

VAJA 22. - LiNbO_3 ELEKTROOPTIČNI AMPLITUDNI MODULATOR

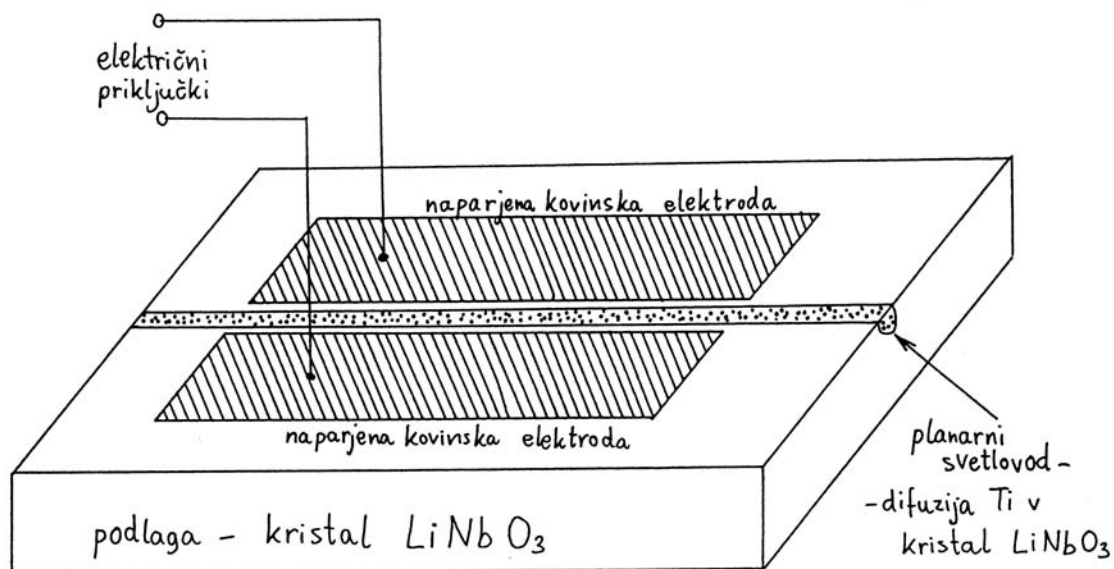
22.1. Modulacija svetlobnih izvorov

Večina sedanjih optičnih zvez uporablja neposredno modulacijo napajalnega toka skozi LED ali lasersko diodo. S primerno konstrukcijo polprevodniških svetlobnih izvorov se da doseči hiter odziv (1ns) in razmeroma linearno krivuljo izhodne svetlobne moči v odvisnosti od krmilnega toka. Za digitalne optične zveze do hitrosti približno 1Gb/s je takšna rešitev povsem zadovoljiva.

Za še višje hitrosti oziroma za prenos analognih signalov, naprimer več deset TV programov po enem samem optičnem vlaknu, opisana rešitev več ne zadošča. Odziv laserskih diod je prepočasen, poleg tega pa modulacija izredno razširi optični spekter tudi najboljših laserjev s porazdeljeno povratno vezavo (DFB). Posledica razširjenega optičnega spektra je močno povečana disperzija, na kar so optične zveze pri hitrostih 2.5Gb/s in več še posebno občutljive.

Edina smiselna tehnična rešitev je zato ločen modulator, da lahko dela DFB laser v stabilnem enosmernem režimu z izredno ozko spektralno črto. Od vseh znanih fizikalnih pojavov, s pomočjo katerih lahko moduliramo svetlobni žarek, ima dovolj hiter odziv in dovolj veliko občutljivost za električne krmilne signale elektrooptični pojav.

