

VAJA 26. - NAPETOSTNA ODVISNOST OJAČENJA FOTOPOMNOŽEVALKE

26.1. Osnove delovanja fotopomnoževalke

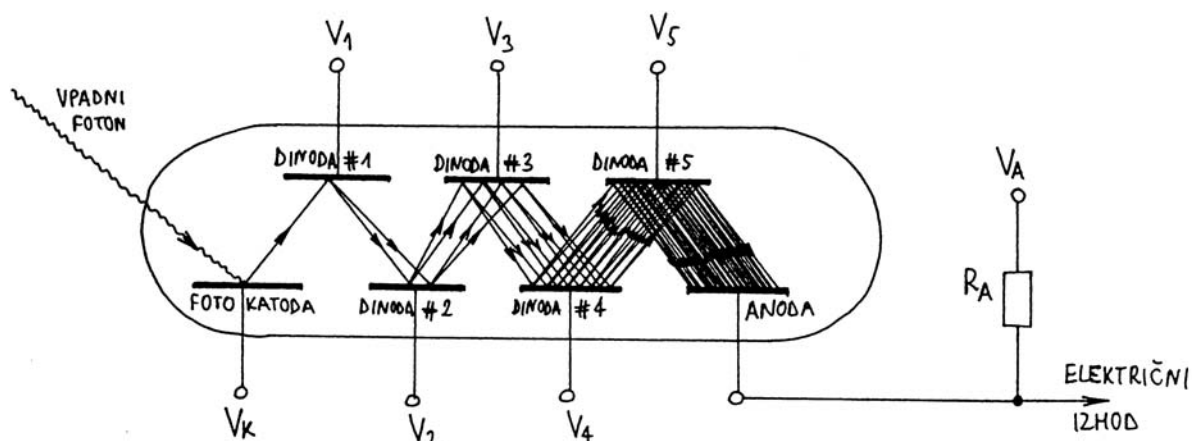
Odkritje fotoelektričnega pojava, to je izbijanja elektronov iz površine kovine s fotoni dovolj velike energije, predstavlja predvsem prvi dokaz o kvantnem značaju svetlobe. Fotoelektrični pojav je sicer tudi praktično uporaben, saj omogoča delovanje učinkovitega detektorja svetlobe: vakuumsko fotocelico. V vakuumski fotocelici sproži skoraj vsak vpadni foton po en elektron, ki potem prispeva k skupnemu električnemu toku skozi fotocelico. Vakuumska fotocelica je zato lahko za več velikostnih razredov bolj občutljiv in hitrejši detektor svetlobe od fotouporov oziroma toplotnih detektorjev svetlobe.

Z vakuumsko fotocelico lahko vsaj v teoriji opazimo tudi en sam, osamljen vpadni foton. Zaznavanje šibkega električnega signala, ki ga povzroči en sam fotoelektron, onemogoča predvsem šum električnega ojačevalnika, ki ga priključimo za fotocelico, saj sama fotocelica v popolnem mraku ne proizvaja nikakršnega šuma. Z enostavno vakuumsko fotocelico s samo dvema elektrodama: fotokatodo in anodo, zato ne moremo izdelati zelo občutljivega detektorja svetlobe.

Šumu električnega ojačevalnika se lahko izognemo tako, da konvektivni tok elektronov znotraj vakuumske fotocelice ojačimo, preden se le ta pretvori v zunanji konduktivni električni tok v vezju. Konvektivni tok prostih elektronov v povsem praznem prostoru lahko ojačimo s pojavom, ki je zelo podoben fotoelektričnemu pojavu. Če elektron z dovolj veliko kinetično energijo zadene ob površino kovine, lahko iz kovine izbije več "sekundarnih" elektronov.

Elektron, ki je v praznem prostoru preletel potencialno razliko 100V, lahko iz kovinske elektrode izbije 3 do 5 sekundarnih elektronov. Z ustrezno oblikovanim električnim poljem lahko sekundarne elektrone usmerimo proti tretji elektrodi na ustrezno višjem potencialu, kjer dobimo še večje število novih sekundarnih elektronov. Opisani postopek lahko seveda ponavljamo poljubnokrat, da dobimo želeno količino elektronov oziroma željen električni tok, ki ga končno zberemo na anodi.

