

УДК 550.318

Повышение эффективности сжатия импульса неодимового лазера

И.В. Артемов, Д.И. Неяченко, А.И. Дмитроца, С.В. Филиков, Ю. Мартышин

Лаборатория радиоастрономии НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98688,
Украина, Крым, Ялта

Поступила в редакцию 15 февраля 2010 г.

Аннотация. Определены условия получения и эффективного сжатия импульса неодимового лазера для лазерного спутникового дальномера (ЛСД) международной станции “Симеиз-1873” НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE PULSE COMPRESSION OF NEODYMIUM LASER, by I. Artemov, D. Nejachenko, A. Dmitroca, S. Filikov, U. Martishin. The conditions for receiving and compressing of the pulse of neodymium laser for international satellite laser ranging station “Simeiz-1873” of the Crimean Astrophysical Observatory are defined.

Ключевые слова: лазер для дальномера, пикосекундный лазер, ВРМБ-компрессия

1 Введение

Возросшие требования к точности измерений расстояний до искусственных спутников Земли диктуют необходимость приведения к международным нормам всего измерительного комплекса лазерного спутникового дальномера (ЛСД) станции “Симеиз-1873” НИИ “КрАО”. Одна из первоочередных задач – уменьшение длительности лазерного импульса как фактора, улучшающего характеристики всех составляющих ЛСД-комплекса. Для получения пикосекундных импульсов неодимового лазера наиболее предпочтителен метод ВРМБ-сжатия (вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна) (Бузялис, 1995; Акулиничев, 1997). Задача включает: определение и получение оптимальных параметров импульса накачки (Бузялис, 1995; Назаров, 2001) и определение условий эффективного сжатия (Бузялис, 1991; Гулидов, 1988). Важным является вопрос оперативного измерения длительности импульса лазера на выходе (Шапино, 1981).

2 Материалы и методы

Для обеспечения условий ВРМБ-сжатия использовалась традиционная схема компрессора, реализованная в излучателе “Пульсар”, разработанного НТК “Динамик” в 1991 г. в Киеве. Внесенные изменения были связаны с задающим генератором (ЗГ) и ВРМБ-компрессором (рис. 1). Замена ЗГ в исходном варианте излучателя (рис. 2), выполненного по схеме Саньяка (Прохоренко, 1985),

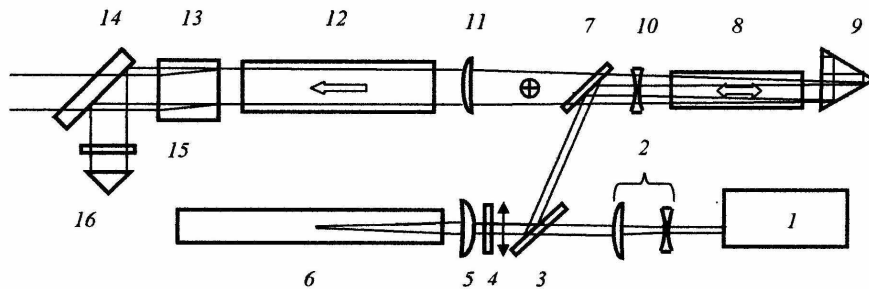


Рис. 1. Оптическая схема ВРМБ-компрессора с двухкаскадным усилителем. 1 – ЗГ; 2, 10–11 – расширяющие телескопы; 3, 7 – диэлектрические поляризаторы; 4 – четвертьволновая пластинка; 5 – линза компрессора; 6 – ВРМБ-кювета; 8 – АЭ первого каскада; 9 – призмный фазовращатель; 12 – АЭ второго каскада; 13 – ГВГ; 14 – делительное зеркало; 15 – фильтр; 16 – ФЭК

на линейный резонатор ЗГ (рис. 3) позволила перейти на более короткий резонатор, а следовательно, получить более короткий импульс излучения. Задачу оптимизации параметров ЗГ можно сформулировать как задачу определения оптимальных значений коэффициента отражения выходного зеркала r_1 и начального коэффициента пропускания пассивного затвора T_i (Назаров, 2001). Взаимосвязь r_{opt} и T_{opt} аппроксимировали в виде линейной зависимости $r_{opt} = 1.11T_{iopt} + 0.13$. Эффективное ВРМБ-сжатие, по данным (Бузялис, 1991; Гулидов, 1988), достигается при условии $\tau_H < \frac{2Ln}{c}$, где L – расстояние от входного окна кюветы с ВРМБ-средой до фокальной плоскости линзы, n – показатель преломления ВРМБ-среды, τ_H – длительность импульса накачки. Минимальную длительность стоксового импульса при оптимальной энергии лазерного импульса гауссовского пучка можно оценить по формуле $\tau_s^{min} = \frac{\sqrt{2}z_f}{v}$, где $z_f = \frac{\lambda n f^2}{\pi a^2}$ – половина длины фокальной перетяжки, a – радиус пучка на уровне e^{-2} на линзе. Максимальный коэффициент сжатия достигает 25.

