

УДК 621.373.826

СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ЛАЗЕР НА БРОМИДЕ МЕДИ С АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ СО СРЕДНЕЙ МОЩНОСТЬЮ ГЕНЕРАЦИИ 20 Вт

© 2012 г. В. А. Димаки, В. Б. Суханов, В. О. Троицкий, А. Г. Филонов

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
Россия, 634021, Томск, пл. Академика Зуева, 1
E-mail: qel@asd.iao.ru*

Поступила в редакцию 09.09.2011 г.
После доработки 12.01.2012 г.

Описан лазер на парах бромида меди со средней мощностью генерации 20 Вт с автоматизированным управлением импульсно-периодическим, цуговым и ждущим режимами. Источник питания лазера имеет блоковую структуру. Показано влияние параметров режимов работы лазера на характеристики генерации. Определено взаимное влияние блоков питания. Представлены конструкция и энергетические характеристики лазера.

ВВЕДЕНИЕ

Лазер на парах бромида меди с компьютерным управлением импульсно-периодическим, цуговым и ждущим режимами, представленный в [1], выгодно отличается от “саморазогревного” лазера [2]. Это отличие, прежде всего, связано с тем, что благодаря независимому от разряда температурному режиму работы стабильность энергии в импульсе генерации существенно возросла. При работе в режиме “саморазогрева” изменение средней мощности, вкладываемой в разряд, неизбежно сопровождается изменением температурного режима работы активного объема, что существенно влияет на мощность генерации [3]. Стабилизируя температуру стенки разрядного канала, мы в значительной степени снижаем роль этого слабо контролируемого параметра на энергию в импульсе генерации. Вследствие этого и изменение частотного режима в определенных пределах при сохранении электрических параметров схемы возбуждения также не меняет энергии в импульсе [4]. Это является важным фактором при обработке материалов, когда изменение скорости процесса связано с изменением частоты посылок импульсов генерации.

Другим отличием лазера на бромиде меди является специальная схема формирования высокого напряжения, которая позволила стабилизировать работу элементов коммутации, выполненных на основе тиратрона ТГИ1–1000/25 [1, 5]. Особенность схемы заключается в том, что после прохождения разряда некоторое, достаточно продолжительное время тиратрон находится под нулевым потенциалом, что позволяет ему надежно закрываться. В результате принятых мер лазер такой конструкции работает с достаточно хорошей

стабильностью энергии в импульсе генерации, управление компьютером позволяет быстро, по мере необходимости, переключать импульсно-периодический режим в цуговой или ждущий.

Однако лазер на бромиде меди вследствие ограничения мощности коммутации до 1.5 кВт, обусловленного как воздушным охлаждением блока питания, так и требованием надежной работы применяемых элементов электрической цепи, генерирует немногим более 10 Вт мощности излучения. Для многих применений такой мощности хватает. Но иногда требуется более высокая мощность генерации, например для эффективной обработки материала при изготовлении кардиоваскулярных протезов (медицинских стентов) [4] для качественной резки металла требуется повысить мощность до 20 Вт.

С целью создания лазера такой мощности с непременным условием сохранения преимуществ ранее разработанного лазера было предложено испытать блоковую структуру источника питания. То есть возбуждение осуществлять от двух источников питания, нагруженных на одну газоразрядную трубку. Это позволит вдвое увеличить вкачиваемую в разряд мощность, не изменяя нагрузки на элементы электрической схемы источника питания, в результате чего, предположительно, сохранится ранее достигнутая надежность работы лазера. Однако при этом необходимо выяснить взаимное влияние источников питания и поведение газоразрядной трубки при повышенной потребляемой мощности.

В данной работе описан выполненный нами макет требуемого лазера и рассмотрены характеристики его работы.

