

## VAJA 25. - FREKVENČNI ODZIV SPREJEMNIŠKEGA PIN-FET MODULA

### 25.1. PIN fotodiode in sprejemniški moduli

Edini praktično uporaben pretvornik svetlobnih signalov v električne za komunikacije po optičnih vlaknih so fotodiode različnih vrst. Vsi ostali pretvorniki so bodisi prepočasni ali neobčutljivi. Pri vseh ostalih pretvornikih je razmerje signal/šum dosti slabše od razmerja signal/šum, ki ga dobimo iz fotodiod v področju valovnih dolžin 1.3 – 1.55 $\mu$ m.

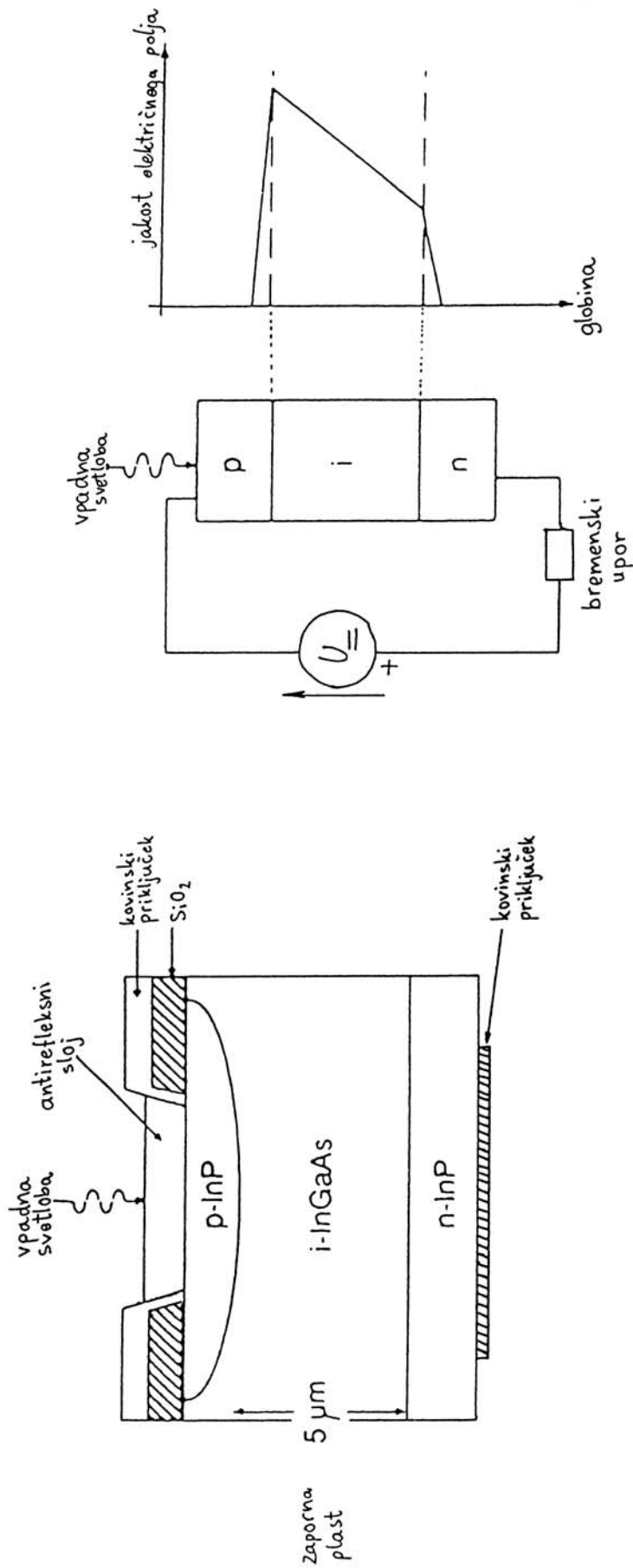
Vse fotodiode za optične komunikacije uporabljamo v zapornem fotouporovnem režimu delovanja. Vse fotodiode imajo tedaj razmeroma debelo zaporno plast, da se skoraj vsak foton vpadne svetlobe pretvori v par elektron/vrzel v zaporni plasti in tako prispeva k električnemu toku, ki je izhodni signal fotodiode. Sodobne fotodiode imajo visok kvantni izkoristek, običajno preko 80%, kar pomeni, da se več kot 80% vpadnih fotonov pretvori v pare elektron/vrzel in prispeva k izhodnemu toku.

