

# Generace nanosekundových impulsů v pevnolátkovém laseru

M. Křenek (\*), P. Slovák (\*\*), M. Šiška (\*\*\*), O. Audy (\*\*\*\*)

Gymnázium Jiřího Gutha-Jarkovského, Praha \*

Gymnázium tř. Kpt. Jaroše 14, Brno \*\*

Gymnázium Vídeňská, Brno \*\*\*

Gymnázium Jeseník, Jeseník \*\*\*\*

*m.krenek@volny.cz*

## Abstrakt:

Práce je zaměřena na zjištění parametrů pevnolátkového Nd:YAG laseru a porovnání různých způsobů generace paprsků. Cílem bylo určení závislostí různých veličin na energii buzení.

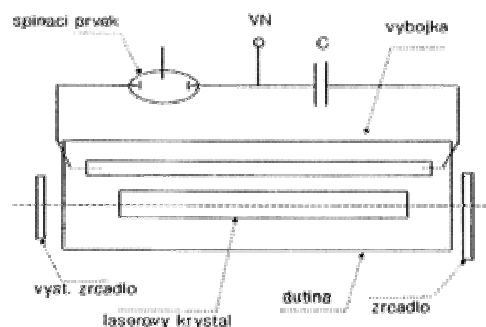
## 1 Úvod

Úkolem bylo seznámení se s funkcí laserů po teoretické stránce a následné uplatnění získaných poznatků v praxi. Konkrétním tématem práce bylo sestavení funkčního pevnolátkového Nd:YAG laseru pracujícího v režimu volné generace pulsů a v režimu Q-spínání.

## 2 Pevnolátkový Nd:YAG laser

Pevnolátkový Nd:YAG laser je tvořen dutinou, ve které jsou umístěny laserový krystal a výbojka pro zajištění jeho optického buzení, a optickým rezonátorem tvořeným 100% zadním zrcadlem a polopropustným výstupním zrcadlem. Laserový krystal představuje aktivní element, ve kterém dochází ke stimulované emisi a následnému zesílení záření během každého průchodu.

Optický resonátor vytváří podmínky pro mnohonásobný průchod stimulovaného záření skrz aktivní prostředí. Tím vzniká kladná zpětná vazba při které je zesilováno záření s vlnovou délkou rezonanční k délce resonátoru a tím generace a zesílení laserového záření probíhá v úzkých spektrálních čarách. To znamená že, optický resonátor kromě základní funkce pro vznik a udržování generace, určuje dále i základní vlastnosti výstupního záření: monochromaticnost, koherenci, směrovost, prostorovou strukturu, výstupní výkon.



Základním způsobem nastavování laserových resonátorů a aktivních elementů je **metoda optického spřažení paprsků** - nejčastěji používaná, jednoduchá metoda, kde všechny odrazy He-Ne laseru se nastavují do jediného bodu společně se zdrojovým paprskem.

Lasery se dělí podle vlastností generovaného paprsku na dva základní typy. Jedná se o **kontinuálně pracující lasery** a **pulsní lasery**, kterými se zabývá tato práce. Pulsní lasery dále členíme podle způsobu generace a průběhu pulsu na:

- Lasery pracující v režimu volné generace pulsů
- Lasery pracující v režimu Q-spínání
- Lasery pracující v Cavity-dumped režimu
- Lasery pracující v Mode-Locked režimu

Tato práce se zabývá pouze prvními dvěma režimy.

**Režim volné generace** se charakterizuje tím, že s výjimkou optického buzení během generace v důsledku stimulované emise, v laseru nedochází k žádnému dynamickému působení.

Základní vlastnost režimu volné generace spočívá v jeho nestacionárnosti - při hladkém tvaru světelného impulsu buzení, nejčastěji pomocí výbojky, je časový průběh stimulovaného záření (obálka) sestaven z jednotlivých impulsů. Pro příčnou prostorovou strukturu je charakteristické pro pevnolátkové lasery, že v jednotlivých impulsích obálky jsou obsaženy jednotlivé příčné módy. Po každém laserovém impulsu se mění jejich řád a jejich prostorová lokalizace. Proto je stupeň prostorové a časové koherence velmi nízký.

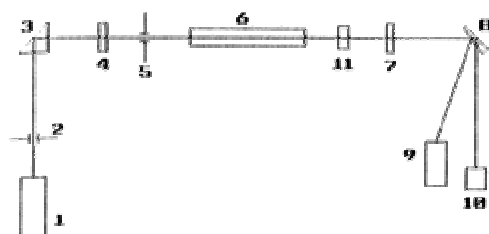
Při provozu laseru v režimu volné generace mají největší význam energetické charakteristiky - výstupní energie a časový průběh výstupního výkonu.