Теория и эксперимент (Бузялис, 1991; Гулидов, 1988; Горбунов, 1984) применительно к монохроматической (обеспечивается продольной модой) накачке показали, что коэффициент сжатия $H_{max} = \frac{\tau_H}{\tau_s}$ ограничен сверху величиной порогового инкремента ВРМБ $M_n = 20 - 30$. Причем H_{max} может быть получен лишь при оптимальной геометрии фокусировки $\frac{L}{z_f} = M_n$. Практически это сводится к расчету фокуса линзы 5 и радиуса пучка накачки на входе ВРМБ-кюветы. Величина энергии импульса накачки сверху ограничена оптическим пробоем среды, а снизу – пороговым значением коэффициента отражения ВРМБ, и легко подбирается с помощью фильтра.

Возможность замены ВРМБ-среды CCL_4 ($n=1.45$) на C_8F_{18} ($n=1.27$) позволила несколько улучшить характеристики среды компрессора.

На рис. 1 представлена схема лазерного излучателя “Пульсар”, в которой отражен один из способов получения укороченных импульсов при помощи ВРМБ-компрессора и связанного с ним через поляризационную развязку двухкаскадного усилителя.

1 – ЗГ, 2 – 3× кратный расширяющий телескоп компрессора, 3, 7 – поляризаторы развязки, 4 – пластинка $\lambda/4$, 5 – фокусирующая линза $f = 300$ мм, 6 – ВРМБ-кювета (CCL_4), 8, 12 – активный элемент (АЭ) $YAGNd^{3+}$ 6×100 мм и 8×100 мм соответственно, 9 – призмный фазовращатель, 10, 11 – телескоп, согласующий апертуры усилителей, 13 – генератор второй гармоники DKDP, 14 – дихроическое зеркало, 16 – элемент для скоростной синхронизации.

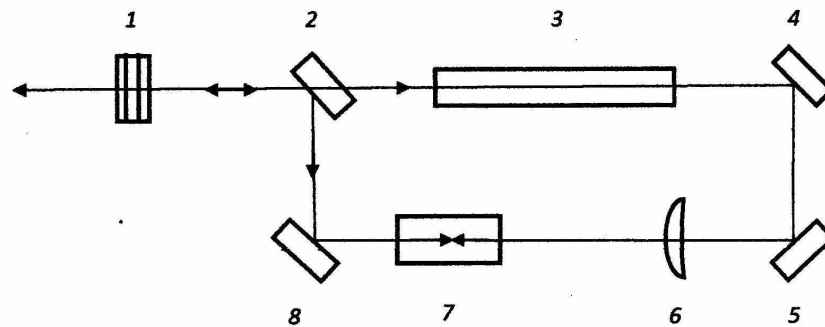


Рис. 2. Задающий генератор по схеме интерферометра Саньяка. 1 – стопа; 2 – делитель; 3 – активный элемент; 4, 5, 8 – зеркала резонатора; 6 – линза; 7 – ПЛЗ

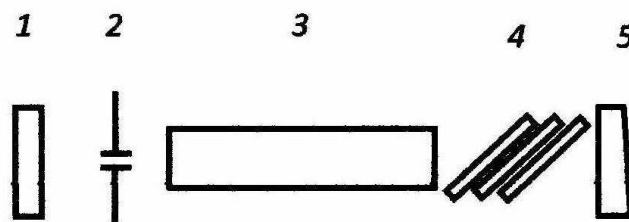


Рис. 3. Оптическая схема линейного задающего генератора. 1, 5 – переднее и заднее зеркала резонатора; 2 – диафрагма; 3 – активный элемент; 4 – пассивный лазерный затвор

ЗГ рис. 2 был выполнен по модульному принципу, что предполагало некоторую гибкость в выборе схемного решения.

1 – стопа-резонансный отражатель, выполняющий функцию выходного зеркала и селектора продольных мод, 2 – делитель в виде 50 % зеркала под углом 45° , 3 – активный элемент $YAGNd^{3+}$ $d = 4$ мм $l = 70$ мм, 4, 5, 6 – зеркала, образующие интерферометр Саньяка, 6 – линза, компенсирующая температурную линзу в АЭ, 7 – пассивный лазерный затвор $LiF : F_2 - 10 \times 10 \times 40$ мм $T_i = 0.15$

Линейный ЗГ (рис. 3) был выполнен по классической линейной схеме, при конструкторской проработке основной упор делался на предельно короткий резонатор.

