

# OPTIMIZATION OF THE WORKING REGIME OF THE ACTIVE MEDIUM IN TRANSMITTERS OF THE LASER-LOCATION STATIONS DURING THE AES OBSERVATIONS

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АКТИВНЫХ СРЕД ПЕРЕДАТЧИКОВ ЛАЗЕРНО-ЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ КО

I.V.Lyubich

Государственный межвузовский центр "Орион"  
г.Алчевск, Украина, [irina.liubich@gmail.com](mailto:irina.liubich@gmail.com)

**АННОТАЦИЯ.** Обоснована необходимость использования импульсов несимметричной формы с целью обеспечения наиболее приемлемого режима работы импульсной лампы. Исследована энергетическая эффективность активного тела лазера при воздействии "двойных" импульсов накачки.

При построении и модернизации ЛЛС наибольшее внимание уделяется максимизации двух важнейших показателей - граничной дальности действия и точности измерения дальности. При этом увеличение частоты прохождения лазерных импульсов при значительном уменьшении энергии [NASA, SLR 2000] не позволяет достичь желаемого результата. Показатели качества ЛЛС в наибольшей степени зависят от импульсной мощности лазера и длительности его импульса.

Наиболее оптимальными являются импульсы высокой мощности и малой длительности. Для реализации такого режима работы лазера используют метод модуляции добротности, обычно с последующим сокращением длительности когерентного импульса.

Лазер остаётся одним из самых нагруженных элементов, к которому предъявляются требования высокой стабильности параметров выходного излучения. Оптимизация работы лазера является необходимым условием для продления срока службы всех узлов ОКГ и возможности получать при этом импульсы с необходимыми параметрами.

Улучшение эксплуатационных характеристик лазерных передатчиков возможно без конструктивных изменений излучателя, за счет управления параметрами импульсов накачки.

В настоящее время в лазерной технике для накачки твердотельных лазеров оптического диапазона используют следующие схемы включения ламп накачки: схема разряда конденсатора через корректирующую индуктивность и схема с формирующим двухполюсником (рисунок 1). Первая схема

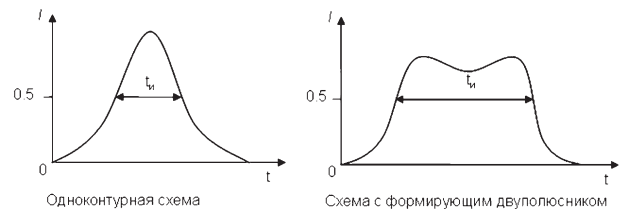


Рис. 1: Ток в импульсной лампе при питании от различных схем

дает вспышку колокольной, вторая - приблизительно трапецидальной формы.

Наибольшая возможная амплитуда вспышки определяется прочностью лампы. Необходимая длительность зависит от выбранного режима работы ОКГ. Для обеспечения "мягкого" режима работы лампы необходимо воздействовать импульсами вспышки с пологим передним фронтом, так как быстрое нарастание тока ускоряет распыление вольфрамовых электродов и вызывает появление в плазме сильных ударных волн, разрушающих кварцевый баллон лампы. Срок службы лампы при этом резко сокращается. Тогда как эффективность активной среды возрастает по мере сокращения длительности импульса накачки и увеличения энергии накачки.

В ряде работ рассматривалась возможность применения импульсов накачки несимметричной формы (Алексееви др., 1978; Мак и др., 1990). Использовался метод оценки эффективности лампы накачки по люминесценции активного материала. Однако выводы ограничивались рамками проведенных экспериментов. При переходе к импульсам накачки несимметричной формы не оценивалось изменение энергетической эффективности активной среды.

Представляет интерес определить влияние формы импульса накачки на энергетическую эффектив-

ность активной среды. Изменение КПД активной среды рассматривается посредством теоретической модели, приведенной в работе (Денищик и Любич, 2007) при воздействии "сложного" импульса накачки, который представлен в виде двух примыкающих друг к другу прямоугольных импульсов: подготовительного - с энергией  $E_1$  и длительностью  $t_1$  и основного - с энергией  $E_2$  и длительностью  $t_2$ . Инверсная населенность изменяется в пределах этих импульсов с учетом того, что мощность второго импульса обычно больше, чем первого (рисунок 2). В течение длительности подготовительного импульса, к моменту времени  $t_1$ , инверсная населенность достигает первого конечного значения, и в течение основного импульса к моменту времени  $t_2$  — второго конечного значения, в этот момент предполагается излучение моноимпульса.

