

MODULACE OPTICKÉHO SIGNÁLU

Z rádio-frekvenčního pásma známe v podstatě tři způsoby modulace koherentní nosné vlny:

- **amplitudovou**
- **frekvenční**
- **fázovou.**

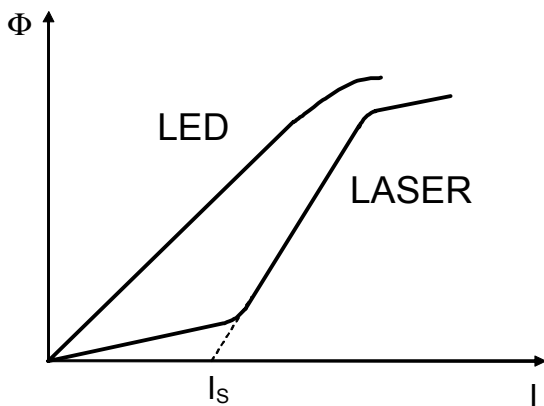
V optickém oboru přistupuje ještě **modulace výkonu**. Modulace výkonu je velmi důležitá pro optický obor ze dvou důvodů:

- 1) Výstupní signál mnoha optických přijímačů je úměrný intenzitě dopadajícího záření.
- 2) Modulace výkonu se může aplikovat i na částečně nebo zcela nekoherentní záření. To znamená, že kvalitní rubínové lasery lze nahradit i luminiscenčními diodami nebo polovodičovými lasery.

Modulace optických signálů

Modulaci je možno provádět buď přímo, nebo nepřímo pomocí modulátorů oddělených od laserů. **Přímá** modulace je vhodná u polovodičových laserů a realizuje se modulací vstřikovaného proudu. Dielektrické a plynové lasery se modulují zpravidla **ne-přímo**, pomocí vnějších modulátorů.

Modulace zdroje je nejjednodušší způsob amplitudové modulace. Velmi jednoduše se modulují polovodičové zdroje. Elektroluminiscenční diody mají lineární závislost mezi vyzařovaným zářivým tokem a procházejícím proudem, která dosahuje až



Obr. Charakteristika elektroluminiscenční diody a laseru

k oblasti nasycení, viz obrázek. Obdobná charakteristika u laserových diod je složitější, protože ke vzniku laserového jevu je nutná určitá proudová hustota. Proto má závislost zářivého toku na procházejícím proudu tvar lomený, v první části charakteristiky je

funkce obdobná funkci elektroluminiscenční diody, za prahovým proudem I_s dochází ke vzniku laserového jevu a tím se závislost zářivého toku na proudu stává strmější. To je nutno při modulaci respektovat a modulovat laserovou diodu od klidového proudu I_s .

Vnější modulace se provádí pomocí látek, v nichž se mění index lomu nebo absorpce světla v závislosti na veličině, kterou je možné měnit v taktu modulace. Změny indexu lomu je možné docílit na základě elektrooptického nebo piezoelektrického jevu.

ELEKTROOPTICKÝ JEV

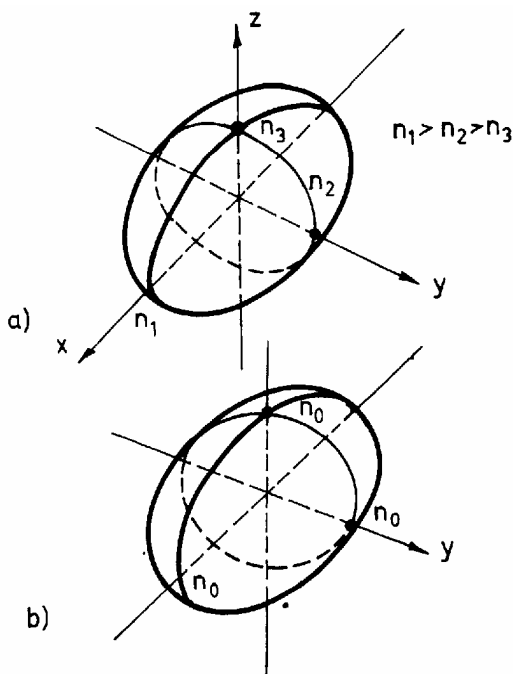
(ZMĚNA INDEXU LOMU V ELEKTRICKÉM POLI)

Optické vlastnosti některých materiálů se mění při působení elektrického pole. Anizotropní krystaly mají na rozdíl od izotropních látek permitivitu $\varepsilon = 1/n^2$ (permeabilitu předpokládáme rovnou jedné) závislou na směru šíření světla. Funkce $n(x,y,z)$ vytváří v prostoru elipsoid (Fresnelův) s rovnicí

$$\varepsilon_x x^2 + \varepsilon_y y^2 + \varepsilon_z z^2 = \frac{x^2}{n_1^2} + \frac{y^2}{n_2^2} + \frac{z^2}{n_3^2} = 1 \quad (9.1)$$

Tento elipsoid má tedy obecný tvar, každá osa souřadnic protíná elipsoid v hodnotě jedné ze tří hlavních hodnot indexu lomu, které elipsoid charakterizují, viz obrázek.

V elipsoidu existují dva řezy, které jsou kruhové a kolmice k těmto řezům udávají směr optických os krystalu.



Obr. Elipsoid indexů lomu dvojosého (a) a jednoosého (b) krystalu.

Krystal je tedy v obecném případě dvojosý. Značná část krystalů je jednoosá, jejich vlastnosti lze zobrazit elipsoidem s rotační symetrií kolem jediné hlavní osy. Rozdílné indexy lomu pro různé směry v krystalu vedou k tomu, že rychlost šíření paprskového svazku závisí na směru roviny polarizace procházejícího záření v závislosti na směru šíření optické vlnoplochy vzhledem k optickým osám krystalu. Tím vznikají některé jevy jako např. dvojlom, rotace roviny polarizace při průchodu atd.

