

Úloha 8: Akustooptický modulátor s postupnou a stojatou akustickou vlnou

Datum měření: 11.3.2015
Zpracoval: David Roesel
Spolupracovala: Tereza Schönfeldová

Skupina: G
Kruh: FE
Klasifikace:

1 Úvod

Akustooptické modulátory vychylují nebo posouvají frekvenci optického záření za pomoci zvukových vln. Typicky se využívají pro Q-spínání nebo pro synchronizaci módů v rezonátoru. Oba typy jsme si v této úloze detailně prostudovali a vyzkoušeli jejich použití v základním sestavení. Proměřili jsme také některé jejich parametry a porovnali je s předem určenými teoretickými hodnotami.

2 Domácí příprava

1. Uvažujte akustooptický modulátor z taveného křemene o interakční délce $l = 40$ mm a indexu lomu $n = 1,46$. Rychlost šíření ultrazvuku v křemenu uvažujte $v_{ak} = 6$ km/s. Spočítejte vlnovou délku zvukové vlny Λ pro budící frekvence 45 MHz a 75 MHz.

Pro tento výpočet jsme vyšli ze vzorce

$$\Lambda = \frac{v_{ak}}{f},$$

číselně pak

$$\Lambda_1 = \frac{6 \cdot 10^3}{45 \cdot 10^6} \text{ m} \doteq 133,3 \mu\text{m},$$

$$\Lambda_2 = \frac{6 \cdot 10^3}{475 \cdot 10^6} \text{ m} = 80 \mu\text{m}.$$

2. Spočítejte součin $l \cdot \lambda$ a porovnejte ho s kvadrátem akustické vlnové délky Λ^2 pro obě budící frekvence. Určete, zda je splněna podmínka

$$l \cdot \lambda \ll \Lambda^2 \quad (1)$$

pro Raman-Nathovu, nebo podmínka

$$l \cdot \lambda \gg \Lambda^2 \quad (2)$$

pro Braggovu difrakci.

Za daného l a pro $\lambda = \lambda_0/n$ platí

$$l \cdot \lambda = 40 \cdot 10^{-3} \frac{632 \cdot 10^{-9}}{1,46} \text{ m} \doteq 1,732 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2,$$

kde

$$\Lambda_1^2 \doteq 1,778 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 > l \cdot \lambda,$$

$$\Lambda_2^2 \doteq 6,4 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 < l \cdot \lambda,$$

což zejména v prvním případě neodpovídá ani jedné z podmínek.

3. Pro případ AOML stanovte frekvenční vzdálenost dvou rezonančních frekvencí, s uvažovanou tloušťkou modulátoru $L = 1 \text{ cm}$, podle vzorce

$$\Delta f = \frac{v_{ak}}{2L}.$$

Z výše zmíněného vzorce plyne

$$\Delta f = \frac{6 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{-2}} \text{ Hz} = 300 \text{ kHz}.$$

4. Spočítejte pro obě budící frekvence Braggův úhel v prostředí modulátoru o indexu lomu n a úhlovou odchylku prvního difrakčního maxima vně modulátoru. Použijte vztahy

$$\sin \Theta = \frac{\lambda}{2\Delta},$$

$$2\Theta' = 2n\Theta \approx \frac{\lambda_0}{\Delta}.$$

Z inverze prvního vztahu plyne

$$\Theta_1 = \arcsin \left(\frac{\lambda_0}{n} \frac{1}{2 \cdot \Lambda_1} \right) = \arcsin \left(\frac{632 \cdot 10^{-9}}{1,46} \frac{1}{2 \cdot 133,3 \cdot 10^{-6}} \right) \doteq 0,09^\circ,$$

$$\Theta_2 = \arcsin \left(\frac{\lambda_0}{n} \frac{1}{2 \cdot \Lambda_2} \right) = \arcsin \left(\frac{632 \cdot 10^{-9}}{1,46} \frac{1}{2 \cdot 80 \cdot 10^{-6}} \right) \doteq 0,016^\circ,$$

