

УДК 52-626+621.37

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ПИТАНИЯ
ИМПУЛЬСНОЙ ЛАМПЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛАЗЕРА Nd³⁺****И.В. Любич***Государственный межвузовский центр лазерно-локационных наблюдений «Орион»,
Донбасский государственный технический университет, 94200, г. Алчевск, пр.Ленина, 16*

Поступила в редакцию 20 ноября 2010

В работе проведено теоретическое исследование влияния параметров режима разряда (длительности, энергии и формы) на КПД излучения импульсной лампы в полосах поглощения активного элемента и энергетический выход активного элемента лазера. При этом параметры импульсной лампы (давление и состав газа-наполнителя) и активного элемента принимаются неизменными. Показано увеличение КПД активного элемента при сокращении пребывания в возбужденном состоянии. Вместе с тем наблюдается уменьшение доли излучения импульсной лампы в участках спектра, поглощаемых активным элементом лазера. В работе рассматривается многоступенчатый способ питания импульсной лампы, который обеспечивает нарастание мощности импульса накачки при сокращении его длительности. Показано, что такой способ питания позволяет повысить спектральную эффективность импульсной лампы и сократить потери на люминесценцию и ее усиление в активном элементе лазера.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: импульсная лампа, спектральный КПД, активный элемент, режим питания, лазер.

У роботі проведено теоретичне дослідження впливу параметрів режиму розряду (тривалість, енергії і форми) на ККД випромінювання імпульсної лампи в смугах поглинання активного елементу і енергетичний вихід активного елементу лазера. При цьому параметри імпульсної лампи (тиск і склад газу-наповнювача) і активного елементу приймаються незмінними. Показано збільшення ККД активного елементу при скороченні перебування у збудженому стані. В той же час спостерігається зменшення долі випромінювання імпульсної лампи в ділянках спектру, що поглинаються активним елементом лазера. У роботі розглядається багатоступінчастий спосіб живлення імпульсної лампи, який забезпечує наростання потужності імпульсу накачування при скороченні його тривалості. Показано, що такий спосіб живлення дозволяє підвищити спектральну ефективність імпульсної лампи і скоротити втрати на люмінесценцію і її посилення в активному елементі лазера.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: імпульсна лампа, спектральний ККД, активний елемент, режим живлення, лазер.

Theoretical research of influence discharge mode parameters (durations, energies and forms) on pump flashtube efficiency of radiation in the absorption bands of active element and power output of active laser element. Thus the parameters of pump flashtube (pressure and composition of staff-gas) and active element are accepted by unchanging. The increase of efficiency active element at reduction of stay in excited state is shown. At the same time there is diminishing of pump flashtube's radiation part in the areas of spectrum, taken in by the active laser element. The multi-stage method of pump flashtube's supply is presented, which provides growth of power pumping impulse at reduction of his duration. It is shown that such method of supply allows to promote spectral efficiency of impulsive lamp and shorten losses on luminescence and her strengthening in the active laser element.

KEYWORDS: pump flashtube , spectral efficiency, active element, supply mode, laser.

ВВЕДЕНИЕ

Среди современных средств накачки твердотельных лазерных элементов в усилительном каскаде по-прежнему используются импульсные лампы для тех случаев, когда требуется лазерное излучение высокой мощности. Например, для лазерной локации спутников, мощность зондирующего импульса составляет 600 МВт – недостижимая величина при диодной накачке [1]. Таким образом, рассмотрение работы импульсной лампы с целью повышения эффективности работы лазера является актуальной задачей.

Практически все современные типы серийных импульсных ламп наполняются ксеноном. Другие наполнения могут обеспечивать в некоторых случаях повышение интенсивности излучения в отдельных участках спектра, однако такие смеси значительно уступают ксеноновым лампам по долговечности управляемости и стабильности параметров. Эффективным является использование маломощных криптоновых ламп для накачки лазеров на АИГ: Nd³⁺, но с увеличением энергии накачки (более 30 Дж) это преимущество теряется.