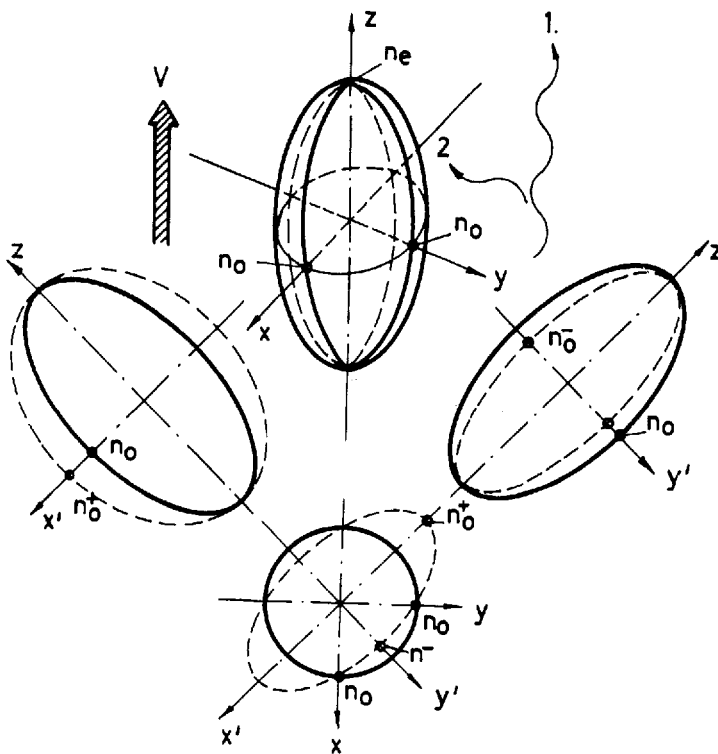
Dvojlom světla

Paprsek dopadající na anizotropní krystal se po průchodu krystalem rozdělí na dva: řádný a mimořádný paprsek. Řádný paprsek postupuje tak jako v izotropním prostředí, splňuje zákon lomu a jeho rychlost nezávisí na směru šíření. Mimořádný paprsek je posunutý (odkloněný) od řádného a neřídí se zákonem lomu.

V krystalu existuje jeden nebo dva směry, pro které nenastává dvojlom. Tento směr se nazývá **optická osa**. Podle počtu os dělíme krystaly na jednoosé a dvojosé. Optická osa a dopadající paprsek tvoří **rovinu hlavního řezu**. Při dvojlomu jsou řádný a mimořádný paprsek dokonale lineárně polarizovány, paprsky s různým směrem polarizace se pohybují krystalem různou rychlostí, při průchodu polarizovaného záření dochází ke změně směru roviny polarizace záření.

Modulace optických signálů

Při elektrooptickém jevu dochází v elektrickém poli k deformaci tvaru elipsoidu, takže např. z jednoosého krystalu se může stát v elektrickém poli dvojosý (viz obrázek)



Obr. Změny jednoosého elipsoidu indexů lomu elektrooptického krystalu při přiložení napětí ve směru V: nahoře pohled, dole průměty; při zpracování informace se využívá průchodu záření buď ve směru osy z (1), nebo ve směru osy y' (2).

Původní rovnice elipsoidu

$$a_1x^2 + a_2y^2 + a_3z^2 = 1 \quad (9.2)$$

se po zavedení elektrického pole změní na

$$a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{33}z^2 + 2a_{12}xy + 2a_{23}yz + 2a_{31}zx = 1 \quad (9.3)$$

Modulace optických signálů

Jednotlivé koeficienty lze popsat pomocí výrazů

$$\left. \begin{aligned} a_{11} - a_1 &= r_{11}E_x + r_{12}E_y + r_{13}E_z \\ a_{22} - a_2 &= r_{21}E_x + r_{22}E_y + r_{23}E_z \\ a_{32} - a_3 &= r_{31}E_x + r_{32}E_y + r_{33}E_z \\ a_{23} &= r_{41}E_x + r_{42}E_y + r_{43}E_z \\ a_{31} &= r_{51}E_x + r_{52}E_y + r_{53}E_z \\ a_{12} &= r_{61}E_x + r_{62}E_y + r_{63}E_z \end{aligned} \right\} \text{lineární (Pockelsův) elektrooptický jev}$$