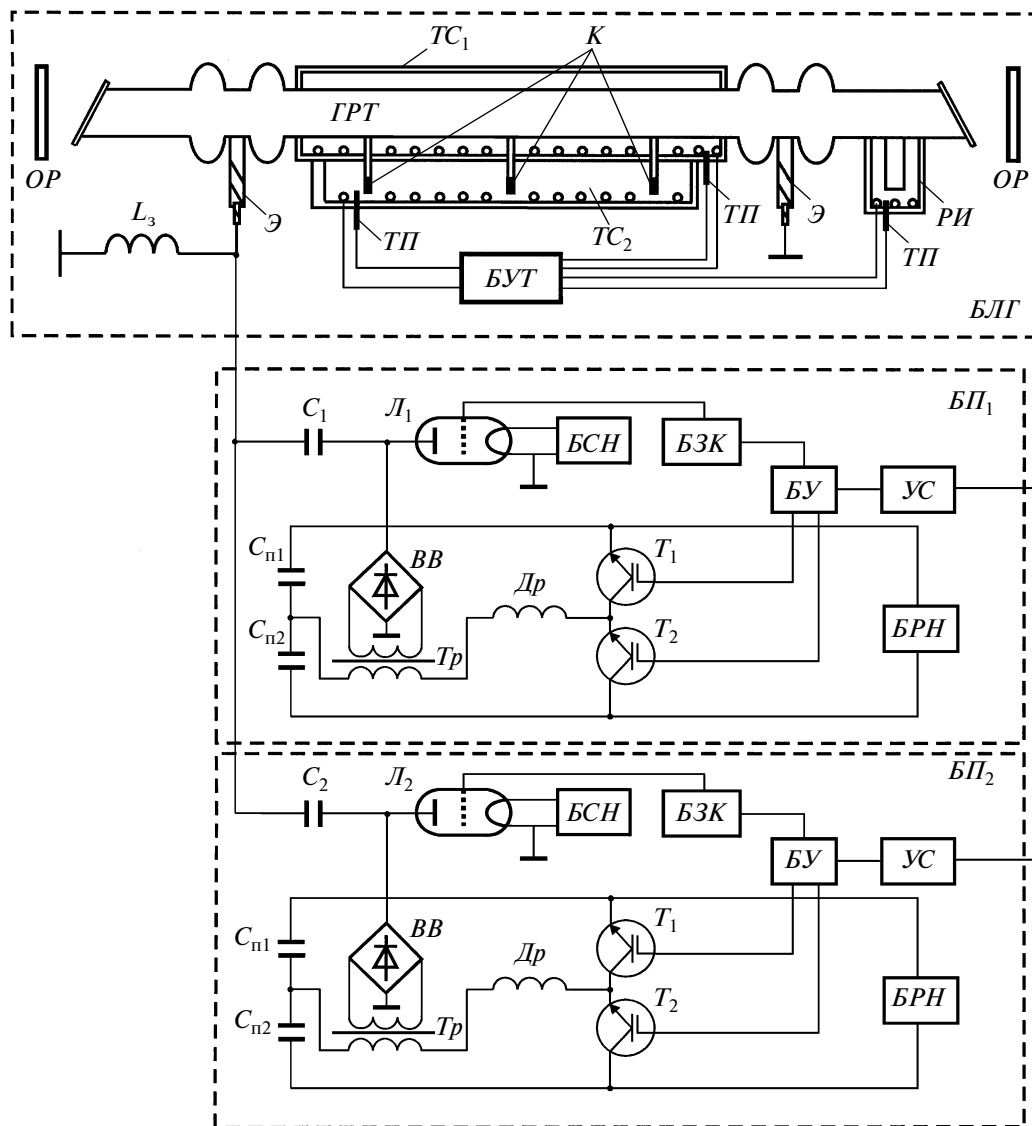


Рис. 1. Блок-схема лазера на парах бромида меди. БЛГ – блок лазерной головки; ГРТ – газоразрядная трубка; ТС₁ – термостат ГРТ; ТС₂ – термостат CuBr; К – контейнеры с бромидом меди; РИ – реверсивный источник HBr; ОР – оптический резонатор; Э – электроды; ТП – термопары; БУТ – блок управления температурой; БП₁, БП₂ – блоки источника питания; БУ – блок управления; БЗК – блок запуска коммутатора; БСН – блок стабилизации накала генератора водорода; БРН – блок регулятора напряжения; УС – устройство синхронизации; ВВ – высоковольтный выпрямитель; Т₁, Т₂ – транзисторы полумоста; L₃ – зарядная индуктивность; L₁, L₂ – тиратроны ТГИ1-1000/25; C₁, C₂ – рабочие емкости; C_{п1}, C_{п2} – емкости полумоста; Тр – высоковольтный трансформатор; Др – дроссель.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРА

Блок-схема лазера представлена на рис. 1. Лазер выполнен в виде трех блоков: блока лазерной головки БЛГ и двух идентичных блоков питания – БП₁ и БП₂.

В данной конструкции лазера используется регулировка температуры трех объектов: активного объема, бромида меди и реверсивного источника.

Температура активного объема регулируется с помощью термостата газоразрядной трубки ГРТ

путем установки и поддержания в рабочем диапазоне температуры стенки разрядного канала. Это позволяет изменять частотный режим работы лазера с сохранением энергии в импульсе генерации, что важно с технологической точки зрения, а также осуществлять работу лазера в цуговом и ждущем режимах [6].

Регулировкой температуры бромида меди поддерживается его оптимальное давление в активном объеме. Конструкция данного лазера по сравнению с [1] была модернизирована – объем нагрева отростков CuBr объединен. При таком решении

температура всего бромида меди автоматически становится одинаковой, что позволяет унифицировать процесс подачи паров в активный объем.

Регулировкой температуры реверсивного источника НВг устанавливаются необходимое давление НВг [7]. Контроль и управление этими температурами осуществляются с помощью термодатчиков блоком управления температуры БУТ, регулировки которого выведены на переднюю панель БЛГ.

