

VAJA 7. - 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.

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 slučaja: 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  $f_2$ .

Pri pregledu tabele takoj opazimo, da prispevki posameznih členov strogo zavisijo 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 neželjenih 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. Neželjene višje produkte mešanja tretjega reda, to je  $2*f_1-f_2$  in  $2*f_2-f_1$ , ki se pojavijo frekvenčno zelo blizu željenim signalom  $f_1$  in  $f_2$  in jih ne moremo izsejati z nobenim sitom, imenujemo intermodulacijsko popačenje (InterModulation Distortion ali IMD) tretjega reda.

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.

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 doseglja linearno izhodno moč. Navidezno moč zato, ker resnična vezja te točke običajno ne morejo doseči, moč nasičenja je običajno vsaj 10-krat manjša.

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. Potenciranja 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:

- (1) Dva visokofrekvenčna izvora za področje 1-250MHz.
- (2) Tri 50ohmske nastavljive kalibrirane slabilce.
- (3) Merjence - širokopasovne MMIC ojačevalnike.
- (4) Napajalnik za merjence - ojačevalnike.
- (5) Prilagojeni -6dB uporovni delilnik.
- (6) Visokofrekvenčni spektralni analizator 0-1.8GHz.
- (7) Priključne kable za vse povezave.

Razporeditev in povezava merilnih inštrumentov je prikazana na sliki 6.

## 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 željenimi signali in intermodulacijskimi produkti nespremenjeno, to pomeni, da se nahaja izvor popačenja pred slabilcem. Če pa jakost intermodulacijskih produktov upade za večji faktor kot željeni 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. Intermodulcijski produkti rastejo, pojavijo se tudi intermodulacijski produkti višjih redov. Pri določeni vhodni moči jakost signalov na izhodu ne narašča več, ker smo dosegli nasičenje merjenca.

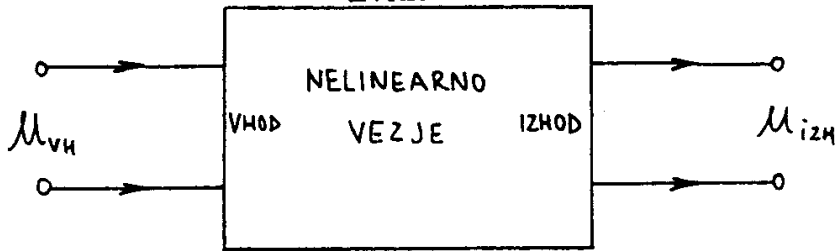
#### 4. Prikaz značilnih rezultatov

-----

Presečno točko tretjega reda (IP3) izračunamo iz iz vrednosti, ki jih izmerimo pri čimmanjših signalih. V vsakem slučaju moramo meriti vsaj 10dB pod močjo nasičenja merjenca. 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 dB spremembe moči obeh izvorov mora prinesiti natančno 1dB spremembe jakosti linearno ojačenih signalov, 3dB spremembe intermodulacijskih produktov tretjega reda, 5dB 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.

