

23. Shafer, D.R. Four-mirror unobscured anastigmatic telescopes with all spherical surfaces / D.R. Shafer // Appl. Opt. – 1978. – Vol. 17, No 7. – P. 1072 – 1074.
24. Burch, C.R. Application of the plate diagram to reflecting telescope design / C.R. Burch // Opt. Acta. – 1979. – Vol. 26, No 4. – P. 493 – 504.
25. Mirror projection system for a scanning lithographic projection apparatus comprising such a system: pat. 6386715 USA, MKI G02B 17/00 / Braat, J.M Josephus // United States Patent. – 03. 09. 2004.
26. 8-mirror microphotography projection objective: pat. 7372624 USA, MKI G02B 17/00 / Mann [et al.] // United States Patent. – 05. 05. 2008.
27. Catoptric objectives and system using catoptric objectives: pat. 7414781 USA, MKI G02B 17/00 / Mann [et al.] // United States Patent. – 26. 06. 2008.
28. Горшков, В.А. Автоматизированное формообразование высокоточных асферических поверхностей / В.А. Горшков [и др.] // Оптический журнал. – 2004. – Т. 71, № 12. – С. 5 – 9.

*Надійшла до редакції
27 січня 2013 року*

© Артюхина Н.К., 2013

УДК 621.378.325

СТАБИЛИЗАЦІЯ ЕНЕРГІЇ ГЕНЕРАЦІЇ СИСТЕМ ЛАЗЕРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Колобродов В.Г., Мурга Е.В.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
г. Киев, Украина*

Рассмотрен метод стабилизации энергии излучения твердотельных лазеров в лазерных системах зондирования. Проанализированы условия, позволяющие увеличить коэффициент полезного действия лазера в широком диапазоне энергии, подводимой к лампе накачки. Показано, что использование сложных импульсов накачки обеспечивает стабилизацию энергии генерации лазера и повышает точность определения координат объекта системами дистанционного зондирования.

Проведенные экспериментальные исследования на действующей локационной станции показали увеличение выходной энергии импульса в 1,25 – 1,3 раза и уменьшения расходимости лазерного пучка в 1,5 раза.

Ключевые слова: *лазерная система зондирования, система накачки, стабилизация излучения лазера.*

Вступлення

Системы лазерного зондирования находят широкое применение в различных отраслях в качестве лазерных дальномеров, измерителей скорости, системах слежения за космическими объектами и других [1]. Энергетические параметры передающих устройств систем лазерного зондирования оказывают существенное влияние на эффективность лазерной локации и измерения дальности.

Одним из направлений повышения эффективности лазерных систем зондирования есть использование различных режимов накачки лазера. Вопрос опти-

мизации режимов питания системы накачки твердотельных лазеров исследовался авторами ряда работ. Однако практические рекомендации имеют значительные отличия. Так, в работе [2] рекомендуется выбирать величину энергии, подводимой к лампам накачки приблизительно в 3 раза превышающую пороговую. Автором работы [3], посвященной энергетической эффективности преобразования энергии в активной среде, было показано, что для обеспечения оптимальных условий работы активного элемента превышение энергии накачки над пороговой должно составлять $(1,5 \div 2)E_{\text{пор}}$. Причем, согласно [2], уменьшение длительности импульсов накачки обеспечивает повышение эффективности преобразования энергии в активном элементе. Кроме того, вследствие ограниченной скорости роста инверсии населенностей уровней, при чрезмерно коротком импульсе накачки невозможно получить максимальные значения энергии моноимпульса для данного активного элемента.

Постановка задачи

Настоящая статья посвящена анализу условий, позволяющих получить повышенный коэффициент полезного действия лазера в широком диапазоне энергии, подводимой к лампам накачки.

При расчете систем лазерной локации используют математические модели, позволяющие установить критерий для оценки энергетической эффективности как всей системы в целом, так и отдельных компонент системы. Такой критерий описывает зависимость энергетической эффективности активного элемента от режима накачки лазера с модулированной добротностью, который в наибольшей степени влияет на результативность работы всей системы локации. Эффективность преобразования энергии в активном элементе для предложенной модели оценивается при помощи критерия:

$$\varphi = \frac{E_i}{\tau_i \int_0^{\tau_i} P_1(t) dt}, \quad (1)$$

где E_i – энергия импульса излучения лазера; $P_1(t)$ – мощность потерь на суперлюминесценцию; τ_i – длительность импульса.

