

**ПРОМЫШЛЕННЫЙ ЛАЗЕР НА БАЗЕ ОТПАЯННЫХ АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
СЕРИИ «KULON» НА ПАРАХ МЕДИ (LT-10CU), ЗОЛОТА (LT-1,5AU), СМЕСИ
ПАРОВ ЗОЛОТА И МЕДИ (LT-AU-CU).**

И.С.Колоколов, В.И.Клименко, Н.А.Лябин, Г.М.Парамонова, А.Д.Чурсин
ФГУП «НПП ИСТОК» г. Фрязино, Московская обл., Россия

М.А.Казарян
Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, г. Москва, Россия

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

Представлены результаты разработки и устройство одного из типов промышленных лазеров на самоограниченных переходах атомов металлов. Приведены основные технические характеристики лазерных отпаянных активных элементов на парах меди, золота, смеси паров золота и меди серии «KULON», результаты ресурсных испытаний активных элементов на парах меди, а также полученные, при проведении типовых испытаний, основные технические параметры наиболее мощных лазерных элементов данной серии. Разработанный промышленный лазер выполнен в виде моноблока с габаритными размерами 1250 x 330 x 190 мм и весом не более 46 кг. Охлаждение- принудительное, воздушное.

В настоящее время источники лазерного излучения находят все более широкие области применения как в технологии (разделение изотопов и получение особо чистых веществ, прецизионная обработка металлов, лазерная микроскопия) и технике (накачка лазеров на красителях, локация и зондирование атмосферы, навигация), так и в медицине (дерматология и косметология, гастроэнтерология, урология, гинекология, ангиопластика, онкология). Резкое развитие и расширение областей применения источников лазерного излучения вызвало необходимость разработки и изготовления промышленных лазеров, обладающих определенными требованиями к техническим характеристикам работы таких изделий. Эти требования связаны, в первую очередь, с увеличением ресурса, надежности и улучшением массогабаритных показателей лазерного комплекса в целом.

Удовлетворить эти требования, для лазеров названного выше типа, в настоящее время стало возможно в связи с началом выпуска на промышленной основе отпаянных активных элементов на парах меди и золота [1], а также в связи с появлением современной полупроводниковой элементной базы.

Устройство промышленного лазера

Предприятиями ФГУП «НПП ИСТОК» г. Фрязино и ГУП ОЭП ВНИЦ ВЭИ г. Истра разработан промышленный лазер на базе отпаянных активных элементов серии «KULON». Лазер состоит из излучателя, содержащего активный элемент с плоскосферическим резонатором и источника питания, который обеспечивает выход активного элемента на рабочий режим и его работу в номинальном режиме.

Конструктивно промышленный лазер разработан в виде моноблока и имеет горизонтальную компоновку, которая приведена, при виде сверху, на рис.1.

Все типы моделей активных элементов серии «KULON» представляют собой газоразрядную трубку, изготовленную из Al_2O_3 - керамики различного диаметра и длины, которая помещается внутрь отпаянной металлокварцевой трубки большего диаметра, служащей корпусом активного элемента. Рабочий канал газоразрядной трубки и корпус активного элемента разделены слоем теплоизолятора. Металлические части корпуса активного элемента являются выводами электродных узлов рабочего канала.

Внешний вид всех типов моделей активных элементов серии «KULON» представлен на рис.2, массогабаритные характеристики приведены в табл. 1, а основные технические характеристики указаны в табл.2.