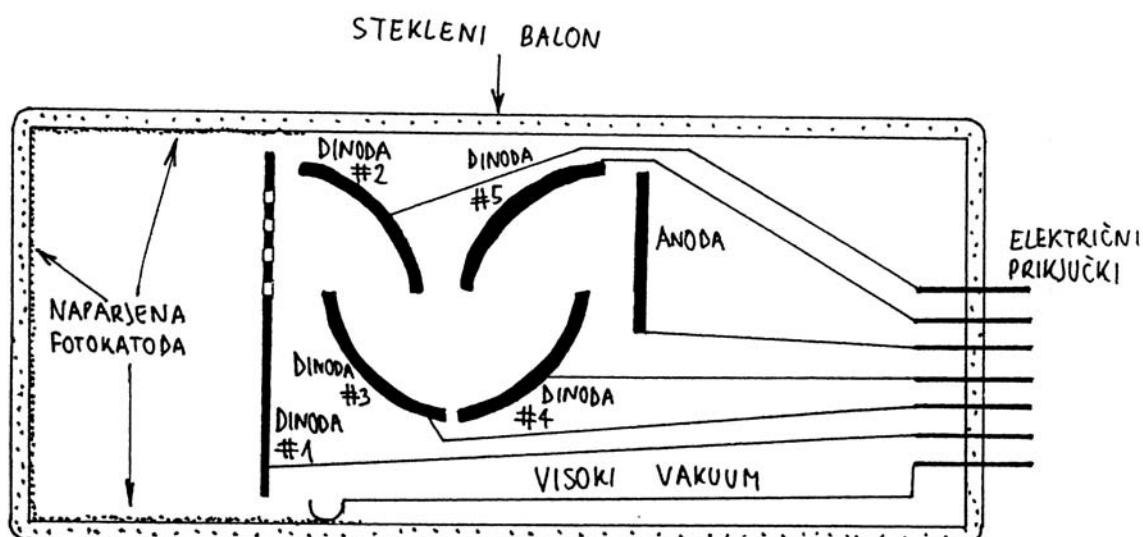
Focelico z vgrajenim opisanim ojačevalnikom imenujemo fotopomnoževalka. Delovanje fotopomnoževalke je prikazano na sliki 26.1. Vpadni foton izbije le en sam elektron iz fotokatode, ki ga električno polje usmeri proti prvi množilni elektrodi, imenovani dinoda. Iz prve dinode dobimo več sekundarnih elektronov, ki jih električno polje usmeri proti drugi dinodi. Tu dobimo še več sekundarnih elektronov, ki nadaljujejo svojo pot proti tretji dinodi, kjer se spet ponovi opisani postopek množenja elektronov.



Slika 26.1. – Osnove delovanja fotopomnoževalke.

Zadnja elektroda, anoda, se nahaja na najvišjem potencialu in zbere vse sekundarne elektrone. Električni signal dobimo kot padec napetosti na upor R_A v anodnem vezju. Ker lahko z opisanim postopkom dosežemo poljubno ojačenje znotraj fotopomnoževalke, je prispevek šuma zunanjega električnega vezja običajno zanemarljiv.

Praktična izvedba fotopomnoževalke je prikazana na sliki 26.2. Fotokatoda je napařena kar na stekleni balon vakuumске cevi. Dinode so oblikovane in razmeščene tako, da naslednja dinoda "ujame" čimveč sekundarnih elektronov predhodne dinode. Fotopomnoževalke običajno vsebujejo okoli 10 množilnih elektrod, kar pomeni, da lahko en sam vpadni foton sproži več kot milijon elektronov v anodnem vezju.



Slika 26.2. – Praktična izvedba fotopomnoževalke.

Fotopomnoževalka še vedno predstavlja najbolj občutljiv znan detektor vidne svetlobe. S primerno izbiro materiala fotokatode lahko dosežemo izvrstno občutljivost v vidnem in bližnjem infrardečem spektru svetlobe. Žal pa kvantni izkoristek fotokatode upade pri valovni dolžini $1.3\mu\text{m}$. Glavna pomanjkljivost fotopomnoževalke je njena frekvenčna meja. Ker preletijo elektroni razmeroma dolgo pot po povsem praznem prostoru s hitrostjo, ki je veliko manjša od svetlobne hitrosti, in pot ni enako dolga za vse sekundarne elektrone, ki jih povzroči en sam vpadni foton, se frekvenčna meja fotopomnoževalke giblje v področju nekaj MHz. Za komunikacije po optičnih vlaknih zato ne uporabljamo fotopomnoževalk, pač pa veliko hitrejših polprevodniških fotodiode.

