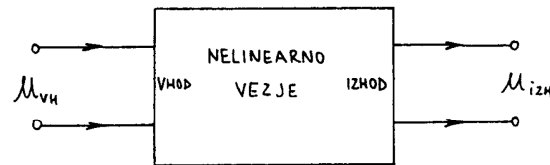


VAJA 28: Meritev presečne točke IMD tretjega reda

1. Intermodulacijsko popačenje

Vsa električna vezja so do določene mere nelinearna, čeprav nelinearnost običajno opazimo le v polprevodnikih in v feromagnetnih jedrih. V radijskih komunikacijah običajno opazujemo signale v frekvenčnem prostoru. V tem slučaju je smiselno zapisati odziv nelinearnega vezja v časovnem prostoru kot polinom, kot je to prikazano na Sliki 1.



$$\mu_{izH} = C_0 + C_1 \cdot \mu_{vH} + C_2 \cdot \mu_{vH}^2 + C_3 \cdot \mu_{vH}^3 + C_4 \cdot \mu_{vH}^4 + \dots$$

Slika 1: Matematični zapis nelinearnosti vezja

Prispevki posameznih členov polinoma v frekvenčnem prostoru so prikazani na Sliki 2, če potence in produkte kotnih funkcij razvijemo na kotne funkcije vsote in razlike argumentov. Prispevki so izpisani za dva enostavna primera – pri krmiljenju nelinearnega vezja s signalom, ki vsebuje eno samo frekvenco f , ter pri krmiljenju vezja s signalom, ki vsebuje dve spektralni črti f_1 in f_2 .

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

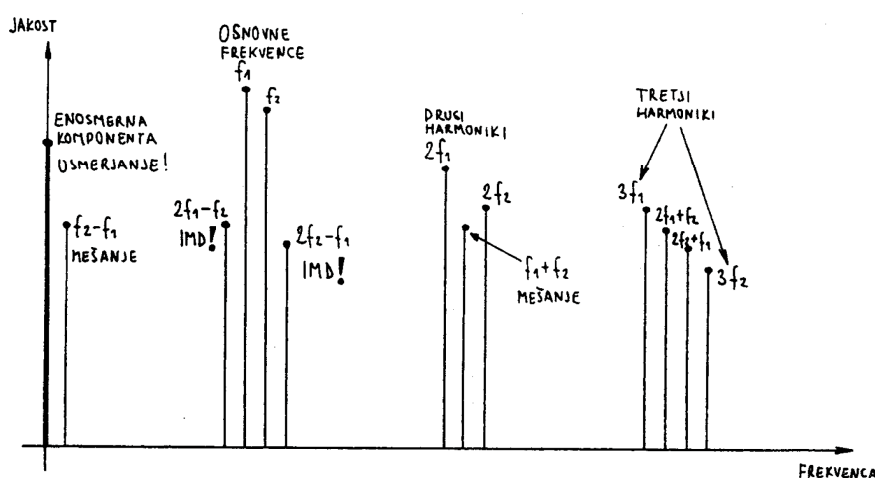
Slika 2: Prispevki posameznih členov prenosne karakteristike v spektru izhodnega signala

Pri pregledu tabele takoj opazimo, da prispevki posameznih členov strogo dependirajo od potence člena. Linearni člen da samo verno sliko vhodnega signala. Kvadratni člen je odgovoren za usmerjanje, drugi harmonik ter mešanje, vsi ti členi pa vsebujejo vsoto ali

razliko dveh frekvenc. Kubni člen da osnovno frekvenco (nasičenje), tretji harmonik in razna višja mešanja in tako naprej. Višji členi dajo še več različnih prispevkov.

