

VAJA 27. - RAZMERJE SIGNAL/ŠUM PLAZOVNE FOTODIODE

27.1. Ojačenje in šum plazovne fotodiode

Občutljivost (nekoherentnih) optičnih sprejemnikov v glavnem omejuje šum električnega ojačevalnika, ki ojačuje signal s fotodiode. Problem ni rešljiv z uporabo boljšega nizkošumnega ojačevalnika, ker je že izhodna impedanca same fotodiode zelo neugodno visoka vrednost, z veliko reaktivno (kapacitivno) komponento. Razmerje signal/šum sprejemnika z običajno PIN fotodiode je zato za 20dB slabše od tistega, kar dopušča teorijska kvantna meja, navkljub odličnemu kvantnemu izkoristku fotodiode.

Občutljivost optičnega sprejemnika s fotodiode lahko zato izboljšamo edino tako, da vhodni signal ojačimo preden se pretvori v (konduktivni) električni tok zunaj fotodiode. Kvantni meji se lahko približamo do 3dB z uporabo optičnega (laserskega) ojačevalnika pred fotodiode. Tudi v sami fotodiode lahko dosežemo ojačenje z uporabo plazovnega pomnoževanja nosilcev elektrine, da se približamo kvantni meji do 10-15dB.

Ker so optični ojačevalniki dosti bolj komplicirane in precej dražje naprave od fotodiode, se v praksi splača iztržiti čimboljše razmerje signal/šum iz same fotodiode in cenenelega električnega ojačevalnika, ki sledi fotodiode. Žal predstavljata plazovno ojačenje in plazovni preboj dodaten izvor šuma, ki lahko v neustreznih okoliščinah pokvari razmerje signal/šum sprejemnika.

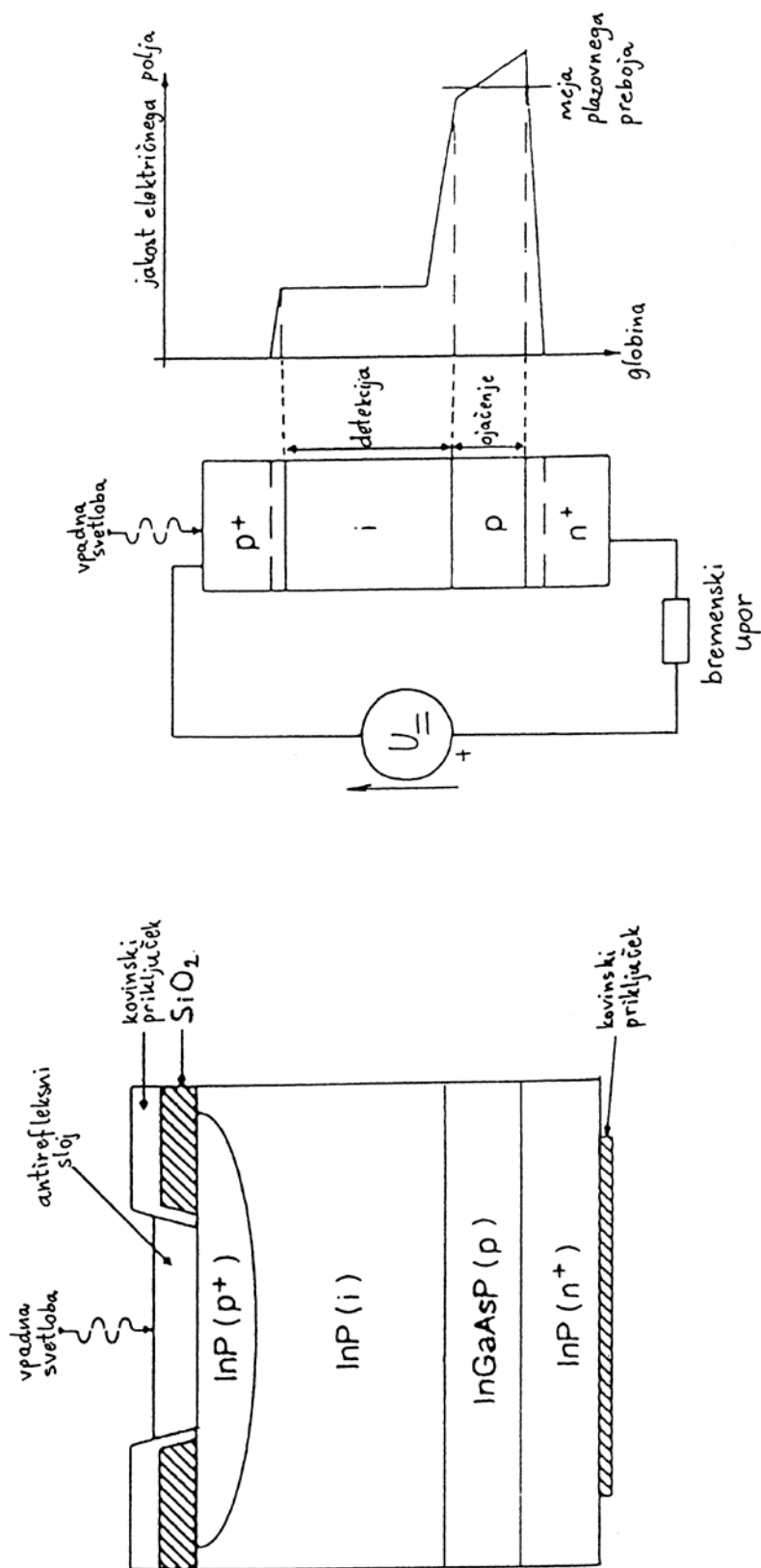
Fotodiode z vgrajenim plazovnim ojačenjem (angl. Avalanche Photo Detector) je zato načrtovana tako, da dosežemo čimvečje ojačenje signala in proizvedemo čimmanj šuma. Izvedba in delovanje plazovne fotodiode sta prikazana na sliki 27.1. V plazovni fotodiode je zaporna plast ločena na dva sloja: v gornjem sloju pride do detekcije svetlobe, v spodnjem sloju pa do plazovnega ojačenja nosilcev elektrine.

