

**Б.А. Багинский, В.Г. Лизогуб, Г.С. Евтушенко,
А.Г. Филонов, В.Н. Макаревич, И.Ф. Удалий**

**МАЛОГАБАРИТНЫЙ ЛАЗЕР НА ПАРАХ МЕТАЛЛОВ С ЭФФЕКТИВНОЙ
НАКАЧКОЙ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ И ДРУГИХ ПРИМЕНЕНИЙ**

Описан малогабаритный лазер на базе отпаянных активных элементов меди и золота. Может использоваться для задач оптики атмосферы, в медицине, в навигации и других областях. Источник питания лазера построен с преобразованием энергии на повышенной частоте. Обеспечены стабилизация высокого напряжения и регулировка тока заряда.

Малогабаритный лазер на парах металлов на базе активного элемента <Кулон> разработан для применения в экспериментальной и клинической медицине. Проведенные в НИИ онкологии АМН СССР экспериментальные исследования указали на тормозящее влияние излучения 510,6 нм на опухолевый рост и явились основой для лечения язвенной болезни и осложнений после радикальных операций по поводу рака легких и желудка [1]. Малогабаритный лазер может использоваться для решения задач оптики атмосферы, в навигации, медицине и других областях, например, в шоу-программах.

В качестве активного элемента используется трубка <Кулон>, для которой оптимальная частота работы лежит в диапазоне 8,2 ... 8,6 кГц, при мощности накачки не более 1 кВт. Применение трубки <Кулон> выдвигает требования к источнику питания:

- емкость накопительного конденсатора 3,3 нФ
- напряжение на накопительном конденсаторе (амплитудное значение) $9,5 \pm 0,5$ кВ
- крутизна импульсов тока разряда не менее 3500 А/мкс
- частота следования импульсов накачки $8,4 \pm 0,2$ кГц

Типовая схема резонансной зарядки лазера на парах металлов представлена на рис. 1.

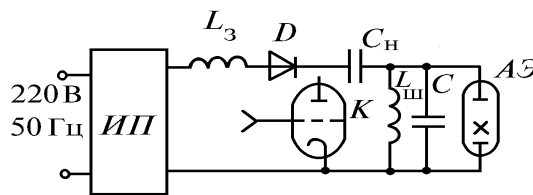


Рис. 1.

Заряд накопительной емкости C_n проходит от источника питания ИП через защитный диод D, зарядную L_z и шунтирующую $L_{ш}$ индуктивности. Для обострения импульса накачки применяется конденсатор C. C_n разряжается на активный элемент АЭ при включении коммутатора K, в качестве которого наиболее часто применяются водородные тиратроны ТГИ1-1000/25, ТГИ1-500/16, ТГИ2-500/20. Основной недостаток ранее разработанных источников питания лазеров на парах металлов – значительные габариты и масса, обусловленные преобразованием энергии на частоте сети. На рис. 2 приведена схема распределения потребляемой электрической энергии различными структурными звеньями системы электропитания лазера на парах меди <МИЛАН-М/2Е> [2]. Нетрудно заметить из приведенной схемы, что на возбуждение активного элемента идет лишь 72% мощности, потребляемой из сети. Остальная доля энергии расходуется для питания вспомогательных цепей. Поэтому при проектировании

системы электропитания лазера необходима тщательная проработка каждого из функциональных узлов.

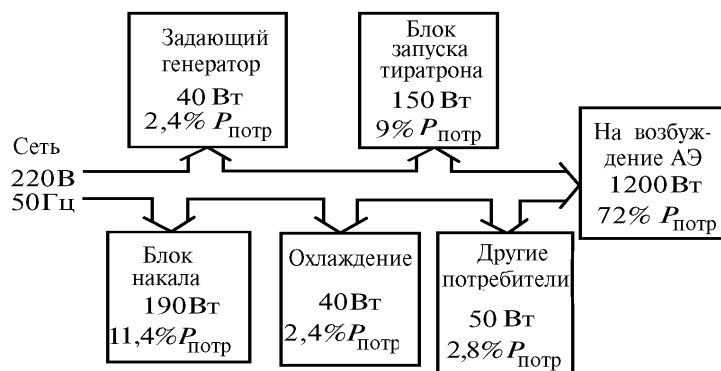


Рис. 2. Схема распределения потребляемой энергии в лазере на парах меди <МИЛАН-М/2Е>

Структурная схема разработанного лазера на парах металлов представлена на рис. 3.