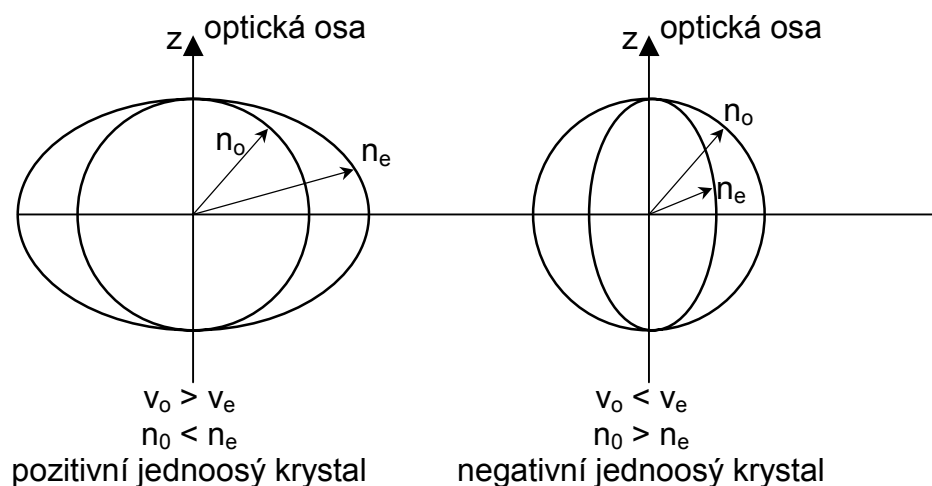
$$\underbrace{\begin{aligned} a_{11} - a_1 &= R_{11}E_x^2 + R_{12}E_y^2 + R_{13}E_z^2 + R_{14}E_yE_z + R_{15}E_xE_z + R_{16}E_xE_y \\ a_{22} - a_2 &= R_{21}E_x^2 + R_{22}E_y^2 + R_{23}E_z^2 + R_{24}E_yE_z + R_{25}E_xE_z + R_{26}E_xE_y \\ a_{32} - a_3 &= R_{31}E_x^2 + R_{32}E_y^2 + R_{33}E_z^2 + R_{34}E_yE_z + R_{35}E_xE_z + R_{36}E_xE_y \\ a_{23} &= R_{41}E_x^2 + R_{42}E_y^2 + R_{43}E_z^2 + R_{44}E_yE_z + R_{45}E_xE_z + R_{46}E_xE_y \\ a_{31} &= R_{51}E_x^2 + R_{52}E_y^2 + R_{53}E_z^2 + R_{54}E_yE_z + R_{55}E_xE_z + R_{56}E_xE_y \\ a_{12} &= R_{61}E_x^2 + R_{62}E_y^2 + R_{63}E_z^2 + R_{64}E_yE_z + R_{65}E_xE_z + R_{66}E_xE_y \end{aligned}}_{\text{kvadratický (Kerrův) elektrooptický jev}}$$

kvadratický (Kerrův) elektrooptický jev

Součinitele r_{ij} (R_{ij}) jsou elektrooptické moduly - lze uspořádat do matice, v různých materiálech se uplatňují jen některé z nich a některé z nich jsou si rovny.

Rozlišujeme tři případy:

- a) Látky krystalizující v kubické soustavě mají $n_x = n_y = n_z$. Geometrickým tvarem funkce $n(x,y,z)$ je koule – jedná se o opticky izotropní látky. Anizotropii lze vyvolat fyzikálními vnějšími poli.
- b) Látky krystalizující v trigonální, tetragonální a hexagonální soustavě mají např. $n_x = n_y \neq n_z$. Funkce $n(x,y,z)$ tvoří rotační elipsoid (pro mimořádný paprsek). Tyto látky vykazují jednoosou anizotropii. Optická osa je totožná se směrem, ve kterém mají řádný i mimořádný paprsek stejné rychlosti (indexy lomu $n_o = n_e$).



Modulace optických signálů

Intenzita elektrického pole (vektor elektrické intenzity) řádného paprsku kmitá kolmo na hlavní rovinu (hlavní řez), což je rovina v níž leží optická osa a uvažovaný paprsek.

Vektor intenzity elektrického pole mimořádného paprsku kmitá rovnoběžně s hlavní rovinou.

Leží-li optická osa v rovině dopadu jsou řádný a mimořádný paprsek polarizovány v rovinách navzájem kolmých.

Když je optická osa kolmá na rozhraní a paprsek dopadá kolmo – dvojlom nevzniká.

Když je optická osa rovnoběžná s rozhraním, potom při kolmém dopadu postupují řádný i mimořádný paprsek stejným směrem, ale vzniká mezi nimi fázový posuv.

c) Látky, které krystalizují v soustavě orthorombické, monoklinické a triklinické mají $n_x \neq n_y \neq n_z$. Funkce $n(x,y,z)$ tvoří obecný elipsoid. Jsou to látky dvojosé.

Modulace optických signálů

Vedle Kerrova jevu (kvadratického) nabyl na významu zejména Pockelsův lineární elektrooptický jev. Jak bylo již uvedeno, vlivem elektrického pole mění Fresnelův elipsoid orientaci a velikost poloos. V elektrickém poli se složkami $E_x=E_1$, $E_y=E_2$, $E_z=E_3$ je popsán rovnicí:

$$\frac{x^2}{n_x^2} + \frac{y^2}{n_y^2} + \frac{z^2}{n_z^2} + \sum_{k=1}^3 (r_{1k}x^2 + r_{2k}y^2 + r_{3k}z^2 + 2r_{4k}yz + 2r_{5k}xz + 2r_{6k}xy) E_k = 1.$$

Následkem krystalové symetrie je většina koeficientů r_{jk} pro daný krystal nulová. Zbývající koeficienty vykazují značnou závislost na teplotě a poměrně malou na vlnové délce.

Elektrooptické materiály je možno zařadit do několika skupin s různou krystalickou strukturou. Nejznámější skupinu tvoří tetragonální krystaly k nimž patří KH_2PO_4 (KDP), NH_4PO_4 (ADP) a trigonální LiTaO_3 , LiNbO_3 .

Zvolíme-li osu z za optickou osu krystalu, platí bez přítomnosti elektrického pole

$$\frac{x^2}{n_o^2} + \frac{y^2}{n_o^2} + \frac{z^2}{n_e^2} = 1, \text{ (tj. elipsoid je symetrický vzhledem k ose } z\text{)}$$