В данном критерии введены потери на суперлюминесценцию, так как это основной фактор, который ограничивает выходную мощность лазера. Величина потерь на суперлюминесценцию определяется мощностью, затрачиваемой на усиление люминесценции, и зависит от таких характеристик активного элемента, как размеры, вид обработки поверхности, а также от рода применяемой активной среды, концентрации активных частиц.

Использование в лазерных системах дистанционного зондирования твердотельных лазеров предусматривает их эксплуатацию при режимах, близких к предельным режимам. В этом случае необходим учет изменений спектральных, временных и энергетических характеристик излучения ламп накачки. Эти из-

менения могут существенным образом влиять на эффективность системы накачки.

Реализация нового метода накачки

Нами были проведены исследования зависимости параметров выходного излучения лазеров от режима их возбуждения, которые позволили выделить режим питания ламп накачки, при котором в активной среде возбуждаются коллективные взаимодействия возбужденных активных центров. Обнаруженные коллективные явления оказывают существенное влияние на параметры выходного излучения лазера [4] и на эффективность источников питания систем лазерного зондирования.

Возбуждая коллективные взаимодействия, можно увеличить энергетическую эффективность лазеров, как в режиме модуляции добротности, так и в режиме свободной генерации. При этом не возникает непроизводительных потерь энергии. Более того, было отмечено увеличение выходной энергии лазера в 1,3 раза по сравнению с традиционным способом возбуждения при уменьшении разброса значений выходной энергии в 1,5 раза. Помимо указанных результатов было также отмечено более равномерное распределение интенсивности излучения по торцу активного элемента, что привело к уменьшению расходимости излучения в 1,4 раза.

Данный метод стабилизации параметров излучения лазера возможен без дополнительных устройств, а лишь по тракту питания ламп накачки. Разработка такого режима со стабилизацией параметров производится для конкретного лазера с учетом размера активного элемента, концентрации активных центров и режима генерации [4].

Реализация такого режима возможна при питании ламп последовательно коротких импульсов (пичков), которые накладываются на продолжительный подготовительный импульс. Причем, энергии подготовительного импульса должно быть достаточно для обеспечения пороговых условий генерации для данного размера активной среды.

Исследование предложенного режима проводилось для различных форм импульсов накачки: «гладкий» импульс, «двойной» и «сложный» импульсы (см. рисунок).

При согласовании периода следования коротких пичков в последовательности со скоростью распространения возмущения в кристалле возможно получение коррелированного состояния возбужденных активных центров. Данное явление проявляется в увеличении выходной энергии моноимпульса в 1,25 – 1,3 раза и уменьшения расходимости излучения в 1,5 раза. Подобное изменение параметров выходного излучения характерно при кооперативных эффектах в твердотельных активных средах, в частности при сверхизлучении.

Применение данного метода генерации излучения в лазерных системах определения дальности и местоположения объекта значительно упрощает обработку сигнала.

Используя локационную формулу, можно сделать оценку целесообразности использования полученных результатов для лазерных локационных систем. Так требуемая для локации объекта мощность P_t может быть представлена выражением [1]

$$P_t = \frac{4\pi P_n R^4 \Theta_1^2}{A_0 \sigma_t \tau_a \tau_o}, \quad (2)$$

где: P_n – минимальная мощность обнаруживаемого сигнала; R – дальность до цели; Θ_1 – расходимость лазерного пучка; A_0 – площадь приемного канала локационной станции; σ_t – эффективная площадь объекта наблюдения; τ_a – коэффициент пропускания атмосферы; τ_o – коэффициент пропускания оптической системы локатора.