Работа лазера в импульсном режиме дает возможность увеличения вкачиваемой в разряд мощности поочередным срабатыванием двух источников питания. В такой схеме нагрузка на элементы отдельного источника питания сохраняется, чем обеспечивается его длительная бесперебойная работа. Кроме того, сохраняется возможность воздушного охлаждения, что важно при практическом использовании прибора. При этом предполагается минимальное влияние источников друг на друга, поскольку в момент срабатывания одного коммутатора второй находится под нулевым потенциалом, что не дает ему возможности помешать работе активного блока.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЛАЗЕРА

Работа лазера происходит следующим образом. Блок регулировки напряжения БРН первого блока питания БП₁ преобразует сетевое напряжение в постоянное, регулируемое в пределах ~0–300 В, и подает его на блок полумостовой схемы. Полумостовая схема, выполненная на основе двух транзисторов T_1 и T_2 (IRG4PH50UD), по сигналу блока управления БУ вырабатывает разнополярные импульсы на первичной обмотке высоковольтного трансформатора Tr . Импульсы формируются при поочередном разряде емкостей полумоста $C_{п1}$ и $C_{п2}$, представляющих собой набор конденсаторов К78–2 емкостью 0.15 мкФ.

При открывании любого из транзисторов ток через него, первичную обмотку высоковольтного трансформатора и дроссель Dr начинает плавно нарастать. Скорость нарастания тока ограничивается дросселем. При этом емкости полумоста перезаряжаются. При открытии транзистора T_1 емкость $C_{п1}$ разряжается до нуля, а $C_{п2}$ заряжается до полного напряжения на полумосте.

В момент полной перезарядки емкостей ток прекращается и подается запирающее напряжение на затвор транзистора T_1 . Этим минимизируются коммутационные потери на транзисторах. При открывании транзистора T_2 емкость $C_{п2}$, ранее заряженная до полного напряжения на полумосте, разряжается до нуля, а $C_{п1}$ заряжается.