Modulace optických signálů

Pro krystaly KDP a ADP (tetragonální) platí za přítomnosti elektrického pole ve směru optické osy z

$$\frac{x'^2}{(n_0 + \Delta n)^2} + \frac{y'^2}{(n_0 - \Delta n)^2} + \frac{z^2}{n_e^2} = 1 \quad (9.4)$$

příčemž osy x' a y' jsou vzhledem k x a y pootočený o $\pi/4$ a

$$\Delta n = n_0^3 r_{63} \frac{E_3}{2}.$$

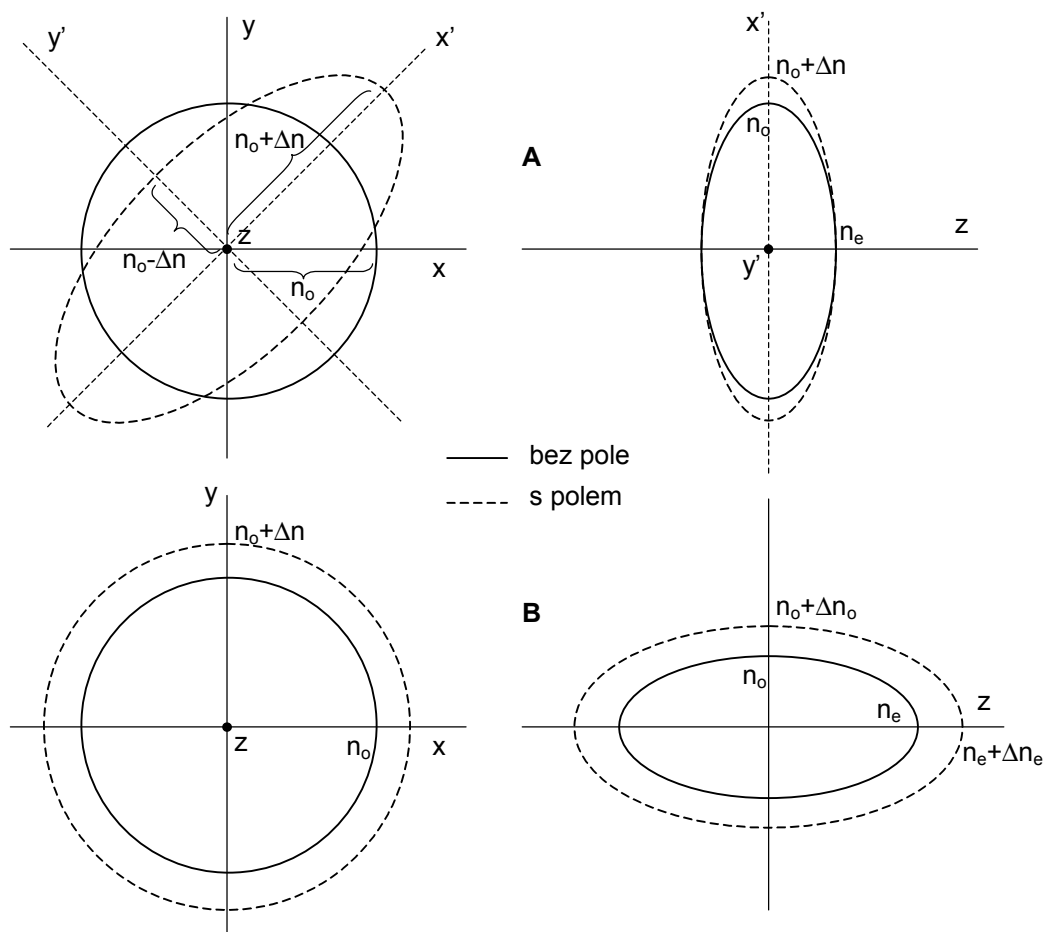
Pro krystaly LiTaO_3 a LiNbO_3 (trigonální) se elipsoid transformuje na

$$\frac{x^2}{(n_0 + \Delta n_0)^2} + \frac{y^2}{(n_0 + \Delta n_0)^2} + \frac{z^2}{(n_e + \Delta n_e)^2} = 1 \quad (9.5)$$

$$\text{kde } \Delta n_0 = -n_0^3 r_{13} \frac{E_3}{2}, \quad \Delta n_e = -n_e^3 r_{33} \frac{E_3}{2}.$$

Na obrázku jsou znázorněny oba případy bez pole a s polem. Z obrázku je názorně vidět, co se stane, jestliže E má směr optické osy krystalu, potom LiTaO_3 , LiNbO_3 zůstanou i v přítomnosti pole jednoosé. Krystaly KDP a ADP se stanou dvouosými pro světlo postupující ve směru z . Pro světlo s polarizací x' index lomu stoupne o Δn , pro světlo polarizované ve směru y' klesne index lomu o tutéž hodnotu.

Modulace optických signálů



Fázová modulace je možná dvěma způsoby: buď světlo prochází ve směru pole přiloženého ke krystalu, nebo ve směru kolmém na intenzitu elektrického pole. V prvním případě jde o podélný, ve druhém případě o příčný elektrooptický jev. Při využití příčného jevu prochází krystalem světlo polarizované ve směru x' nebo y' . Je-li délka krystalu L a přiložené napětí U , je fázové posunutí vyvolané elektrickým polem rovno

$$\Delta\varphi = \pi n_0^3 r_{63} \frac{U}{\lambda} \frac{L}{d}, \text{ kde } d \text{ je vzdálenost elektrod. ři daném napětí}$$

Ize $\Delta\varphi$ zvětšit poměrem $\frac{L}{d}$.

Modulace optických signálů

Při použití trigonálních krystalů LiNbO_3 a LiTaO_3 mají Δn_o a Δn_e stejná znaménka, přičemž $\Delta n_e > \Delta n_o$. Proto lze realizovat pouze podélný (příčný) jev a světlo musí být polarizováno ve směru (kolmo) přiloženého elektrického pole. Fázové posunutí vychází

$$\Delta\varphi = \pi n_e^3 r_{33} \frac{U}{\lambda} \frac{L}{d} .$$

Vzhledem k tomu, že koeficient r_{33} pro tyto krystaly je 3 až 4× větší než r_{63} pro KDP a ADP, jsou LiTaO_3 , LiNbO_3 v současné době nejefektivnějšími modulátory světla

($r_{33} \sim 3 \times 10^{-8} \text{ mV}^{-1}$).