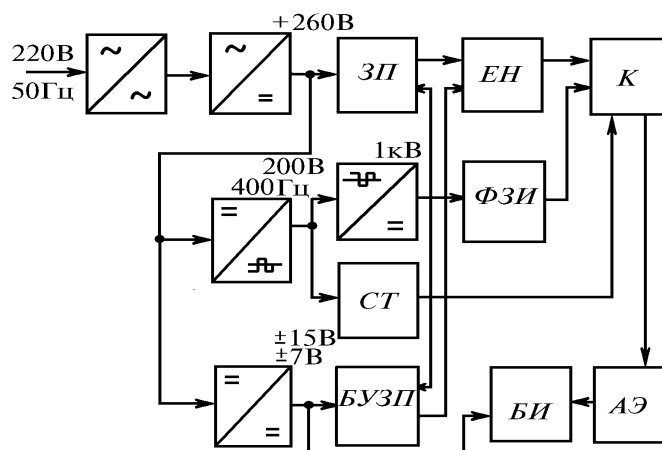


Рис. 3. Структурная схема малогабаритного лазера на парах металлов

Прибор работает от промышленной сети 220 В, 50 Гц. Это напряжение поступает на вход помехоподавляющего фильтра, который защищает питающую сеть от бросков напряжения, возникающих в моменты срабатывания коммутатора K . Преобразователь переменного напряжения в постоянное служит для формирования напряжения +260 В. Выпрямленное напряжение подается на вход высокочастотного зарядного преобразователя $ЗП$, нагрузкой которого является емкостной накопитель $ЕН$. При подаче импульсов запуска на коммутатор K (водородный тиратрон ТГИ1-1000/25) от формирователя запускающих импульсов $ФЗИ$ емкостной накопитель разряжается на активный элемент <Кулон>. Работой зарядного преобразователя управляет блок управления $БУЗП$. Для питания цепей накала тиратрона разработан стабилизатор тока $СТ$, осуществляющий стабилизацию и регулировку накала катода и тока генератора водорода. Массо-габаритные показатели $СТ$ удалось улучшить за счет того, что преобразование энергии производится на частоте 400 Гц с применением стандартных трансформаторов. Для получения напряжения с частотой 400 Гц служит преобразователь постоянного напряжения в переменное. Питание $БУЗП$ и всех вспомогательных цепей производится от высокочастотного преобразователя напряжения, который вырабатывает необходимые напряжения ± 15 и ± 7 В. В состав системы питания лазера входит также блок цифровой индикации $БИ$, который выдает информацию о величине средней мощности лазерного излучения.

Высокочастотный зарядный преобразователь построен по схеме мостового резонансного инвертора с последовательным дросселем [3] (рис. 4). В качестве контурной емкости резонансного инвертора используются конденсаторы $ЕН$, а индуктивностью контура служит ин-

дуктивность рассеяния повышающего трансформатора и дополнительно включенная индуктивность L (рис. 4, а). Первоначальный запуск схемы резонансного инвертора происходит при нажатии кнопки <Пуск>, при этом включаются тиристоры VS_1 , VS_4 и транзистор VT , который закроется в том случае, если:

- ток через транзистор выше установленного значения (защита по току);
- напряжение на емкостном накопителе превысит заданное (защита по напряжению);
- мощность, потребляемая от выпрямителя, превышает требуемое значение.

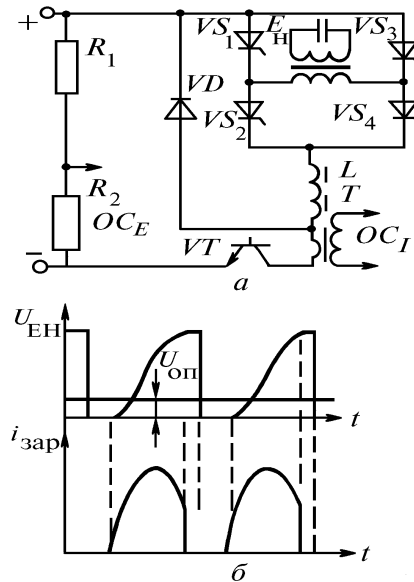


Рис. 4. Схема силовой части зарядного преобразователя (а) и диаграммы ее работы (б)

Если никаких ограничений не происходит, то через полпериода выключатся тиристоры VS_1 , VS_4 и включатся VS_2 , VS_3 . Заряд емкостного накопителя происходит за один цикл, затем заряд прекращается до тех пор, пока не произойдет разряд EH .

Диод VD служит для рекуперации энергии, накопленной в индуктивности L . С делителя R_1R_2 снимается сигнал обратной связи по напряжению OC_E . В коллекторной цепи транзистора VT включен трансформатор тока T , с вторичной обмотки которого снимается сигнал обратной связи по току OC_T . Эти сигналы обратной связи поступают на схему управления резонансным инвертором и позволяют управлять процессом заряда. На рис. 4, б показана диаграмма напряжения на конденсаторах емкостного накопителя U_{EH} и форма зарядного тока $i_{зар}$, протекающего по первичной обмотке силового трансформатора. В момент разряда EH напряжение на нем резко падает, и когда оно становится меньше задаваемого опорного напряжения $U_{оп}$, вырабатывается сигнал формирования паузы между импульсами зарядного тока. После этого выдерживается пауза 10-15 мкс, необходимая для деионизации тиратрона, и все описанные процессы вновь повторяются.

