

А. О. ТЕМНИКОВ, А. Р. ГАЙОСО ДЕ ЛОС САНТОС

МЕТОДЫ КОРРЕКЦИИ ФОРМЫ ИМПУЛЬСА ТОКА В ИСТОЧНИКАХ ПИТАНИЯ ЛАЗЕРОВ С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

Рассмотрены основные проблемы, возникающие при проектировании источников питания линеек и матриц лазерных диодов. Приведены методы преодоления этих проблем. Исследован принцип действия различных схем коррекции формы импульса тока в лазерных диодах.

Ключевые слова: диодный лазер, твердотельный лазер, диодная накачка, импульсный источник питания, коррекция формы импульса тока.

Современные тенденции развития лазеров направлены на увеличение энергии, повышение качества лазерного излучения и обусловлены необходимостью решения как фундаментальных, так и прикладных задач, к которым относятся исследование взаимодействия мощного лазерного излучения с веществом, разработка новых технологий и специальных лазерных систем. При решении этих задач в прошлом лучшие результаты достигались при использовании газовых лазеров и твердотельных лазеров с накачкой импульсными газоразрядными источниками оптического излучения. Будущее повышение эффективности лазерных систем связывают с созданием мощных линеек и матриц лазерных диодов и на их основе — систем накачки мощных твердотельных лазеров, обладающих высоким КПД и надежностью [1].

Разработка надежных источников питания (ИП) полупроводниковых лазеров является одной из актуальных задач. Источники питания для систем ламповой накачки изучены и описаны достаточно подробно [2, 3], поэтому рассмотрим основные аспекты проектирования импульсных источников питания мощных полупроводниковых лазерных линеек.

Отметим несколько отличительных особенностей ИП для диодной накачки. Во-первых, значения ширины линии накачки активных элементов и ширины линии излучения лазерных диодов малы, возникает проблема их согласования для достижения максимальной эффективности накачки. Частота линии излучения лазерных диодов сильно зависит от температуры. Поэтому, как правило, ИП включают в себя каналы стабилизации температуры линеек. Во-вторых, лазерные диоды, в отличие от ламп, не выдерживают обратных выбросов тока по срезу импульса.

Источники питания должны характеризоваться высокой стабильностью параметров выходных импульсов, поскольку даже кратковременное превышение допустимого тока приводит к разрушению структуры, также для улучшения работы лазерных диодов накачки необходим постоянный ток подставки [3, 4].

В тех случаях, когда требуется регулирование длительности импульсов тока нагрузки, следует использовать частичный разряд емкостных (ЕНЭ) или индуктивных (ИНЭ) накопителей энергии.

Достоинством ИНЭ является независимость амплитуды импульса тока накачки, но накопление и хранение энергии магнитного поля в индуктивном накопителе требует постоянного поддержания тока в нем, что существенно снижает КПД преобразователя. Использование такого типа накопителей целесообразно, лишь когда нужны низкие значения скважности импульсного процесса. Поскольку в мощных твердотельных лазерах с диодной накачкой, работающих в импульсном режиме, скважность большая (так как длительность импульсов обычно лежит в пределах 10—1000 мкс при частоте повторения менее 100 Гц), использование преобразователя с индуктивным накопителем энергии неоправданно.

В этом случае предпочтение следует отдать генераторам с частичным разрядом ЕНЭ. Такие генераторы надежны в работе, обладают высокой эффективностью передачи накопленной энергии в нагрузку, допускают возможность изменения параметров импульса в широких пределах. Для зарядки ЕНЭ могут быть использованы маломощные устройства (в проводимых опытах использовался резонансный транзисторный инвертор мощностью 300 Вт). Система управления отслеживает уровень напряжения накопителя и включает инвертор, когда напряжение уменьшается ниже заданного. Для исключения сбоев в системе управления на время формирования импульса тока в нагрузке включение инвертора блокируется. В качестве коммутатора используется полностью управляемый транзисторный ключ, а в качестве эквивалента нагрузки (ЭН) — включенные последовательно диоды серии 60EPU04, суммарная вольт-амперная характеристика (ВАХ) которых близка к ВАХ лазерных диодов. Число диодов выбиралось с учетом требуемой величины падения напряжения на нагрузке, которая на отдельном диоде принималась равной 1 В.

Импульсы тока, полученные в генераторах с ЕНЭ, имеют форму, близкую к прямоугольной с экспоненциальным спадом плоской части импульса.

Очевидно, что величина спада плоской части будет возрастать с увеличением его длительности импульса. Существенным увеличением емкости накопителя можно добиться почти плоской вершины импульса, но такой подход нецелесообразен с экономической точки зрения. Кроме того, избыточная энергия большого накопителя в аварийных режимах (пропуск размыкания ключа) может привести к разрушению нагрузки. В связи с этим возникает необходимость коррекции формы импульса тока для уменьшения величины спада плоской части при приемлемой емкости накопителя.