Таблица 1

Массогабаритные характеристики моделей активных элементов

Тип модели	L1, мм	L2, мм	D1, мм	D2, мм	A, мм	Масса, кг
LT-1 Cu	330	145	84	55	14	1
LT-1,5 Cu	380	185	84	55	14	1
LT-3 Cu	600	318	100	73	14	2,5
LT-5 Cu	600	318	100	73	14	2,6
LT-1 Au	600	318	100	73	14	2,6
LT-6 Cu	770	480	140	90	19	5
LT-10 Cu	770	495	100	73	14	3,3
LT-1,5 Au	770	495	100	73	14	3,3
LT-Au-Cu	770	495	100	73	14	3,3

Таблица 2

Основные технические характеристики моделей активных элементов

Тип модели активного элемента	Лазерная среда	Давление буферного газа (неон), тор	Длина волны излучения, нм	Максимальная средняя мощность излучения, Вт	Соотношение мощности излучения на длинах волн, 510,6/578,2/628 нм	Оптимальная частота следования импульсов, кГц	Длительность импульсов излучения, нс	Диаметр разрядного канала, мм	Длина разрядного канала, мм	Расходимость (резонатор плоскоферрический), мрад	Потребляемая мощность, кВт	Время готовности (при номинальной потребляемой мощности), мин
LT-1 Cu	Пары меди	600	510,6 578,2	1,4	3/2/0	15÷18	10÷15	7	140	6	0,65	25
LT-1,5 Cu		600	--/--	2,0	3/2/0	15÷18	10÷15	7	175	5,5	0,75	25
LT-3 Cu		450	--/--	6,0	3,5/2/0	14÷17	17÷20	12	340	6	1,15	45
LT-5 Cu		300	--/--	9,0	3,5/2/0	14÷17	17÷20	14	340	6,5	1,25	50
LT-6 Cu		300	--/--	15,0	5/3/0	10÷12	20÷25	20	470	7	1,7	50
LT-10 Cu		300	--/--	17,0	3/2/0	14÷17	17÷20	14	490	4,5	1,4	50
LT-1 Au	Пары золота	300	627,8	1,3	0/0/1	14÷17	15÷18	14	340	6	1,4	50
LT-1,5 Au		300	--/--	1,8	0/0/1	14÷17	15÷18	14	490	4	1,9	60
LT-Au-Cu	Пары золота и меди	300	510,6 578,2 627,8	7,4	5,3/3,8/ 0,9	14÷17	17÷20	14	490	4	1,7	60

Следует отметить, что конструкция моноблока и технические параметры источника питания позволяют осуществить накачку трех наиболее мощных активных элементов (LT-10CU, LT-1,5AU, LT-AU-CU), имеющих одинаковые габаритно-присоединительные размеры, без каких-либо переделок лазера. Разработана также конструкция излучателя, в которой могут быть установлены и все другие типы активных элементов.

Источник питания лазера содержит входной блок питания (ВБП), зарядное устройство (ЗУ), которое объединяет блок выпрямителя и резонансного преобразователя (БВРП) с трансформаторно-выпрямительным блоком (ТВБ), а также генератор наносекундных импульсов.

ВБП обеспечивает общее питание лазера и необходимые уровни напряжений собственных нужд. БВРП представляет собой источник постоянного напряжения на неуправляемых диодах и однокатный резонансный преобразователь, выполненный на мощных биполярных транзисторах с изолированным затвором мощностью до 2,5 кВт. ТВБ представляет собой импульсный высоковольтный трансформатор, на выходе которого установлена последовательная цепочка импульсных диодов.

ЗУ обеспечивает резонансный моноимпульсный заряд емкостного накопителя генератора наносекундных импульсов со стабилизацией уровня зарядного напряжения с точностью $\pm 2\%$, защиту элементов генератора от токов к.з. и перенапряжений при х.х. Посредством изменения уровня зарядного напряжения производится регулировка выходной мощности источника питания в соответствии с требованиями по энергопотреблению.

Генератор наносекундных импульсов выполнен в виде тиратронно-магнитного формирователя импульсов (ТМФИ). Принципиальная электрическая схема генератора приведена на рис.3, его конструктивное исполнение подробно описано в [2]. ТМФИ содержит тиратронный коммутатор с элементами обеспечения работоспособности тиратрона, импульсный подмодулятор (ИП), для обеспечения формирования поджигающего импульса на сетке тиратрона, а также двухзвенную линию сжатия на ферритах. Накопительные конденсаторы ТМФИ соединены по схеме удвоения напряжения (схеме Блюмляйна).