Одна из многих проблем, возникающих при проектировании систем электропитания лазеров, – это проблема миниатюризации входного фильтра. Если габариты зарядного преобразователя удастся уменьшить за счет повышения частоты преобразования, то дроссель входного фильтра работает на частоте 100 Гц и габариты его оказываются значительными для обеспечения режима непрерывного тока. Входной фильтр занимает до 30% от объема всего источника питания. Предлагаемая схема входного фильтра (рис. 5) отличается уменьшенной расчетной мощностью дросселя и вместе с тем повышенным коэффициентом мощности по сравнению с классической мостовой схемой с LC -фильтром. При положительной полуволне входного напряжения $U_{вх}$ работают диоды V_1 , V_4 , а в другой полупериод – диоды V_2 , V_3 . Кроме того, в схему введен дополнительный фильтровой конденсатор C_d , подключенный через диоды V_5 , V_6 к питающей сети и через тиристор V_7 к $L_\phi C_\phi$ – фильтру. При угле α

(рис. 5, б), когда входное напряжение становится равным U_{C_d} , через диоды $V_5(V_6)$ и $V_4(V_2)$ начинается подзаряд конденсатора C_d . На интервале $\alpha \leq \theta \leq \beta$ тиристор V_7 закрыт, ток сглаживающего дросселя замыкается через соответствующие диоды моста и питающую сеть. При включении тиристора V_7 (угол β) заряженный до амплитуды входного напряжения конденсатор C_d подключается к входу фильтра. Диоды выпрямительного моста запираются, и ток дросселя замыкается через C_d . Когда уменьшающееся напряжение дополнительного конденсатора сравнивается с входным $\theta = \beta + \gamma$, тиристор V_7 запирается и описанные процессы повторяются.

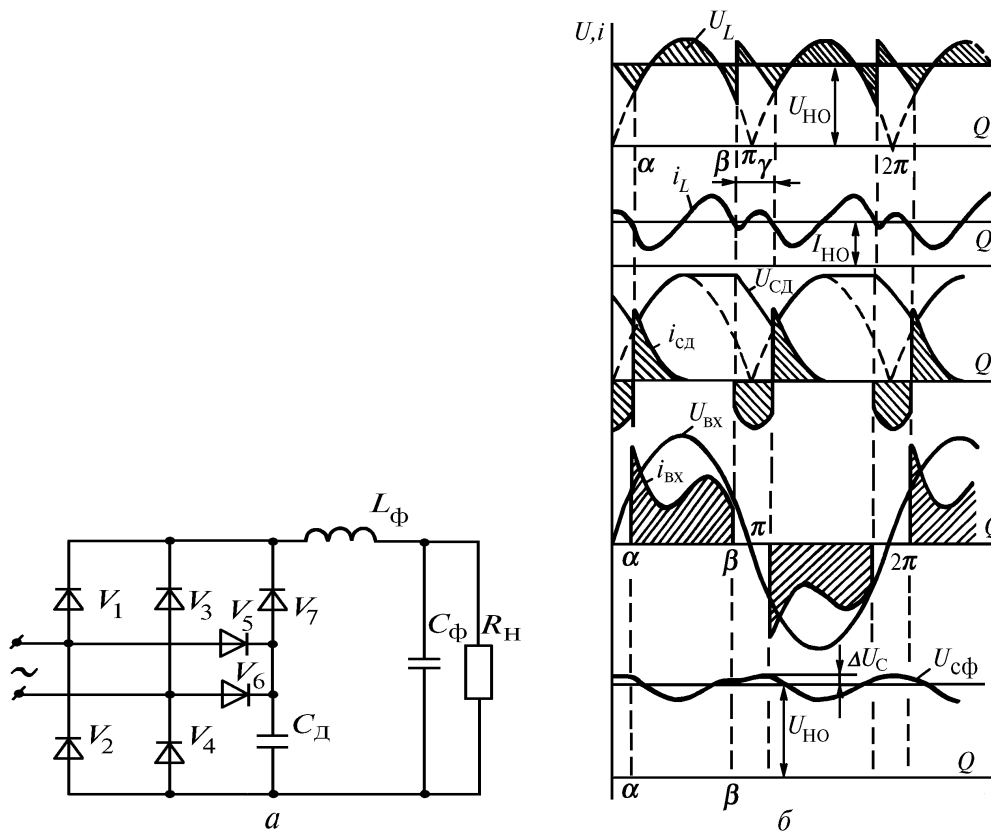


Рис. 5. Схема входного фильтра (а) и диаграммы его работы (б): U_L, i_L – мгновенные значения напряжения и тока через индуктивность L_ϕ ; U_{C_d}, i_{C_d} – мгновенные значения напряжения на дополнительном конденсаторе C_d и его зарядного тока; $U_{вх}, i_{вх}$ – мгновенные значения входного напряжения и тока, потребляемого от сети; $U_{но}, I_{но}$ – средние значения выходного напряжения и тока нагрузки; $U_{сф}, \Delta U_c$ – мгновенное значение напряжения на фильтровом конденсаторе и амплитуда пульсаций на нем