Переднее выходное зеркало, представляющее собой плоскопараллельную пластину с резонансным коэффициентом отражения $r_1 \approx 15\%$, обеспечивало генерацию на одной продольной моде, заднее зеркало резонатора – на клине $r_5 \approx 90\%$. Селектирующая диафрагма (2) диаметром 1 мм обеспечивала генерацию на основной поперечной моде. Активный элемент (3) $YAGNd^{3+}$ 5×50 мм с антиотражательным покрытием торцов, пассивный лазерный затвор (4) (ПЛЗ) ГСГГ: Cr^{3+} с начальным пропусканием $T_i \approx 0.17$, кристаллы ГСГГ, расположенные под углом Брюстера, задают направление поляризации. Длину резонатора изменяли положением выходного зеркала с помощью узла тонкой регулировки. Минимальное расстояние между зеркалами резонатора составляло $L = 80$ мм.

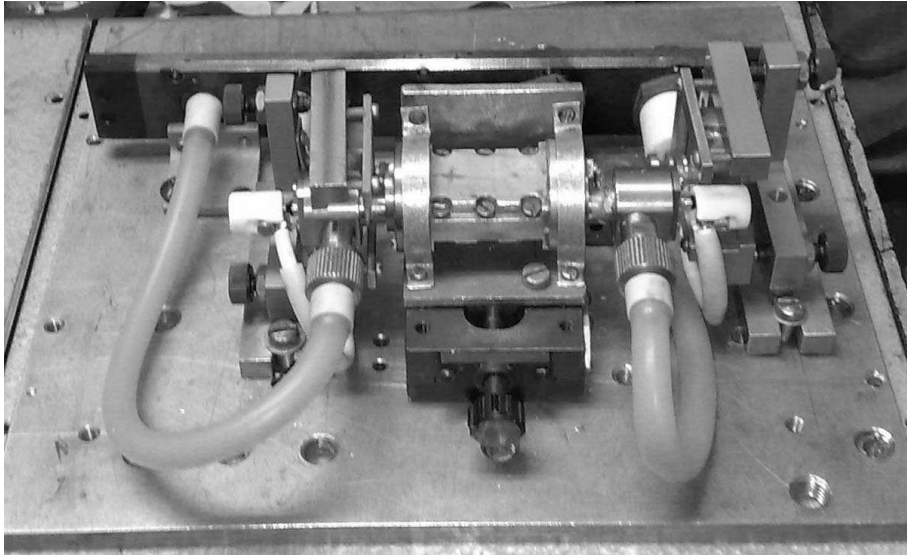


Рис. 4. Макет линейного задающего генератора

Для измерения длительности выходного излучения был разработан упрощенный вариант измерителя временных интервалов лазерного излучения на основе интерферометра Саньяка (рис. 4). Аналогичный метод двухфотонной люминесценции (Шапиро, 1981), сравнительно, более затратный. В объем данной статьи не входит подробное описание физики процесса.

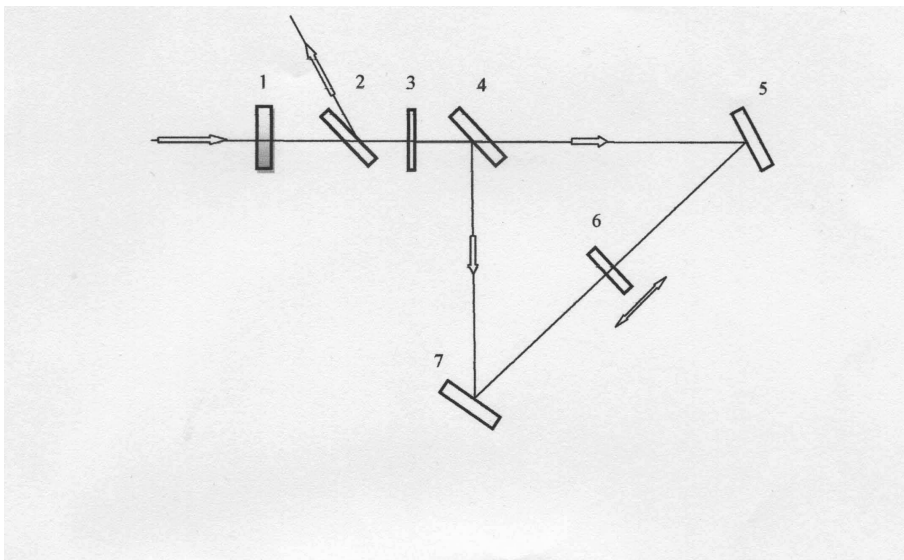


Рис. 5. 1 – фильтр, 2 – поляризатор, 3 – четвертьволновая пластинка, 4 – делитель, 5, 7 – зеркала, 6 – ПЛЗ

Фильтр (1) обеспечивает пороговые условия, меняя интенсивность входного излучения. Принцип измерения состоит в том, что когда ПЛЗ (6) отстроен от геометрического центра, устройство,