В магнитных звеньях сжатия ТМФИ происходит последовательная передача энергии от накопительных конденсаторов к активному элементу с одновременным сжатием импульса во времени. Отношение емкостей $C1$ и $C2$ (рис.3) накопительных конденсаторов ТМФИ к емкости $C3$ второго звена сжатия принято равным как 1:0,95:0,4. Величина емкости конденсатора $C2$ равна 1000пФ.

В качестве тиратронного коммутатора в ТМФИ может использоваться как обычный тиратрон, так и тиратрон тетродной конструкции типа ТГИ2-1000/25К (производство НПО «ПЛАЗМА» г. Рязань). Особенностью ИП, при применении тиратрона тетродной конструкции, является введение в устройство ИП обратных связей, обеспечивающих как косвенный контроль концентрации зарядов в катодно-сеточной области тиратронного коммутатора, так и контроль уровня напряжения на элементах ТМФИ и всего источника питания, что повышает надежность работы как тиратронного коммутатора, так и лазерного комплекса в целом.

Результаты испытаний

При проведении испытаний промышленного лазера регистрировались напряжение на тиратроне, форма и амплитуда импульса тока первого накопительного конденсатора, импульс тока накачки через активный элемент, мощность на выходе преобразователя и средняя мощность генерации. Вычислялся практический к.п.д. лазерного комплекса (для импульсно-периодических лазеров практический к.п.д. определяется как отношение средней мощности генерации к мощности, потребляемой от выпрямителя [3]).

На рис.4 и 5 представлены осциллограммы тока и напряжения, когда в качестве активного элемента в составе промышленного лазера применена модель LT-10CU. Эксперименты показывают, что по сравнению с однозвенным вариантом [2] амплитуда тока через тиратрон уменьшена до 120А (т.е. уменьшена в 2,5 раза), а длительность, напротив, увеличена до 350 мкс (т.е. увеличена в 2,5 раза). При этом уменьшение амплитуды и увеличение длительности анодного тока через тиратронный коммутатор, обусловленные введением анодного реактора L_a , компенсируются введением в ТМФИ второго звена сжатия. Таким образом, достигается существенное снижение потерь энергии в тиратронном коммутаторе при сохранении эффективности накачки активного элемента на прежнем уровне. Снижение потерь тиратронного коммутатора подтверждено, в ходе эксперимента, снижением температуры анода тиратрона с 210 °С до 105°С, при этом вклад накала катода тиратронного коммутатора в температуру анода составлял около 35°С.

В составе промышленного лазера проведены ресурсные испытания одного из образцов активных элементов серии «KULON LT-10CU». Номинальная средняя мощность генерации по паспорту завода- изготовителя для этих элементов составляет 10 Вт с линиями генерации 510,6 и 578,2 нм при частоте следования импульсов накачки 15кГц. Испытания проводились при начальной средней мощности генерации равной 14,5 Вт в течение 2100 часов с циклом непрерывной работы 8 часов (в настоящее время испытания продолжаются). За время испытаний средняя мощность генерации активного элемента снизилась с 14,5 Вт до 9,3 Вт. При этом в качестве тиратронного коммутатора в ТМФИ применен тиратрон тетродной конструкции.

За время ресурсных испытаний в работе источника питания не было зафиксировано ни одного отказа.

Зависимость мощности излучения лазерного активного элемента «KULON LT-10CU» №127183 от времени наработки приведена на рис.6а. Для сравнения на рис.6б и рис. 6в приведены, соответственно, зависимости мощности излучения лазерных активных элементов «KULON LT-10CU» №127155 и «KULON LT-5CU» № , полученные при

проведении стендовых испытаний, т.е. в составе стационарных испытательных комплексов.