Как видно из диаграмм, напряжение дросселя имеет уменьшенную амплитуду и повышенную частоту по сравнению с напряжением в классической схеме. Входной ток носит прерывистый характер, причем на интервале $\alpha \leq \theta \leq \pi/2$ он является суммой падающего тока дополнительного конденсатора и нарастающего тока дросселя. Поэтому первая гармоника входного тока даже в критическом режиме работы дросселя имеет малый фазовый сдвиг по отношению к питающему напряжению. Это обеспечивает высокий коэффициент мощности входного фильтра.

Проведенные расчеты показывают, что оптимальный угол включения тиристора V_7 слабо зависит от величины емкости дополнительного конденсатора и составляет $\beta_{opt} \approx 0,84\pi$. С ростом емкости C_d увеличивается коэффициент передачи выпрямителя и одновременно уменьшается требуемое произведение LC -фильтра. Для двукратного уменьшения данного параметра по сравнению с его значением в классической схеме необходимо использовать

дополнительный конденсатор емкостью $C_d \approx 2/\omega R_n$, где ω – частота питающей сети; R_n – сопротивление нагрузки. При этом коэффициент передачи по напряжению K_U равен 0,81. В результате экспериментальных исследований установлено, что в описанном устройстве реально достижим коэффициент мощности на уровне 0,9 при приемлемом объеме сглаживающего дросселя.

Малогабаритный лазер конструктивно выполнен в виде двух отдельных блоков: блок лазерной головки и собственно источник питания. В блок лазерной головки входят активный элемент <Кулон>, тиратрон ТГИ1-1000/25 с накальным трансформатором, ступенчатый ослабитель мощности излучения и датчик контроля мощности излучения. Габариты лазерной головки $700 \times 300 \times 200$ мм. Средняя мощность излучения до 3 Вт.

Собственно источник питания имеет следующие технические характеристики: выходное напряжение – $6 \div 10$ кВ с возможностью регулировки; частота преобразования 8,4 кГц; выходная мощность 1,2 кВт; питание от однофазной сети 220 В, 50 Гц; средний ресурс более 5000 ч.

Малогабаритный лазер на парах металлов отличается от подобных (например, [2, 4]) тем, что:

- а) преобразование энергии происходит на повышенной частоте (поэтому удалось уменьшить массу источника питания до 20 кг при выходной мощности 1,2 кВт);
- б) исключен громоздкий зарядный дроссель из высоковольтной цепи;
- в) обеспечена стабилизация высокого напряжения;
- г) имеется возможность регулировки зарядного тока;
- д) имеется блок цифровой индикации уровня мощности излучения;
- е) используется ступенчатый ослабитель мощности излучения (1 : 5; 1 : 10; 1 : 20);
- ж) введен счетчик времени работы.

1. Евтушенко Г.С., Зырянов Б.Н., Удалий И.Ф. и др. // XIII Межд. конф. по когерентной и нелинейной оптике. (Тезисы докл.). Минск, 1988. Ч. 1. С. 458–459.
2. Гарагаты С.Н., Пеленков В.П., Юдин Н.А. // Квантовая электроника. 1974. Т. 15. N 10. С. 845–850.
3. Багинский Б.А., Ярославцев Е.В., Макаревич В.Н. // Проблемы преобразовательной техники. Киев: ИЭД АН УССР, 1991. Ч. 3. С. 225–226.
4. Градобоев Ю.Г., Мокрушин Ю.М., Окунев Р.И. и др. // ПТЭ. 1990. N 6. С. 118–120.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
21 декабря 1993г.

V. A. Baginsky, V. G. Lizogub, G. S. Evtushenko, A. S. Filonov, V. N. Makarevich, I. F. Udalyi. Compact High-Efficiency Metal-Vapor Laser for Medical and Other Applications.

This paper presents a description of a compact sealed off Cu- and Au-vapor laser. This laser can be used in atmospheric optics studies, in medicine, navigation and other applied fields. The laser power supply uses energy conversion at an enhanced frequency. Output high voltage stabilization and output electric current regulation are provided in this power supply.