V režimu volné generace ztráty v resonátoru zůstávají během doby buzení prakticky stejné, generace začíná na nízké úrovni inverzní populace a probíhá nepravidelně, délka výstupního impulsu je velká a špičkový výkon nízký.

V **režimu Q-spínání** se právě tento rozvoj mění tak, aby se získala velice krátká doba generace a tím i vysoký špičkový výkon výstupního záření. V procesu buzení aktivního prostředí jsou ztráty v resonátoru nastaveny tak vysoko, aby podmínky pro generaci nenastaly. Až v určitém okamžiku, kdy se Q-spínač umístěný v resonátoru stane pro procházející paprsek průhledným, je téměř veškerá energie načerpaná do aktivního prostředí vyzářena v jediném mohutném pulsu.

## Experimentální uspořádání

Schéma experimentu je na následujícím obrázku. Jednotlivé elementy označeny takto: 1 - He-Ne laser, 2 - apertura, 3 - hranol, 4 - zadní (100%) zrcadlo rezonátoru, 5 - apertura v rezonátoru, 6 - laserový krystal, 7 - výstupní zrcadlo rezonátoru, 8 - dělič svazku, 9 - měřič energie, 10 - fotodioda, 11 - krystal LIF pro pasivní Q-spínání. Experiment se nejprve prováděl bez krystalu 11.



Nejprve byl podle schématu sestaven laserový systém, který byl následně doladěn metodou optického spřažení paprsků. Následně byl odzkoušen samotný laser. Prvním úkolem bylo nastavit laser na maximální možnou energii. Dalším krokem bylo vložení vhodné clonky do rezonátoru, tak aby výstupní profil paprsku byl co nejbližší základnímu módu TEM<sub>00</sub> a přitom výstupní energie laseru byla co nejvyšší. Profil paprsku byl poté zaznamenán na fotopapír. Následně jsme zjišťovali závislost výsledné energie laseru na energii buzení. Analogicky jsme postupovali po přidání Q-spínače na bázi krystalu LiF do optického rezonátoru.