Спектральное распределение энергии излучения ксеноновых ламп также зависит от параметров режим разряда [2]. Энергетический выход излучения импульсных ламп обычно составляет 50-60% при

малых плотностях тока (до 2кА/см^2) излучаются линии наиболее интенсивные в ближней ИК-области спектра. При повышении плотности тока ($>3\text{кА/см}^2$) спектр излучения становится сплошным по максимуму в области 300-500 нм. Дальнейшее увеличение плотности тока и сокращение длительности импульса накачки сопровождается повышением температуры плазмы. И максимум излучения смещается в направлении коротких длин волн, а КПД в ИК-области спектра снижается. Это дает возможность оптимизировать режим работы лампы для конкретного активного элемента.

Повышение коэффициента полезного действия оптического квантового генератора возможно за счет увеличения интенсивности излучения источников накачки в полосах поглощения активного элемента путем использования наиболее приемлемого режима питания импульсной лампы.

КПД активного элемента лазера при различных режимах питания импульсной лампы рассмотрена с помощью теоретической модели в работе [3]. Модель применима для оперативных оценок эффективности преобразования энергии с учетом усиления люминесценции в активных элементах твердотельных лазеров при различных режимах накачки. С помощью указанной модели в работе [1] определены параметры режима накачки, при которых наиболее эффективно используется накачка трехуровневых и четырехуровневых сред. Показано, что наибольшая эффективность активного элемента наблюдается при сокращении длительности импульса накачки и увеличении его мощности.

Для совмещения условий максимальной эффективности импульсной лампы и активного элемента предлагается использовать для питания лампы накачки многоступенчатые импульсы тока, имеющие пологий передний фронт и крутой задний фронт. Учитывая, что при изменении формы импульса тока происходит перераспределение энергии в спектре излучения импульсной лампы, то представляется актуальной задача поиска максимально эффективной формы импульса, которая обеспечивала наилучшее совпадение спектральных характеристик излучения лампы со спектром поглощения активного элемента при хороших эксплуатационных характеристиках.

Вопросы влияния формы импульсов тока на спектральное излучение импульсных ламп рассмотрены в работе [4], при этом реализовывались импульсы тока треугольной формы с крутым передним фронтом, несимметричный импульс с крутым задним фронтом и пакет импульсов. В работе [5] рассматривается основной импульс накачки с предшествующим ему подготовительным импульсом. При этом не была учтена возможность изменения формы импульса при необходимости регулирования энергии лазерного излучения.

Совокупное математическое рассмотрение в общем виде для сильноточной стадии импульсного разряда затруднительно, так как характеризуется большим числом взаимосвязанных параметров.

В данной работе ставится цель проследить изменение энергии импульсной лампы в полосах поглощения активного элемента при воздействии на нее разрядными импульсами многоступенчатой формы, и с помощью теоретической модели [3] оценить изменение эффективности преобразования энергии в активном элементе. Исследование проводилось на примере импульсной лампы ИФП-800. Влияние конструктивных параметров лампы, давления и состава газа не учитывается.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛАМПЫ ОТ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСА НАКАЧКИ

Физические процессы в разряде определяются балансом мощностей, поэтому для оценки спектральных характеристик целесообразно использовать в качестве основного параметра $P_{уд}$ – среднюю за время разряда удельную электрическую мощность.

Мощность излучения импульсной лампы, рассчитанная из уравнения Стефана-Больцмана, на которую приходится на весь спектр излучения.

$$P(t) = \varepsilon_{эф} \sigma_0 S [T(t)]^4, \quad (1)$$

$P(t)$ – излучаемая мощность, $\varepsilon_{эф}$ – степень черноты, σ_0 – постоянная Стефана-Больцмана, S – величина излучаемой поверхности, $T(t)$ – зависимость температуры от времени, t – время.

Температура плазмы можно оценить с помощью эмпирической формулы:

$$T = 1,14 \cdot 10^3 j^{0,3},$$

где j – плотность тока разряда.