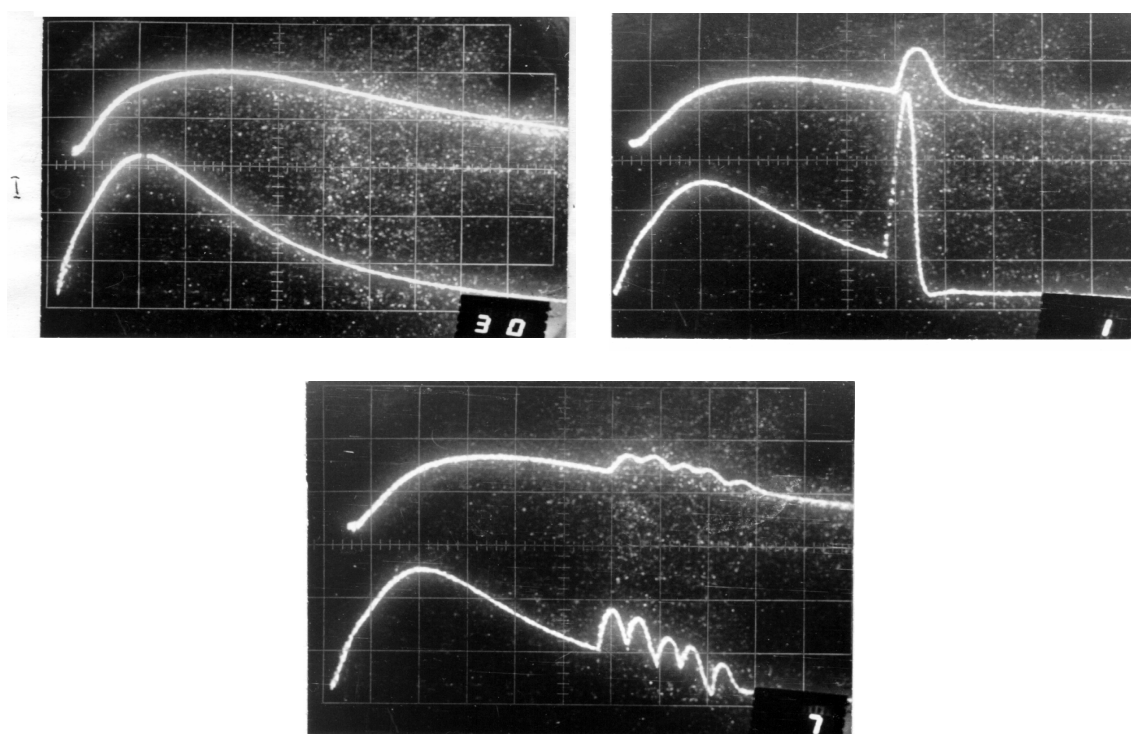


Рисунок. Формы импульсов накачки (нижняя кривая) и уровня люминесценции кристалла

Увеличение мощности излучения P_t в 1,5 раза и уменьшение расходимости лазерного пучка Θ_1 в 1,4 раза позволяет увеличить дальность действия систем локации в 1,5 раза или же уменьшить мощность передатчика в 4 раза при сохранении значений параметров дальности и мощности обнаруживаемого сигнала.

Одним из важных параметров систем зондирования является их помехозащищенность. Использование предложенного метода (режима) работы позволяет при неизменной энергии питания перейти от режима счета фотонов к режи-

му детектирования огибающих оптического импульса, что значительно улучшает отношение сигнал/шум и позволяет улучшить точность определения дальности при дистанционном зондировании лазерной системой с импульсным твердотельным лазером.

Как показали экспериментальные исследования, возбуждение лазера сложными импульсами накачки позволяют снизить разброс значений выходной энергии с 30-40% (при гладком импульсе накачки) до 5-10%.

Выводы

1. Предложенный способ накачки твердотельного лазера импульсом сложной форм позволил получить повышенный коэффициент полезного действия лазера в широком диапазоне энергии, подводимой к лампе накачки.
2. Повышение мощности излучения лазера происходит за счет того, что в активной среде происходит коллективное взаимодействие возбужденных активных центров.
3. Проведенные экспериментальные исследования на действующей локационной станции показали увеличение выходной энергии импульса в 1,25 – 1,3 раза и уменьшения расходимости лазерного пучка в 1,5 раза, что подтверждает эффективность предложенного метода накачки.
4. Дальнейшие исследования целесообразно направить на установления зависимости угла расходимости лазерного пучка от мощности излучения.

Литература

1. Молебный В.В. Оптико-локационные системы: монография. – М: Машиностроение, 1981. – 181 с.
2. Денищик Ю.С. Оптимизация по КПД режима накачки активных элементов передатчиков лазерных спутниковых дальномеров / Ю.С. Денищик, А.Г. Мединский, В.В. Мурга // Анализ движения небесных тел и оценка точности их наблюдений. Рига. – 1988. – С. 206–211.
3. Денищик Ю.С. Учет взаимного влияния инверсной заселенности и плотности люминесценции при оценке энергетической эффективности накачки трехуровневой среды в нестационарном режиме // Журнал прикладной спектроскопии. – 1988. – Т. 51. – № 5. – С. 777 – 781.
4. Колпаков Н.Д. О возможности использования взаимного влияния активных центров лазерных рабочих сред для повышения эффективности накачки / Н.Д. Колпаков, Ю.С. Денищик, В.В. Мурга // Электронная техника. Сер. Лазерная техника и оптоэлектроника. – 1990. – Вып. 4(56). – С. 63 – 64.

*Надійшла до редакції
20 лютого 2013 року*

© Колобродов В.Г., Мурга Е.В., 2013