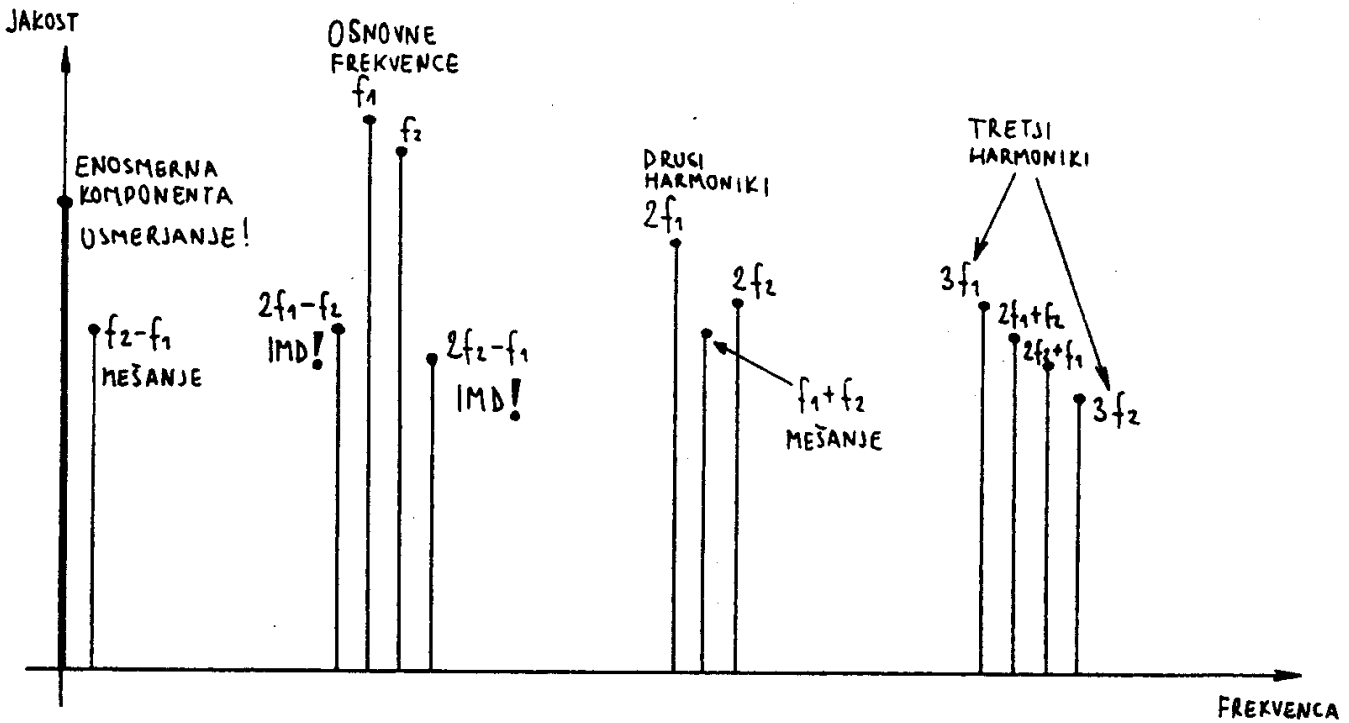


$$u_{izh} = C_0 + C_1 \cdot u_{vh} + C_2 \cdot u_{vh}^2 + C_3 \cdot u_{vh}^3 + C_4 \cdot u_{vh}^4 + \dots$$