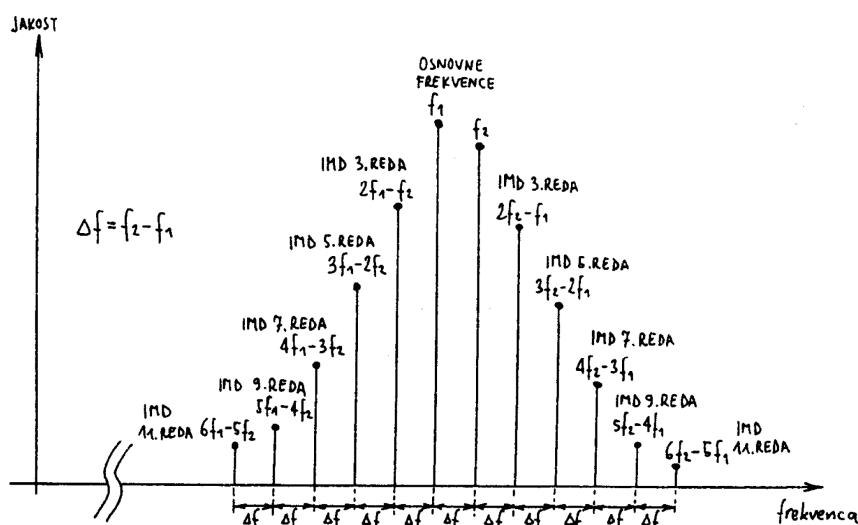
V radijski tehniki delamo običajno z razmeroma ozkimi frekvenčnimi pasovi. Med posamezne stopnje vezij vgrajujemo pasovna sita, ki takoj odstranijo vse harmonske frekvence. Pri krmiljenju vezja s signalom določene pasovne širine pa vseh neželenih posledic nelinearnosti ne moremo odstraniti s frekvenčnimi pasovnimi siti. Ti višji produkti mešanja so na Sliki 2 postavljeni v okvirčke.

Stvari postanejo bolj jasne, če vezje krmilimo le z dvema frekvencama f_1 in f_2 , ki sta razmeroma blizu skupaj, kar je v radijski tehniki pogost slučaj. Če ima vezje kubno prenosno karakteristiko, bo spekter izhodnega signala izgledal kot na Sliki 3. Neželeni višji produkte mešanja tretjega reda, to je $2f_1 - f_2$ in $2f_2 - f_1$, ki se pojavijo frekvenčno zelo blizu želenim signalom f_1 in f_2 in jih ne moremo izsejati z nobenim sitom, imenujemo intermodulacijsko popačenje (*angl. InterModulation Distortion – IMD*) tretjega reda.



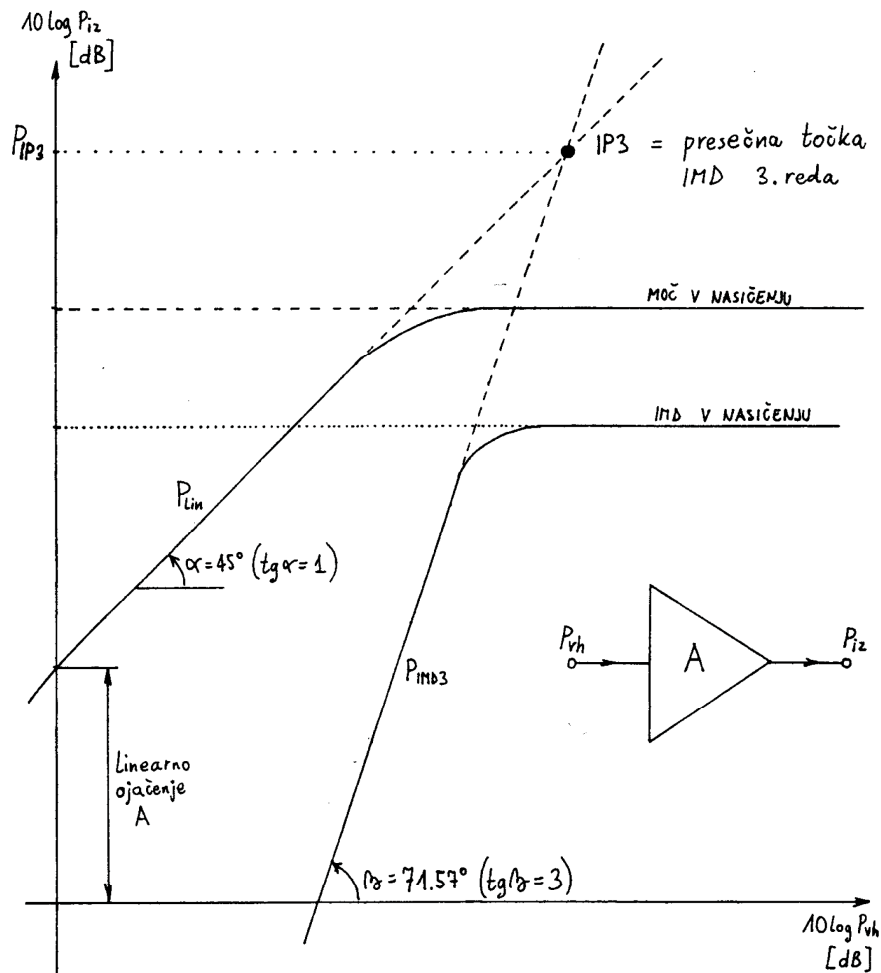
Slika 3: Spekter signalov na izhodu vezja s kubno prenosno karakteristiko

