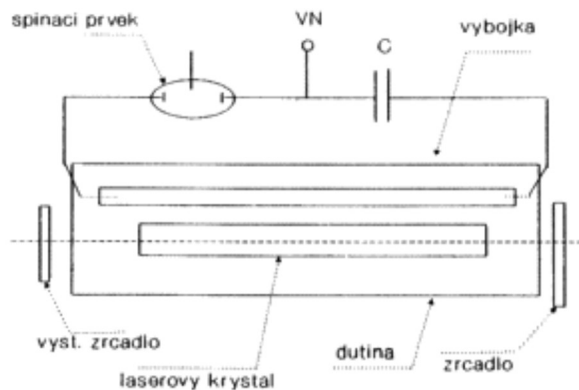


Pevnolátkový Nd:YAG laser v režimu volné generace a v režimu Q-spínání, zesilování laserového záření a generace druhé harmonické

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 18% polopropustným výstupním zrcadlem. Laserový krystal představuje aktivní element, ve kterém dochází ke stimulované emisi a následnému zesílení záření během každého průchodu. Základní úloha optického rezonátoru spočívá v tom, že vytváří podmínky pro mnohonásobný průchod stimulovaného záření skrz aktivní objem. Tím vzniká kladná zpětná vazba při které je zesilováno záření s vlnovou délkou rezonanční k délce rezonátoru a tím generace a zesílení laserového záření probíhá v úzkých spektrálních čarách. To znamená že, optický rezonátor kromě základní funkce pro vznik a udržování generace, určuje dále i základní vlastnosti výstupního záření: monochromaticnost, koherenci, směrovanost, prostorovou strukturu, výstupní výkon.



Základní způsoby nastavování laserových rezonátorů a aktivních elementů jsou:

1. autokolimační metoda – zrcadla a aktivní element se nastavují autokolimátorem počínaje nejvzdálenějším (100% odrazným) tak, že postupně se nastavují značky od jednotlivých prvků na sebe,
2. interferenční metoda – metoda spočívá v tom, že paprsek z He–Ne laseru dopadá na nastavované plochy, po rozšíření jsou jednotlivé odrazy promítány na stínítku kde je vytvořen interferenční obrázek. Světlé (nebo tmavé) kroužky interferenčního obrázku jsou centrovány vůči zdroji světla pouze v případě, že nastavované plochy jsou paralelní vůči sobě,
3. metoda optického spřažení paprsků – nejčastěji používaná, jednoduchá metoda, kde všechny odrazy He–Ne laseru se nastavují do jednoho bodu společně se zdrojovým paprskem.

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. Podle struktury průběhu těchto impulsů lze laserové záření rozdělit na: chaotické, pravidelně netlumené a pravidelně tlumené. 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. Tím i integrál příčného průřezu výstupního záření se vyznačuje velkou nepravidelností. Proto, jak je známo, je potom stupeň prostorové a časové koherence velmi nízký. Obecně takovou strukturu obálky v režimu volné generace lze vysvětlit modulací jakosti rezonátoru v důsledku změn jeho parametrů během generace. Tyto změny jsou vyvolány např. vibracemi elementu rezonátoru, změnou indexu lomu a rozměrů aktivního elementu v důsledku jeho nerovnoměrného ohřátí při buzení výbojkou. Generace v režimu volné generace začíná v okamžiku když energie optického buzení (E_b) dosáhne takovou úroveň při které je splněna prahová podmínka pro generaci tj. koeficient zisku aktivního prostředí g ($g = d \cdot N \cdot l$ - kde je d -účinný průřez laserového přechodu, N -hustota inverzní populace, l -délka aktivního prostředí) se rovná velikosti ztrát v rezonátoru (a). S rostoucí energií buzení je v důsledku stimulované emise inverzní populace vyčerpávána, tím g klesá při generaci každého jednotlivého impulsu obálky a naopak roste v době mezi impulsy. Čím více roste E_b tím se zvyšuje počet jednotlivých impulsů, klesá vzdálenost mezi nimi, délka impulsu generace (?) a výstupní energie (E) narůstají. 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 rezonátoru 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 generace s modulací jakosti rezonátoru nebo-li v tzv. 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 rezonátoru nastaveny tak vysoko, aby podmínky pro generaci nenastaly ($g \ll a$) až do okamžiku kdy inverzní populace v důsledku buzení nedosáhne maximálních hodnot. V tom okamžiku jsou ztráty rychle sníženy, generace začíná při vysokém koeficientu zisku, inverzní populace je velice rychle vyčerpána přičemž vzniká velice výkonný a krátký v čase výstupní impuls záření.