Ločitev detekcije in plazovnega ojačenja omogoča boljše razmerje signal/šum, ker na ta način plazovni mehanizem ne ojačuje nekaterih izvorov temnega toka fotodiode. Ločitev detekcije od plazovnega ojačenja dosežemo z uporabo različnih polprevodnikov v zaporni plasti, ki dajo plasti z različno dielektričnostjo in različno prebojno trdnostjo. Polprevodnike izberemo tako, da električno polje preseže mejo plazovnega preboja samo v spodnji (ojačevalni) plasti, v gornji plasti (detekcija) pa ne pride do plazovnega ojačenja.

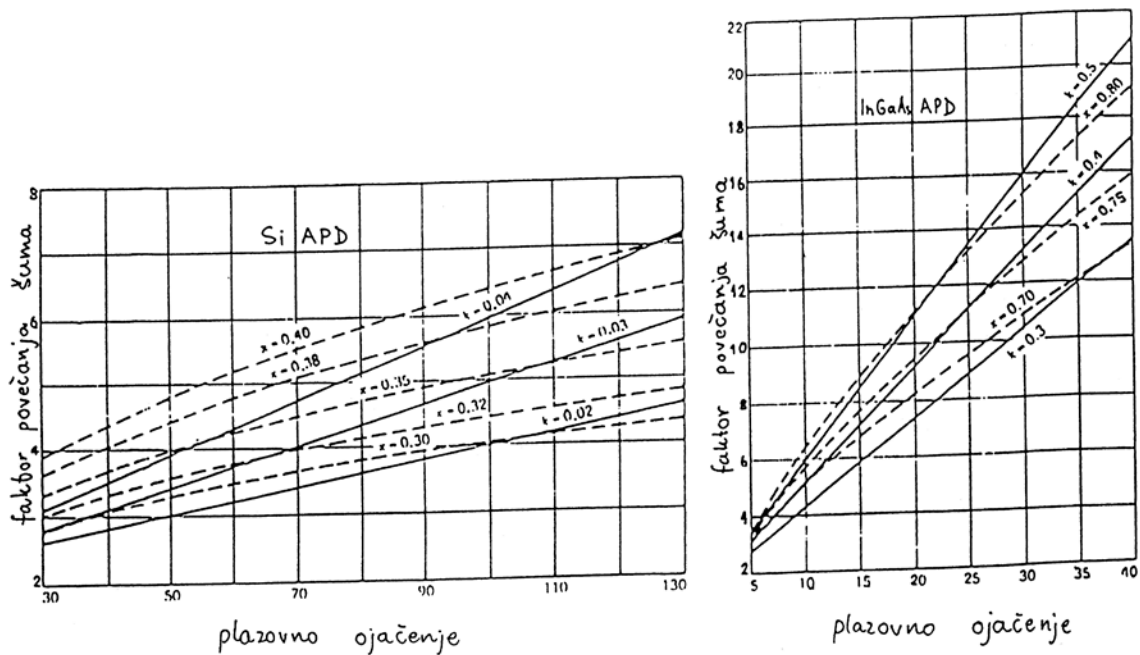
Vrednost plazovnega ojačenja lahko seveda nastavljamo tudi od zunaj, z izbiro zaporne napetosti na fotodiode. Plazovno ojačenje se veča z zaporno napetostjo, še