Сравнение полученных зависимостей показывает более равномерное (близкое к линейному) снижение мощности излучения активного элемента при проведении ресурсных испытаний в составе промышленного лазера, что может быть объяснено более высокой точностью поддержания и стабильностью уровня зарядного напряжения на накопительных конденсаторах ТМФИ, обеспечиваемых работой ЗУ.

В настоящее время ведутся также работы по подготовке активных элементов LT-1,5AU и LT-AU-CU к проведению ресурсных испытаний.

При проведении типовых испытаний промышленного лазера определены основные технические параметры для наиболее мощных моделей активных элементов на парах меди (LT-10CU), золота (LT-1,5AU), смеси паров золота и меди (LT-AU-CU), которые приведены в табл.3.

Таблица 3

Основные технические параметры наиболее мощных промышленных лазеров на парах металлов

Тип модели активного элемента	Средняя суммарная мощность излучения, Вт	Процентное содержание мощности на длинах волн, нм		
		510,6	578,2	627,8
LT-10 Cu	15	50	50	-
LT-1,5 Au	1,8	-	-	100
LT-Au-Cu	7,4	53	38	9

Проведение типовых испытаний промышленного лазера показало также следующее. Максимальный ток разряда, формируемый ТМФИ через активный элемент на парах меди (LT-10CU), зафиксирован на уровне 480 А с дальнейшим переходом излучения в желтый цвет. При амплитуде тока накачки равной 320 А максимальная средняя мощность генерации лазера в стационарном режиме равнялась 17 Вт, практический к.п.д. равнялся 0,7%.

Максимальный ток разряда, формируемый ТМФИ через активный элемент с парами золота (LT-1,5AU), зафиксирован на уровне 300А, средняя мощность генерации в стационарном режиме при этом равнялась 1,8 Вт, практический к.п.д. - 0,25%.

Максимальный ток разряда, формируемый ТМФИ через активный элемент с парами золота и меди (LT-AU-CU), зафиксирован на уровне 320А, средняя мощность генерации в стационарном режиме при этом равнялась 7,4 Вт, практический к.п.д. - 0,3%.

Другие технические параметры разработанного промышленного лазера приведены ниже:

- длительность импульсов излучения, нс 15±2
- частота следования импульсов, кГц 15±1
- диаметр пучка излучения, мм 14
- расходимость излучения (резонатор плоский), мрад 4
- мощность потребляемая от однофазной
сети ~220В, 50Гц, не более, кВт 2,5
- режим включения автоматический
- охлаждение принудительное, воздушное
- габариты, мм 1250 x 355 x 190
- вес, не более, кг 46
- температура окружающего воздуха, не более, °С +35

В настоящее время, по экспертным оценкам, стоимость промышленного лазера на внутреннем рынке составляет 350÷400 тыс. руб.

Заключение

Принятые при разработке промышленного лазера схмотехнические решения позволили как снизить коммутационные потери тиратронного коммутатора, так и повысить надежность работы элементов лазерного комплекса в целом.

Основные достоинства лазера - высокий ресурс работы (более 2000 часов) и массогабаритные показатели 0,55 кг/дм³, что, при отношении общего веса лазера к максимальной средней мощности излучения 2,7 кг/Вт, позволяет использовать разработанный промышленный лазер как в науке и технике, так и в медицине.

Литература

1. Лябин Н.А., Чурсин А.Д., Угольников С.А., Королев М.Е., Казарян М.А. // Квантовая электроника. 2001. т.31, №3, С.191-202.
2. Лепёхин Н.М., Присеко Ю.С., Филиппов В.Г.// Прикладная физика. 2001. №5. С.46-49.
3. Батенин В.М., Бучанов В.В., Казарян М.А., Климовский И.И., Молодых Э.Н. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов. –М.: Научная книга, 1998.- 544с.