$$2\Theta'_1 = 16,29',$$

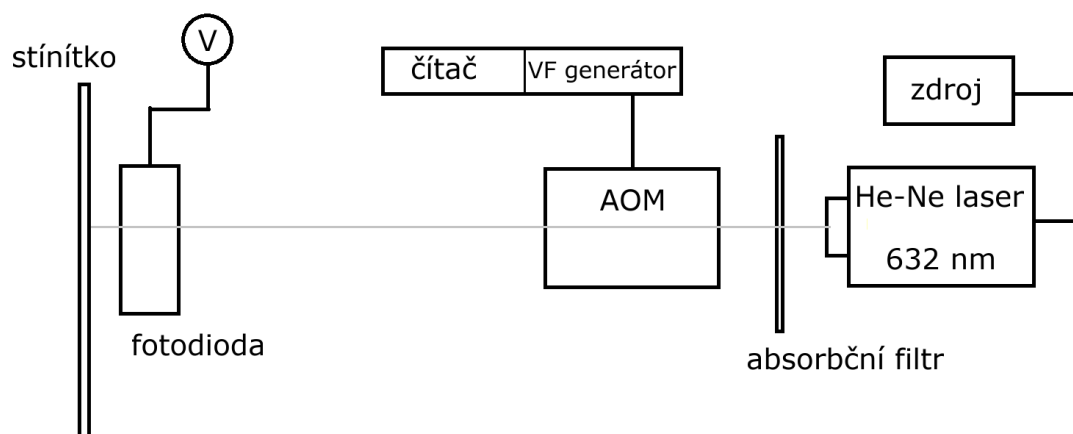
$$2\Theta'_2 = 27,16'.$$

3 Postup a výsledky

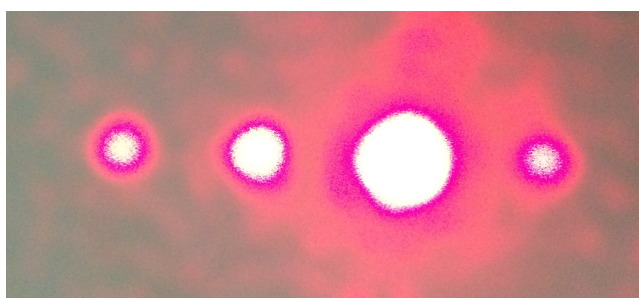
Při měření jsme postupovali tak jako v návodu [1]. Kromě součástek na principiálním schématu uspořádání ze zadání jsme měli v optické dráze laseru umístěný také absorpční filtr aby nedocházelo k přehlcení diody. Námi použité schéma tedy vypadalo v plném sestavení tak jako na Obr. 1.

3.1 Tvar difrakčních obrazců

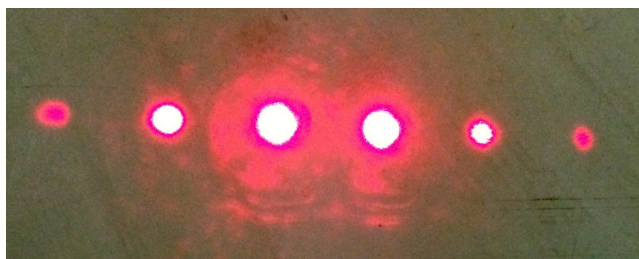
Jako první jsme používali AOQS modulátor. Ze všeho nejdříve jsme se ho pokusili nastavit tak, aby nedocházelo k nechtěným odrazům, a nastavili jsme výkon zdroje modulátoru na maximum. Poté jsme odebrali ze soustavy absorpční filtr a fotodiodu a měnili jsme úhel natočení modulátoru. Při tom jsme sledovali intenzitu difrakčního obrazce na stínítku. V momentu, kdy se nám intenzita zdála nejvyšší, jsme fotoaparátem na mobilu zaznamenali podobu obrazce, viz Obr. 2. Stejný postup jsme uplatnili při práci s AOML modulátorem, jen jsme kromě polohy modulátoru měnili i jeho budící frekvenci. Zaznamenaná podoba obrazce je vynesena na Obr. 3.



Obrázek 1: Principiální schéma uspořádání měření.



Obrázek 2: Zaznamenaná podoba difrakčního obrazce při použití modulátoru AOQS.



Obrázek 3: Zaznamenaná podoba difrakčního obrazce při použití modulátoru AOML.

3.2 Úhlové vzdálenosti difrakčních maxim

Za stejného zapojení jsme změřili vzdálenost mezi středem AO modulátorů a difrakčními obrazci na stínítku jako $b_1 = 1,386$ m pro AOQS modulátor a $b_2 = 1,368$ m pro AOML modulátor. Dále jsme změřili vzdálenosti mezi 1. a -2. maximem jako $a_1 = 20$ mm a $a_2 = 35$ mm a tyto jsme vydělili třemi pro získání vzdáleností nultého a prvního maxima. Úhlové vzdálenosti mezi nultým a prvním maximem jsme získali snadno z goniometrických vztahů a určili jako $2\theta_1 = 16,75'$ a $2\theta_2 = 28,94'$.

3.3 Změření hloubky modulace

Jen s drobnými změnami zapojení jsme měřili hloubku modulace m . Nejprve jsme vložili do dráhy laseru překážku a změřili tak fotodiodou pozadí v místnosti spolu s temným proudem jako 0,3 V při měření s AOQS a 0,2 V při měření s AOML modulátorem. Hloubka modulace m je definována jako procentuální pokles energie záření dopadajícího do oblasti nultého maxima způsobený zapnutím modulace. Změřili jsme tedy napětí U_{vyp} při vypnutých modulátorech a U při jejich opětovném zapnutí. Po odečtení hladiny pozadí jsou data vynesena do Tab. 1. Minimální výkon při AOQS byl 5 W, maximální se blížil k 15 W. U AOML byl maximální

výkon zhruba 5 W.

