožiti radiodifuzne postaje ali drugih uporabnikov kratkovalovnega področja, saj vsi uporabljajo izključno njim namenjene dele frekvenčnega področja. Edini krivec je naš sprejemnik!

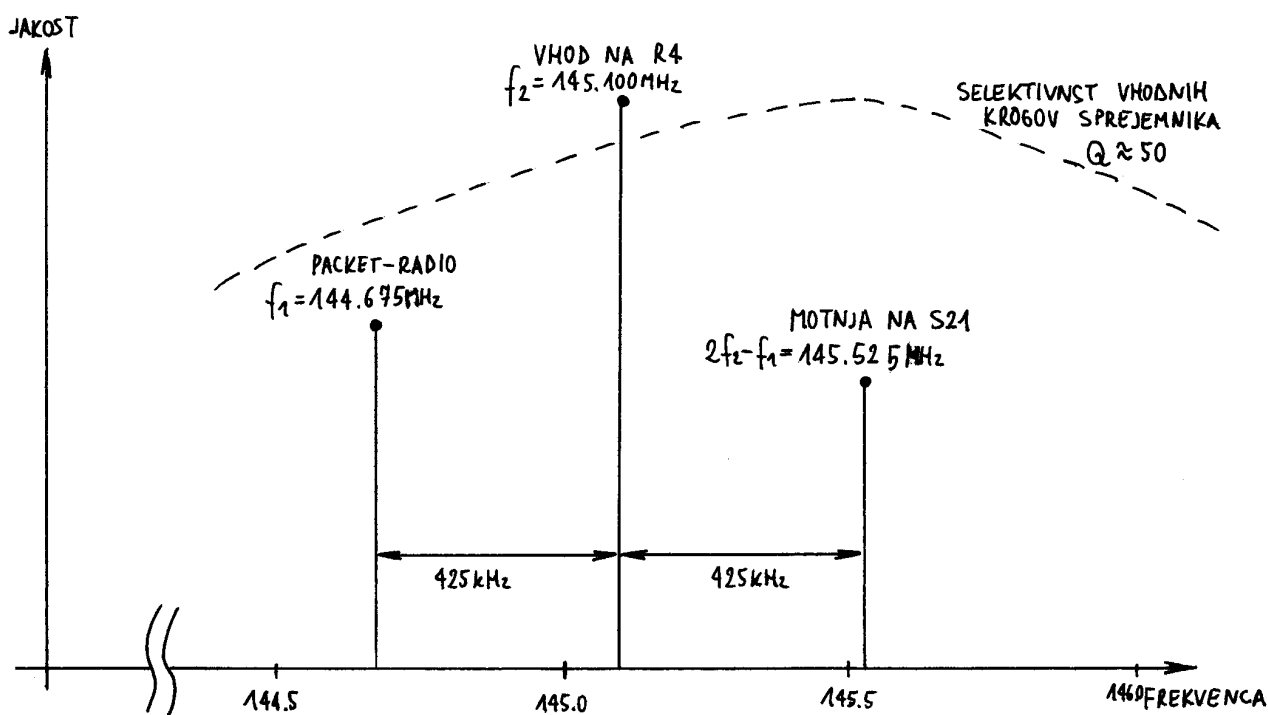
Opisano intermodulacijsko motnjo bi bilo najbolj pametno izločiti z ustreznim frekvenčnim sitom na vходу sprejemnika. Če bi naš sprejemnik imel preselektor, se pravi dve tuljavi s kvaliteto vsaj 100 (toroidne tuljave dosežejo vrednost 300 v tem frekvenčnem področju) in vrtilni kondenzator, bi močno postajo na 6800kHz z lahkoto oslabili in to brez škode za željeni signal na 7050kHz.

Žal to ne gre z japonsko postajo: ta mali rumeni so si že davno izmislili reklamno geslo "no-tune transceiver" in zaradi čim cenejše proizvodnje izločili skoraj vsa frekvenčna sita v vhodnem delu sprejemnika. Radioamaterji smo sicer dobro znani kot zelo neumni kupci in večina sploh ni opazila nobene razlike, pa je reklamno geslo prijelo... Pri tem prav nič ne pomaga enota za uglaševanje antene, antenski tuner, saj so tu zaradi čim boljšega

izkoristka prenosa moči oddajnika vsi nihajni krogi zelo obremenjeni, kvaliteta je manj kot 10.