Рис. 1

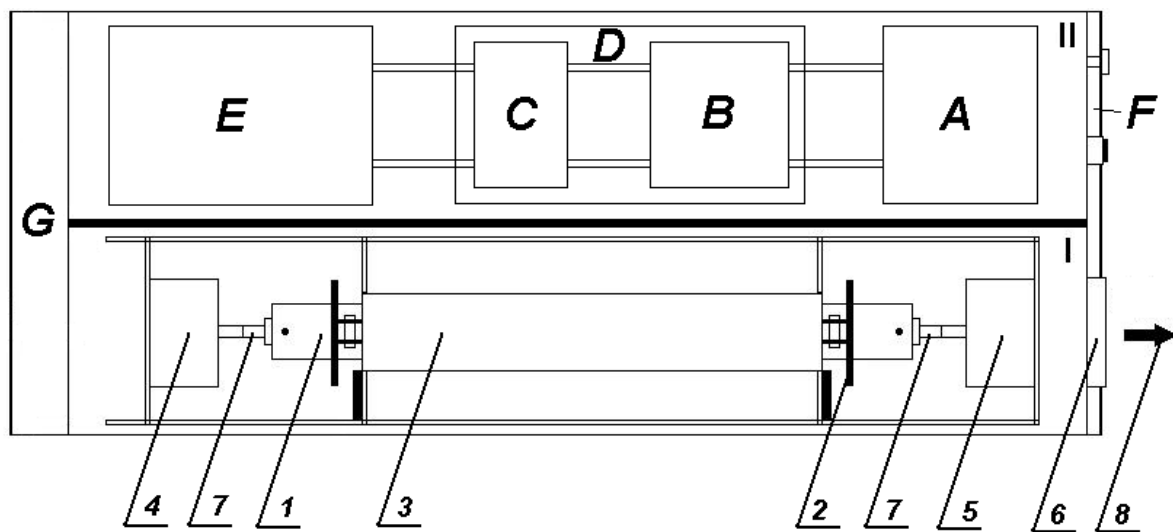


Рис. 2

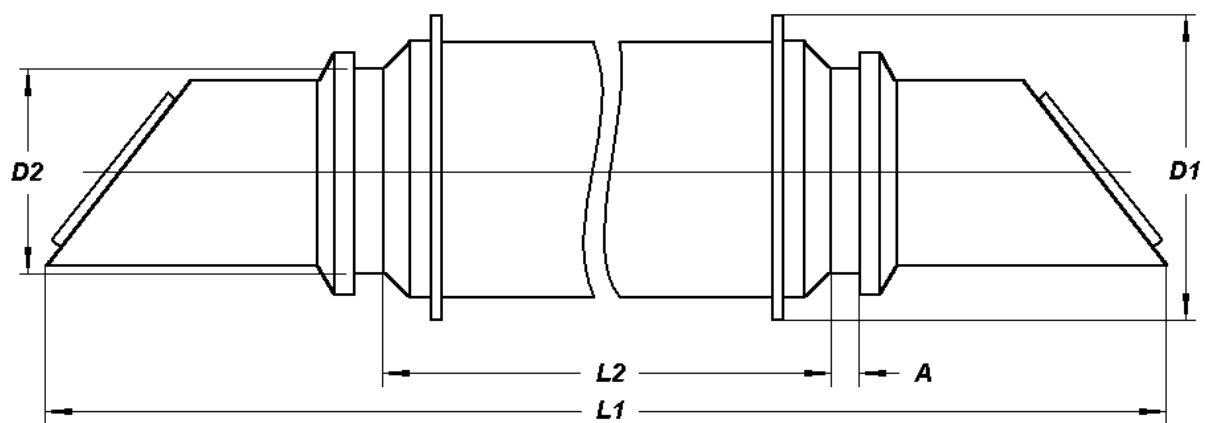


Рис. 3

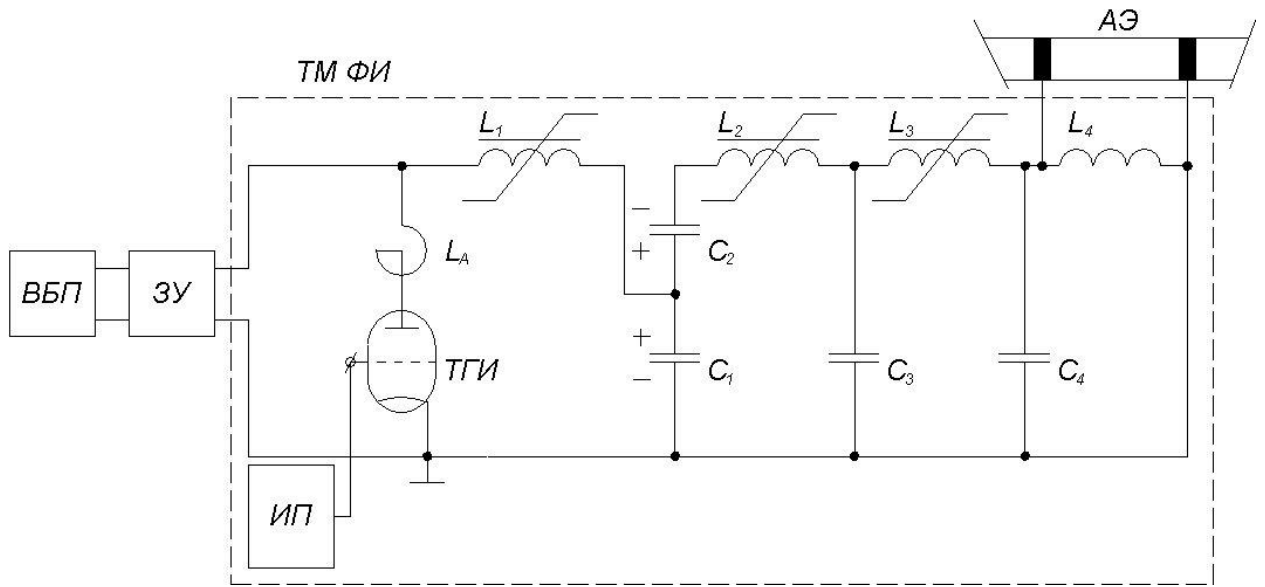


Рис. 4

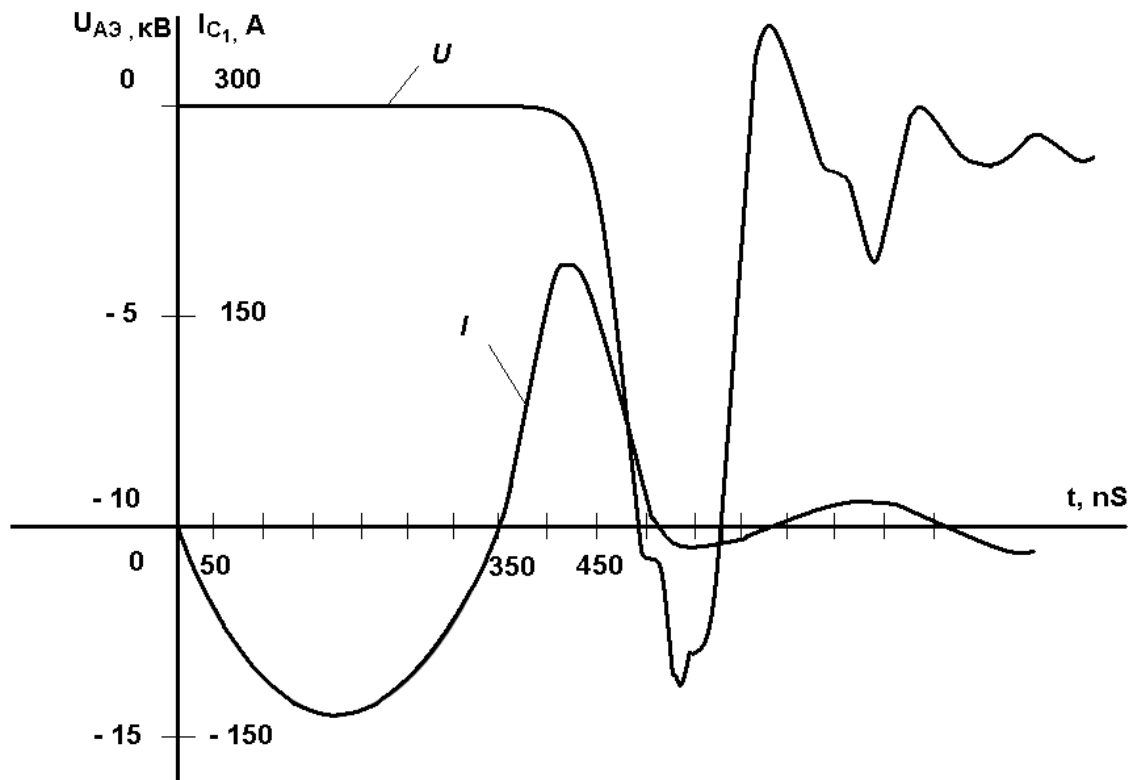


Рис. 5

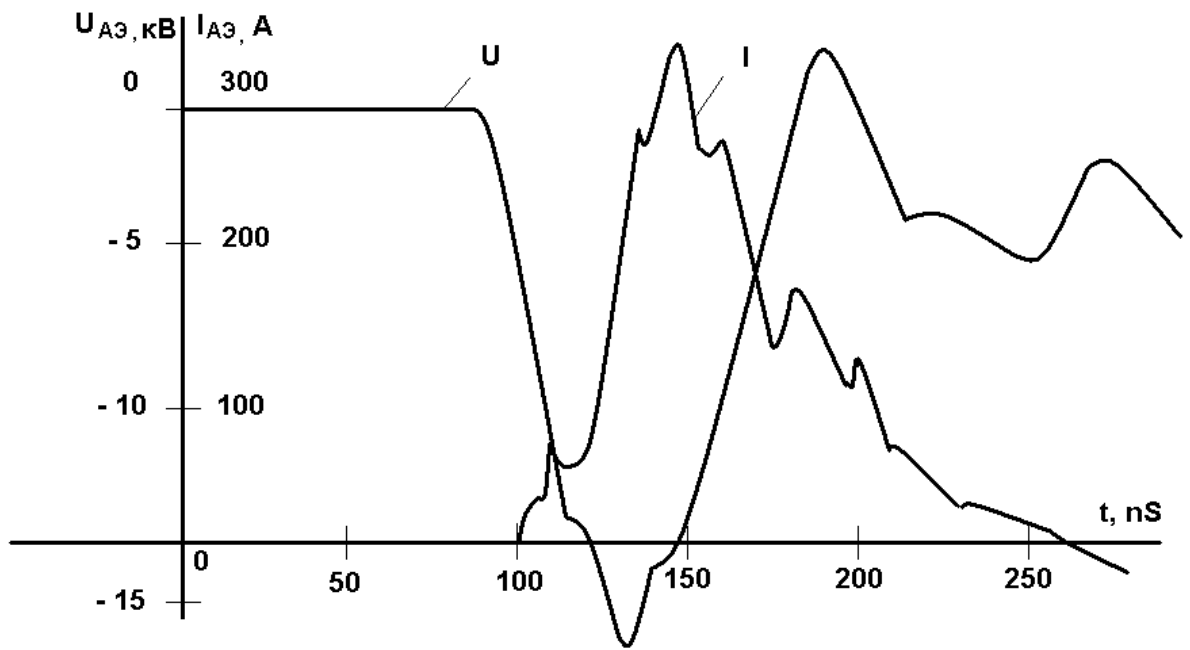


Рис. 6

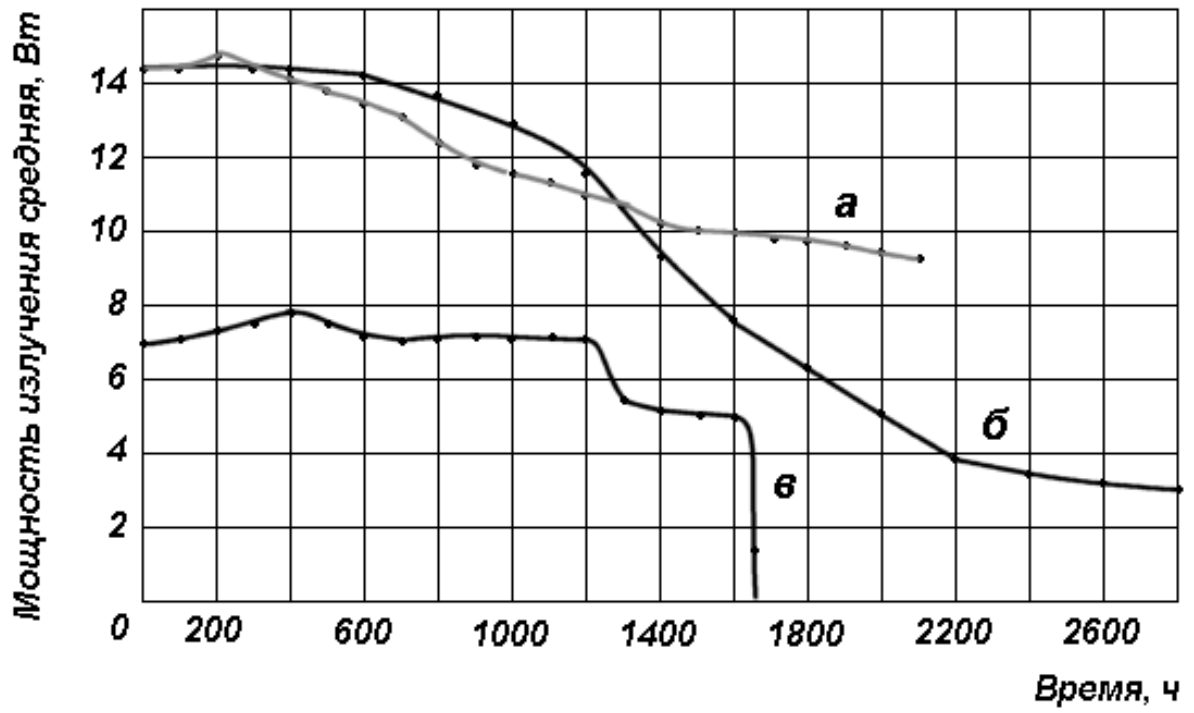


Рис. 1 Компоновка промышленного лазера на базе отпаянных активных элементов серии “KULON”