Intermodulacijsko popačenje seveda ni omejeno le na kubni člen prenosne funkcije vezja. Vsi višji členi lihega reda dajo intermodulacijske produkte ustreznega reda, kot je to prikazano na Sliki 4. Od vseh členov je običajno največji IMD produkt tretjega reda, zato kot merilo za nelinearnost vezja običajno vzamemo le produkte tretjega reda.



Slika 4: Spekter intermodulacijskega popačenja

Ker se nelinearnosti pojavljajo v vseh vezjih in jih je nemogoče popolnoma izločiti, je treba uvesti smiselno merilo, ki naj s čimmanj številkami natančno opiše nelinearnosti danega vezja. Takšno merilo je presečna točka nelinearnosti danega reda, kot je to prikazano na Sliki 5. Presečna točka predstavlja navidezno izhodno moč vezja, ko bi moč intermodulacijskih produktov dosegla linearno izhodno moč. Navidezno moč zato, ker resnična vezja te točke običajno ne morejo doseči, moč nasičenja je običajno vsaj 10-krat manjša.



$$P_{IMB3} = \frac{P_{lin}^3}{P_{IP3}^2} ; P_{IMBn} = \frac{P_{lin}^n}{P_{IPn}^{n-1}} \dots \text{v linearnih enotah [W]}$$

$$P_{IMB3} = 3 \cdot P_{lin} - 2 \cdot P_{IP3} ; P_{IMBn} = n \cdot P_{lin} - (n-1) \cdot P_{IPn} \dots \text{v dBW, dBm}$$

Slika 5: Moč intermodulacijskega popačenja

Presečno točko zelo enostavno poiščemo, če rišemo moči vhodnih in izhodnih signalov v logaritemskem merilu. V tem slučaju so vse krivulje za majhne signale premice, v podaljških pa dobimo presečne točke. Če je za dano vezje podana tudi moč presečne točke, potem lahko nalogo zelo enostavno rešimo grafično tako, da skozi dano presečno točko potegnemo premice z ustreznimi nakloni.

Moči intermodulacijskih produktov lahko tudi preprosto številsko izračunamo iz dane moči izhodnega signala, če poznamo moč presečne točke. Potenciranje in deljenja v linearnih

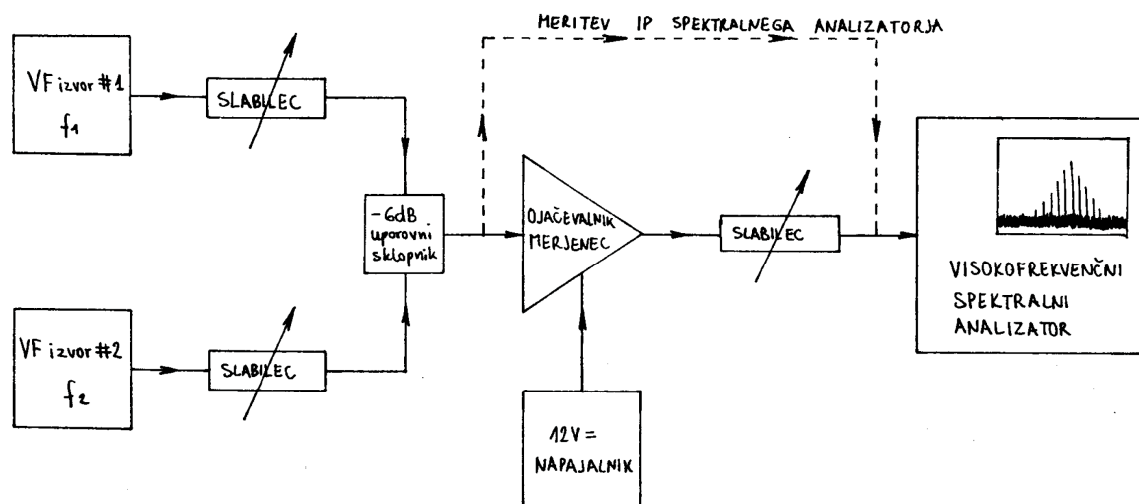
enotah (W) seveda zamenjajo množenja in odštevanja, ko računamo v decibelih. Presečna točka se običajno nanaša na izhodno moč vezja, ker je popačenje običajno strogo odvisno od izhodne moči vezja.

