

Postavte si Nd:YAG laser

V. Mironidis, Gymnázium Most, vojtechmironidis@seznam.cz
L. Kolek, Gymnázium Havířov-Podlesí, luky.kolek@seznam.cz
D. Griglák, Gymnázium P. O. Hvězdoslava,
dominik.griglak@gmail.com

Abstrakt:

V tomto miniprojektu jsme si vyzkoušeli sestavení vlastního laseru (Nd:YAG). Nejprve jsme sestavili rezonátor, který jsme upravili tak, aby byl stabilní a různými zásahy jsme ovlivňovali a optimalizovali jeho vlastnosti. Vyzkoušeli jsme generaci záření v režimu volné generace i v impulsním režimu. Získaný laserový svazek jsme zesílili jednopřechodovým zesilovačem a nakonec zesílené záření jsme zkonvertovali pomocí nelineárního krystalu do druhé harmonické.

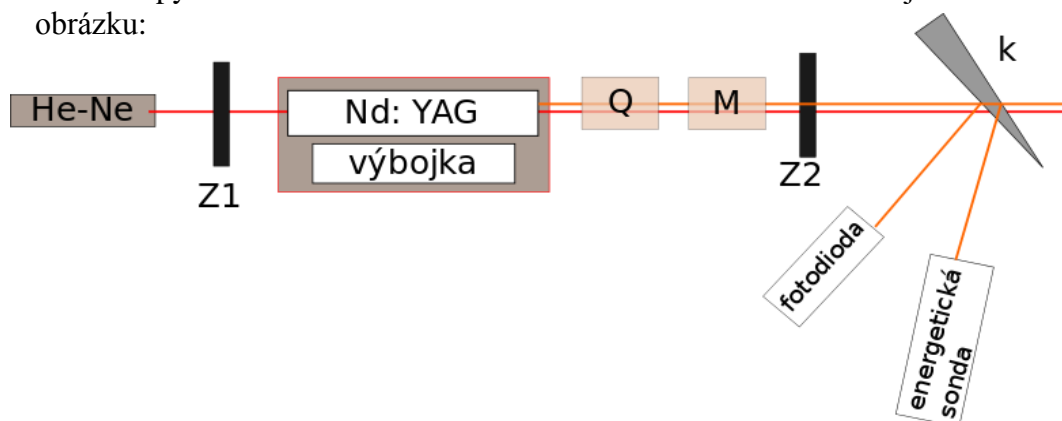
1 Úvod

Laser je generátor optického záření. Je tvořen aktivním prostředím vhodně umístěným v optickém rezonátoru, který vytváří kladnou zpětnou vazbu. Laserové záření je oproti běžným zdrojům koherentní obvykle (je schopno snadno interferovat), jednobarevné (monochromatické), směrové (kolimované). Využití námi používaného laseru Nd:YAG je v laserových ukazovátkách, průmyslu, medicíně a ve výzkumu.

2 Metody a výsledky měření

Materiály a metody

Laser jsme sestavili z rezonátoru, aktivního prostředí a výbojky s frekvencí 1 Hz, která byla chlazena vodou. Dále jsme používali fotodiodu, energetickou sondu a dva osciloskopy – TDS350 a TDS1012C-EDU. Obecné schéma laseru je na následujícím obrázku:



He-Ne – helium-neonový laser, Z1, Z2 – zrcadla, Nd: YAG – aktivní prostředí,
k – klín,

prvky přítomné jen v určitých experimentech: Q – saturevatelný absorbér (Q-spínání),
M – akusto-optický modulátor (mode locking)

Při návrhu rezonátoru jsme zohlednili rovnici stability:

$$0 \leq \left(1 - \frac{L}{r_1}\right) \left(1 - \frac{L}{r_2}\right) \leq 1, \quad (1)$$

kde L je délka rezonátoru a r_1, r_2 jsou poloměry křivosti zrcadel.

Nejprve jsme měřili výkon Nd:YAG laseru s rezonátorem tvořeným dvěma rovinnými zrcadly. Pro stabilitu musí platit rovnice stability (1), která je však pro dvě rovinná zrcadla vždy splněna, $r_1 = \infty$; $r_2 = \infty$. Pro rovinná zrcadla je však potřeba přesné nastavení. Bylo složité je nastavit tak, aby laser správně fungoval. Pomocí klínu jsme paprsek rozdělili a nasměrovali na fotodiodu a energetickou sondu a provedli jsme měření.