26.2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

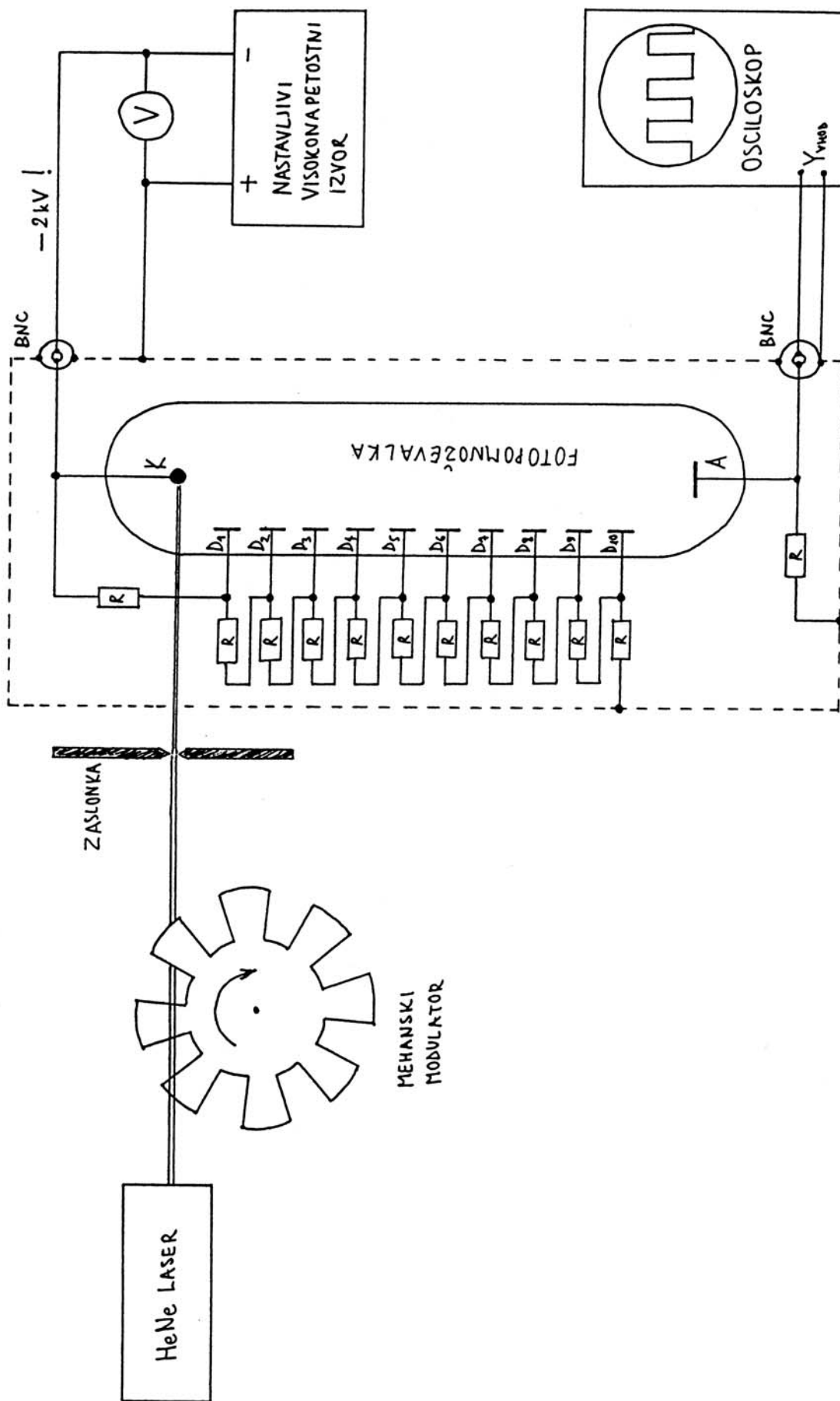
- (1) HeNe laser z napajalnikom in podstavkom.
- (2) Modulator svetlobe - chopper (ventilator s črnimi lopaticami) z napajalnikom in podstavkom.
- (3) Več različnih zaslonk za znižanje jakosti žarka, lahko tudi v povezavi z dodatno razpršilno lečo.
- (4) Fotopomnoževalko z uporovnim delilnikom napetosti.
- (5) Nastavljivi enosmerni visokonapetostni izvor.
- (6) Voltmeter z območjem 0-2kV.
- (7) Osciloskop z občutljivostjo do 2mV/cm.
- (8) Klop za sestavljanje optičnih vaj.