Высоковольтный трансформатор с коэффициентом трансформации 80 (собирается на кольце из

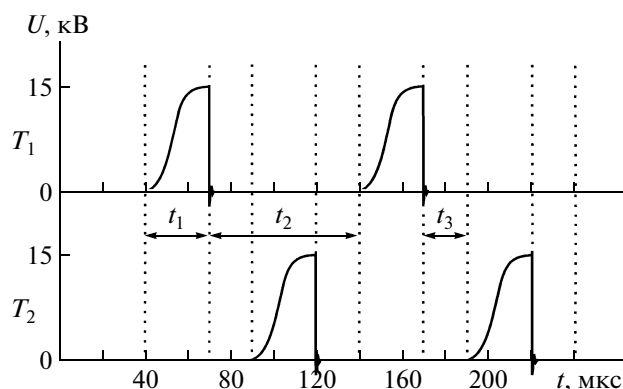


Рис. 2. Эпюры напряжений на тиратронах L_1 и L_2 . t_1 – время заряда рабочей емкости; t_2 – время нахождения тиратрона под нулевым потенциалом; t_3 – время нахождения одновременно двух тиратронов под нулевым потенциалом.

аморфного сплава ГМ14ДС, К160 × 20 × 20, помещен в резервуар с трансформаторным маслом) преобразует сформированные полумостовой схемой импульсы в разнополярные импульсы высокого напряжения, которые далее подаются на высоковольтный мостовой выпрямитель ВВ, собранный на основе диодов HER308, по 25 штук в плече.

После мостового выпрямителя импульсы положительной полярности с частотой 10 кГц подаются на рабочую емкость C_1 . В течение действия высоковольтного импульса происходит заряд рабочей емкости до определенного напряжения, определяемого напряжением и энергией импульса, сформированного полумостовой схемой, коэффициентом трансформации высоковольтного трансформатора и величиной рабочей емкости. Также сказываются потери, связанные с переманиванием сердечника высоковольтного трансформатора. При этом $U_C \leq kU_n$, где U_C – напряжение на рабочей емкости, k – коэффициент трансформации, U_n – напряжение на полумосте.

По окончании заряда по сигналу блока управления БУ открывается коммутатор, в качестве которого используется водородный тиратрон ТГИ1–1000/25, и происходит разряд рабочей емкости через коммутатор и газоразрядную трубку ГРТ. После того как закончатся все переходные процессы в блоке БП₁, с задержкой ~20 мкс устройство синхронизации УС подает сигнал на блок БП₂, и процесс заряда/разряда происходит во втором блоке питания. Поочередное включение блоков БП₁ и БП₂ формирует рабочую частоту лазера 20 кГц. На рис. 2 приведены эпюры напряжений на коммутаторах L_1 и L_2 , иллюстрирующие совместную работу блоков питания.

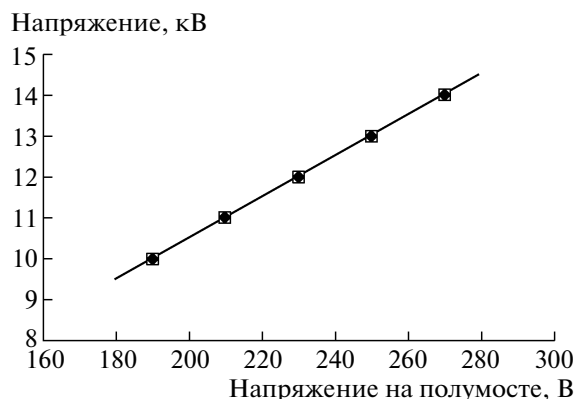


Рис. 3. Преобразование напряжения на полумосте в высоковольтное напряжение на тиратроне.