	U [V]	U_{vyp} [V]	m [%]
AOQS (max)	3,2	3,9	18
AOQS (min)	3,5	3,9	10
AOML (max)	2,3	4,4	48

Tabulka 1: Naměřené a vypočtené hodnoty pro změření hloubky modulace m pro oba druhy modulátorů a maximální/minimální budící elektrické výkony; U_{vyp} je napětí naměřené při vypnutém modulátoru, U při zapnutém modulátoru.

3.4 Poměr výkonu v jednotlivých difrakčních řádech

Za identického sestavení jsme proměřili výkony v jednotlivých řádech, opět nepřímo přes napětí na fotodiodě. Poměr výkonu v daném maximu k výkonu nemodulovaného signálu nazýváme difrakční účinností η a jeho námi vypočítané hodnoty pro jednotlivé situace jsou vyneseny v Tab. 2.

	řád	U [V]	η [%]
AOQS	1.	0,6	15,38
$U_{vyp} = 3,9$ V	0.	3,0	76,92
	-1.	0,1	2,56
AOML	1.	0,2	4,55
$U_{vyp} = 4,4$ V	0.	2,3	52,27
	-1.	1,9	43,18
	-2.	0,1	2,27

Tabulka 2: Naměřené a vypočtené hodnoty při určování difrakční účinnosti η s jednotlivými modulátory pro různé difrakční řády; U je napětí na fotodiodě v daném řádu, U_{vyp} je napětí naměřené v nultém maximu při vypnuté modulaci.

3.5 Proměření vzdálenosti difrakčních maxim

Dále jsme změnou budící frekvence generátoru hledali dvě maxima difrakce. Z domácí přípravy jsme předpokládali, že budou od sebe vzdálené přibližně 300 kHz. První maximum jsme našli na frekvenci $f_1 = 74,63868$ MHz a druhé $f_2 = 74,92442$ MHz, což dělá frekvenční vzdálenost

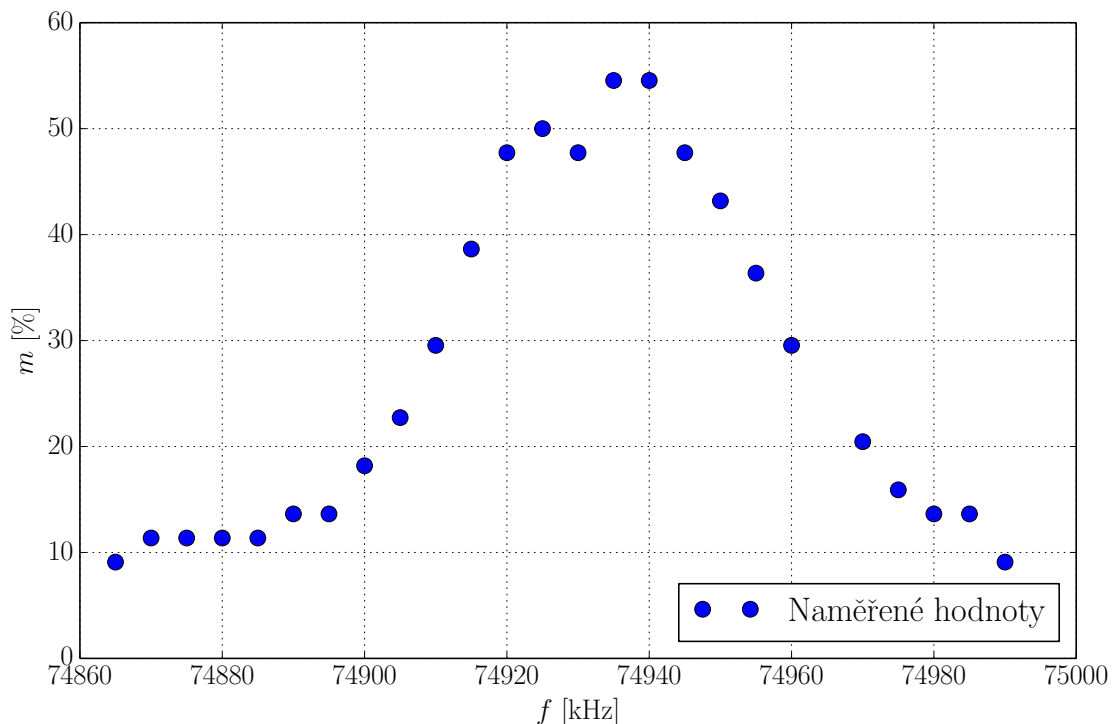
$$\Delta f = 285,74 \text{ kHz.}$$

Celý rozsah jsme následně proměřili detailně s krokem přibližně 5 kHz a zaznamenali jsme závislost hloubky modulace na frekvenci, která je vynesena v grafu na Obr. 4. Šířka v 50 % je přibližně $\Delta f_{fwhm} = 42,5$ kHz, což vede na finesu optického rezonátoru

$$F = \frac{\Delta f}{\Delta f_{fwhm}} = \frac{285,74}{42,5} \text{ kHz} = 6,72 \text{ kHz.}$$

