

УДК 621.3

Генератор наносекундных импульсов для возбуждения лазеров на парах меди

Н. М. Лепехин, Ю. С. Присеко, В. Г. Филиппов
ГУП "Опытно-экспериментальное производство" ВНИЦ ВЭИ,
г. Истра, Московская обл., Россия

Дано описание генератора наносекундных импульсов для питания лазеров на парах меди, в котором зарядное устройство мощностью ~3 кВт выполнено по схеме однотактного резонансного преобразователя с использованием современной полупроводниковой элементной базы. В качестве коммутатора использован тетродный тиратрон ТГИ2-1000/25 в металлокерамическом корпусе. Нагрузкой генератора могут служить все типы отпаянных саморазогревных газоразрядных трубок серии "Kulon". Максимальный ток разряда, формируемый генератором через газоразрядную трубку, ~500 А при длительности по основанию не менее 90 нс, частота следования импульсов накачки регулируется в пределах 8—17 кГц. Максимальная мощность излучения получена на трубке "Kulon" LT-10CU и составляет 15 Вт. Конструктивно генератор и газоразрядная трубка выполнены в виде блока с габаритными размерами 1250x330x190 мм.

Разработка мощных генераторов наносекундных импульсов для возбуждения лазеров на самоограниченных переходах атомов металлов — важная прикладная задача, в частности, возможность повышения выходной мощности лазеров на парах меди (ЛПМ), определяющей эффективность работы всего лазерного комплекса, в значительной степени определяется выходными параметрами именно генератора. При этом эффективность работы ЛПМ принято характеризовать несколькими коэффициентами полезного действия, например физическим, динамическим, практическим, общим [1]. Наиболее информативными КПД следует считать практический и общий.

Необходимо отметить, что ограниченность времени существования инверсии населенностей рабочих уровней в ЛПМ предопределяет импульсно-периодический способ накачки газоразрядных трубок (ГРТ) таких лазеров. Мощность лазерного излучения ГРТ определяется многими параметрами и в первую очередь амплитудой и скоростью нарастания импульсов напряжения и тока (возбуждающих импульсов или импульсов накачки), частотой их следования, температурой стенок ГРТ и газовой смеси и др.

При импульсно-периодическом способе накачки саморазогревных ГРТ возбуждающие импульсы являются греющими, и для каждого типа саморазогревных ГРТ существует оптимальное соотношение между длительностью возбуждающих импульсов, их амплитудой и частотой следования. Поэтому одним из требований к генераторам для возбуждения саморазогревных ГРТ является возможность регулирования выходных параметров генератора в широком диапазоне.

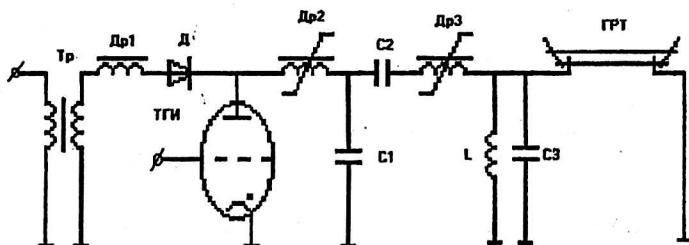
Ниже представлены результаты разработки генератора для возбуждения саморазогревных ГРТ и результаты испытаний наиболее мощных трубок серии "Kulon", выпускаемых Федеральным государственным унитарным предприятием НПП "Исток" (г. Фрязино, Россия).

Принципиальная схема генератора

Теоретически определено и экспериментально подтверждено, что максимальный импульс генерации лазерного излучения достигается в том случае, когда длительность фронта возбуждающего импульса близка длительности генерируемых импульсов. Кроме того, увеличение напряженности электрического поля вдоль ГРТ, при формировании возбуждающих импульсов тока, также ведет к увеличению мощности излучения. Например, длительность импульса генерации маломощных ГРТ составляет 10—15 нс при амплитуде импульса накачки 100—120 А и напряженности электрического поля 60—70 В/см, а длительность импульса генерации мощных ГРТ [2] лежит в пределах 20—30 нс при амплитуде импульса тока накачки 400—900 А и напряженности электрического поля около 140 В/см. Названные границы определяют требования к выходным параметрам генераторов для возбуждения ЛПМ.