Protože intenzita záření je úměrná čtverci amplitudy, probíhá modulace dopadající intenzity podle výrazu

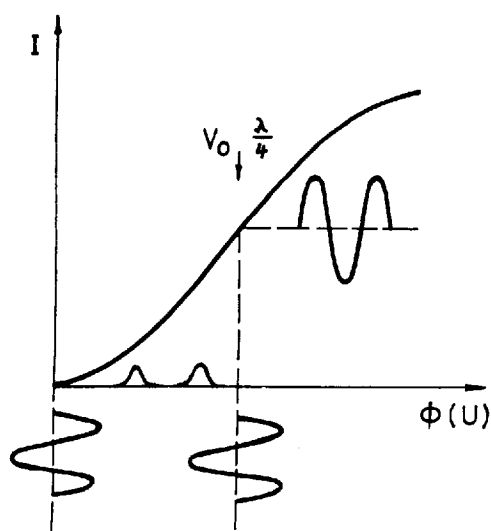
$$I = I_0 \sin^2 U ,$$

kde U je modulační napětí. Závislost I na U není tedy lineární, zlepšení lze dosáhnout tak, že se změní fáze ve výrazu pro \sin^2 :

$$\sin^2\left(U + \frac{\pi}{4}\right) = \frac{1}{2} \cos 2\left(U + \frac{\pi}{2}\right) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin 2U .$$

Modulace optických signálů

Změny fáze lze dosáhnout buď tak, že se použije stejnosměrného předpětí na modulačním krystalu, nebo že se zařadí do chodu paprskového svazku čtvrtvlnná destička, viz obrázek:



Obr. Vyrovnání nelinearity intenzity při amplitudové modulaci

Z hlediska přenosu signálů optickými vlákny je výhodné použít ***impulsové modulace***. Šířka nebo pozice pulsu napodobí předávanou informaci. Impulsová modulace může být

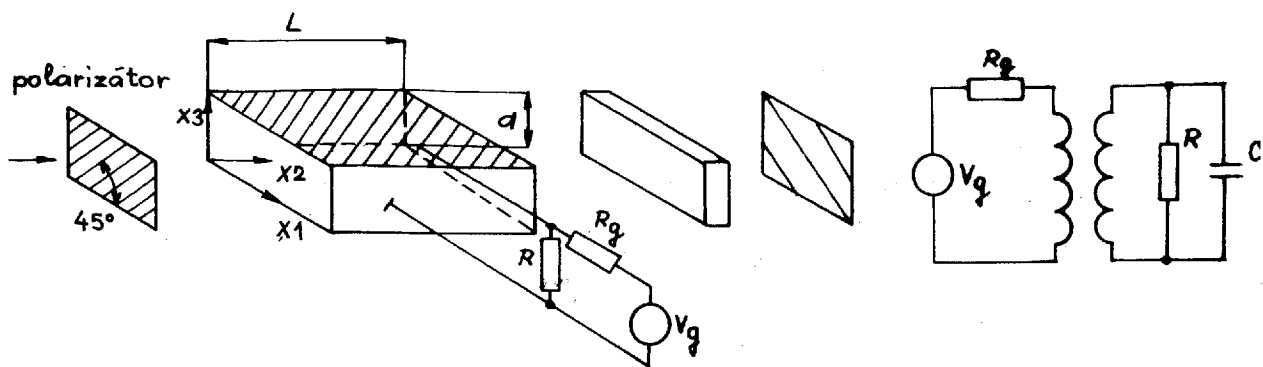
- pulsně amplitudová (PAM)
- pulsně šířková (PŠM)
- pulsně polohová (PPM)
- pulsně kódová (PCM)

Často se využívá modulace typu PPM, u které je vzorek signálu určen časovým odstupem tvarově vždy stejného impulsu od určité pevné časové polohy, odpovídající nulovému signálu.

Rovněž výhodné je použití PCM, kdy se modulační signál převádí do digitální formy a vzorek signálu se přenáší skupinou impulsů, reprezentující číslo v binární soustavě.

Modulace optických signálů

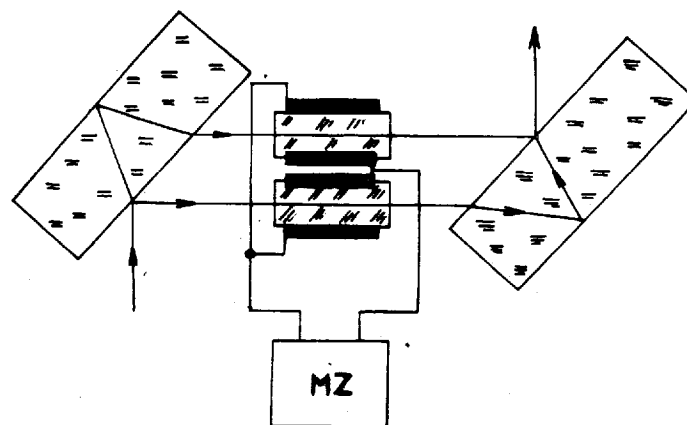
Nejrozšířenějším typem modulátorů je modulátor využívající příčného elektrooptického jevu, tzn. že intenzita elektrického pole působí kolmo na směr šíření světelného svazku. Jestliže je modulující elektrické pole uvnitř krystalu homogenní, může být krystal s elektrodami považován za prvek se soustředěnými parametry C a R , proto jsou tyto modulátory označovány jako modulátory se soustředěnými parametry. Viz obrázek:



Obr. Schéma modulátoru se soustředěnými parametry.