hitreje pa z večanjem zaporne napetosti narašča šum plazovnega preboja. Povezava med ojačenjem signala in faktorjem povečanja šuma je prikazana na sliki 27.2 za različne plazovne fotodiode.

Izbira vrednosti plazovnega ojačenja fotodiode je seveda odvisna od šuma elektronskega ojačevalnika, ki sledi fotodiode. Ob premajhnem plazovnem ojačenju bo prevladoval šum električnega ojačevalnika kot v PIN-FET sprejemniku, ob prevelikem plazovnem ojačenju pa bo razmerje signal/šum kazil šum plazovnega preboja v fotodiode. Glede na vrsto ojačevalnika (in

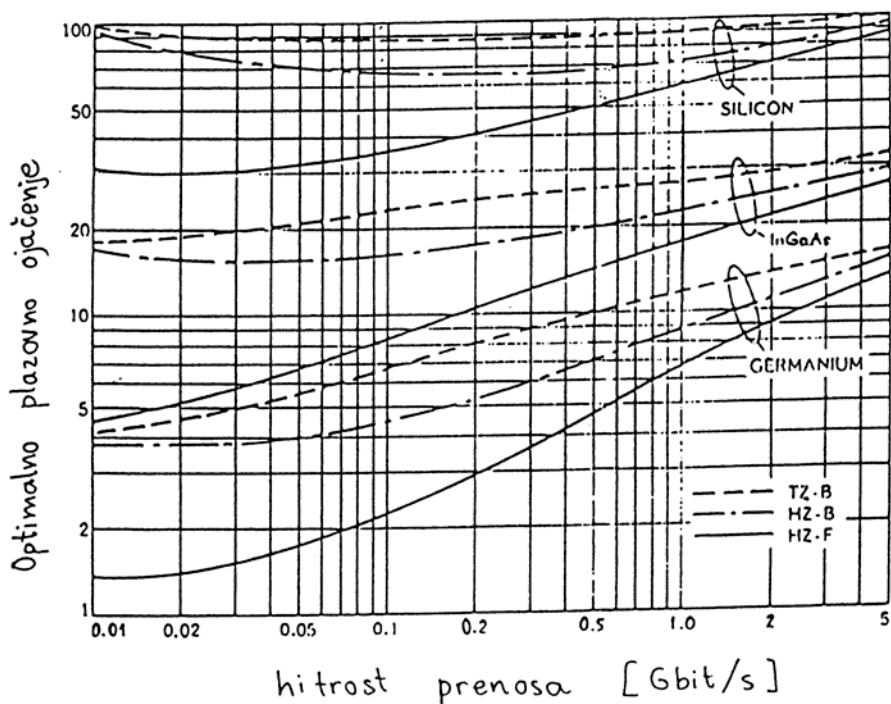
vhodno prilagoditev impedance) zato obstaja za vsako plazovno diodo optimalno plazovno ojačenje, ko dosežemo najboljše razmerje signal/šum.