Таким образом, при частоте следования импульсов 20 кГц каждый блок питания работает с частотой 10 кГц. При этом процесс заряда/разряда в отдельном блоке проходит за время $t_1 = 30$ мкс. Затем блок питания в течение $t_2 = 70$ мкс находится в режиме ожидания, а соответствующий ему тиратрон — под нулевым потенциалом. После прохождения процесса заряда/разряда в одном блоке питания в течение времени $t_3 = 20$ мкс одновременно оба блока питания переходят в режим ожидания. Более подробно работа источника питания описана в [1, 5].

Температурный режим газоразрядного объема формируется как внешним нагревателем, так и диссипацией энергии разряда, однако термостат удерживает температуру стенки ГРТ на заранее заданном уровне. Включение нагрева отростков с CuVr обеспечивает поступление паров рабочего вещества в разрядный объем, а нагрев источника NbVr — поступление и уровень давления паров NbVr.

На рис. 3 показано преобразование напряжения на полумосте высоковольтным трансформатором в напряжение на коммутаторе — тиратроне и, следовательно, на рабочей емкости.

Наиболее ответственный момент работы прибора — это взаимное влияние источников. Поскольку источник, находящийся в режиме ожидания, не может влиять на источник, находящийся в активном состоянии, необходимо выяснить степень влияния активного источника на источник в режиме ожидания и как это отражается на мощности генерации. Это влияние выражается в наведении напряжения: в процессе разряда рабочей емкости C_1 происходит частичный заряд рабочей емкости C_2 . Как видим (рис. 4), в динамике происходит довольно сильное воздействие блоков друг на друга. При разряде одной рабочей емкости подзаряжается другая и наоборот.

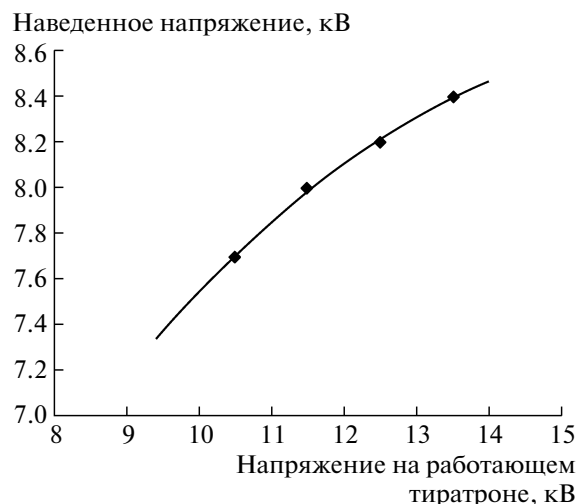


Рис. 4. Наведенное напряжение работающим источником питания на рабочую емкость неработающего.

Необходимо отметить, что импульсы напряжения на тиратронах, наблюдаемые с помощью малоиндуктивного делителя и двухлучевого осциллографа С1-55, полностью соответствовали рис. 2, при этом на осциллограммах наведенное напряжение не наблюдалось, хотя уверенно фиксировалось пик-вольтметром. Наведенное напряжение достигало значительных величин: в приведенном примере при 14 кВ на первом тиратроне напряжение на втором тиратроне составляло 8.5 кВ. В то же время, поскольку наведенное напряжение существенно ниже рабочего, оно не приводило к сбою в работе лазера. Кроме того, оно формировалось через 50 мкс после срабатывания тиратрона (при частоте следования импульсов через ГРТ 20 кГц), а к этому времени переходные процессы в тиратроне заканчивались и он находился в закрытом состоянии.

На рис. 5 (кривая 1) приведена зависимость мощности генерации лазера с двойным источником питания от потребляемой мощности, которая рассчитывалась из соотношения $W = CU^2f/2$. Для сравнения на этом же рисунке приведена зависимость мощности генерации от потребляемой мощности для одноблокового источника питания (кривая 2) [3]. Как видим, кривая 1 фактически продолжает кривую 2. Это говорит о практической совместимости работы двух источников питания. При удвоении мощности генерации прибор на уровне 20 Вт работает с сохранением всех преимуществ одноблокового источника питания.