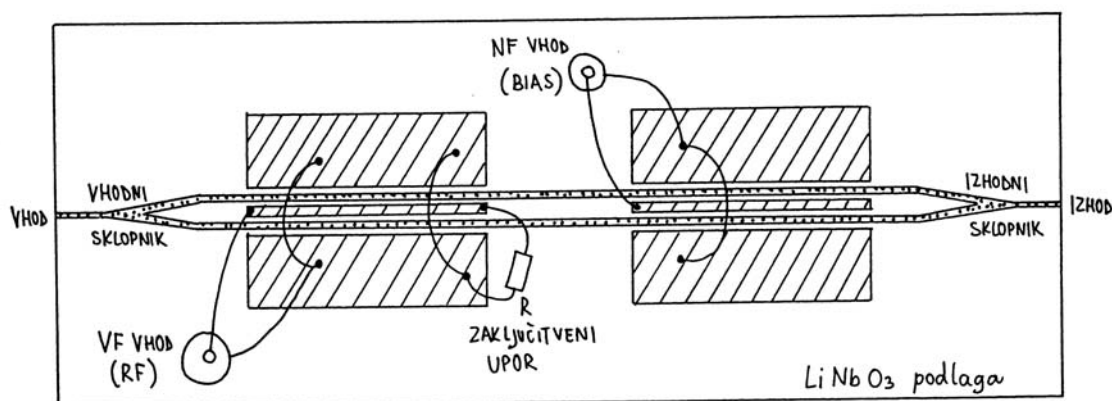
Elektrooptični pojav pomeni v grobem, da je lomni količnik snovi odvisen od zunanega enosmernega ali nizkofrekvenčnega električnega polja. Za elektrooptične naprave je najprimernejša snov kristal litijevega niobata (LiNbO_3), v katerem lahko z difuzijo titana (Ti) povečamo lomni količnik in tako naredimo planarne svetloводе. Najenostavnejša elektrooptična naprava je optični fazni sukalnik, ki je prikazan na sliki 22.1.



Slika 22.1. – Optični fazni sukalnik na LiNbO_3 podlagi.

Ker uporablja večina sistemov optičnih zvez nekoherentne sprejemnike, ki so občutljivi le na amplitudo signala, sam optični fazni sukelnik ni kdovekako uporabna naprava. Fazno modulacijo pretvorimo v amplitudno tako, da fazni sukelnik vgradimo v en krak interferometra. Še večji učinek dosežemo takrat, če vgradimo dva fazna sukelnika v oba kraka Mach-Zehnderjevega interferometra ter ju krmilimo s protifaznimi signali.

Ker so optični interferometri zelo občutljive naprave, je edina tehnično smiselna rešitev amplitudnega modulatorja vgradnja celotnega MZ interferometra z obema faznima sukelnikoma v eno samo optično integrirano vezje na podlagi iz litijevega niobata, kot je to prikazano na sliki 22.2. Prikazani modulator vsebuje v resnici štiri fazne sukelnike, po dva ločena v vsakem kraku interferometra, predvsem zaradi enostavnejše praktične uporabe.



Slika 22.2. – Elektrooptični amplitudni modulator –
Mach-Zehnderjev interferometer na LiNbO_3 podlagi.

Če stranski elektrodi ozemljimo ter privedemo modulacijski signal na srednjo elektrodo, smo z geometrijsko razporeditvijo elektrod enostavno dosegli krmljenje faznih sukelnikov v protifazi. Krmiljenje elektrod postane zahtevnejše, ko postane dolžina elektrod primerljiva z valovno dolžino modulacijskega signala. Delovanje modulatorja v širokem frekvenčnem pasu dosežemo z vzbujanjem potujočega električnega vala na elektrodah. Z zaključitvenim uporom preprečimo nastanek stojnega vala.

Pri modulatorju s potujočim električnim valom seveda ni več vseeno, kje je optični vhod in kje optični izhod. Veliko pasovno širino dosežemo le takrat, ko se optični signal širi v isti smeri in s približno enako hitrostjo kot električni val. Tej zadnji zahtevi težko ugodimo, ker je lomni količnik LiNbO_3 približno 2.2 za svetlobo in okoli 4 za nizke frekvence v radijskem spektru. Večjo pasovno širino modulatorja lahko dosežemo le s krajšimi elektrodami oziroma z nanosom sloja SiO_2 med površino LiNbO_3 in kovinske elektrode, kar poveča hitrost modulacijskega vala. Oba ukrepa za zvečanje pasovne širine žal zelo zmanjšata občutljivost modulatorja.