Мощность, затрачиваемая на усиление люминесценции пропорциональна безразмерному отношению вероятностей перехода, вынужденного люминесценцией  $B_{32}$  и спонтанного перехода  $A_{32}$ , умноженного на относительную населенность метастабильного уровня активной среды  $N_3/N$ . Эта мощность может быть представлена следующим выражением:

$$P_{lum} = \frac{B_{32}\bar{u}}{\Delta\nu A_{32}} \frac{N_3}{N} \quad (1)$$

Выражение (1) позволяет представить потери на люминесценцию за время действия импульса накачки следующим образом:

$$W_{lum} = \int_0^{t=\tau_u/T_{32}} \frac{B_{32}\bar{u}}{\Delta\nu A_{32}} \frac{N_3}{N} dt/T_{32}, \quad (2)$$

где  $\bar{u}$  - средняя плотность люминесценции,  $T_{32}$  - время жизни частиц на метастабильном уровне.

Для повышения эффективности активной среды следует стремиться к сокращению потерь на люминесценцию и увеличению выходной энергии лазера. Эта энергия пропорциональна разности начальной и конечной населенности метастабильного уровня, деленной на пороговую населенность и может быть представлена выражением:

$$W_{out} = \frac{\Delta_0 - \Delta_k}{\Delta_p} \quad (3)$$

Функция, выражающая эффективность преобразования излучения накачки в излучение генерации имеет вид:

$$\varphi = \frac{W_{out}}{W_{lum}} \quad (4)$$

Запасенную средой энергию характеризует кратность превышения населенности метастабильного уровня над пороговой.

$$K = \frac{\Delta_0}{\Delta_p} \quad (5)$$

Потери на люминесценцию проявляют себя большей частью в виде непосредственно спонтанного излучения, обусловленного распадом инверсного состояния уровней рабочих переходов.

Потери энергии на люминесценцию и ее усиление принципиально неустраимы. В моноимпульсных ОКГ потери, связанные с усилением люминесценции, могут превышать потери, обусловленные только спонтанными переходами, более чем на порядок. Это объясняется значительными коэффициентами усиления, достигаемыми в лазерах до излучения когерентного импульса. Усиленная люминесценция снижает начальное значение коэффициента усиления и одновременно параметр нелинейности. В целом наличие усиленной люминесценции снижает мощность генерируемого излучения.

Для сокращения потерь на люминесценцию выгодно сокращать время пребывания среды в возбужденном состоянии. Сокращение длительности возбуждающего среду импульса повышает инверсную заселенность среды наряду с уменьшением потерь на люминесценцию, что приводит к повышению КПД.

Несмотря на то, что доля потерь на люминесценцию и ее усиление (около 10%) относительно мала по сравнению с потерями на тепловыделение (около 70%), учет усиленной люминесценции весьма важен при оптимизации накачки моноимпульсных ОКГ. Главным здесь является то, что в потери на люминесценцию переходит часть энергии, которая могла бы излучаться лазером без промежуточных преобразований, т.е. та, которая запасается в среде после значительной доли тепловыделения. Поэтому даже минимальное уменьшение потерь на люминесценцию добавляет пропорциональную долю энергии к энергии излучения лазера, что существенно повышает его КПД.

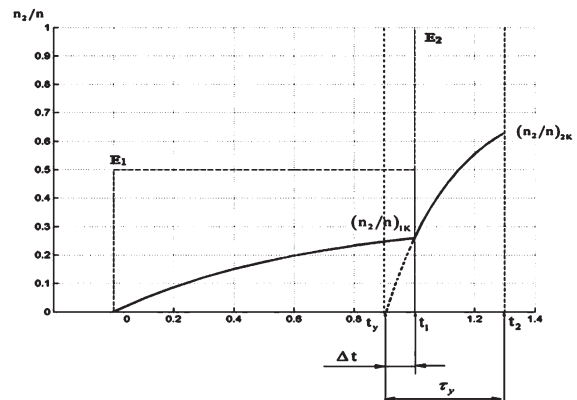


Рис. 2: График функции концентрации перенаселенности частиц для АИГ:Nd при двойном импульсе

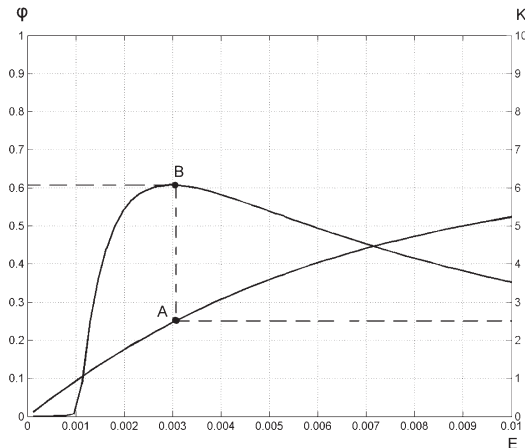


Рис. 3: Зависимость целевой функции  $\varphi$  и кратности перенаселенности  $K$  от от приведенной энергии подготовительного импульса при "двойном" импульсе накачки