Najenostavnejša fotodiode je PIN fotodiode. Izvedba in delovanje PIN fotodiode sta prikazana na sliki 25.1. Za delovanje v področju valovnih dolžin od 1300nm do 1550nm ne moremo več uporabljati silicijevih fotodiod, v pošte pridejo le germanijeve fotodiode in fotodiode iz 3-5 polprevodnikov (InGaAs). Kvantni izkoristek fotodiode izboljšujeta debela zaporna plast in antirefleksni sloj na površini diode.

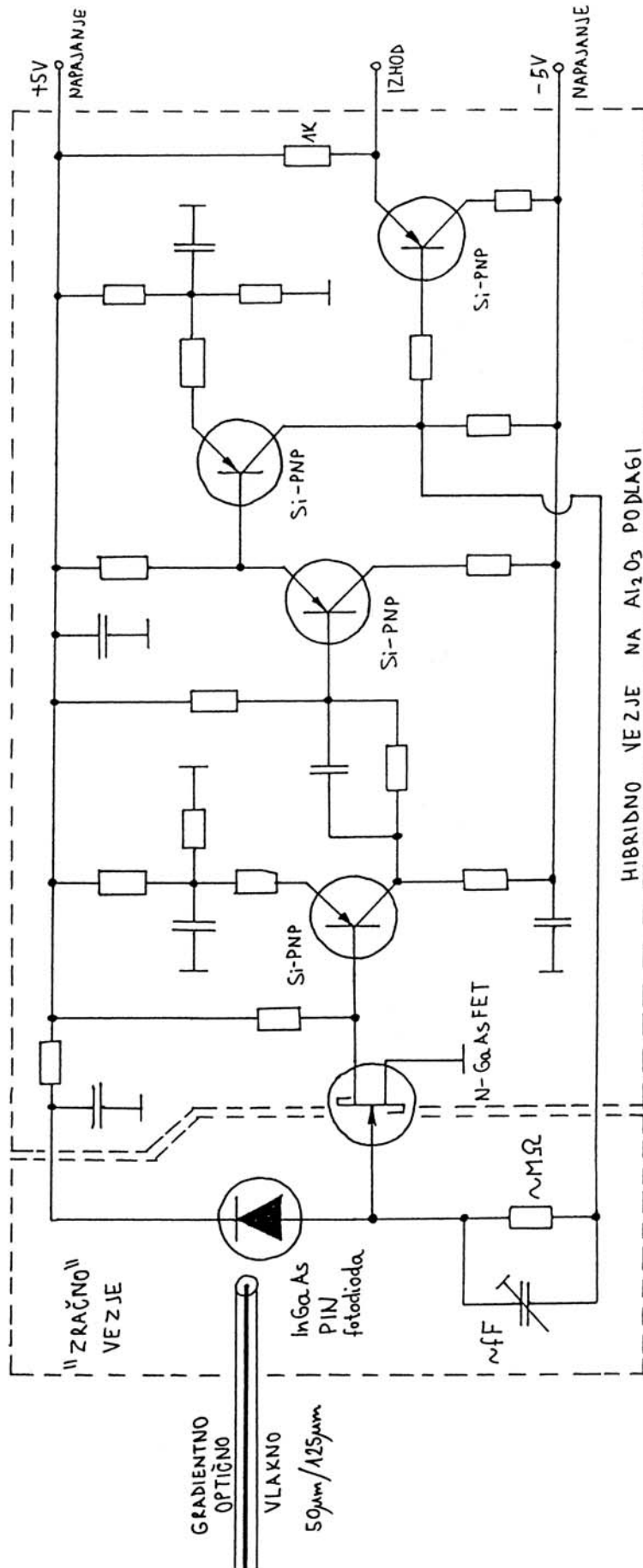
Kljub visokemu kvantnemu izkoristku sodobnih fotodiod je občutljivost optičnih sprejemnikov dosti slabša, kot bi to pričakovali iz teorije kvantnega šuma. Vzrok je v zelo neugodni vrednosti izhodne impedance fotodiode, ki zelo visoka in povrh še pretežno kapacitivna. V sprejemniku s PIN fotodiode zato izvira glavna šuma iz impedančno zelo slabo prilagojenega električnega ojačevalnika, ki sledi fotodiode.

Razmerje signal/šum v sprejemniku lahko izboljšamo tako, da omejimo vpliv parazitnih kapacitivnosti v sami fotodiode z debelo zaporno plastjo in majhno geometrijo ter v električnem ojačevalniku s primernim načrtovanjem vezja ter vgradnjo fotodiode in ojačevalnika v isto ohišje. Takšen optični sprejemnik imenujemo PIN-FET modul. Vsota parazitnih kapacitivnosti znaša tedaj okoli 1pF, od česar odpade več kot polovica na samo PIN fotodiode.