Modulace optických signálů

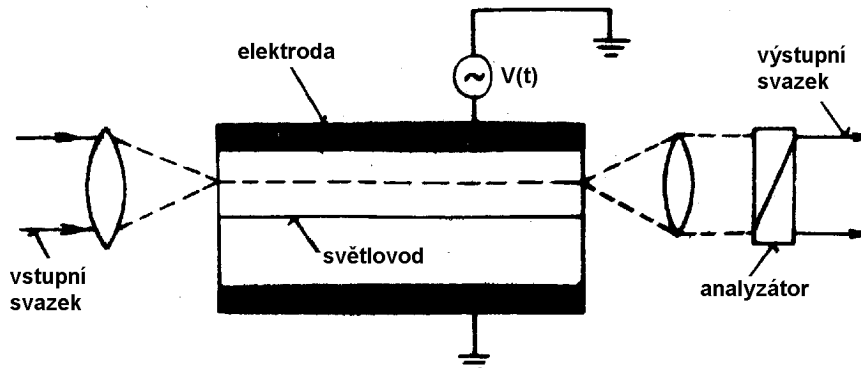
Elektrooptických materiálů lze využít ve schématech tzv. **interferenčních modulátorů**, ve kterých se k přeměně posuvu fáze na proměny intenzity výstupního záření využívá interference dvou zářivých svazků. Optické schéma je odvozeno ze schématu interferometru, do obou větví jsou vloženy výbrusy elektrooptických materiálů, jejichž vlastnosti se zpravidla v opačném smyslu mění přiloženým modulačním napětím. V jedné větvi se tedy optická dráha prodlužuje a v druhé zkracuje, takže na výstupu dochází po spojení obou rozdělených svazků k jejich interferenci, vedoucí k intenzitní modulaci. Varianta tohoto modulátoru je na následujícím obrázku:



Obr. Interferenční modulátor s elektrooptickou protifázovou modulací.

Modulace optických signálů

Významné jsou realizace elektrooptických modulátorů v planární a integrované formě. Modulace v tenkovrstvém světlovodu umožňuje další zmenšení příčných rozměrů modulátorů, a tím i snížení potřebného modulačního výkonu. Tenkovrstvové světlovody lze rozdělit na planární a páskové. V planárních světlovodech je fokusovaný světelný paprsek ještě v jednom směru difraktován – v rovině vrstvy světlovodu. Páskový světlovod je již bez difrakce. Uspořádání elektrooptického modulátoru s příčným elektrooptickým jevem v planárním světlovodu je na následujícím obrázku:



Obr. Elektrooptický modulátor s planárním světlovodem.

Světelný svazek je svázán čočkou do světlovodu. Elektrody jsou vytvořeny tak, aby intenzita elektrického pole působila kolmo na směr šíření světelného paprsku. Vyvázání již modulovaného světelného svazku je provedeno opět čočkou.

Modulace optických signálů

Difrakční elektrooptické modulátory využívají difrakce světla na mřížce tvořené periodickou změnou indexu lomu. Na povrchu planárního světlovodu se vytvoří řada páskových elektrod, přičemž sousední se liší polaritou napětí. Je vyvolána periodická změna indexu lomu, na níž paprsek difrakuje.

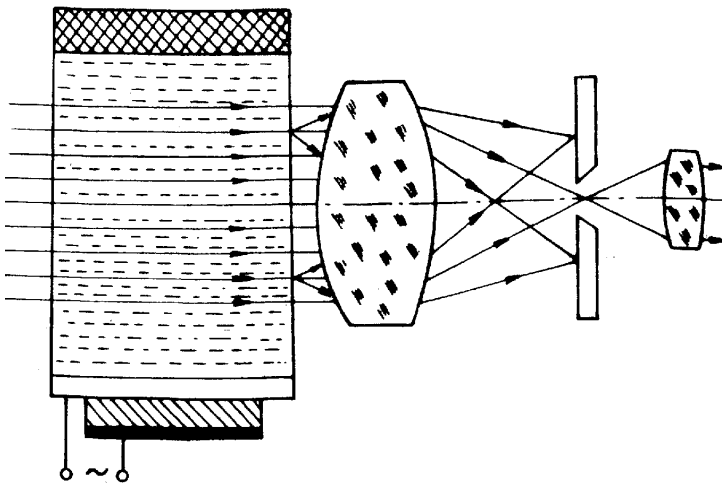
AKUSTOOPTICKÉ MODULÁTORY

Akustooptický princip modulace je založen na principu difrakce světelné vlny na akustických vlnách. Fyzikální důvod proč světelný svazek difraktuje na akustické vlně spočívá v tom, že akustická vlna vyvolá změnu hustoty prostředí. Změna hustoty prostředí je doprovázena změnou indexu lomu. Periodická změna indexu lomu vytváří v prostoru fázovou mřížku a ta je příčinou difrakce dopadajícího světelného svazku.

K modulaci koherentního světelného svazku se využívá difrakce světelného svazku na akustické vlně v tzv. Braggově režimu, kdy světlo difraktuje pouze do jednoho směru. Difrakce je účinná pouze v tom případě, když směr šíření dopadajícího a difraktovaného svazku je přibližně symetrický vzhledem k čelu akustické vlny. Úhel mezi difraktovaným a nedifraktovaným světelným svazkem je roven dvojnásobnému úhlu Braggovu. Maximální šířka modulačního pásma je definována podmínkou, aby difraktovaný světelný paprsek neinterferoval s procházejícím svazkem. Intenzita difraktovaného světelného svazku je úměrná intenzitě akustického svazku. S rostoucí intenzitou akustické vlny roste intenzita **difraktovaného** svazku a intenzita **nedifraktovaného** svazku klesá.

