

## Лазеры на парах металлов с бестиратронным источником питания

А.Н. Солдатов<sup>1</sup>, Н.В. Саботинов<sup>2</sup>, И.К. Костадинов<sup>3</sup>, А.В. Васильева<sup>1</sup>,  
Ю.П. Полунин<sup>1</sup>, И.В. Реймер<sup>1</sup>, Н.Н. Юдин<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, Россия

<sup>2</sup>Институт физики твердого тела Болгарской академии наук  
1784, г. София, Цареградское шоссе, 72, Болгария

<sup>3</sup>ООО «Pulslight»  
1784, г. София, Цареградское шоссе, 72, Болгария

Поступила в редакцию 28.03.2013 г.

Представлены результаты исследования и разработки генератора импульсов возбуждения с магнитным сжатием импульса насыщающимися дросселями для накачки активных сред лазеров на парах CuVg, Sr и Ca. В качестве коммутатора используется силовой IGBT транзистор. Генератор позволяет работать на частоте следования импульсов возбуждения до 20 кГц. Суммарная средняя мощность на всех линиях генерации в CuVg-лазере с накачкой от данного генератора составляет ~6,0 Вт, а в Sr- и Ca-лазерах ~1,3–1,7 Вт.

*Ключевые слова:* лазеры на парах металлов, генератор импульсов возбуждения; metal vapor lasers, excitation pulse generator.

Лазеры на парах металлов (ЛПМ) широко применяются для решения большого круга научных и практических задач благодаря совокупности уникальных характеристик: малой длительности импульсов излучения ~10–100 нс; высокой частоте следования импульсов генерации > 10 кГц; высокой средней и импульсной мощности, а также имеют высокий для газовых лазеров коэффициент полезного действия (кпд) ~1%. При этом, поскольку активная среда – газовая, ЛПМ имеют малую ширину линии излучения и высокую стабильность ее положения на шкале частот, хорошее качество лазерного пучка, а также большой коэффициент усиления (10–100 дБ/м) [1, 2].

Наиболее широкое применение в качестве коммутаторов в схемах возбуждения импульсно-периодических ЛПМ нашли импульсные водородные тиратроны [3], которые, однако, имеют принципиальные недостатки, обусловленные самим характером процессов, протекающих при разряде в газах. Прежде всего, это нестабильность срабатывания ~20–40 нс, затрудняющая синхронизацию сложных лазерных систем, и небольшой срок службы ~100–500 ч, зависящий от быстрого разрушения электродов из-за наличия высокого обратного напряжения на аноде тиратрона при несогласованности источника пита-

ния с нагрузкой [4]. Кроме того, тиратроны требуют специальных цепей накала катодов, потребляющих достаточно большую мощность.

С целью создания надежных, экономичных и компактных источников возбуждения ЛПМ уже в 80-е гг. XX в. начали исследовать и разрабатывать магнито-тиристорные генераторы импульсов возбуждения (см., например, [5]). Касаясь основных особенностей работ магнито-тиристорных генераторов, необходимо отметить следующее. Использование диодно-дроссельной зарядки накопительного конденсатора *C1* в первичной цепи источника питания обеспечивает отсутствие прямого напряжения на аноде тиристора во время его выключения. При коммутации тиристором накопительного конденсатора *C1* через импульсный повышающий трансформатор происходит зарядка конденсатора *C2* во вторичной цепи источника питания. Время нарастания напряжения на конденсаторе *C2* составляет ~5 мкс. Затем осуществляется магнитное сжатие импульса двумя насыщающимися дросселями на ферритовых элементах. При этом длительность нарастания напряжения после каждого дросселя составляет соответственно 900 и 300 нс. Данный принцип – зарядка конденсатора через повышающий трансформатор с последующим магнитным сжатием импульса насыщающимися дросселями – используется в разрабатываемых в настоящее время источниках питания ЛПМ. Только в качестве коммутаторов используются силовые IGBT транзисторы.

В настоящей статье представлены результаты исследования и разработки генератора импульсов

\* Анатолий Николаевич Солдатов (general@tic.tsu.ru); Никола Васильев Саботинов; Иван Кириллов Костадинов; Анна Викторовна Васильева (anita\_tomsk@mail.ru); Юрий Петрович Полунин; Игорь Викторович Реймер (reimer@mail.ru); Николай Николаевич Юдин.