Primer vezja v notranjosti PIN-FET modula je prikazan na sliki 25.2. Dobro načrtovan PIN-FET modul se približa meji kvantnega šuma na okoli 20dB, kar pomeni, da je toplotni šum električnega ojačevalnika še vedno za 20dB večji od kvantnega šuma. Na vhodu električnega ojačevalnika seveda uporabimo trenutno najboljši polprevodnik za malošumne VF ojačevalnike, to je spojni FET iz galijevega arzenida, celotno vhodno vezje okoli fotodiode pa je zgrajeno v zraku, samo iz bondirnih žičk, da so parazitne kapacitivnosti čim manjše.



Slika 25.1. – Izvedba in delovanje PIN fotodiode.



Slika 25.2. – Vezje PIN-FET modula.

Poleg izmeničnega signalnega toka teče skozi PIN fotodiodo tudi enosmerni tok delovne točke. Tega je najlažje zaključiti na uporih nizke vrednosti, vendar takšna rešitev močno poslabša razmerje signal/šum zaradi šuma samega upora. Čeprav se da izdelati ojačevalnik z zelo visoko bremensko upornostjo za PIN fotodiodo (integracijski PIN-FET modul), je takšen modul neroden za uporabo, ker zahteva ustrezno kodiranje signala, ki nima niti enosmerne niti zelo nizkih frekvenc v svojem spektru.

Večina PIN-FET modulov zato uporablja kompromisno rešitev, visokohmski upor, ki hkrati deluje kot povratna vezava ojačevalnika in kot zaključitev za enosmerni tok PIN fotodiode. Takšno vezavo imenujemo transimpedančni ojačevalnik, modul pa transimpedančni PIN-FET modul. Vrednost visokohmskega upora seveda določa najvišjo dopustno vrednost optičnega signala na vhodu. Dinamično območje PIN-FET modulov je zato običajno omejeno na komaj 10 do 15dB (na optični strani).

## 25.2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

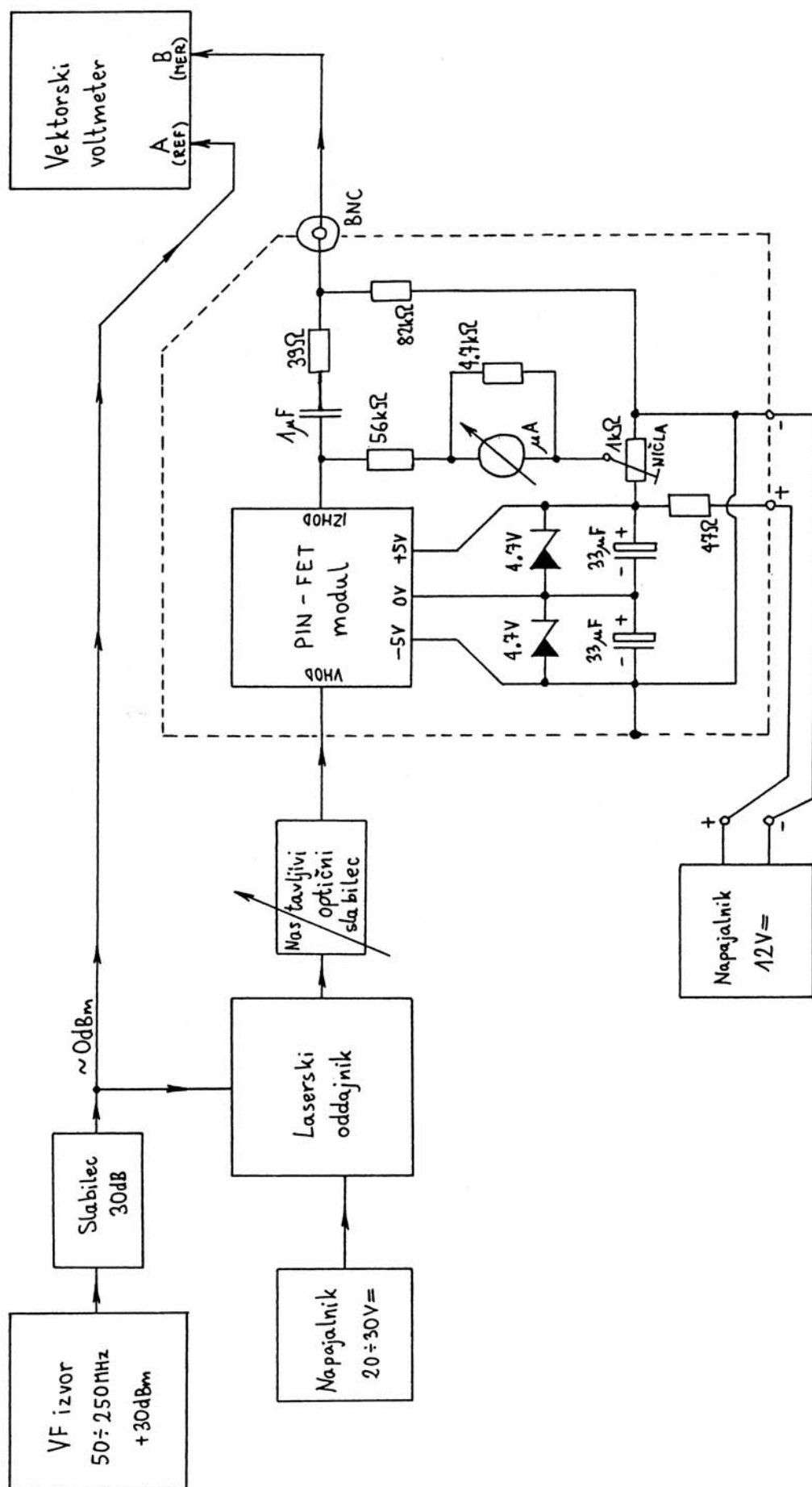
- (1) VF izvor za območje 50-250MHz, s 30dB slabilnikom (0dBm).
- (2) Laserski oddajnik za 1300nm z ustreznim napajalnikom.
- (3) Nastavljivi optični slabilnik.
- (4) Optični sprejemnik s PIN-FET modulom (merjencem).
- (5) Napajalnik 12V= za optični sprejemnik.
- (6) Vektorski voltmeter s priborom sond in vtičnic.
- (7) Razstavljen (odprt) PIN-FET modul.
- (8) Mikroskop z možnostjo povečave med 10 in 100.