Теоретическая модель основывается на определении инверсии населенности метастабильного уровня, которая может быть использована только в пределах прямоугольного импульса накачки. Для использования входных импульсов формы, отличной от прямоугольной, необходимо использовать "условный" импульс, с длительностью  $\tau_y$ , необходимый для согласования концентраций перенаселенности активных частиц (рисунок 2). Длительность  $\Delta t$  для четырехуровневой активной среды рассчитывается по следующей формуле :

$$\Delta t = -\ln \left( 1 - \frac{N_3 t_2 / T_{32}}{N E_2} \right) \quad (6)$$

Целевая функция  $\varphi$  непосредственно зависит от  $N_3/N$  и ее значения могут быть определены, если известно каким образом изменяется  $N_3/N$  во времени, не зависимо от того, под действие каких факторов это происходит. Для нахождения потерь на люминесценцию за время действия несимметричного импульса накачки поочередно интегрируют потери для "подготовительного" импульса в пределах от 0 до  $t_1$ , затем интегрируют потери для "условного" импульса в пределах от  $t_1$  до  $t_2$ . Результаты интегрирования суммируют. Проведен расчет для лазера на АИГ:Nd. В расчетах длительность первой части "двойного" импульса менялась в пределах от 20 до 200 мкс вместе с изменением его энергии, при этом мощность оставалась неизменной. Длительность второй части импульса накачки составила 50 мкс при энергии 0.001.

Из графиков видно (рисунок 3), что максимальное значение (0.6) целевая функция принимает при  $E_1 = 0.003$ , а максимальные значения кратности перенаселенности при 0.01 и более.

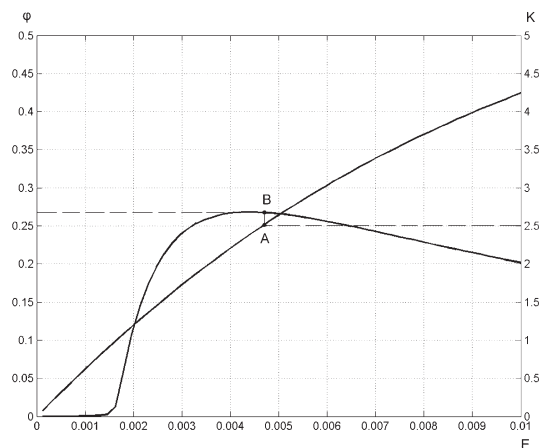


Рис. 4: Зависимость целевой функции  $\varphi$  и кратности перенаселенности  $K$  от от приведенной энергии подготовительного импульса при прямоугольном импульсе накачки

Таким образом, при накачке активного элемента лазера двойным импульсом существует область оптимальных значений энергии и длительности подготовительного импульса, при неизменной его мощности, в которой эффективность преобразования энергии в активной среде и запасаемая средой энергия близки к максимальным значениям.

При увеличении энергии и длительности подготовительного импульса запасаемая средой энергия плавно увеличивается, вместе с уменьшением показателя эффективности преобразования энергии. При уменьшении длительности подготовительного импульса указанной области происходит одновременное резкое уменьшение как эффективности, так и запасаемой энергии.

Для сравнения приведены графики функции эффективности активной среды при накачке прямоугольными импульсами длительностью 175 мкс различной энергии (рисунок 4). На графиках функции (рисунок 3,4) в точках А кратность перенаселенности, характеризующая запасенную средой энергию составляет 2,5. Точка В является проекцией точки А на график функции  $\varphi$ . Сравнивая значения  $\varphi_B$  для "двойного" и прямоугольного импульсов накачки, можно отметить, что эффективность преобразования энергии в среде при "двойном" импульсе накачки возросла в 2.2 раза по сравнению с эффективностью при прямоугольном импульсе.

Как показано, способ питания импульсной лампы оказывает значительное влияние на уровень энергии, запасаемой в активном теле. Использование "двойного" импульса позволяет на 20% снизить затраты электрической энергии, необходимые для достижения тех же значений выходной энергии, что и при накачке прямоугольными импульсами

излучения. Кроме того, удастся получить большие значения перенаселенности благодаря сокращению времени пребывания в возбужденном состоянии люминесцирующей среды

#### Литература

- Алексеев В.Н., Бордачев Е.Г., Винницкий С.А. и др.: 1978, *Квантовая электроника*, **5**, N 10, 2291-2293.
- Мак А.А., Сомс Л.Н., Фромзель В.А.: 1990, *Лазеры на неодимовом стекле* Москва Наука 347 с
- Денищик Ю.С., Любич И.В.: 2007, *Сб. науч. тр. Донбасского гос технич ун-та Алчевск ДонГТУ*, **24**, 340-346.
- Методы расчета оптических квантовых генераторов*/ Под ред. Б.И.Степанова, Минск, Наука и Техника, 1966, **1**, 476 с.