Modulace optických signálů

Jestliže akustická vlna bude amplitudově modulována signálem o kmitočtu f_m , pak intenzita obou světelných svazků vycházejícího z akustooptického prostředí bude také modulována tímto kmitočtem. Difraktované svazky mají velkou hloubku modulace, ale různý směr šíření. U nedifraktovaného svazku je hloubka modulace malá.



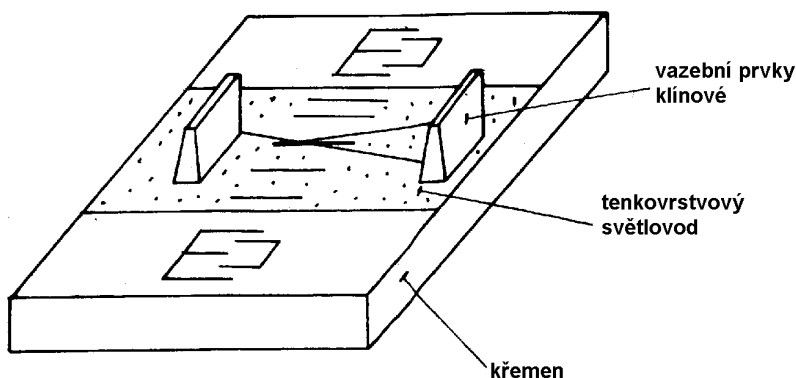
Obr. Akustooptický modulátor.

Příklad akustooptického modulátoru, založeného na odklonu procházejícího světelného záření na mřížce je na obrázku. Pomocí vhodného piezoelektrického měniče se elektrické kmity přemění na mechanické,

přivedou se do prostředí měnícího index lomu s tlakem a v něm vytvoří probíhající vlna mřížku, jejíž hustota závisí na přivedeném kmitočtu. Na hustotě mřížky závisí i úhel odklonu a tím i množství zářivé energie, procházející otvorem ve stínítku.

Modulace optických signálů

Modernější jsou planární akustooptické prvky, ve kterých se používá akustických povrchových vln a světelný paprsek je veden v tenké vrstvě světlovodu. Dosahují se tak lepší vlastnosti, miniaturizace, vyšší účinnost a menší budicí výkon, protože jak akustická, tak světelná vlna jsou rozprostřeny těsně pod povrchem krystalu, a to umožňuje dosáhnout velkou interakční dráhu. Principiální schéma



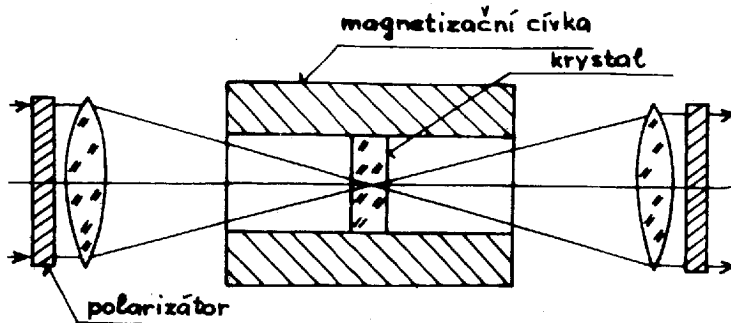
Obr. Akustooptický planární modulátor.

uspořádání tenkovrstvého modulátoru je na obr.:

Základ tvoří vhodný substrát z akustooptického materiálu, který má dobré piezoelektrické vlastnosti. Na tomto substrátu se musí vytvořit tenká světlovodná vrstva – planární

světlovod. Světelný svazek je pomocí hranolu navázán se světlovodem a v něm se potom šíří světlovodným mode. V interakční oblasti dané šířkou a sloupcem akustické vlny dochází k difrakci. Dále se šíří světlovodem jak svazek difraktovaný, tak svazek nedifraktovaný. Vывázání světelného svazku z planárního světlovodu se provede opět hranolem. Akustická povrchová vlna se generuje interdigitálním měničem, což je soustava páskových elektrod, z nichž dvě sousední se liší polaritou přiloženého napětí. Kmitočet akustické povrchové vlny vybuze tímto měničem odpovídá vzdálenosti dvou nejbližších elektrod na stejném potenciálu. Účinnost akustooptické interakce v planárním uspořádání závisí značně na vlastnostech světlovodu. Modulační šířky dosahují i několika stovek MHz, výkony řádově mW.

MAGNETOOPTICKÝ PRINCIP MODULACE

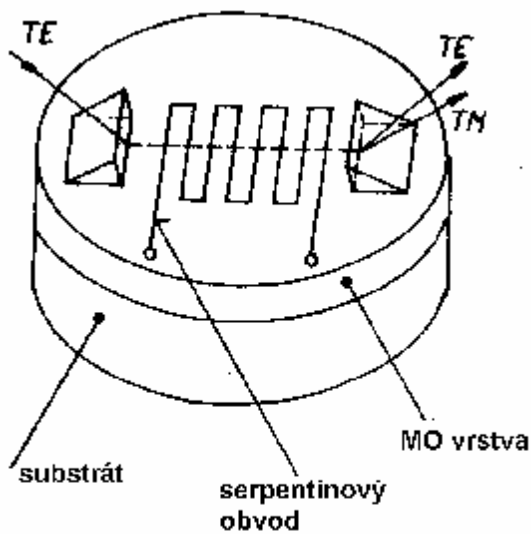


Obr. Magnetooptický modulátor.