Vezava PIN-FET modula za merjenje frekvenčnega odziva je prikazana na sliki 25.3.

## 25.3. Obrazložitev in opis poteka vaje

Polprevodniški sestavni deli za komunikacije preko optičnih vlaken so zelo občutljivi elektronski sestavni deli, ki zahtevajo nežno in natančno rokovanje. Polprevodniški laserski modul oziroma PIN-FET sprejemniški modul lahko poškodujemo električno ali mehansko. Pri tej vaji je treba paziti predvsem na to, da laserskega oddajnika ne prekrmilimo niti z enosmernim izvorom, niti z modulatorskim signalom. Pazimo tudi na polariteto izvorov, ker ima laserski oddajnik plus (+) pol napajanja na ohišju, sprejemnik pa minus (-) pol napajanja na ohišju.

Optični vlakni laserja in PIN-FET sprejemnika sta sicer zaščiteni, vendar še vedno zahtevata pazljivejše ravnanje, še posebno FC konektorja na koncih vlaken. Ker je dimenično območje PIN-FET modula zelo omejeno, vstavimo med laser in PIN fotodiodo še optični slabilnik, ki vnaša slabljenje med laserjem in PIN-FET modulom. Slabljenje nastavimo tako, da pri običajni delovni napetosti na laserskem oddajniku (okoli 25V) dobimo polovičen odklon na optičnem sprejemniku.



Slika 25.3. – Vezava PIN-FET modula za merjenje frekvenčnega odziva.