Наиболее полно требования к параметрам импульсов возбуждения сформулированы в [3].

Принципиальная схема генератора представлена на рисунке. Схема данного генератора основана на принципе удвоения напряжения Блюмляйна. На этом же принципе разработан генератор, рассмотренный в работе [4]. В разработанном генераторе накопительные конденсаторы С1 и С2 заряжаются от высоковольтного импульсного трансформатора Тр через зарядный дроссель Др1 и зарядный отсекающий диод Д до некоторого амплитудного значения напряжения. После включения тиратрона ТГИ конденсатор С1 перезаряжается до противоположного знака, и ГРТ оказывается под удвоенным потенциалом последовательно соединенных конденсаторов С1 и С2.



Принципиальная схема генератора

Конденсатор С3 является обостряющим, обеспечивающим фронт импульса тока накачки. Индуктивность L служит для создания цепи заряда конденсатора С2, а в межимпульсный период закорачивает разрядный промежуток ГРТ, что создает необходимые условия для инверсной заселенности в разрядном канале.

Основное отличие данного генератора от генератора, приведенного в [4], — применение нелинейных магнитных ключей в виде нелинейных дросселей Др2 и Др3.

Назначением этих ключей является необходимость разделения во времени процесса разряда конденсатора С1, устранения частичного обратного перезаряда этого же конденсатора через тиратрон, когда последний еще остается в проводящем состоянии, и процесса разряда конденсаторов С1 и С2, которые после разряда конденсатора С1 через тиратрон оказываются включены последовательно и согласно, на ГРТ.

Значительное уменьшение габаритных размеров и повышение надежности работы генератора достигнуты применением зарядного устройства

мощностью ~ 3 кВт, в котором использован резонансный режим заряда через отсекающий зарядный диод D накопительных конденсаторов $C1$ и $C2$ от регулируемого однотактного прямоходового преобразователя, выполненного на мощных полевых транзисторах с питанием от однофазной сети ~ 220 В, 50 Гц.

При работе генератора, как и в [4], реального удвоения напряжения на электродах ГРТ не происходит, но применение нелинейных магнитных ключей позволило лучше согласовать параметры разрядного контура с параметрами ГРТ.

Конструктивное исполнение

В разработанном генераторе импульсный трансформатор Tr выполнен на сердечнике из аморфного магнитомягкого сплава, а зарядный дроссель — на кольцевом альсиферовом сердечнике. Зарядный отсекающий диод представляет собой последовательную цепочку из тридцати диодов типа КД257Д. Нелинейные дроссели $Dr2$ и $Dr3$ выполнены на кольцевых ферритовых сердечниках. Индуктивность дросселя $Dr2$ в насыщенном состоянии равна $0,1$ мкГн, а $Dr3$ — $0,3$ мкГн.

В качестве коммутатора использован тетродный тиратрон типа ТГИ2-1000/25 в металлокерамическом корпусе. Тиратрон запускается от генератора управляющих импульсов с выходными параметрами, определяемыми паспортными данными на тиратрон.

В качестве конденсаторов $C1$ — $C2$ использованы малоиндуктивные керамические конденсаторы КВИ-3, в качестве $C3$ — конденсаторы КВИ-2 и КВИ-3.

Генератор имеет горизонтальную компоновку. Вход генератора соединен через зарядное устройство с сетевым блоком питания, обеспечивающим подключение генератора к питающей сети, а его выход соединен непосредственно с ГРТ, которая устанавливается с помощью специальных элементов крепления на общее основание с генератором.

Генератор и ГРТ образуют блок размерами $1250 \times 330 \times 190$ мм и общей массой 43 кг.

На передней панели блока установлены коммутационные элементы, элементы контроля и индикации, а также выходная оптическая система. Охлаждение элементов генератора и ГРТ — принудительное воздушное.

