

Лазеры на парах металлов с бестиратронным источником питания

А.Н. Солдатов¹, Н.В. Саботинов², И.К. Костадинов³, А.В. Васильева¹,
Ю.П. Полунин¹, И.В. Реймер¹, Н.Н. Юдин^{1*}

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, Россия

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

³ООО «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.

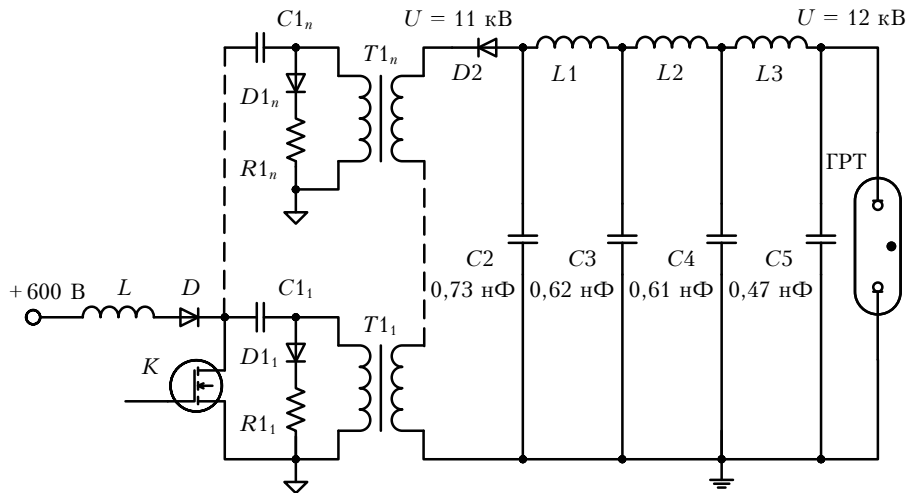


Рис. 1. Структурная блок-схема генератора импульсов возбуждения с магнитным сжатием импульса насыщающимися дросселями $L1$, $L2$ и $L3$ на ферритовых элементах: $L-D$ – диодно-дроссельная зарядка накопительного конденсатора $C1 = C1_1 + C1_2 + \dots + C1_n$; K – силовой IGBT транзистор; $T1_1-T1_n$ – 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.

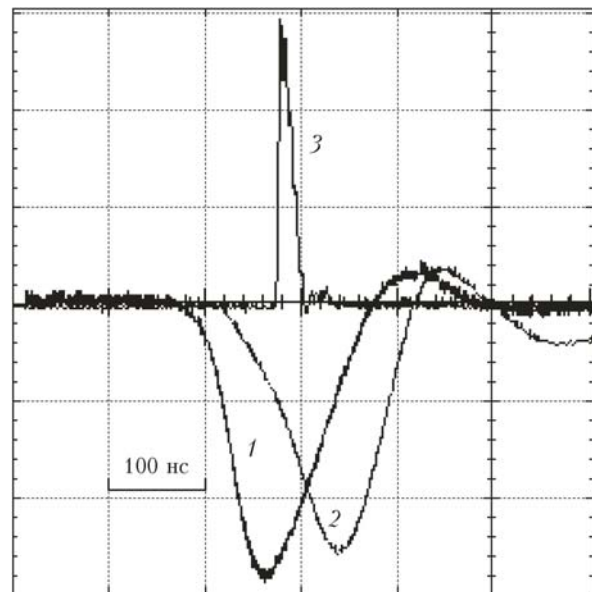


Рис. 2. Осциллограммы импульсов напряжения (1), тока (2) и генерации (3) на газоразрядной трубке

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.

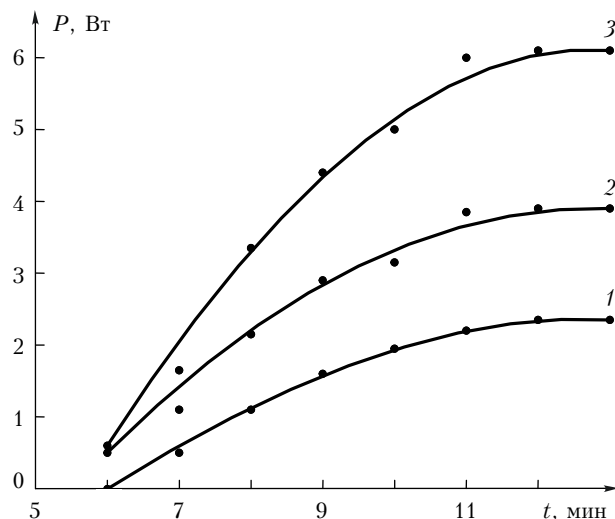


Рис. 4. Время выхода CuBr-лазера на рабочий режим: 1 – средняя мощность генерации на линии $\lambda = 578,2$ нм; 2 – средняя мощность генерации на линии $\lambda = 510,6$ нм; 3 – суммарная средняя мощность генерации

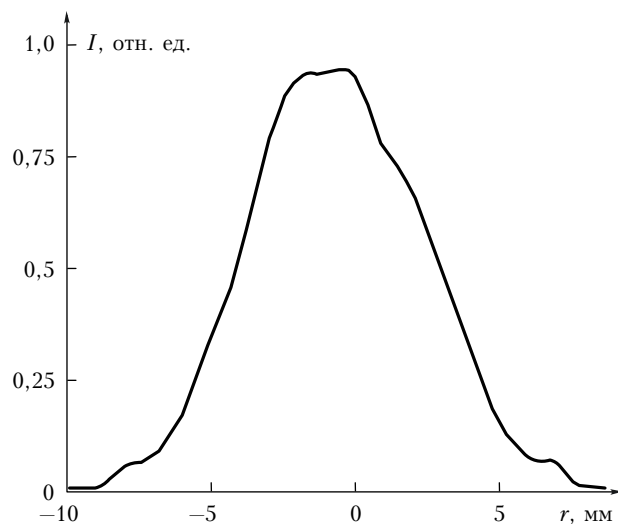


Рис. 5. Распределение интенсивности излучения CuBr-лазера по сечению ГРТ

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.