Změny indexu lomu lze dosáhnout i pomocí magnetooptických materiálů. Využívá se principu Faradayovy rotace – dopadá-li lineárně polarizovaná světelná

vlna na magnetooptický krystal ve směru magnetizace, rozkládá se na dvě kruhově polarizované vlny a po průchodu krystalem se opět skládá v lineárně polarizovanou vlnu. Rovina polarizace je však stočena o Faradayovu rotaci na jednotku délky. Uspořádání modulátoru je na obrázku. Jako magnetooptického materiálu je použito $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, který je umístěn v modulačním magnetickém poli, vyvolaném cívkou. Natáčení roviny polarizace je přeměněno na změnu amplitudy pomocí polarizačních filtrů.

Modulace optických signálů

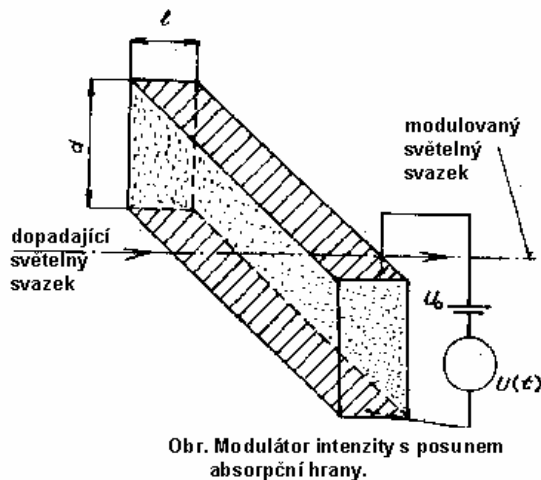


Obr. Magnetooptický planární modulátor.

V poslední době se přechází i zde na konstrukci v planární formě. Na magnetooptickém materiálu se musí vytvořit účinný světlovod, který vede světelný svazek ve velmi tenké vrstvě. Cívka, kterou protéká modulační proud bývá vytvořena ve formě serpentinového obvodu. Principiální

uspořádání modulátoru je na obrázku. Světelný svazek je zaveden hranoly do světlovodu jako TM mod. Faradayova rotace způsobuje v magnetooptické vrstvě konverzi modu TE v TM mod. Velikost konverze je řízena modulačním proudem v cívce vytvořené na povrchu vrstvy.

ABSORPČNÍ MODULÁTORY SVĚTLA



využívají jednak jevu posunutí hrany optické absorpce a jednak absorpce světla volnými nositeli proudu.

V absorpčních modulátorech tvoří aktivní prostředí modulátoru dielektrikum nebo polovodič. Principiální schéma uspořádání takového modu-

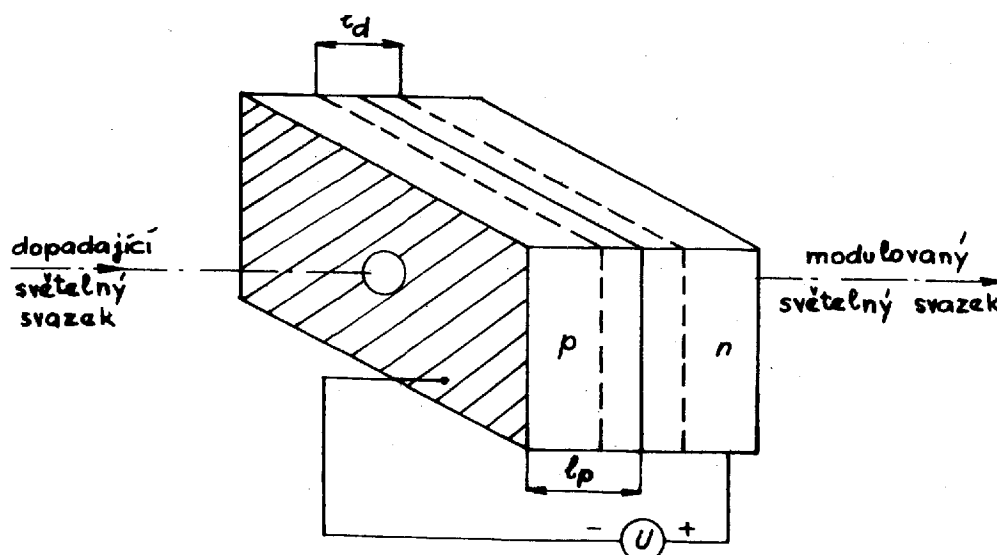
látoru je na obrázku.

Vlivem vnějšího elektrického pole nastává posunutí dlouhovlnné hrany základního pásma optické absorpce směrem k nižším energiím, čili k delším vlnovým délkám. Tohoto jevu může být využito k velmi rychlé modulaci intenzity světelného svazku.

Kmitočtové pásmo je omezeno převrácenou hodnotou relaxační doby krystalické mřížky, která se při pokojové teplotě pohybuje kolem hodnoty 10^{-13} s.

Modulace optických signálů

Druhý typ modulátorů využívá skutečnosti, že absorpce světla v polovodiči za dlouhovlnnou hranou základního absorpčního pásu je hlavně způsobena volnými nositeli proudu. Tohoto jevu je pak využito pro modulaci světelného svazku v přechodu P – N, polarizovaném v závěrném nebo vodivém směru. Rychlá modulace světelného svazku může být realizována pouze v přechodu polarizovaném v závěrném směru. V tomto případě je modulační pásmo teoreticky omezeno relaxační dobou nositelů proudu – 10^{-13} s, prakticky však časovou konstantou definovanou jako součin sériového obvodu a kapacitou přechodu. V modulátoru tohoto typu (viz obrázek) rozhoduje o absorpci světla děrová absorpce v oblasti s vodivostí typu p, nikoli oblast přechodu, která je vzhledem k silnému elektrickému poli skoro úplně zbavena volných nositelů. Se změnou napětí se mění délka oblasti s vodivostí typu p, která rozhoduje o absorpci světla.



Obr. Absorpční modulace světla volnými nositeli proudu v přechodu P-N zpolarizovaném v závěrném směru.