2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- Dva visokofrekvenčna izvora za področje 1...250 MHz.
- Tri 50ohmske nastavljive kalibrirane slabilce.
- Merjence – širokopasovne MMIC ojačevalnike.
- Napajalnik za merjence – ojačevalnike.
- Prilagojeni -6 dB uporovni delilnik.
- Visokofrekvenčni spektralni analizator 0...1,8 GHz.
- Priključne kable za vse povezave.

Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov je prikazana na Sliki 6.



Slika 6: Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov

3. Obrazložitev in opis poteka vaje

Pri meritvah intermodulacijskega popačenja in presečnih točk se moramo zavedati, da lahko pride do popačenja ne samo v merjencu, pač pa v kateremkoli delu merilne opreme. Visokofrekvenčni izvori in spektralni analizator v svoji notranjosti vsebujejo nelinearne sestavne dele, ki lahko prav na enak način popačijo signale. Edini "zanesljiv" sestavni del so uporovni slabilci in druga pasivna vezja brez polprevodnikov in feromagnetnih jeder.

Izvor nelinearnega popačenja poiščemo tako, da v določeni točki vezja inštrumentov in merjencev vstavimo slabilec. Če ob vstavitvi slabilca ostane razmerje med želenimi signali in intermodulacijskimi produkti nespremenjeno, to pomeni, da se nahaja izvor popačenja pred slabilcem. Če pa jakost intermodulacijskih produktov upade za večji faktor kot želeni signali, se nahaja izvor popačenja za vstavljenim slabilcem.

Merjence običajno preizkušamo tako, da jih krmilimo z dvema frekvencama f_1 in f_2 . Dva signala dobimo iz dveh visokofrekvenčnih izvorov, ki jih pa ne smemo naravnost vezati vzporedno. Pri preprosti vzporedni vezavi bi signal enega izvora zašel nazaj v drugi izvor in tam v nelinearnih sestavnih delih povzročil intermodulacijsko popačenje. Na vsak izvor zato

najprej priključimo svoj slabilec in nato sestavljamo oslABLJENE signale v prilagojenem uporovnem delilniku.

Za izvedbo vaje nastavimo izhodni moči obeh izvorov enaki. Moči obeh izvorov nastavimo tako, da so intermodulacijski produkti tretjega reda ravno opazni na zaslonu spektralnega analizatorja. Nato moči obeh izvorov vzporedno večamo in opazujemo sliko na spektralnem analizatorju. Intermodulacijski produkti rastejo, pojavijo se tudi intermodulacijski produkti višjih redov. Pri določeni vhodni moči jakost signalov na izhodu ne narašča več, ker smo dosegli nasičenje merjenja.

4. Prikaz značilnih rezultatov

Presečno točko tretjega reda (IP3) izračunamo iz vrednosti, ki jih izmerimo pri čimmanjših signalih. V vsakem primeru moramo meriti vsaj 10 dB pod močjo nasičenja merjenja. Pred meritvijo ne pozabimo na umerjanje skale spektralnega analizatorja. Pokončno skalo umerimo z znanim izvorom, ki je vgrajen v spektralnem analizatorju ali v visokofrekvenčnem wattmetru.

Z vzporednim spreminjanjem moči obeh izvorov preizkusimo točnost meritve. Vsak decibel (dB) spremembe moči obeh izvorov mora prinesiti natančno 1 dB spremembe jakosti linearno ojačenih signalov, 3 dB spremembe intermodulacijskih produktov tretjega reda, 5 dB spremembe intermodulacijskih produktov petega reda in tako naprej. Iz rezultatov meritev izračunamo le P_{IP3} za vse razpoložljive merjence.

Na koncu izmerimo še presečno točko tretjega reda (IP3) spektralnega analizatorja. Presečno točko merilnega sprejemnika definiramo na vhodnih sponkah mešalnika, ko odštejemo vhodni slabilec.