Корректирующие цепи. Цепь с емкостью, включенной параллельно нагрузке, представляет собой последовательную RC-цепь (R1 и C2) с диодом D2. Параллельно емкости корректирующей цепи включается резистор R2 порядка единиц килоом (рис. 1, а; C1 — емкостный накопитель; К — ключ; D1 — эквивалент нагрузки; D2, R1, R2, C2 — корректирующая цепь). Подбором R2 добиваются того, чтобы в результате вычитания тока корректирующей цепи из тока на выходе ключа в нагрузке получался импульс необходимой формы (рис. 1, б; 1 — через ключ, 2 — в нагрузке, 3 — через корректирующую цепь).

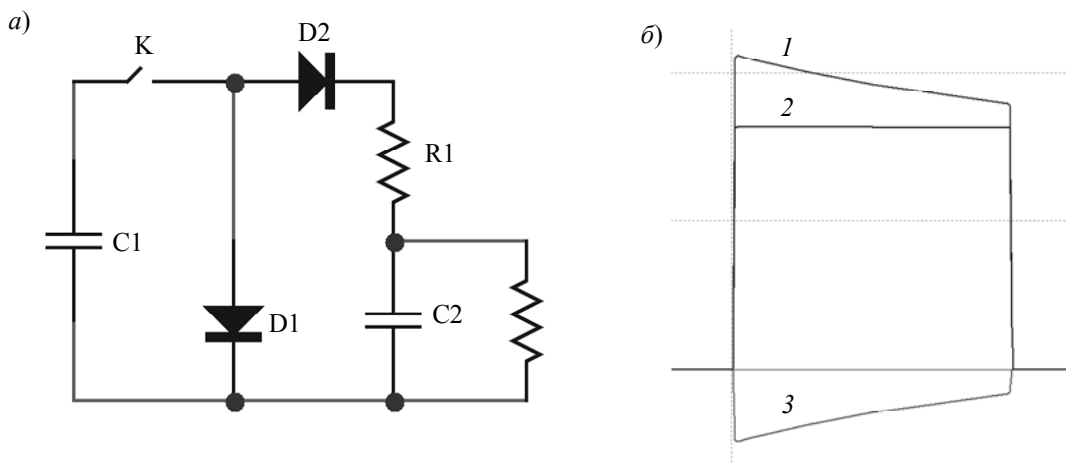


Рис. 1

Корректирующая цепь с индуктивностью, включенной последовательно с нагрузкой [5], работает на схожем принципе. Она состоит из индуктивности L1, параллельно которой включен R1 порядка единиц Ом (рис. 2, а; L1 — корректирующая цепь). Подбором R1 добиваются того, чтобы в результате сложения токов R1 и L1 получался импульс необходимой формы (рис. 2, б; 1 — в нагрузке, 2 — через резистор R1, 3 — через индуктивность L1).

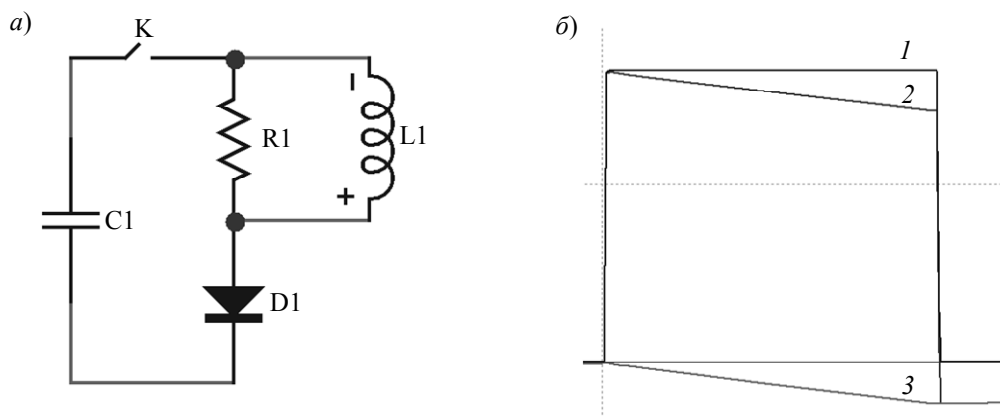


Рис. 2

Обе рассмотренные корректирующие цепи стабильно работают при необходимости небольшого изменения длительности импульса. Если нужен широкий диапазон регулировки длительности, возникает задача оперативного подбора резисторов корректирующих цепей.

Транзисторный ключ с обратной связью по току и транзистором, работающем в активном режиме. Принципиально иным методом коррекции формы импульса тока в нагрузке является использование в качестве ключевого элемента транзистора, работающего в активном режиме. Схема управления таким ключом представлена на рис. 3. Транзистор X1, осуществляющий коммутацию ЕНЭ С2 на нагрузку D1, работает в активном режиме. Последовательно с транзистором включен шунт R7, с которого снимается сигнал обратной связи. Схема управления транзистором состоит из операционных усилителей DA1 и DA2 и транзисторов Q1 и Q2.