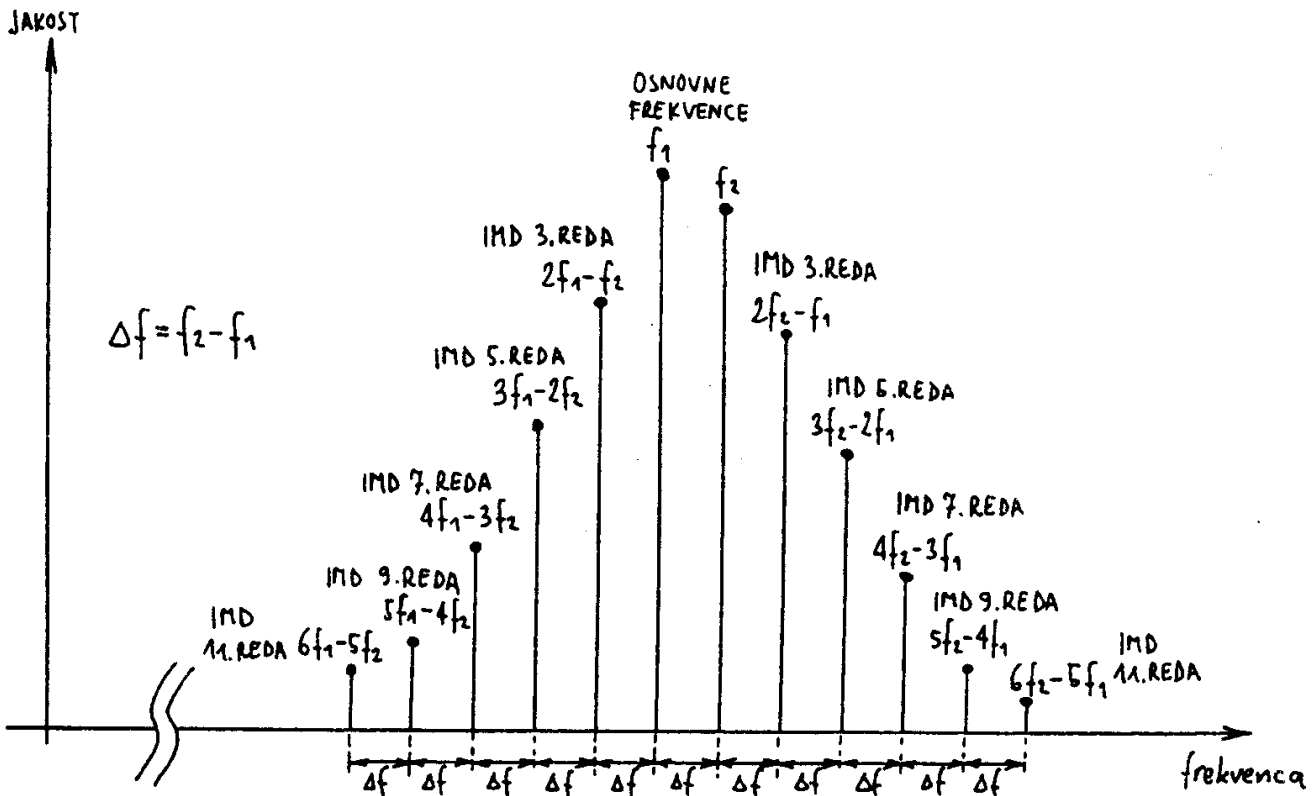
Slika 1 - Matematični zapis nelinearnosti vezja.

| ČLEN                                   | PRISPEVKI PRI KRMLJENJU Z ENO FREKVENCO<br>$f$ | PRISPEVKI PRI KRMLJENJU Z DVEMA FREKVENCAMA<br>$f_1$ in $f_2$   |
|--|--|---|
| LINEARNI ČLEN<br>$C_1 \cdot u_{vh}$    | $f$  | $f_1 ; f_2$   |
| KVADRATNI ČLEN<br>$C_2 \cdot u_{vh}^2$ | 0 (= enosmerna!)<br>$2f$                       | 0 ; $2f_1 ; 2f_2 ;$<br>$f_1 + f_2 ; f_1 - f_2$  |
| KUBNI ČLEN<br>$C_3 \cdot u_{vh}^3$     | $f$<br>$3f$                                    | $f_1 ; f_2 ; 3f_1 ; 3f_2 ;$<br>$2f_1 + f_2 ; \boxed{2f_1 - f_2} ;$<br>$f_1 + 2f_2 ; \boxed{f_1 - 2f_2}$   |
| $C_4 \cdot u_{vh}^4$                   | 0 (= enosmerna)<br>$2f$<br>$4f$                | 0 ; $2f_1 ; 2f_2 ; 4f_1 ; 4f_2 ;$<br>$3f_1 + f_2 ; 3f_1 - f_2 ; 2f_1 + 2f_2 ; 2f_1 - 2f_2 ;$<br>$f_1 + 3f_2 ; f_1 - 3f_2 ; f_1 + f_2 ; f_1 - f_2$ |
| $C_5 \cdot u_{vh}^5$                   | $f$<br>$3f$<br>$5f$                            | $f_1 ; f_2 ; 3f_1 ; 3f_2 ; 5f_1 ; 5f_2 ;$<br>..... ; $\boxed{3f_1 - 2f_2} ; \boxed{2f_1 - 3f_2} ;$ .....  |
| ⋮                                      | ⋮  | ⋮   |