Slika 27.1. – Izvedba in delovanje plazovne fotodiode.



Faktor povečanja šuma plazovne fotodiode.



Optimalno plazovno ojačenje.

Slika 27.2. – Ojačenje in šum plazovne fotodiode.

27.2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- (1) VF izvor za območje 20-50MHz, s 30dB slabilnikom (0dBm).
- (2) Laserski oddajnik za 1300nm z ustreznim napajalnikom.
- (3) Nastavljivi optični slabilnik (teflonska cevka).
- (4) Optični sprejemnik z APD diodo.
- (5) Napajalnik 5-35V= za APD diodo z mikroampermetrom.
- (6) Nizkošumni 40dB VF ojačevalnik z 12V napajalnikom.
- (7) VF spektralni analizator.
- (8) Razstavljeno APD diodo.
- (9) Mikroskop z možnostjo povečave med 10 in 100.

Vezava APD diode za merjenje ojačenja in šuma je prikazana na sliki 27.3.

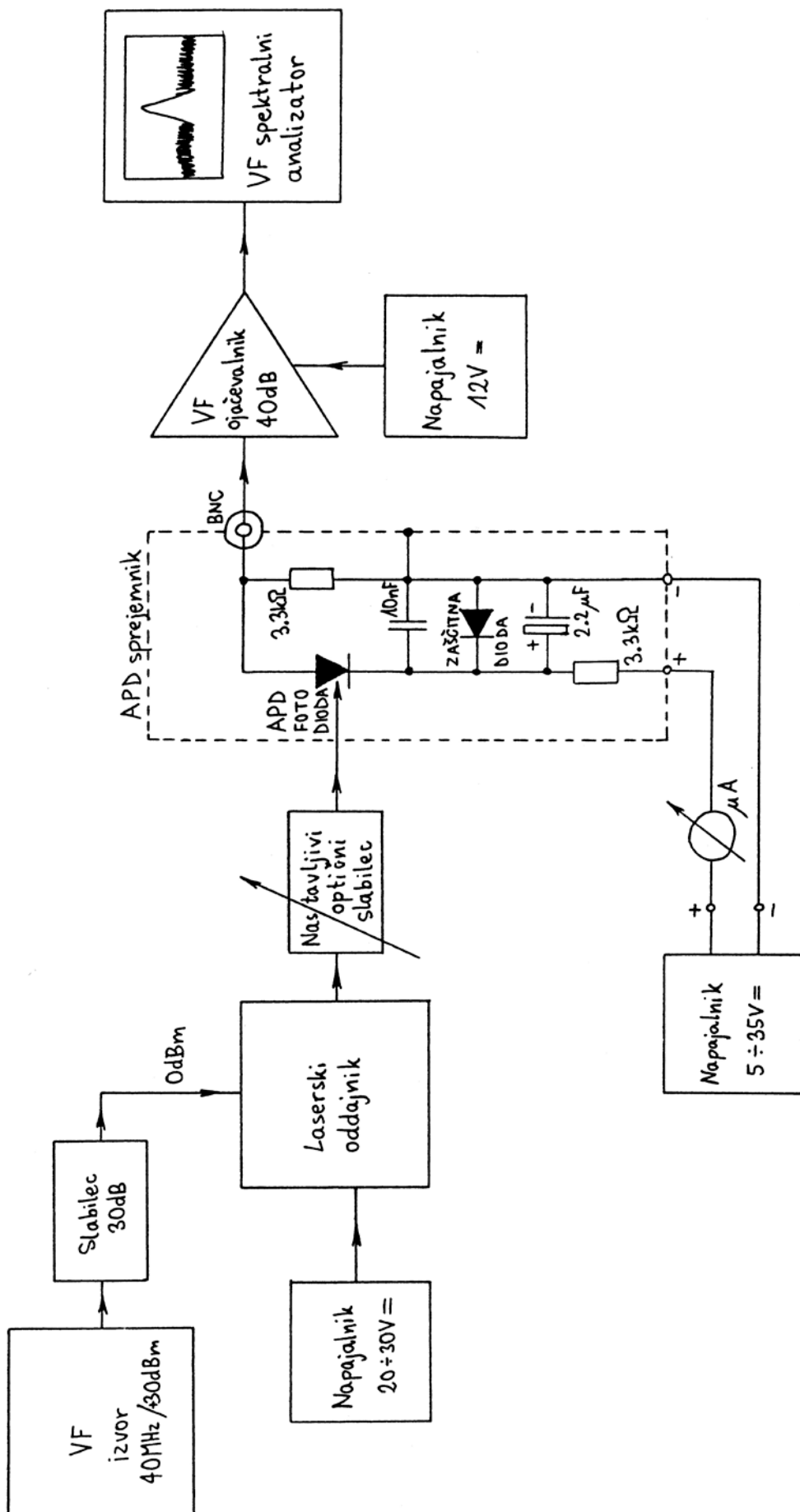
27.3. Obrazložitev in opis poteka vaje

Polprevodniški sestavni deli za komunikacije preko optičnih vlaken so zelo občutljivi elektronski sestavni deli, ki zahtevajo nežno in natančno rokovanje. Polprevodniški laserski modul oziroma sprejemnik s plazovno diodo 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 APD sprejemnika sta sicer zaščiteni, vendar še vedno zahtevata pazljivejše ravnanje, še posebno FC konektorja na koncih vlaken. Optični signal laserja je treba primerno oslabiti, sicer bi šum laserja prekril šum same plazovne