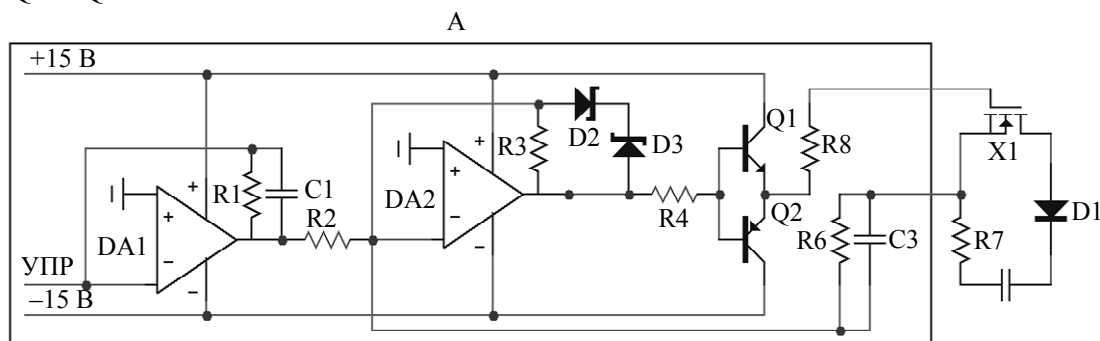


Рис. 3

Принцип работы такой схемы схож с принципом работы ПИД-регулятора. На инвертирующий вход ОУ DA1 подается эталонный сигнал УПР. Инвертированный эталонный сигнал складывается с сигналом обратной связи. В результате получается сигнал рассогласования, который усиливается ОУ DA2 и транзисторами Q1, Q2 и подается на затвор транзистора X1. R2 и R6 рассчитаны таким образом, чтобы в случае совпадения эталонного сигнала с сигналом обратной связи сигнал рассогласования был равным нулю. Конденсатор C3 отвечает за дифференциальную составляющую сигнала обратной связи, он ускоряет реакцию системы на изменение выходного тока. Стабилитрон D2 нужен для ограничения максимального напряжения на затворе силовых транзисторов и выбирается так, чтобы обеспечить работу транзистора только в линейном режиме и избежать выброса на фронте импульса.

Такая относительно несложная схема позволяет контролировать форму импульса тока в нагрузке с нелинейной ВАХ и практически не ограничивает диапазон регулировки длительности импульса. Система управления обеспечивает функции защиты генераторов в аварийных режимах, управление инвертором для заряда ЕНЭ до необходимого напряжения и генерацию импульсов управления ключом. Такой подход позволил создать надежный источник питания лазера с широким диапазоном регулировки всех выходных параметров, в том числе

формы импульса тока. Это обеспечивает возможность подбора оптимального режима работы лазера и защиту дорогостоящих линеек и матриц лазерных диодов от выхода из строя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курунов Р. Ф. Электрофизические процессы накачки и оптические свойства активных сред мощных лазеров и усилительных систем. СПб, 2009.
2. Вакуленко В. М., Иванов Л. П. Источники питания лазеров. М.: Сов. радио, 1980. 104 с.
3. Грамаков А. А., Фефелов А. П., Чернышев А. В. Высокоэффективные источники накачки для непрерывных твердотельных лазеров // Лазерные системы и их применение: Сб. тр. М., 2004. С. 45—46.
4. Грамаков А. А., Фефелов А. П., Чернышев А. В. Высокоэффективные источники накачки для импульсных полупроводниковых лазерных линеек // Наука и образование. 2012. № 4.
5. Иванов А. Б., Сосновкин Л. Импульсные передатчики СВЧ. М.: Советское радио, 1956.

Сведения об авторах

Анатолий Олегович Темников

— бакалавр; ООО „ФЕДАЛ“, Санкт-Петербург; начальник производства; E-mail: Temnikov90@mail.ru

Алексей Рафаэлевич Гайосо де лос Сантос

— магистр; ООО „ФЕДАЛ“, Санкт-Петербург

Рекомендована
Программным комитетом
симпозиума

Поступила в редакцию
14.12.13 г.

УДК 620.179.118.4

В. В. АЗАРОВА, Т. В. ЦВЕТКОВА

АНАЛИЗ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРЕЦИЗИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ МИКРОСКОПИИ

Рассмотрены особенности применения метода некогерентной интерферометрии для оценки параметров шероховатости прецизионных оптических поверхностей. Приведены результаты измерений, полученные с помощью зондового профилометра и интерферометра белого света.

Ключевые слова: прецизионные оптические поверхности, шероховатость, интерферометрия.

Введение. Метод некогерентной интерферометрии широко используется в измерениях прецизионных оптических поверхностей. Этот метод применяется в сканирующем интерферометре белого света, позволяющем проводить бесконтактные измерения и обеспечивающ структурный анализ исследуемой поверхности. В процессе измерения нановеличин возможно возникновение артефактов, приводящих к большим ошибкам измерения. Исключение артефактов из измерений, полученных на белом интерферометре, производится путем цифровой обработки полученной измерительной информации.

В настоящей статье опровергается утверждение (см., например, [1]), что интерференционную оптическую микроскопию нельзя применять для определения параметров сверх гладких поверхностей. Приводятся результаты измерений параметров прецизионной оптической поверхности, полученные на интерферометрах белого света CCI-2000 (фирмы Taylor-Hobson) и NV-6200 (фирмы Zygo).