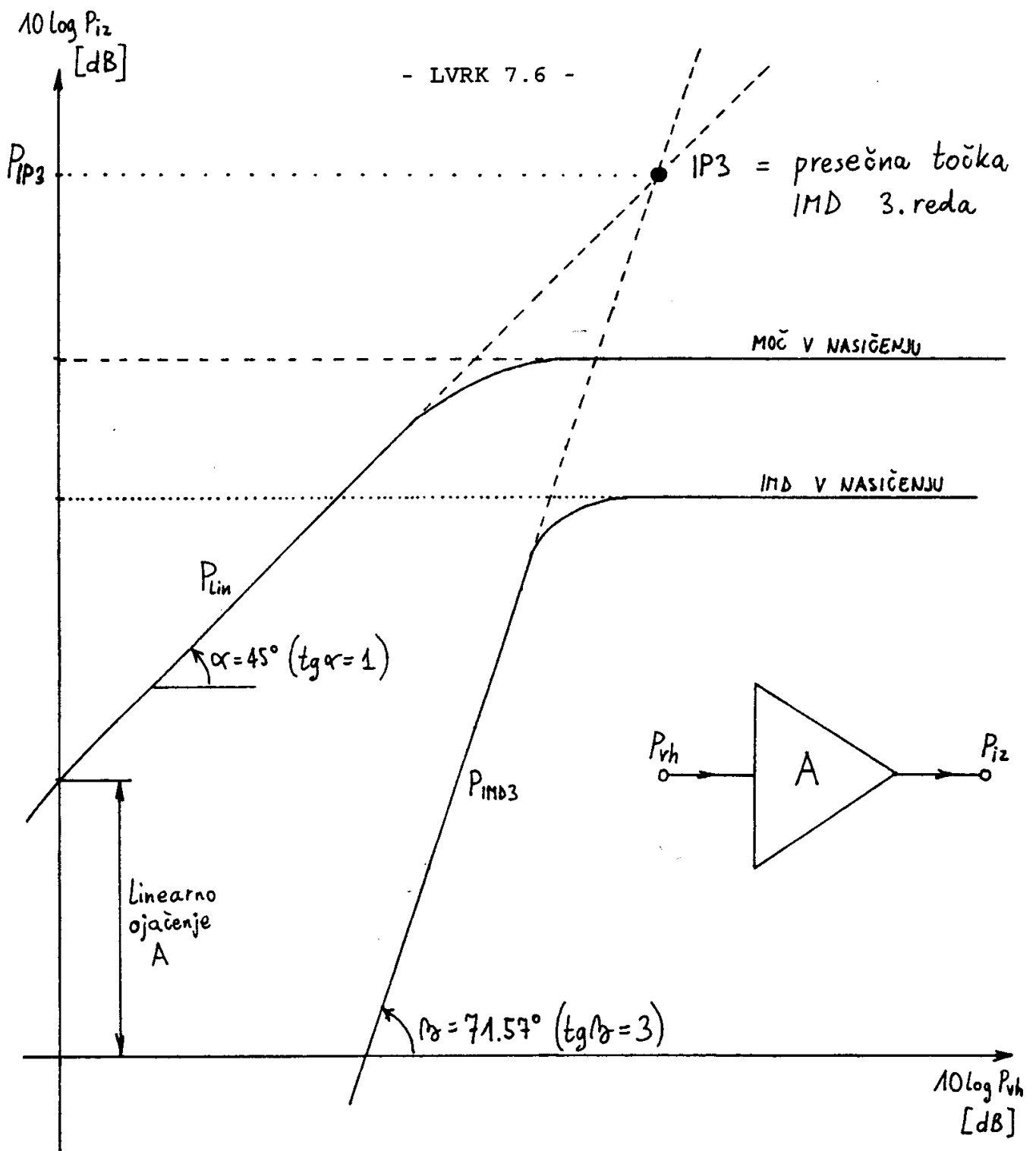
Slika 2 - Prispevki posameznih členov prenosne karakteristike v spektru izhodnega signala.