Распределение мощности по длинам волн неравномерно. Мощность излучения, приходящаяся на отдельные интервалы длин волн от λ_1 до λ_2 , определяется законом Планка.

$$R_{\lambda} = 2\pi hc^2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{d\lambda}{\lambda^5 \exp\left(\frac{hc}{k\lambda T}\right) - 1} \quad (2)$$

Спектральный КПД излучателя по накачке может быть определен как отношение излучаемой мощности в полосах поглощения Nd^{3+} к общей энергетической светимости, рассчитанной на основании (1)

$$\eta = \frac{R_{\lambda}^{\Sigma}(\text{Nd}^{3+})}{R_{\lambda}^{\Sigma} = \sigma T^4} \quad (3)$$

Основной энергетический вклад в поглощение света накачки дают следующие полосы: 810 нм, 750 нм, 580 нм.

РАССМОТРЕНИЕ ВАРИАНТОВ РЕЖИМОВ НАКАЧКИ

Рассмотрим накачку активного элемента АИГ:Nd тремя различными режимами питания импульсной лампы. Для первого случая накопительный конденсатор с запасенной энергией 150 Дж разряжается на лампу за 200 мкс. Форма тока разрядного импульса показана на рис. 1.

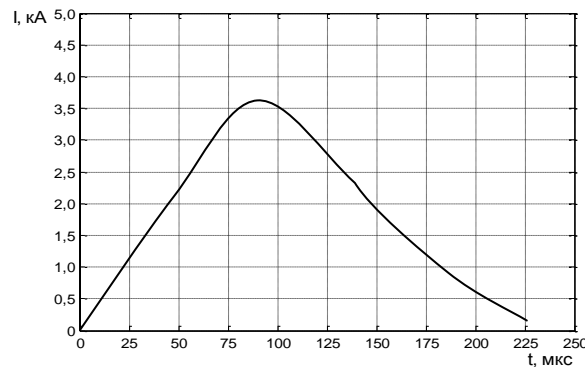


Рис. 1. Ток через лампу ИФП-800 при накачке одноступенчатым импульсом с энергией 150 Дж и длительностью 200 мксФ.

Согласно формулам (2), (3) спектральный КПД лампы ИФП-800 при форме тока разрядного импульса, показанного на рис. 1 составляет 12% в полосах поглощения АИГ:Nd. Уровень выходной энергии лазерного излучения можно оценить с помощью теоретической модели [3]. Выходная энергия лазера $W_{\text{вых}}=103$ мДж, эффективность преобразования энергии ϕ в активном элементе составила 47 отн.ед.

На рис. 2 показан двухступенчатый импульс тока через лампу. Энергия первой ступени составляет 50 Дж, длительность 50 мкс. Вторая ступень импульса накачки относится к более «жесткому» режиму питания лампы – 100 Дж, длительность – 50 мкс.

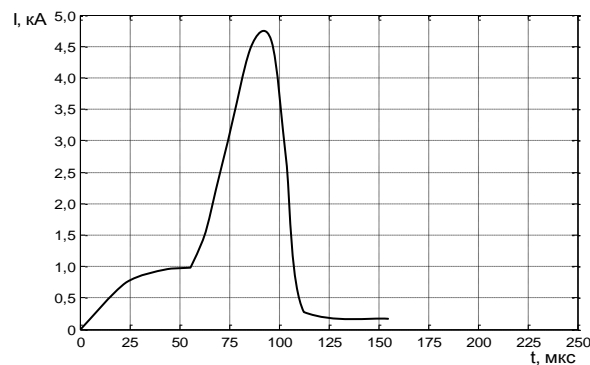


Рис. 2. Ток через лампу ИФП-800 при накачке двухступенчатым импульсом энергия первой ступени – 50 Дж, второй – 100 Дж, длительность первой и второй ступеней – по 50 мкс.

Спектральный КПД импульсной лампы для случая двухступенчатой накачки составляет 7%. Уровень выходной энергии лазера $W_{\text{вых}}=120$ Дж, при этом эффективность активного элемента увеличилась до 75 отн.ед.

В первом и втором варианте питания импульсной лампы происходит разряд накопителей с энергией 150 Дж с различной скоростью нарастания мощности. Использование импульса разряда (рис.2), который в 4 раза короче, чем в первом случае (рис.1), позволило сократить пребывание активного элемента в возбужденном состоянии, что привело к уменьшению потерь на люминесценцию и повышению эффективности преобразования энергии в активном элементе в 1,6 раза. Спектральный КПД в полосах поглощения Nd^{3+} при сокращении длительности импульса сократился на 50%, наибольшая часть энергии выделилась в УФ части спектра.