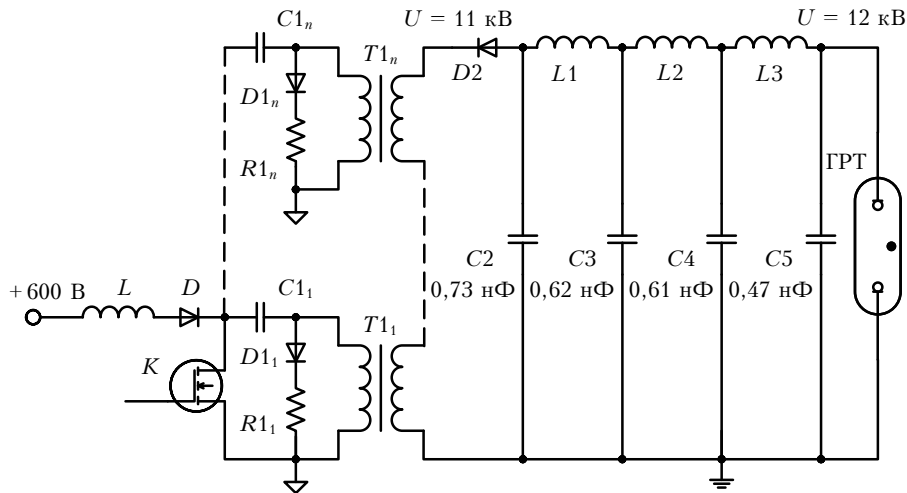


Рис. 1. Структурная блок-схема генератора импульсов возбуждения с магнитным сжатием импульса насыщающимися дросселями  $L1$ ,  $L2$  и  $L3$  на ферритовых элементах:  $L-D$  – диодно-дроссельная зарядка накопительного конденсатора  $C1 = C1_1 + C1_2 + \dots + C1_n$ ;  $K$  – силовой IGBT транзистор;  $T1_1-T1_n$  – импульсный трансформатор;  $C2$  – конденсатор во вторичной цепи источника питания;  $C3-C4$  – конденсаторы магнитных звеньев сжатия импульса;  $C5$  – обостряющая емкость

возбуждения с магнитным сжатием импульса насыщающимися дросселями для накачки активных сред лазеров на парах  $CuBr$ ,  $Sr$  и  $Ca$ .

На рис. 1 представлена структурная блок-схема генератора импульсов возбуждения с магнитным сжатием импульса насыщающимися дросселями  $L1$ ,  $L2$  и  $L3$  на ферритовых элементах. В данном генераторе импульсов возбуждения, так же как в [5], используется диодно-дроссельная зарядка накопительного конденсатора  $C1$  в первичной цепи источника питания с последующей его коммутацией силовым IGBT транзистором через импульсный повышающий трансформатор, обеспечивая зарядку конденсатора  $C2$  во вторичной цепи источника питания. Однако различие в структурной схеме генераторов накачки, как видно из рис. 1, определяется не только заменой тиристора силовым IGBT транзистором.

Повышающий модуль состоит из  $n$ -импульсных повышающих трансформаторов (где  $n = 9$ ). Первичные обмотки трансформаторов включены параллельно в первичную цепь через накопительные конденсаторы  $C1_1-C1_n$ , при этом суммарная емкость этих конденсаторов определяется условием

$$C1 = C1_1 + C1_2 + \dots + C1_n.$$

Вторичные обмотки импульсных трансформаторов включены последовательно. Целесообразность выполнения подобной конструкции обусловлена тем, что: во-первых, это упрощает изготовление импульсных трансформаторов и, во-вторых, позволяет существенно уменьшить индуктивность рассеяния трансформаторов, обеспечивая перезарядку накопительного конденсатора  $C1$  на емкость  $C2$  за время  $\sim 1-1,5$  мкс. Это позволяет в совокупности с последующим магнитным сжатием импульса (насыщающимися дросселями  $L1$ ,  $L2$  и  $L3$  на ферритовых элементах) формировать на газоразрядной трубке (ГРТ) лазера импульсы возбуждения (рис. 2), соизмеримые с импульсами

возбуждения, характерными для генераторов накачки с тиратронным коммутатором.

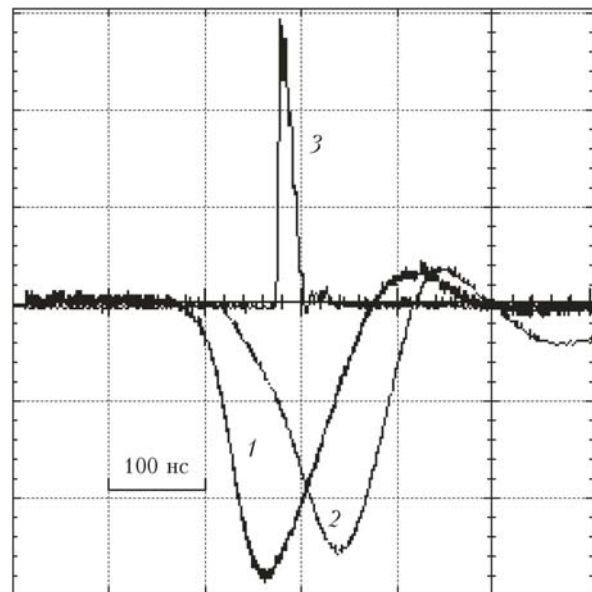


Рис. 2. Осциллограммы импульсов напряжения (1), тока (2) и генерации (3) на газоразрядной трубке