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



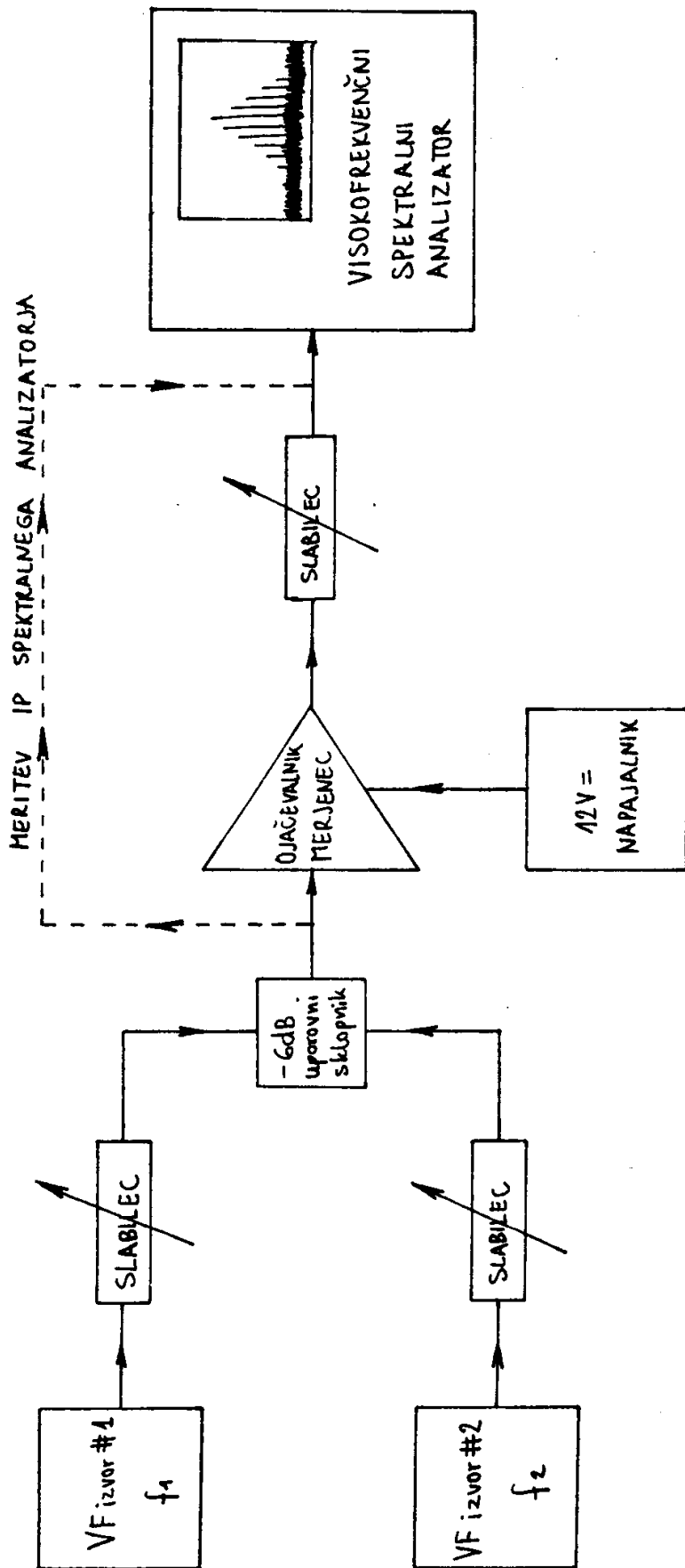
Slika 4 - Spekter intermodulacijskega popačenja.



$$P_{IMD3} = \frac{P_{lin}^3}{P_{IP3}^2} ; P_{IMDn} = \frac{P_{lin}^n}{P_{IPn}^{n-1}} \dots \text{v linearnih enotah [W]}$$

$$P_{IMD3} = 3 \cdot P_{lin} - 2 \cdot P_{IP3} ; P_{IMDn} = n \cdot P_{lin} - (n-1) \cdot P_{IPn} \dots \text{v dBW, dBm}$$

Slika 5 - Moč intermodulacijskega popačenja.



Slika 6 - Razporeditev in vezava merilnih instrumentov.