Ta mali rumeni so sicer opazili, da to ni najboljša rešitev, in so potem dodali misteriozno tipko "atenuator". Torej, kako lahko slab, moten sprejem izboljšamo z vstavljanjem slabilca? Intermodulacijo povzroča kubni člen karakteristike, se pravi jakost intermodulacijske motnje upada s kubom upadanja jakosti vhodnih signalov. Na primer, če na vhod sprejemnika vstavimo 10-kratno slabljenje, se jakost intermodulacijskih motenj zmanjša za 1000-krat. Butastim radioamaterskim kupcem so seveda ta mali rumeni pridno zamolčali, da se tudi jakost željenega signala zmanjša 10-krat in se razmerje signal/IMD izboljša samo 100-krat, seveda če oslabljeni signal še moremo sprejemati.

Jakosti signalov na kratkih valovih in s tem v zvezi intermodulacijsko popačenje v sprejemniku se zelo spreminjajo s pogoji razširjanja radijskih valov, zato je težko napovedati, kaj določen sprejemnik zmore in kaj ne. Bolj enostaven je račun na UKV, primer je prikazan na sliki 6.



Slika 6 - Intermodulacija v UKV sprejemniku

V strnjem naselju se pogosto zgodi, da je aktivnih več radioamaterjev hkrati. Če naš sosed uporablja repetitor R4, potem bo na vhodnih sponkah našega sprejemnika prav gotovo prisoten precej močnejši signal na 145.100 MHz. In glej čudo, ko je naš sosed na oddaji, nam prijetno čukanje na 145.525 MHz, S21, naenkrat zmoti packet-radio! In potem se dobijo tehnično nepismeni radioamaterji, tudi taki s prvim razredom (le kdo jim ga je dal?) in po celem svetu razbobnajo: "Ubogi mi, packet-radio šprica vsepovsod! Le kdaj bo ZRS naredil red?".

Jasno, v zgornjem slučaju ni packet-radio prav nič kriv in sploh ni nujno, da je packet signal na 144.675 MHz močnejši! Krivda je spet in samo na sprejemniku. Na UKV

področju so signali frekvenčno preblizu skupaj, da bi se jih dalo ločiti z enostavnim sitom, zato pride v poštev edino primerna konstrukcija sprejemnika, ki ima majhno IMD.

Rajši kot da se pogovarjamo o potrebnih milivoltih za IMD si poglejmo, na kakšni razdalji se mora nahajati naš sosed, da nam bo povzročal IMD v našem sprejemniku. Za soseda z 10W oddajnikom in paličasto anteno znaša ta razdalja za vrhunski UKV sprejemnik okoli 100m. Primerni vrhunski sprejemniki so bili večkrat opisani v resni radioamaterski literaturi, se pravi bo treba pregledati zadnjih 10 letnikov Dubusa, UKW-Berichte in še kakšnega tujega časopisa.

Sedanje tovarniške UKV "all-mode" (CW/SSB/FM) postaje so vsaj za 20dB slabše od vrhunske tehnike kar se tiče intermodulacije. Se pravi se domet za IMD poveča 10-krat, oziroma bo nesrečni sosed, uporabnik R4, povzročal motnje takšnim radijskim postajam v krogu 1km.