Одной из проблем, которая возникает при проектировании подобных генераторов накачки, является то, что напряжение пробоя  $U_{пр}$  разрядного промежутка ГРТ в момент включения лазера, когда в разрядном канале отсутствуют пары металла, существенно выше рабочего напряжения  $U_{раб}$ , при котором осуществляется импульсно-периодическая накачка активной среды. Техническим решением устранения данной проблемы является включение диода  $D2$  во вторичной цепи генератора. Диод не позволяет разрядиться конденсатору  $C2$  (в случае если не произошел пробой разрядного промежутка, т.е. когда

$U_{пр} > U_{раб}$ ). Следовательно, последующими импульсами, при работе генератора на высокой частоте следования импульсов, осуществляется подзарядка конденсатора  $C2$  в процессе перезарядки накопительного конденсатора  $C1$  на емкость  $C2$ , что обуславливает увеличение напряжения на выходе генератора, и, когда напряжение достигает значения  $U_{раб} > U_{пр}$ , происходит пробой разрядного промежутка ГРТ.

На рис. 3 представлен внешний вид лазера на парах металлов, содержащий газоразрядную трубку, помещенную в резонатор, и разработанный на вышеописанном принципе генератор импульсов возбуждения с магнитным сжатием импульса насыщающимися дросселями.



Рис. 3. Внешний вид лазера

Энергетические характеристики CuBr-, Sr- и Ca-лазеров с накачкой разработанным генератором импульсов возбуждения приведены в таблице.

**Энергетические характеристики излучения CuBr-, Sr- и Ca-лазеров**

Активная среда	$f$ , кГц	$d$ , мм	$l$ , мм	$P$ , Вт
CuBr	15–20	20	500	6,20
Sr	15–16	15	500	1,72
Ca	15–16	15	500	1,30

Примечание.  $f$  – частота следования импульсов;  $d$  и  $l$  – диаметр и длина разрядного канала ГРТ;  $P$  – суммарная средняя мощность генерации.

Ускоренное время выхода CuBr-лазера на рабочий режим (рис. 4) обеспечивается помещением ГРТ в специальную печь для поддержания оптимальной температуры контейнеров с CuBr. Время выхода Sr- и Ca-лазеров на рабочий режим составляло ~35–40 мин (типичное время выхода ЛПМ на рабочий режим в саморазогревном режиме).

На рис. 5 представлено распределение интенсивности излучения CuBr-лазера по сечению разрядного канала. Подобное распределение интенсивности излучения наблюдается также в Sr- и Ca-лазерах [6], но только при максимальном заполнении апертуры разрядного канала ГРТ.

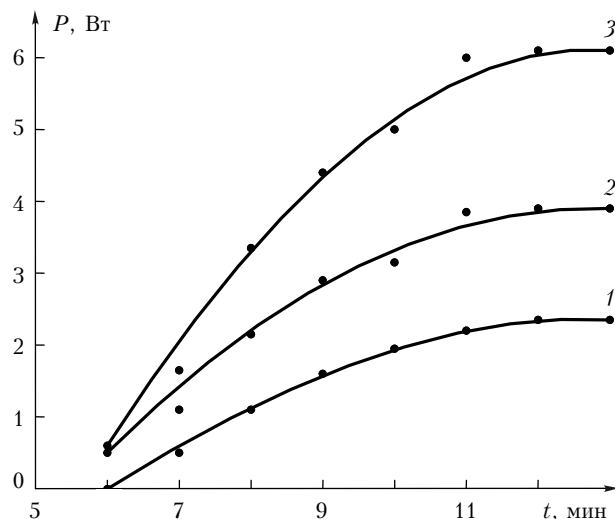


Рис. 4. Время выхода CuBr-лазера на рабочий режим: 1 – средняя мощность генерации на линии  $\lambda = 578,2$  нм; 2 – средняя мощность генерации на линии  $\lambda = 510,6$  нм; 3 – суммарная средняя мощность генерации