I – излучатель:

- 1 – лазерный активный элемент;
- 2 – узел крепления активного элемента;
- 3 – тепловой экран;
- 4 – юстировочный механизм заднего зеркала резонатора;
- 5 – юстировочный механизм переднего зеркала резонатора;
- 6 – узел крепления механической шторки;
- 7 – пылезащитная трубка;
- 8 – направление лазерного излучения.

II – источник питания:

- A – входной блок питания;
- B – блок выпрямителя и резонансного преобразователя;
- C – трансформаторно-выпрямительный блок;
- D – зарядное устройство;
- E – генератор наносекундных импульсов;
- F – панель управления;
- G – блок вентиляторов.

Рис. 2 Внешний вид моделей активных элементов серии “KULON”

Рис. 3 Принципиальная электрическая схема генератора

Рис. 4 Осциллограммы напряжения на активном элементе и тока первого накопительного конденсатора (модель LT-10CU)

Рис. 5 Осциллограммы напряжения на активном элементе и импульса тока накачки (модель LT-10CU)

Рис. 6 Зависимости мощности излучения лазерных активных элементов серии “KULON” от времени наработки:

- а) LT-10Cu-M №127183 (в составе промышленного лазера);
- б) LT-10Cu №127155 (стендовые испытания);
- в) LT-5Cu № (стендовые испытания);