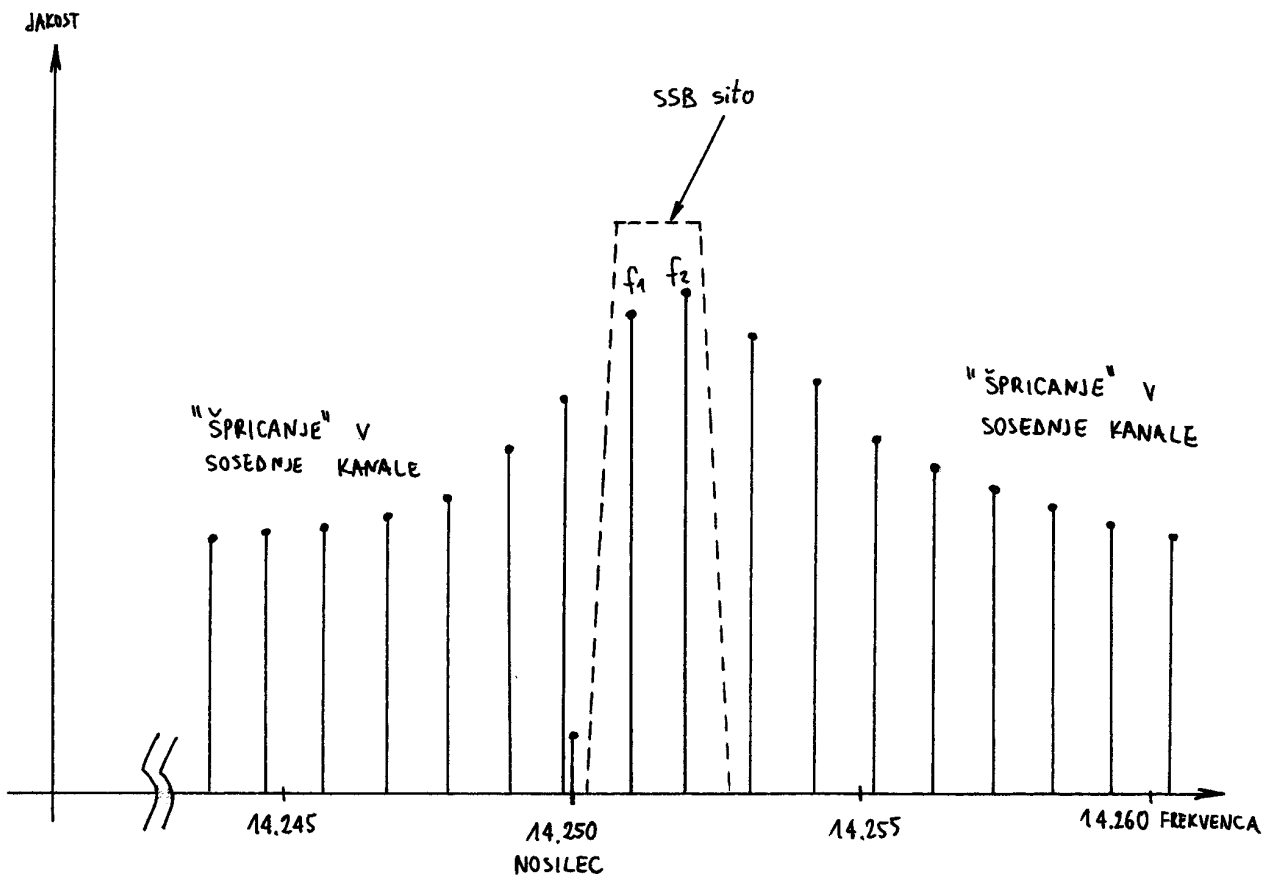
Še slabši so najmodernejši gumijasti toki-vokiji. Zaradi izredno majhnih dimenzij so tudi baterije zelo majhne in mora biti poraba naprave vsaj na sprejemu zelo omejena. To pa pomeni, da delajo vse stopnje sprejemnika pri zelo majhnih enosmernih tokovih in zato bolj popačijo izmenične signale. Gumi-toki-voki je zato za vsaj 20dB bolj dovzeten za intermodulacijo od "all-mode" postaje, oziroma se domet IMD motenj poveča za nadaljnjih 10-krat. Sosed, uporabnik R4, bo torej motil vse gumi-toki-vokije v krogu 10km.

Ker gumi-toki-voki s svoji gumi antenico in majhno močjo res ne pride daleč, mu doma dodamo zunanjo anteno in ojačevalnik. Takšni ojačevalniki vsebujejo močnostni ojačevalnik za 20 do 50W na oddaji in nizkošumni predojačevalec na sprejemu, za izboljšanje občutljivosti sprejemnika. Predojačevalec ima običajno ojačanje 20dB, kar pomeni spet 10-kratno povečanje občutljivosti na IMD, oziroma se domet dovzetnosti našega gumi-toki-vokija za IMD poveča na neverjetnih 100km!!!