fotodiode. Kot optični slabilec uporabimo teflonsko cevko, ki določa razdaljo med FC konektorjema laserja in plazovne diode. Slabljenje nastavimo tako, da lahko v dinamičnem območju spektralnega analizatorja hkrati opazujemo detektirano modulacijo laserja in šum plazovne fotodiode. Pred tem nastavimo delovno napetost laserskega oddajnika tako, da dobimo na skali merilnika na monitorski fotodiodi primeren (polovičen) odklon.

Kot izvor modulatorskega signala uporabimo VF generator, ki daje na svojem izhodu sinusni signal. Frekvenčni spekter sinusnega VF signala je ozka spektralna črta, ki jo na spektralnem analizatorju z lahkoto ločimo od šuma, ki je po svoji naravi širokopasoven signal z zveznim spektrom. S spektralnim analizatorjem lahko tudi ugotovimo prisotnost harmonikov, ko je laserska dioda premodulirana, ter po potrebi znižamo izhodno moč VF izvora.

Spektralni analizator omogoča istočasno meritev jakosti več različnih signalov v širokem frekvenčnem spektru in z veliko dinamiko (običajno 80dB). Ker spektralni analizator ni ravno najbolj občutljiv sprejemnik (šumno število okoli 20dB), mu na vhodu dodamo nizkošumni VF ojačevalnik z ojačenjem okoli 40dB. Presežno ojačenje tega ojačevalnika po potrebi odstranimo s slabilnikom na vhodu spektralnega analizatorja.



Slika 27.3. – Vezava APD diode za merjenje ojačenje in šuma.