Namestitvev in vezava merilnih pripomočkov je prikazana na sliki 26.3.

26.3. Obrazložitev in opis poteka vaje

Vajo sestavimo na ustrezni klopi v zaporedju, kot poteka svetlobni žarek iz izvora do fotopomnoževalke. Najprej postavimo izvor in modulator optičnega žarka. Izvor amplitudno moduliramo, da se izognemo vplivu ostale svetlobe v prostoru, ki tudi pada na detektor - fotopomnoževalko. Za meritve zadošča amplitudna modulacija izvora z razmeroma nizkimi frekvencami, zato je povsem ustrezen mehanski modulator (angl. chopper). V našem slučaju je to majhen ventilator s petimi črnimi lopaticami, ki prekinja žarek laserja s frekvenco približno 400Hz.

Na drugi strani klopi postavimo fotopomnoževalko. Pred fotopomnoževalko postavimo zaslonko, da omejimo neželjeno ostalo vpadno svetlobo. Z zaslonko tudi znižamo jakost vpadne svetlobe na bolj primerno vrednost. Pri zmanjšanju jakosti vpadne svetlobe pa si lahko pomagamo tudi z dodatno razpršilno lečo, ki jo postavimo pred zaslonko. Pri priključitvi fotopomnoževalke pazimo na pravilne povezave, saj imamo opraviti z visokonapetostnim enosmernim izvorom, ki ima ozemljen pozitivni pol.



Slika 26.2. – Namestitev in vezava merilnih pripomočkov.

Izhodno napetost fotopomnoževalke opazujemo na osciloskopu, kjer zlahka opazimo razliko med enosmerno komponento sobne svetlobe in 400Hz pravokotnimi impulzi z laserja. S spreminjanjem naklona lopatic ventilatorja lahko tudi nastavimo razmerje pravokotnih impulzov. Enosmerno komponento lahko izločimo na osciloskopu tako, da vhod sklopimo preko kondenzatorja. Pri meritvah moramo vseeno paziti, da vsota enosmerne in izmenične izhodne napetosti fotopomnoževalke ne preseže 10V, sicer dodatni padci napetosti na uporovnem delilniku potisnejo delovanje fotopomnoževalke v nelinearen režim.

26.4. Prikaz značilnih rezultatov

Za vajo izmerimo napetostno odvisnost ojačenja fotopomnoževalke. Število izbitih sekundarnih elektronov je seveda odvisno od kinetične energije vpadnega elektrona oziroma od potencialne razlike med sosednjima elektrodama. Z voltmetrom merimo celotno pritisnjeno napetost, ki jo veriga enakih uporov razdeli na 11 približno enakih delov vse dotlej, dokler so tokovi posamičnih elektrod zanemarljivi v primerjavi s tokom skozi uporovni delilnik.

Meritev začnemo tako, da na fotokatodo usmerimo celoten, neoslabljen žarek HeNe laserja in počasi dvigamo napajalno napetost fotopomnoževalke. Ko izhodna napetost fotopomnoževalke preseže 10V, oslabimo jakost vpadne svetlobe z razpršilno lečo. Z zmanjšano jakostjo svetlobe lahko nadaljujemo z dviganjem napajalne napetosti oziroma ojačenja fotopomnoževalke.

Ker ne moremo izmeriti izredno majhnega toka fotokatode, tudi ne moremo izmeriti absolutnega ojačenja fotopomnoževalke. Končni rezultat zato prikažemo relativno, naprimer kot razmerje glede na vrednost napetosti, ko dobimo z neoslabljenim žarkom na izhodu 1V električnega signala.

26.5. Vprašanja in naloge vaje

1. Izmeri napetostno odvisnost ojačenja fotopomnoževalke!
2. Kaj se zgodi z izhodnim signalom, če vhod prekrmilimo?
3. Zakaj je fotopomnoževalka občutljiva na magnetno polje?

napajalna napetost [V]	izhodna napetost [V]	ojačenje v razmerju
200		
400		
600		
800		
1000		
1200		
1400		
1600		

oslabitev žarka