Večina LiNbO_3 elektrooptičnih modulatorjev vsebuje dva para faznih sukelnikov. Prvi par je visokofrekvenčni par, elektrode imajo obliko VF

prenosnega voda in zaključitveni upor. Drugi par je nizkofrekvenčni oziroma enosmerni par, brez kakršnihkoli zaključitvenih uporov. Z nizkofrekvenčnim parom nastavimo želeno delovno točko modulatorja (BIAS) ter popravimo odstopanja simetrije interferometra. Na ta način preprečimo veliko izgubo moči v zaključitvenem uporu VF elektrod, ki bi segrevala občutljivi LiNbO₃ kristal.

Elektrooptični modulator ni brezizgubna naprava. Izgube v planarnem svetlovodu v LiNbO₃ znašajo okoli 0.1dB/cm oziroma 10000dB/km. Poleg tega se po 1dB izgubi v vsakem sklopniku in še po 1dB v vsakem spoju optičnega vlakna na LiNbO₃ kristal. Najmanjše vstavitveno slabljenje modulatorja je zato okoli 5dB, z ustreznimi krmilnimi napetostmi na elektrodah pa lahko to slabljenje le še večamo.

22.2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

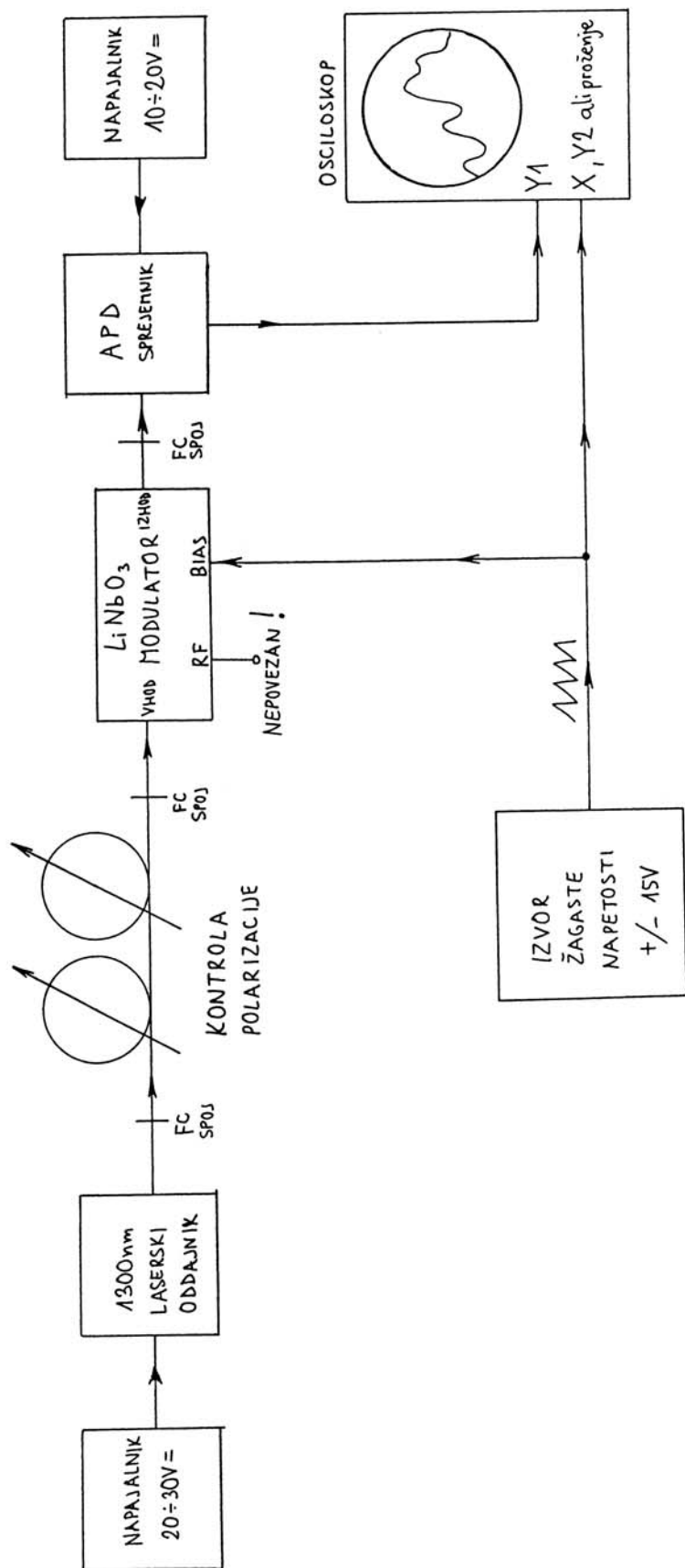
- (1) Laserski oddajnik za 1300nm z ustreznim napajalnikom.
- (2) Polarizacijski sukalnik ali svitek 10m enorodovnega vlakna premera okoli 10cm.
- (3) LiNbO₃ elektrooptični modulator.
- (4) Optični sprejemnik z APD diodo in napajalnikom.
- (5) Izvor žagaste napetosti +/-15V.
- (6) Osciloskop 20MHz.
- (7) Kable in konektorje za vse povezave.
- (8) Razstavljen LiNbO₃ elektrooptični modulator.
- (9) Mikroskop z možnostjo povečave 100-krat.