Vezmeme-li rozsah frekvencí, při kterém se hloubka modulace m drží nad úrovní 90 %, dostaneme frekvenční stabilitu jako

$$\Delta f_s = 10,5 \text{ kHz.}$$



Obrázek 4: Vypočítané hodnoty; graf závislosti hloubky modulace m na frekvenci f akustické vlny buzené v AOML rezonátoru.

4 Diskuse a závěr

Při pozorování tvarů difrakčních obrazců jsme měli porovnat pozorované jevy s teorií. Z domácí přípravy vyplynulo, že při modulaci AOQS modulátorem by mělo docházet k Raman-Nathově difrakci, jelikož by se mohlo zdát, že splňoval podmínku 1. Na druhou stranu při použití AOML modulátoru bychom měli pozorovat difrakci Braggovu, jelikož bude splněna podmínka 2. Naše pozorování však tomuto předpokladu neodpovídá, jelikož bylo více patrných maxim při měření s AOML modulátorem. V jedné fázi měření jsme jich pozorovali dokonce sedm, uvádíme však pouze případ s pěti, jelikož odpovídal vyšší difrakční účinnosti ostatních řádů. Tuto odlišnost od domácí přípravy připisujeme tomu, že ani jeden z výpočtů ve skutečnosti nesplňoval danou podmínku. Hodnoty sice byly větší a menší než součin $\lambda \cdot l$, ale rozhodně ne výrazně.

Při pozorování úhlové vzdálenosti difrakčních maxim jsme místo přímého měření vzdálenosti 0. a 1. maxima změřili vzdálenost mezi -1. a 2. maximem a vzdálenost jsme vydělili třemi. Měření jsme tímto výrazně zpřesnili, protože nezanedbatelná velikost jednotlivých maxim hrála menší roli. Do měření jsme však vnesli menší nepřesnost, jelikož goniometrický vztah platí méně přesně ve větší vzdálenosti od osy. Nepřesnost do měření vnášel také svinovací metr, který se různě přetáčel a byl lehce poškozen. I přes tyto nepřesnosti nám ale vyšly hodnoty, které velice dobře odpovídají těm v domácí přípravě vypočítaným. Měření tedy považujeme za úspěšné.

Při měření hloubky modulace byl jasným vítězem AOML modulátor. To sice opět neodpovídá teorii, ale na druhou stranu to velice dobře odpovídá námi pozorovaným obrazcům v prvním úkolu. Tím pádem se opět odvoláváme na diskusi výše a tento fakt nepovažujeme za chybu měření. U AOQS byla hloubka modulace v porovnání výrazně nižší, vyšší výkon však s sebou nesl také vyšší hodnotu m , což odpovídá teorii.

Určování difrakční účinnosti se také v rámci možností podařilo, jelikož naměřené hodnoty odpovídají rámcově pozorovaným jevům. Jako problém by se mohlo zdát, že součet jednotlivých účinností mírně přesahuje 100%. Přesah je ovšem něco málo přes 1%, což se dá snadno přičíst

tomu, že jsme pozadí určovali o minimálně patnáct minut dříve a mohlo se tedy změnit. Dalším faktorem může být omezená přesnost voltmetru, který neukazoval víc než desetiny voltu. Při zaokrouhlování zanedbané hodnoty mohly tedy také přispět.

Při proměřování vzdálenosti difrakčních maxim jsme rámcově potvrdili výsledky naší domácí přípravy. Zdrojů nepřesností totiž bylo více: nestálost hodnot na voltmetru, kolísání frekvenčního generátoru, případně nepřesné parametry modulátorů v zadání [1]. Graf závislosti hloubky modulace m na frekvenci f odpovídá teoretickým předpokladům. Přesnost měření nebyla příliš dobrá, ale trend je jasně pozorovatelný a data stačila na určení požadovaných hodnot, tedy finesy $F = 6,72$ kHz a frekvenční stability (vybrali jsme si hranici 90 %) $\Delta f_s = 10,5$ kHz.

Reference

- [1] *Návod k úloze 8 - Akustooptický modulátor s postupnou a stojatou akustickou vlnou* [online], [cit. 17. března 2015], <http://people.fjfi.cvut.cz/blazejos/public/ul8.pdf>