Более того, этот результат дает основание полагать, что подсоединение третьего блока питания позволит еще более повысить мощность генерации лазера с сохранением его положительных свойств. Основанием для этого являются, во-

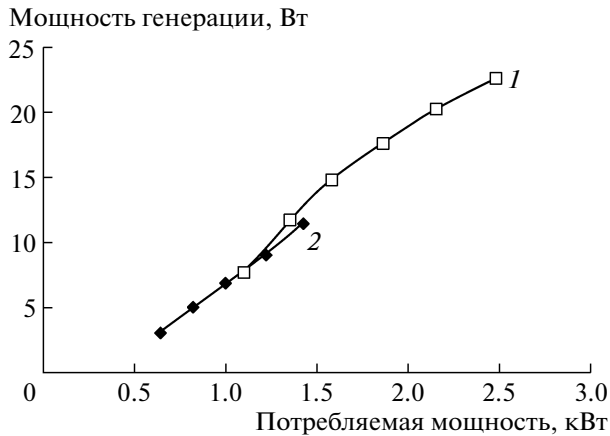


Рис. 5. Мощность генерации в зависимости от вкачиваемой в разряд мощности: 1 — при работе двойного источника питания; 2 — из работы [3] (одинарный источник питания). Частота следования импульсов 20 кГц.

первых, надежная работа блоков при коммутации данной мощности, во-вторых, достаточно слабое, как было показано, влияние блоков друг на друга и, в-третьих, сохранение роста мощности генерации при увеличении вкладываемой в разряд мощности. Хотя, конечно же, это положение требует проверки.

Таким образом, на основе лазера, описанного в [1], разработан новый лазер с компьютерным управлением как в цуговом, так и в ждущем режимах работы, сохраняющий стабильность работы, но при этом обладающий удвоенной средней мощностью генерации и, следовательно, вдвое большей энергией в импульсе генерации. Блочная структура источника питания позволила без увеличения нагрузки на элементы формирования напряжения и коммутации повысить вкачиваемую

в разряд энергию и создать более мощную лазерную систему, увеличив число блоков питания.

ПРИБОРНЫЙ ВАРИАНТ ЛАЗЕРА

На основе проведенных исследований был изготовлен макет приборного варианта лазера на парах бромида меди со средней мощностью генерации 20 Вт при частоте следования импульсов 20 кГц. Длина волны излучения 0.51 мкм и 0.57 мкм; длительность импульса генерации по полувысоте 35–40 нс; диаметр луча ~30 мм; напряжение питания 220 В; потребляемая мощность 2.5–3 кВт. Режимы работы: импульсно-периодический, цуговый, ждущий — с переключением от компьютера. Время выхода на режим <20 мин. Срок службы >1500 ч. Размеры: источника питания (850 × 440 × 250 мм) × 2; лазерной головки 2100 × 400 × 230 мм. Охлаждение воздушно-принудительное.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Димаки В.А., Суханов В.Б., Троцкий В.О. и др. // ПТЭ. 2008. № 6. С. 119.
2. Батенин В.М., Бучанов В.В., Казарян М.А. и др. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов. М.: Науч. книга, 1998.
3. Димаки В.А., Суханов В.Б., Троцкий В.О., Филонов А.Г. // Известия ТПУ. 2009. Т. 315. № 4. С. 152.
4. Андриенко О.С., Губарев Ф.А., Димаки В.А. и др. // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 10. С. 999.
5. Андриенко О.С., Димаки В.А., Колбычев Г.В. и др. // Оптика атмосферы и океана. 2004. Т. 17. № 11. С. 890.
6. Димаки В.А., Суханов В.Б., Троцкий В.О., Филонов А.Г. // Известия ТПУ. 2009. Т. 314. № 4. С. 111.
7. Андриенко О.С., Суханов В.Б., Троцкий В.О. и др. Патент РФ № 2295811. МПК 7 H01S 3/22. // БИ. 2007. № 8.