Vezava inštrumentov je prikazana na sliki 22.3.

22.3. 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, LiNbO₃ modulator in APD sprejemnik 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 modulacijskim signalom. Pazimo tudi na polariteto izvorov, ker ima laserski oddajnik plus (+) pol napajanja na ohišju, sprejemnik pa minus (-) pol napajanja na ohišju.

Optična vlakna laserja, modulatorja in APD sprejemnika so sicer zaščitena, vendar še vedno zahtevajo pazljivejše ravnanje, še posebno FC konektorji na koncih vlaken. Izhod izvora žagaste napetosti priključimo izključno na BIAS vhod modulatorja, saj bi sicer z visoko napetostjo pregreli zaključitveni upor na koncu VF voda. VF vhod (RF) zato pustimo v vsakem slučaju nepovezan, saj ga notranji zaključitveni upor drži na znanem potencialu mase.

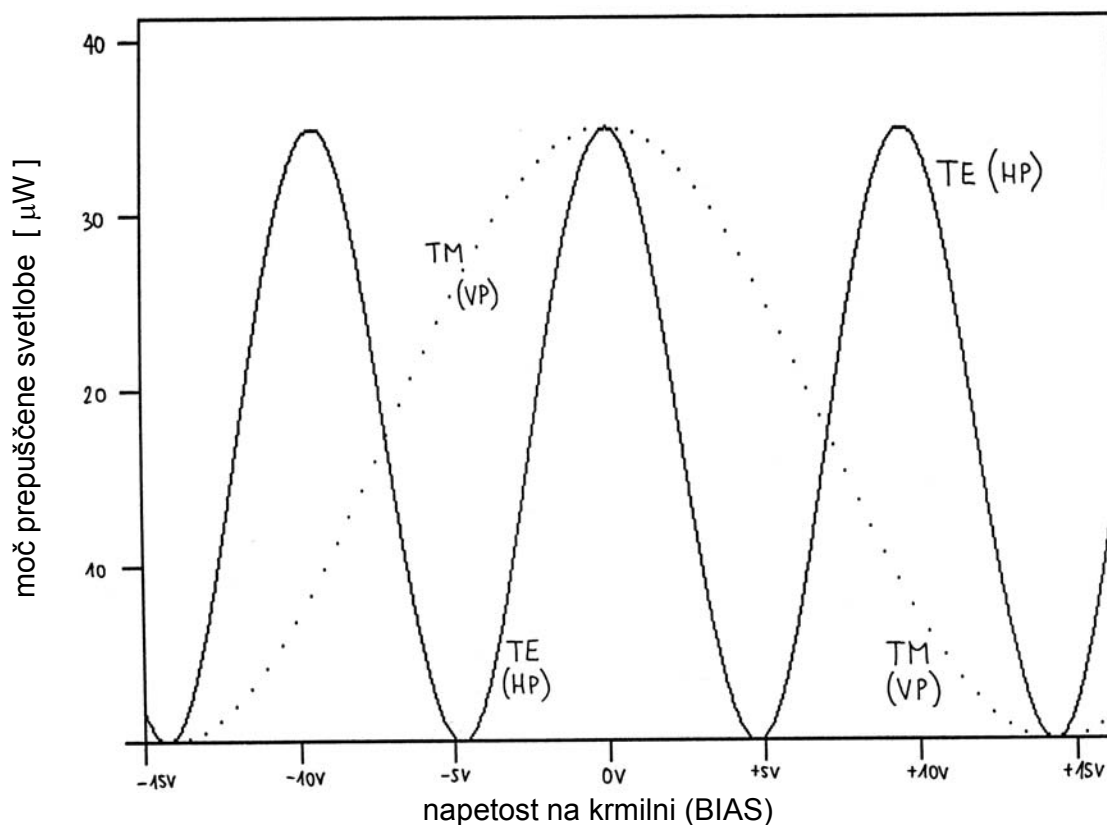


Slika 22.3. – Razporeditev in vezava merilnih instrumentov.

Kristal LiNbO_3 je močno dvolomen in tudi elektrooptični pojav ni enak za različne polarizacije vhodnega signala. Ploščica LiNbO_3 v modulatorju je tako izrezana iz kristala, da je elektrooptični pojav največji za TE polarizacijo (HP). Elektrooptični pojav za TM polarizacijo (VP) je približno trikrat manjši oziroma zahteva trikrat večjo krmilno napetost na elektrodah. Elektrooptični modulator je zato vsaj na vходу opremljen z močno dvolomnim optičnim vlaknom, ki zadržuje polarizacijo vhodnega signala.

Polprevodniški laserji so sicer vsi linearno polarizirani, vendar se ravnina polarizacije hitro spreminja v običajnih rotacijsko-simetričnih optičnih vlaknih. Zato vgradimo med laserski oddajnik in elektrooptični modulator polarizacijski sukelnik, s katerim lahko nastavimo poljubno polarizacijo ter izmerimo krivuljo modulatorja za obe TE in TM polarizaciji.