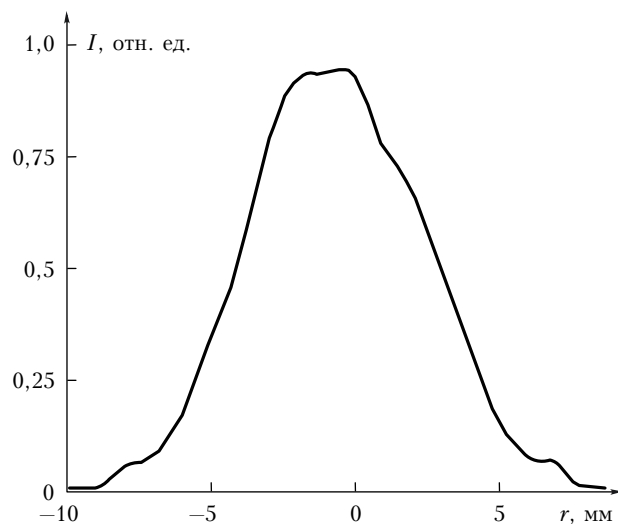


Рис. 5. Распределение интенсивности излучения CuBr-лазера по сечению ГРТ

В заключение следует отметить, что, как показали исследования, эффективность накачки активных сред CuBr-, Sr- и Ca-лазеров разработанным генератором импульсов возбуждения определяется не только магнитным сжатием импульса насыщающимися дросселями, но и совокупностью электрофизических процессов, протекающих в газоразрядных трубках с электродами, расположенными в холодных буферных зонах. Накачка активной среды в таких конструкциях газоразрядных трубок, как показали ранее проведенные исследования [7, 8], осуществляется после пробоя, который происходит в концевых зонах разрядного канала ГРТ после зарядки емкостных составляющих ГРТ и обостряющей емкости  $C5$ , что и определяет эффективность магнитного сжатия импульса насыщающимися дросселями. Следует также отметить, что процесс развития разряда и, соответственно, накачки активной среды в Sr- и Ca-лазерах

существенно отличается от соответствующего процесса в CuBr-лазере из-за конструктивных различий активных элементов, используемых в этих лазерах [9, 10].

Работа выполнена при частичном финансировании из средств гранта № НШ-512.2012.2 и АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (номер госрегистрации НИР 01201256275).

1. Солдатов А.Н., Соломонов В.И. Газоразрядные лазеры на самоограниченных переходах в парах металлов. Новосибирск: Наука, 1985. 152 с.
2. Солдатов А.Н., Латуш Е.Л., Чеботарев Г.Д., Юдин Н.А., Васильева А.В., Полушин Ю.П., Пруцаков О.О. Импульсно-периодические лазеры на парах стронция и кальция. Томск: ТМЛ-Пресс, 2012. 526 с.
3. Фогельсон Т.Б., Бреусова Л.Н., Вагин Л.И. Импульсные водородные тиратроны. М.: Сов. радио, 1974. 212 с.
4. Юдин Н.А. Энергетические характеристики лазера на парах меди в области устойчивой работы тиратрона // Квант. электрон. 1998. Т. 25, № 9. С. 795–798.
5. Дашук С.П., Потапов С.Е. Магнитотираторный генератор импульсов возбуждения лазеров на парах ме-

таллов // Приборы и техн. эксперим. 1983. № 1. С. 155–156.

6. Солдатов А.Н., Полушин Ю.П., Юдин Н.А. Формирование инверсии в лазерах на самоограниченных переходах атомов металлов в условиях сверхбыстрого пробы // Оптика атмосф. и океана. 2009. Т. 22, № 11. С. 1051–1056.
7. Юдин Н.А., Суханов В.Б., Губарев Ф.А., Евтушенко Г.С. О природе фантомных токов в активной среде лазеров на самоограниченных переходах атомов металлов // Квант. электрон. 2008. Т. 38, № 1. С. 23–29.
8. Юдин Н.А., Губарев Ф.А., Суханов В.Б. Развитие разряда в активных средах лазеров на парах металлов с малым рабочим объемом // Изв. вузов. Физ. 2010. Т. 53, № 5/2. С. 41–46.
9. Юдин Н.А., Третьякова М.Р., Юдин Н.Н. Релаксация метастабильных состояний в лазерах на самоограниченных переходах // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 3. С. 254–259.
10. Юдин Н.А., Третьякова М.Р., Юдин Н.Н. Влияние электрофизических процессов в разрядном контуре на энергетические характеристики лазера на парах меди // Изв. вузов. Физ. 2012. Т. 55, № 9. С. 93–102.

*A.N. Soldatov, N.V. Sabotinov, I.K. Kostadinov, A.V. Vasil'eva, Yu.P. Polumin, I.V. Reimer, N.N. Yudin.*  
**Metal vapor lasers with thyatron-free power sources.**

Results of studying and designing an excitation pulse generator with magnetic compression of pulses by saturated choke for pumping active media of CuBr, Sr, and Ca vapor lasers are presented. A power IGBT transistor is used as a commutator. The generator makes it possible to operate at an excitation pulse repetition frequency of up to 20 kHz. The total average power at all generation lines in a CuBr laser with pumping from this generator is of about 6.0 W; in Sr and Ca lasers, of about 1.3–1.7 W.