V technice Q–spínání se používají hlavně tři typy uzávěrek zajišťující výše popsanou modulaci jakosti rezonátoru:

- optiko–mechanická: rotující zrcadlo rezonátoru které snižuje ztráty v rezonátoru jenom když prochází polohou kolmou k optické ose, pro kterou je rezonátor nastaven;
- elektro–optická: využívá možnosti řídit napětím polarizaci (lineární nebo kruhovou) nebo její směr v konkrétním krystalu umístěném v rezonátoru;
- pasivní modulace jakosti rezonátoru: použitím některých krystalů nebo barviv majících absorpční pásmo na vlnové délce laserového přechodu. Na začátku impulsu buzení je barvivo prakticky nepropustné protože počet jeho center absorbujících stimulované záření je velký. Protože buzení pokračuje, větší a větší počet center barviva přechází do vyšších hladin a to až do okamžiku, kdy počet center schopných absorbovat rychle klesá a barvivo se stává transparentní a jakost rezonátoru narůstá.

Laserový zesilovač slouží k zvětšení intenzity záření vstupujícího na jeho vstupu. Je tvořen obdobným způsobem jako samotný generátor záření tzv. oscilátor, s tím rozdílem, že nemá vlastní optický rezonátor, tj. kladnou zpětnou vazbu. Aktivní prostředí je tvořeno krystalem Nd:YAG a je buzeno optickým zářením výbojky. Zesiluje procházející záření během jediného průchodu podél své délky. Rozvoj intenzity záření podél optické osy z lze jednoduše popsat rovnicí:

$$dI(z)/dz = (g-a) \cdot I$$

kde g a a jsou koeficienty zisku a ztráty aktivního prostředí. Za předpokladu homogenního buzení aktivního prostředí se může řešení této rovnice zapsat:

$$I = I_0 \cdot \exp[(g-a) \cdot l]$$

kde l je délka aktivního prostředí. Veličina

$$G = \exp[(g-a) \cdot l] = I/I_0$$

představuje poměr výstupní intenzity k vstupní intenzitě a je definovaná jako koeficient zesílení (nikoliv zisku!) aktivního prostředí.

Při průchodu záření skrz určitý typ krystalů s nelineárními dielektrickými vlastnostmi lze kromě lineární odezvy navíc registrovat vznik složky polarizace prostředí úměrnou kvadrátu intenzity pole. Tato nelinearita prostředí může vést k výměně energie mezi elektromagnetickými poli různých frekvencí. Jeden z nejdůležitějších jevů, s tímto spojený, je generace druhé harmonické, proces, při kterém se část energie elmag. vlny s frekvencí w proměňuje na výstupu z krystalu v energii elmag. vlny s frekvencí $2w$.

Podrobný teoretický rozbor (viz literaturu, např. *Yariv, A., Quantum Electronics, John Wiley and Sons, Inc., 1989, ISBN 0-471-60997-8.*) stanoví, že předpoklad pro efektivní generaci druhé harmonické je splnění podmínky fázového synchronismu neboli pro složky vlnového vektoru platnost podmínky:

$$k_{2w} - k_w - k_w = 0$$

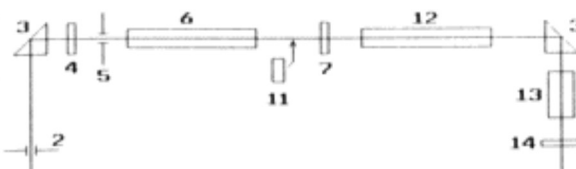
Jeden ze způsobů, kterým se splňuje tato podmínka, je použití anizotropních krystalů, u kterých se projevuje vlastnost dvojlomu. Šíří-li se vlna s frekvencí f pod speciálním úhlem vůči optické ose (Θ_{synch}) a s polarizací odpovídající tzv. ordinárnímu paprsku, potom vzniká vlna s frekvencí $2w$ ve stejném směru a s polarizací odpovídající tzv. extraordinárnímu paprsku. Je jasné, že výstupní výkon druhé harmonické je závislý na splnění podmínky fázového synchronismu tj. závisí na úhlu natočení krystalu vůči základnímu směru. Pro krystal KDP je $\Theta_{\text{synch}} = 50.4^\circ$. Poměr energie druhé harmonické ku energii budícího záření definuje účinnost převodu energie.