5. Intermodulacija v oddajniku

Do intermodulacije lahko pride tudi v oddajniku, najpogosteje v močnostni izhodni stopnji oddajnika. V nekaterih oddajnikih ne more priti do intermodulacije, na primer v FM oddajniku, ker je trenutna izhodna moč konstantna. Takšen oddajnik ne more popačiti izhodnega signala, v izhodni stopnji nastanejo le višje harmonske frekvence, ki jih enostavno izločimo z nizkoprepustnim sitom.

Do intermodulacije pa lahko pride v izhodni stopnji SSB oddajnika, kot je to prikazano na sliki 7. Zadušeni nosilec SSB oddaje je v tem slučaju na 14.250MHz, se pravi bi oddaja idealnega USB oddajnika smela zavzemati samo pas od 14.250MHz do 14.253MHz. Če takšen oddajnik moduliramo z več tonskimi frekvencami hkrati, potem intermodulacijsko popačenje ustvari v izhodni stopnji oddajnika še kopico novih frekvenc. Če je vzrok intermodulacije prekrmljenje izhodne stopnje oddajnika, potem se tvorijo intermodulacijski produkti zelo visokih redov tudi daleč proč od delovne frekvence oddajnika. Takšen oddajnik potem "šprica" po celem frekvenčnem področju.



Slika 7 - Intermodulacija SSB oddajnika

Pozor! Intermodulacija lahko nastane tudi v sprejemniku in pogosto je prav sprejemnik odgovoren za "špricanje", še posebno če uporabljamo zunanji antenski predojačevalac. Tudi nekatera vezja v sprejemniku rada povzročajo takšen IMD, na primer vezje noise-blankerja, in pameten operater jih bo izključil, ko bo to potrebno.

Še težje je zadušiti intermodulacijo tam, kjer je stalno prisoten nosilec, na primer v televizijskem oddajniku. Posledica intermodulacije v TV oddajniku je ponovna vzpostavitev zadušenega bočnega pasu oziroma motnje v sosednjem televizijskem kanalu. Zato delajo izhodne stopnje skoraj vseh TV oddajnikov v A razredu z zelo slabim izkoristkom.

Najtežji problem se ponavadi pojavi takrat, ko hočemo prenašati več neodvisnih signalov skozi isto izhodno stopnjo oddajnika. Takšen je primer kableske televizije ali pa linearnega pretvornika na radioamaterskem satelitu. V slučaju kableske televizije se ravno zaradi intermodulacijskih popačenj uporablja samo vsak drugi kanal. Satelitski pretvorniki niso tako občutljivi na intermodulacijo, pač pa je problem doseči sprejemljivo intermodulacijo z razumljivim izkoristkom izhodne stopnje oddajnika.

Intermodulacija je tudi problem Mobitelovih repetitorjev v Sloveniji. Mobitelovi repetitorji imajo sicer po osem neodvisnih FM oddajnikov, vendar so ti oddajniki povezani preko krenice-filtra na skupno anteno. Če ta krenica ni pravilno uglašena, potem pride do motenj med oddajniki in rezultat je intermodulacijsko popačenje. To je včasih tako močno, da povzroča motnje tudi 10MHz proč od delovne frekvence Mobitela v okolici 425MHz, se pravi v radioamaterskem 435MHzpodročju.

6. Povzetek

Glavni krivec za intermodulacijsko popačenje je običajno sprejemnik. Napako je lahko odkriti, toda težje popraviti, ker gre ponavadi za načrtovalsko napako v sprejemniku in ne za defekten sestavni del ali pomanjkljivo uglaševanje.

Bolj poredko je krivec za intermodulacijo oddajnik, in še to le v slučaju nepravilnega rokovanja z oddajnikom, se pravi prekrmljenja izhodne stopnje. Intermodulacijo v amaterskih SSB oddajnikih je zato lahko odpraviti.

Intermodulacijsko popačenje je izgleda še vedno tabu tema za večino radioamaterjev, vsaj če sodim po reklamah proizvajalcev radijskih postaj z daljnega vzhoda. V poplavi decibelov v tehničnih podatkih teh postaj le redko zasledimo številke, ki bi povedale kaj pametnega o intermodulacijskih lastnostih sprejemnika. Kaj drugega si tudi ne moremo pričakovati: dokler bo tehnično znanje povprečnega radioamaterja na tako nizki ravni, kot je danes, je v reklami bolj pametno naštevati LEDike in memorije, da o barvi prednje plošče postaje ne govorimo!

* * * * *