Če nimamo sukelnika, si pomagamo s približno 10m enorodovnega optičnega vlakna, ki ga navijemo na premer 10-12cm. S premikanjem enega ali več ovojev lahko dosežemo poljubno polarizacijo izhodnega signala, kar nazorno vidimo na osciloskopu.



Slika 22.4. – Odziv LiNbO_3 elektrooptičnega amplitudnega modulatorja.

22.4. Prikaz značilnih rezultatov

Primer odziva idealnega LiNbO_3 elektrooptičnega modulatorja je prikazan na sliki 22.4. Ker je fazni premik premosorazmeren pritisnjeni napetosti na elektrode, je kazalčna vsota v interferometru sorazmerna kosinusu modulacijske napetosti, prepuščena svetlobna moč pa kvadratu kosinusa modulacijske napetosti.

V resničnem modulatorju sta zaradi raznih nesimetrij v interferometru obe krivulji premaknjeni. Uporabnik to seveda popravi s primernim krmiljenjem enosmernega (BIAS) vhoda, modulacijski signal pa pripelje na VF (RF) vhod.

Za uporabnika je najbolj zanimiv podatek občutljivost modulatorja, to je napetostna razlika med maksimumom in minimumom odziva modulatorja. To napetostno razliko označimo z U_π in je poleg pasovne širine osnovni podatek modulatorja. Ker imata BIAS in RF vhoda ločena para elektrod, je tudi občutljivost obeh vhodov v splošnem različna. Za vajo seveda izmerimo U_π le za BIAS vhod za obe polarizaciji in za dano valovno dolžino 1300nm, da ne poškodujemo RF vhoda.

22.5. Vprašanja in naloge vaje

1. Izmeri napetostno razliko U_π za TM in TE!
2. Izračunaj polarizacijsko občutljivost (razmerje med U_π za TM in TE) LiNbO_3 modulatorja!
3. Kolikšno je ugasno razmerje danega modulatorja za TE polarizacijo?