настроенное на пороге, не выдает сигнальное излучение с поляризатора (2). При введении ПЛЗ, представляющего собой ГСГГ-кристалл толщиной 2–3 мм, в район геометрического центра происходит интерференция сталкивающихся импульсов в кристалле ПЛЗ. В результате удвоенной интенсивности затвор просветляется, пропуская излучение, и с поляризатора (2) срывается сигнальное излучение. Перемещая ПЛЗ около геометрического центра, можно установить зону перекрытия (по половине высоты) встречных импульсов, а это и есть оптическая длительность импульса; разделив ее на скорость света, получим временную длительность. Диапазон измерений (100–10 пс) ограничен длиной плеча резонатора, в котором устанавливается модулятор. Поляризатор (2) и четвертьволновая пластина (3) обеспечивают сигнальное излучение. Зеркала (4, 5, 7) образуют интерферометр Саньяка.

3 Результаты и обсуждение

ЗГ, ЛП “Пульсар”, действующий в составе измерительного комплекса ЛСД Simeiz-1873, обеспечивал генерацию излучения на длине волны – 1.064 мкм, энергия в импульсе – 5–7 мДж, длительность импульса – 5–7 нс. После сжатия длительность стокового импульса составляла 350–400 пс, коэффициент сжатия ~ 15 .

Преимущество схемы Саньяка для ЗГ в высокой угловой селективности и, как следствие, легко достижимом одномодовом режиме, что существенно повышает кратковременную и долговременную стабильность работы всего излучателя. Недостатком схемы является удлиненный резонатор (L), а следовательно, большой аксиальный период, что не позволяет получить длительность импульса излучения меньше 5 нс. Это является весьма существенным недостатком для современного ЛСД. ЗГ с линейным укороченным резонатором генерировал импульс накачки для ВРМБ-компрессора длительностью 2 нс при длине резонатора 80 мм, с энергией в импульсе $6 \div 8$ мДж при принятых значениях выходного зеркала $r_1 \approx 15\%$ и ПЛЗ $T_i \approx 0.17$. Недостатком такого решения является низкая угловая селективность, что повысило требования к юстировочным узлам и селективирующей диафрагме. Условие одномодового режима в продольном и поперечном направлении выполнялось с приемлемой стабильностью.

Замена среды ВРМБ-компрессора CCl_4 на C_8F_{18} снизила порог срабатывания на $\sim 5\%$ и сняла фактор токсичности. Контроль длительности импульса проводился описанным выше прибором. После сжатия длительность стокового импульса составляла ~ 100 пс, коэффициент сжатия составлял ~ 20 . Теоретический предел коэффициента сжатия оценивается порядка ~ 25 .

Усиление на двух каскадах ЛП “Пульсар” обеспечивало энергию на $\lambda - 1.064$ мкм 150–200 мДж. Выходная энергия на $\lambda - 0.530$ мкм после генератора второй гармоники регистрировалась на уровне 60–80 мДж.

Изготовленный макет ЗГ с укороченным линейным резонатором был установлен в действующий излучатель “Пульсар” ЛСД Simeiz-1873. Для оценки полученных результатов было проведено несколько сеансов локации. Поскольку оборудование ЛСД не обновляли, повышение точности измерений не регистрировалось, т. к. точность измерений определяется не только лазерным излучателем.

Полученный результат открывает возможности модернизации ЛСД в направлении повышения точности измерений, существенно снижая затраты начального этапа.

Литература

- Акулиничев В.В., Горбунов В.А., Пивинский Е.Г. // Квантовая электроника. 1997. Т. 24. № 4. С. 362.
 Бузялис Р.Р., Гидаускас В.В., Дементьев А.С., Косенко Е.К. и др. // Изв. АН СССР. Серия физическая. 1991. Т. 55. С. 270.
 Бузялис Р.Р., Дементьев А.С., Косенко Е.К., Мураускас Э.К. // Квантовая электроника. 1995. Т. 22. № 6. С. 567.

- Горбунов В.А., Иванов В.Б., Паперный С.Б., Старцев В.Р. // Изв. АН СССР. Серия физическая. 1984. Т. 48. С. 1580.
- Гулидов С.С., Мак А.А., Паперный С.Б. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 47. Вып. 7. С. 329.
- Назаров В.В., Хлопонин Л.В., Храмов В.Ю. // Научно-технический вестник СПбГИТМО (ТУ). 2001. Вып. 4. С. 42.
- Прохоренко В.И., Тиханов Е.А., Яцкив Д.Я., Бушмакин Е.Н. // Квантовая электроника. 1987. Т. 14. № 4. С. 804.
- Шапиро С. // Сверхкороткие световые импульсы. М.: Мир. 1981.