Cíle:

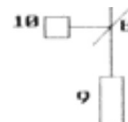
1. Nastavit a provozovat Nd:YAG laser v režimech volné generace a Q–spínání. Provést pozorování, měření a porovnání energetických, časových a prostorových charakteristik generovaného záření v obou režimech.
2. Měření zesílení optických impulsů generovaných ve volném režimu a v režimu s Q–spínáním.
3. Nastavení synchronismu KDP krystalu a měření účinnosti generace druhé harmonické v režimech volné generace a Q–spínání.

Postup:

1. Na schématu jsou 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, 12 - laserový krystal zesilovače, 13 - krystal KDP, 14 - filtr pro 1,06 μm . Úloha se začíná řešit bez krystalu 11.



2. Nastavit střed krystalu laserové dutiny ve svazku He-Ne laseru.
3. Nastavit laserový rezonátor metodou spřažení paprsků.
4. Spustit laser (podle instrukce) a donastavit laser na maximální výstupní energii pomocí jemného ladění zrcadel rezonátoru.
5. Profil svazku, zaznamenaný např. na luminiscenční destičku vyladit tak, aby byl maximálně blízky kulatému průřezu a přitom výstupní energie byla maximální. Toho lze dosáhnout vzájemným laděním zrcadel rezonátoru a pozice clonky.
6. Přečíst napětí na zdroji oscilátoru (převodní tabulka nastaveného napětí na skutečné je na boční straně zdroje) a spočítat energii uloženou v kondenzátoru ($C = 100 \mu\text{F}$) reprezentující energii buzení (E_b).
7. Najít prahovou energii buzení (E_b)_p pro režim volné generace.
8. Naměřit energii generace E v závislosti na energii buzení.
9. Pozorovat na osciloskopu časový průběh generovaného záření a odhadnout dobu generace τ :
 - a. při prahové energii buzení (těsně nad ní)
 - b. v polovině E_b
 - c. pro maximální E_b
 (Pozn.: pro volnou generaci je τ celková doba pozorovaného impulsu, u Q-spínání je τ celá šířka v polovině maxima (FWHM) pozorovaného impulsu).
10. Nastavit aktivní element laserového zesilovače do optické osy už nastaveného oscilátoru
11. Naměřením energie na vstupu a výstupu zesilovače určit koeficient zesílení při různé energii na vstupu zesilovače (změna energie na vstupu pomocí změny energie buzení oscilátoru) pro režim volné generace.
12. Vložit krystal LIF sloužící k pasivnímu Q-spínání do rezonátoru tak, aby byl ve středu a přibližně kolmo k červenému svazku. (použít výškový posuv stojanu s krystalem)
13. Zopakovat měření od bodu 4 do bodu 9 i pro tento režim tj. režim Q-spínání.
14. Nastavit aktivní element laserového zesilovače do optické osy už nastaveného oscilátoru.
15. Naměřením energie na vstupu a výstupu zesilovače pro oba režimy generace určit koeficient zesílení při různé energii na vstupu zesilovače (změna energie na vstupu pomocí změny energie buzení oscilátoru)
16. Nastavit provoz laseru v režimu Q-spínání.
17. Nastavit úhel synchronismu, při kterém v KDP krystalu je generovaná druhá harmonická s maximální výstupní energií.
18. Najít úhel rozladění, kdy intenzita generované poklesne na $\frac{1}{2}$ maximální hodnoty. Volte malý krok stavěcího šroubu (50 μm), generace druhé harmonické rychle zaniká. Nezapomeňte ale, že filtr pro 1,06 μm není dokonale nepropustný pro IR záření.
19. Nastavit znovu optimální úhel a naměřit účinnost převodu energie v závislosti na energii čerpacího záření.

Požadované výsledky:

1. Výsledky měření parametrů - E, E_b , účinnosti $\eta = E/E_b$, plošné hustoty energie $W = E/S$ a výkonu $P_{\text{str}} = E/\tau$ pro oba režimy generace seřadit a porovnat do tabulky
2. Nakreslit závislosti: $E(E_b)$; $W(E_b)$; $\tau(E_b)$; $P_{\text{str}}(E_b)$ pro oba režimy generace (stejně parametry vždy do jednoho srovnávacího grafu)
3. Nakreslit do stejného grafu závislosti $G(E_{\text{in}})$ pro oba režimy generace.
4. Uvést hodnotu úhlu rozladění ve stupních.
5. Vynést do grafu závislost energie druhé harmonické a účinnosti převodu v závislosti na změně budící energie.