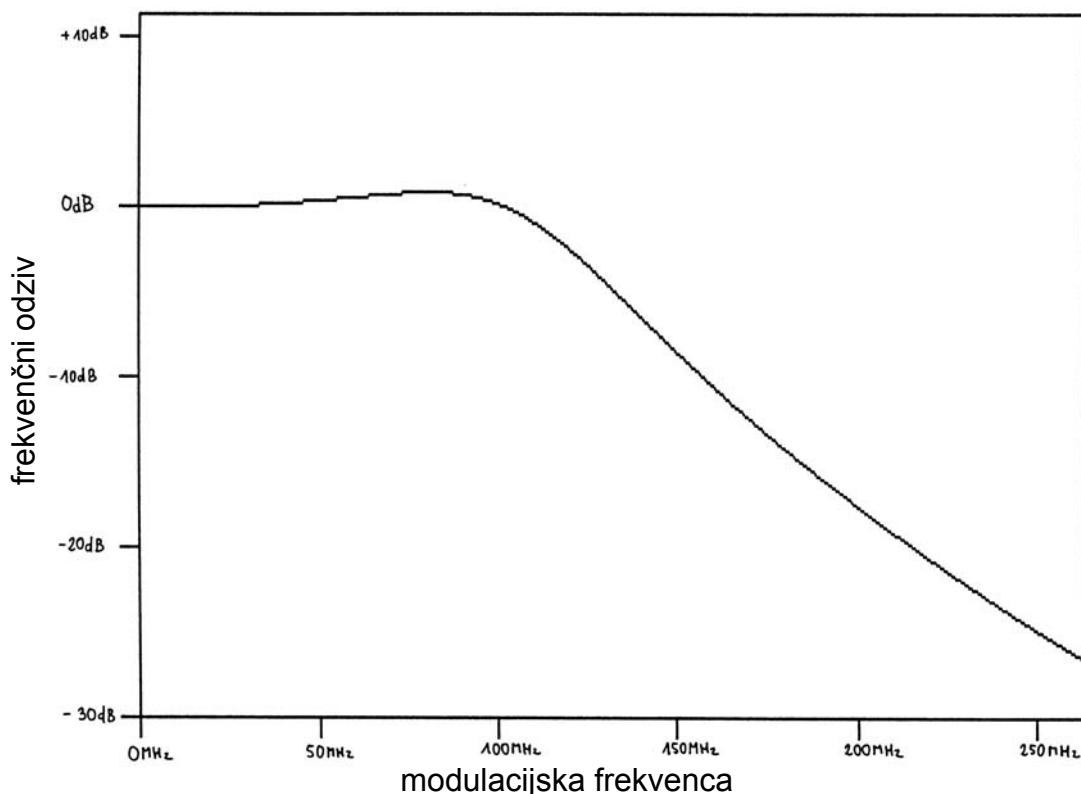
Kot merilnik modulatorskega signala uporabimo vektorski voltmeter, ker vsebuje občutljiv in selektiven sprejemnik, ki je hkrati manj občutljiv na motnje. Poleg tega ima vektorski voltmeter dva vhoda, da lahko hkrati merimo tudi jakost modulatorskega signala za laser. Pred meritvijo preverimo, da se vektorski voltmeter zanesljivo "ujame" na signal VF izvora, kot tudi, da preko induktivnih ali kapacitivnih sklopov oziroma sevanja ne merimo naravnost izhodnega signala VF izvora brez posredovanja optike.

#### 25.4. Prikaz značilnih rezultatov

Za vajo izmerimo amplitudni in fazni odziv PIN-FET modula, pri čemer upoštevamo, da je modulatorska karakteristika laserja linearna in frekvenčno neodvisna. Frekvenčna pasovna širina uporabljenega 1300nm laserskega oddajnika znaša več kot 1GHz, kar je več od desetkratne pasovne širine merjenca, PIN-FET modula. Linearnost zagotovimo z dovolj majhnim visokofrekvenčnim modulatorskim signalom.

Amplitudni odziv dobimo kot kvocient obeh kanalov vektorskega voltmetra. Primer rezultata je prikazan na sliki 25.4. Odziv normiramo na enoto pri nizkih frekvencah, saj PIN-FET modul s transimpedančnim ojačevalnikom omogoča vodoraven frekvenčni odziv za nizke frekvence vse do enosmerne.

Fazni odziv mora biti čimbolj linearen v nazivnem frekvenčnem področju. Linearna odvisnost faze od frekvence pomeni le zakasnitev, ki ne popači oblike impulzov. Nelinearna odvisnost faze prinaša popačenje (disperzijo), za kar je v slučaju PIN-FET modula v glavnem kriv elektronski ojačevalnik.



Slika 25.4. – Primer frekvenčnega odziva PIN-FET modula.

**25.5. Vprašanja in naloge vaje**

1. Izmeri amplitudni in fazni odziv PIN-FET modula!

f [MHz]	A [dBm]	B[dBm]	B-A [dB]	$\varphi$ [°]
1				
10				
20				
30				
40				
50				
60				
70				
80				
90				
100				
110				
120				
130				
140				
150				
160				
170				
180				
190				
200				
210				
220				
230				
240				
250				
260				
270				
280				
290				
300				

A – jakost signala merjena na VF izvoru

B – jakost signala merjena na optičnem sprejemniku