## 4 Výsledky

**Tabulka naměřených hodnot při režimu volné generace**

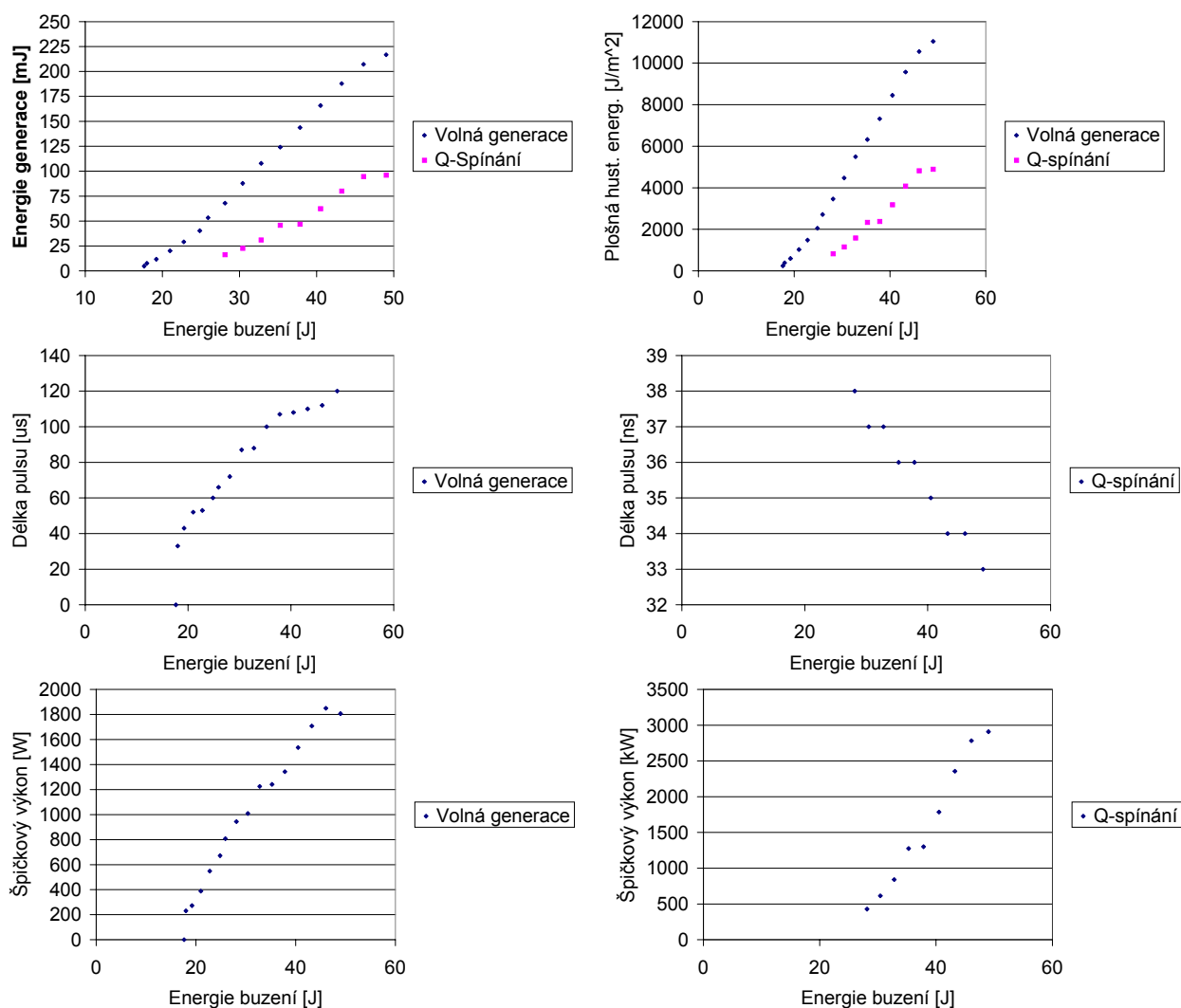
Energie buzení [J]	Energie generace [mJ]	Doba generace [us]	Účinnost [%]	Plošná hustota energie [J/m <sup>2</sup> ]	Špičkový výkon [W]
17,642	4,810	--	0,03	245,10	--
18,000	7,627	33	0,04	388,62	231,11
19,220	11,725	43	0,06	597,44	272,67
20,995	20,174	52	0,10	1027,98	387,96
22,781	29,082	53	0,13	1481,90	548,72
24,851	40,301	60	0,16	2053,54	671,68
25,920	53,307	66	0,21	2716,28	807,68
28,125	67,943	72	0,24	3462,07	943,65
30,420	87,785	87	0,29	4473,11	1009,02
32,805	107,848	88	0,33	5495,44	1225,55
35,280	124,130	100	0,35	6325,08	1241,30
37,845	143,703	107	0,38	7322,42	1343,01
40,500	165,839	108	0,41	8450,37	1535,54
43,245	187,880	110	0,43	9573,49	1708,00
46,080	207,199	112	0,45	10557,93	1849,99
49,005	216,788	120	0,44	11046,52	1806,57

**Tabulka naměřených hodnot při režimu Q-spínání**

Energie buzení [J]	Energie generace [mJ]	Doba generace [ns]	Účinnost [%]	Plošná hustota energie [J/m <sup>2</sup> ]	Špičkový výkon [kW]
28,125	16,266	38	0,06	828,83	428,05
30,420	22,690	37	0,07	1156,17	613,24
32,805	31,092	37	0,09	1584,29	840,32
35,280	45,902	36	0,13	2338,95	1275,05
37,845	46,835	36	0,12	2386,52	1300,98
40,500	62,484	35	0,15	3183,91	1785,26
43,245	80,111	34	0,19	4082,08	2356,20
46,080	94,620	34	0,21	4821,41	2782,95
49,005	96,013	33	0,20	4892,36	2909,47

Průměr výstupního profilu svazku zaznamenaného na fotopapír byl ve vzdálenosti 10cm od výstupního zrcadla roven 5mm jak při režimu volné generace, tak při režimu Q-spínání. Při režimu Q-spínání byla však stopa na fotopapíru zbarvená do hněda, což je způsobeno řádově vyšším špičkovým výkonem.

## Grafy závislostí naměřených veličin pro oba režimy generace



## 5 Shrnutí

Při režimu Q-spínání bylo dosaženo velmi krátkých pulsů (33-40 ns) s obrovským špičkovým výkonem (až 3 MW), kdežto při režimu volné generace byly pulsy řádově delší (30-120 us), skládající se z mnoha menších pulsů a mající mnohem menší špičkový výkon (max. cca 2 kW).

## Poděkování

Děkujeme především ochotným supervisorům, Ing. Andreji Dombrovskému a Ing. Michalu Němcovi.

## Reference:

- [1] GAVRILOV, P.–PAULIČKA, I.: *Praktikum z kvantové elektroniky* ČVUT 1994 pp.3-17
- [2] VRBOVÁ, M. *Lasery a moderní optika* Prometheus 1994 pp.192-198