Poté jsme vyměnili jedno rovinné zrcadlo za sférické, $r_1 = 1 \text{ m}$; $r_2 = \infty$. Po dosazení do (1) se omezila délka rezonátoru na rozmezí od 0 do 1 metru.

$$0 \leq (1 - L)(1 - 0) \leq 1 \\ L \in \langle 0; 1 \rangle$$

Díky sférickému zrcadlu jsme měli větší volnost při nastavování. Opět jsme provedli měření.

V dalším kroku jsme zkrátali pulsy a tím zvýšili špičkový výkon laseru pomocí Q-spínání. Do soustavy jsme přidali satureovatelný absorbér, jehož absorpce klesá s intenzitou světla. Díky tomu vznikne velmi krátký a intenzivní puls. Jeho energie sice lehce klesne oproti režimu volné generace, ale díky tomu, že se zkrátí i délka impulsu, je celkový špičkový výkon mnohonásobně větší. Špičkový výkon lze vypočítat pomocí podílu energie a délky trvání pulsu.

$$P = \frac{E}{\tau} \quad (2)$$

Následně jsme se snažili pulsy ještě víc zkrátit. K tomu jsme využili metodu synchronizace módů pomocí akusto-optického modulátoru. Ten způsobuje difrakční ztráty s vysokou frekvencí na stojaté akustické vlně vybuzené v taveném křemenu. Akustický signál byl přiváděn s určitou frekvencí $\approx 75 \text{ MHz}$. Frekvence akustického signálu se musí shodovat s frekvencí oběhu světla v rezonátoru. Z toho plyne, že délka rezonátoru je vyjádřena podílem rychlosti světla ve vakuu a frekvence akustického signálu:

$$L = \frac{c}{4f}. \quad (3)$$

Po teoretickém výpočtu jsme přesně vyměřili potřebnou délku rezonátoru a nastavili zařízení:

$$L_x = L - L_{YAG} - L_M + L_n, \quad (4)$$

kde L_x je potřebná délka rezonátoru, L_{YAG} je optická délka aktivního prostředí laseru Nd:YAG, L_M je optická délka modulátoru a L_n je rozměr materiálu.

Nakonec jsme generovali druhou harmonickou vlnu pomocí nelineárního krystalu. To je záření, které má poloviční vlnovou délku a dvojnásobnou frekvenci oproti původnímu záření. Dvojlomný krystal jsme umístili do laserového svazku tak, aby indexy lomu laserového záření a druhé harmonické vlny byly stejné, což umožnilo účinnou generaci. Výsledek byl pozorovatelný pouhým okem v podobě zeleného světla.

Výsledky

Čerpací energie v průběhu celého experimentu byla:

$$E = \frac{1}{2}CU^2 = 40,5 \text{ J} \quad (5)$$

Energii jsme měřili pomocí energetické sondy, napětí jsme odečítali z obrazovky osciloskopu a přepočet na energii byl následující:

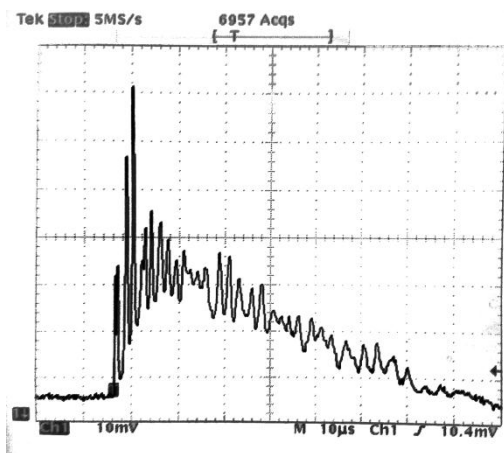
$$E = \frac{U}{C_{det}R_kT_s}, \quad (6)$$

kde U je napětí, C_{det} je citlivost detektoru, R_k je odrazivost klínu a T_s je transmitance skla.