Результаты испытаний

При проведении испытаний генератора регистрировались амплитуда напряжения на тиратроне, форма и амплитуда импульса тока накопительного конденсатора, форма и амплитуда импульса тока через ГРТ, мощность на выходе преобразователя и средняя мощность генерации.

Параметры разрядного контура варьировались за счет изменения величины обостряющей емкости. Другим переменным параметром была частота следования импульсов накачки ГРТ. Вычислялся практический КПД лазерного комплекса (для импульсно-периодических лазеров практический КПД определяется как отношение средней мощности генерации к мощности, потребляемой от выпрямителя).

Согласование параметров разрядного контура и ГРТ оценивалось по форме импульса тока разряда накопительного конденсатора $C1$ на ГРТ. При наилучшем согласовании форма импульса тока должна быть близка к апериодичной, а в идеальном случае представлять собой полусинусоиду.

Разработанный генератор был испытан при работе на два типа мощных отпаянных трубок серии "Kulon", в которых в качестве лазерной среды применены пары меди и пары меди с примесью паров золота. Результаты испытаний приведены в таблице.

Параметр	Тип ГРТ серии "Kulon"	
	Пары меди	Пары меди и золота
Лазерная среда		
Амплитуда: напряжения на тиратроне, кВ тока через ГРТ, А	10 320	10 280
Длительность, нс: импульса тока через ГРТ по основанию фронта импульса тока через ГРТ	100 20	90 20
Емкость конденсаторов, пФ: накопительных обостряющего	1000 235	1000 110
Мощность на выходе выпрямителя, кВт	2,08	1,92
Средняя мощность генерации, В	10	4
Длина волны излучения, нм	510,6; 578,2	510,6; 578,2; 627,8
Практический КПД, %	0,48	0,2
Время, мин: начала генерации готовности (при номинальной потребляемой мощности)	45 50	45 50

Максимальный ток разряда, формируемый генератором через газоразрядную трубку с парами меди, зафиксирован на уровне 480 А, средняя мощность генерации при этом равнялась 15 Вт, практический КПД — 0,64 %.

Максимальный ток разряда, формируемый генератором на ГРТ с парами меди и золота, зафиксирован на уровне 320 А, средняя мощность генерации при этом равнялась 6,05 Вт, а практический КПД — 0,27 %.

Выводы

Результаты испытаний показывают, что нагрузкой разработанного генератора наносекундных импульсов могут служить все типы отпаянных саморазогреваемых ГРТ серии "Kulon".

Основные достоинства генератора — сравнительно высокие массогабаритные показатели и воздушная система охлаждения, что позволяет широко использовать данный генератор как в технике, так и в медицине.

Литература

1. Батенин В. М., Бучанов В. В., Казарян М. А., Климовский И. И., Молодых Э. И. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов. — М.: Научная книга, 1998. — 544 с.
2. Guyader E. Le., Coutance P., Bertrand G., Peltier C.// IEEE Journal of quantum electronics. 1999. V. 35. № 11. November.
3. Демкин В. П., Солдатов А. Н., Юдин Н. А.// Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. № 6. С. 659—665.
4. Кирилов А. Е., Кухарев В. Н., Солдатов А. Н., Тарасенко В. Ф.// Изв. вузов. Сер. Физика. 1977. № 10. С. 146—149.

Nanosecond pulse generator for excitation copper vapor lasers

N. M. Lepekhin, Y. S. Priseko, V. G. Philippov

GUP "Opytno-eksperimental'noe proizvodstvo" VNITs VEI, Istra, Moscow region, Russia

The nanosecond pulse generator for excitation copper vapor lasers is described, in which DC supply, capacity ~3 kW, are executed under the circuit of the single-cycle resonant converter with use of modern semi-conductor element base. As the switch-board is used ТТН 2-1000/25. Loading of the generator can be served with all types self-heating discharge tube of a series "Kulon". The maximal current of the category, formed by the generator through discharge tube, ~500 A at duration on the basis not less than 90 ns, frequency of following of pulses is adjusted within the limits of 8—17 kHz. The maximal capacity of radiation is received on "Kulon" LT-10 CU and makes 15 W. Structurally generator and discharge tube are executed as the block with dimensions of 1250x330x190 mm.