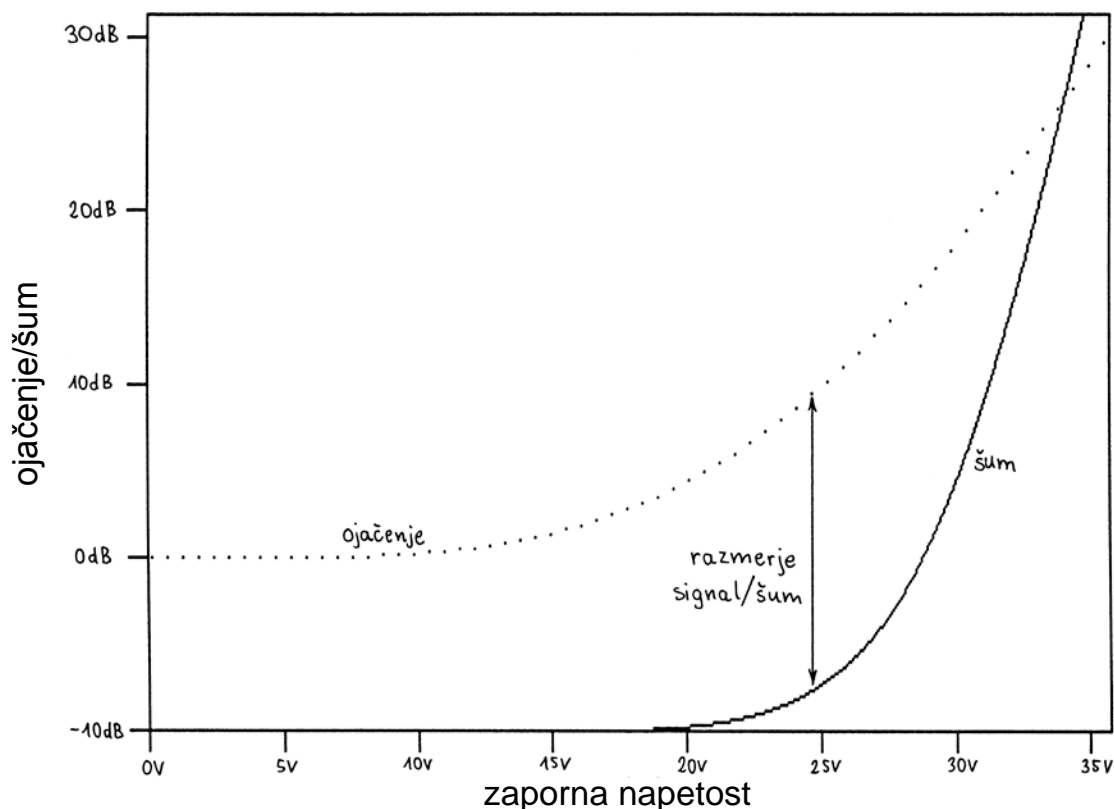
Končno preverimo še to, da prihaja merjeni VF signal v resnici iz fotodiode in ne morda preko induktivnih ali kapacitivnih sklopov oziroma sevanja naravnost iz VF generatorja. To storimo tako, da znižamo napajanje laserja (pod prag) in tedaj mora merjeni VF signal upasti na nič.

27.4. Prikaz značilnih rezultatov

Ovisnost plazovnega ojačenja in dodatnega šuma plazovne fotodiode ni enostavna funkcija zaporne napetosti na fotodiodi. Pri zapornih napetostih manjših od polovice prebojne napetosti se ne zgodi skoraj nič, plazovna dioda deluje kot navadna PIN fotodioda. Ojačenje začne naraščati šele pri višjih napetostih. Končno, dodatni plazovni šum začne skokovito naraščati šele, ko zaporna napetost preseže 90% prebojne napetosti.

Vajo zato umerimo pri nizki zaporni napetosti (5V), ko fotodioda še ne deluje v režimu plazovnega ojačenja, zaporna napetost pa vseeno zadošča za vzpostavitev izpraznjene plasti v diodi. Nato večamo napetost izvora in beležimo jakost signala in šuma. Jakost šuma natančneje izmerimo tako, da na spektralnem analizatorju pravilno uporabljamo "video" sito.

Na koncu meritev, v bližini preboja APD diode, teče skozi fotodiodo že znaten tok, ki povzroči znatne padce napetosti na zaščitnih uporih v APD sprejemniku. Te padce napetosti moramo seveda upoštevati v rezultatu. Določimo jih iz toka skozi APD diodo, ki ga merimo z mikroampermetrom.



Slika 27.4. – Ojačenje in šum plazovne fotodiode.