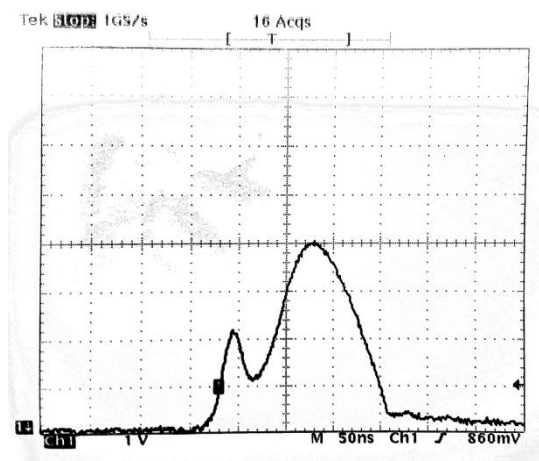
Nyní uvádíme výsledky dílčích experimentů.

	Rezonátor s rovinnými zrcadly	Rezonátor se sférickým a rovinným zrcadlem	Rezonátor se saturovatelným absorbérem	Rezonátor s akusto-optickým modulátorem
L (cm)	53,9	56,2	56,2	92,72
τ (μ s)	30	40	0,13	<0,003
E (mJ)	28,07	102,1	50,7	
P (W)	936	2 550	390 000	

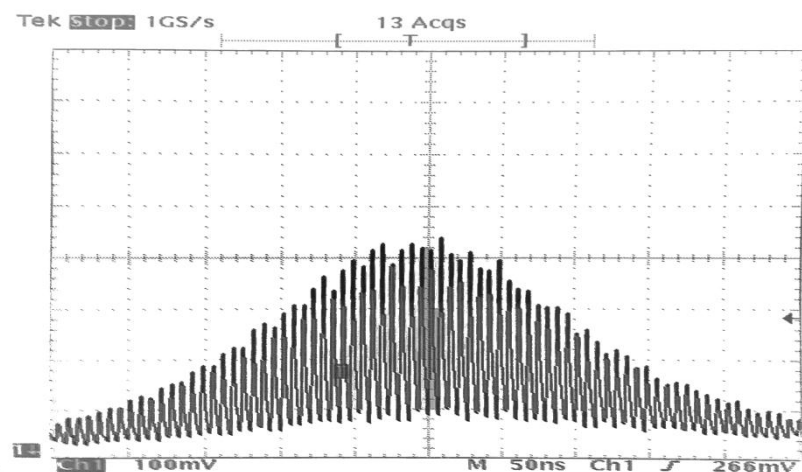
Grafy časových průběhů impulsu



Režim volné generace
10 μ s/div



Režim Q-spínání
50 ns/div



Režim synchronizace módů
50 ns/div

Diskuse

Při výměně zrcadla rovinného za sférické se zvýšila stabilita rezonátoru, naladění laseru bylo méně citlivé, a výsledný špičkový výkon laseru byl vyšší.

Po přidání saturovatelného absorbéru se zmenšila délka trvání jednoho pulsu přibližně na tisícinu, čímž se zvýšil špičkový výkon přibližně stokrát.

V experimentu synchronizace módů se stabilita rezonátoru opět velmi snížila a měli jsme velké problémy s jeho nastavením. Takže jsme z důvodu časové tísně nedošli až k měření. Přesvědčili jsme se však, že touto metodou lze generovat pulsy kratší než 3 ns, protože doba pulsu musí být kratší, než doba za jakou světlo urazí vzdálenost v rezonátoru.

Generace druhé harmonické měla malou účinnost z důvodu malé kvality krystalu a obtížně dosažitelné fázové synchronizace. Pro dosažení lepší účinnosti bychom potřebovali zvýšit špičkový výkon laseru.

3 Shrnutí

Během miniprojektu jsme sestavili různé typy Nd:YAG laseru. Poté jsme provedli měření pro každý typ a porovnali jsme hodnoty špičkového výkonu a délky pulsu.

Největší špičkový výkon měl námi sestrojený rezonátor se saturovatelným absorbérem o hodnotě špičkového výkonu 0,39 MW.

Díky tomuto miniprojektu jsme získali nadšení pro lasery a další studium v této oblasti.

Poděkování

Děkujeme Františkovi Batystovi za jeho výborné vedení miniprojektu.

A také děkujeme Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské za možnost realizace miniprojektu.

Reference:

[1] BATYSTA, F.: <http://kmlinux.fjfi.cvut.cz/~batysfra/laser.php> 18.6. 2013