Как следует из сравнения импульсов тока разряда рис.1 и рис.2, а также из анализа выходных величин источника накачки и активного элемента, способ питания оказывает значительное влияние на спектральный КПД импульсной лампы и на уровень запасаемой в лазере энергии.

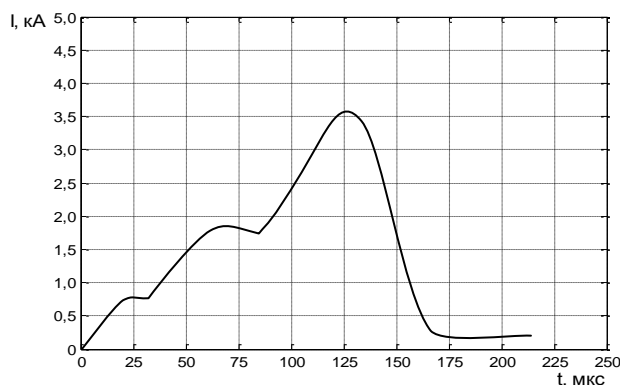


Рис. 3. Ток через импульсную лампу при накачке трехступенчатым импульсом. Первая ступень: энергия импульса – 30 Дж, длительность – 30 мкс; вторая ступень: энергия импульса – 50 Дж, длительность – 50 мкс; третья ступень: энергия импульса – 70 Дж, длительность – 70 мкс;.

На рис.3 представлен трехступенчатый импульс тока разряда при питании лампы накачки. Для этого случая выходная энергия лазера составила 100 мДж с эффективностью ее преобразования 63 отн.ед. Спектральный КПД импульсной лампы для трехступенчатого импульса составил 10,5%. По сравнению со способом накачки, показанным на рис.1, на 40% увеличился КПД активного элемента и на 12,5% уменьшилась спектральная эффективность импульсной лампы, что дало возможность на 25% увеличить общую эффективность.

Световой импульс накачки (рис. 1) имеет пологий задний фронт, за время которого бесполезно высвечивается значительная доля запасенной энергии. С помощью батареи конденсаторов, которые определенным образом коммутируются в разрядную цепь, формируются импульсы сложной многоступенчатой формы. Для трех представленных вариантов накачки, энергия, передаваемая в лампу, оставалась неизменной. Трансформация формы импульса накачки позволила значительно сократить потери на люминесценцию в активном элементе при незначительном уменьшении энергии лампы в спектре поглощения активного элемента лазера. Таким образом, при заданном значении выходной энергии лазера, имеется возможность снижать энергию, подаваемую на импульсную лампу.

ВЫВОДЫ

При заданной энергии выходного лазерного импульса можно на основании приведенного теоретического исследования определить длительность, энергию и форму разрядного импульса, при которой эффективность лазерного передатчика будет максимальной. Важно отметить, что повышение КПД лазера осуществляется только лишь регулировкой зарядного устройства, без внедрения в оптическую систему лазера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Любич И.В. Исследование и оптимизация процессов накачки активных элементов передатчиков лазерных локационных систем // Ж. „Радиотехника”. Издательство ХНУРЕ.–2008.– № 155.– С. 268 – 273.

2. Маршак И.С., Дойников А.С., Жильцов В.П., Кирсанов В.П. Ровинский Р.Е., Шукин Л.И. Импульсные источники света М.: «Энергия», 1978 – 472с.
3. Денищик Ю.С., Нагай (Любич) И.В. Моделирование энергетических процессов в лазерных активных средах для передатчиков ЛЛС // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – 2007. Вып. 24 – С.340 – 346.
4. Михайлов Н.И. Исследование эффективности систем оптической накачки квантовых генераторов и пути ее дальнейшего повышения / Автореферат дис.. канд.техн.наук. – Л. – 1972. – 13 с.
5. Алексеев В.Н. О влиянии формы импульса излучения накачки на уровень запасенной энергии в усилителях на неодимовом стекле / В.Н.Алексеев, Е.Г.Бордачев, С.А.Винницкий// Квантовая электроника. – 1978. –Т. 5, № 10. – С. 2291-2293.