

**Е.Х. Бакшт, В.А. Визирь, С.Э. Кунц, В.М. Орловский, А.Н. Панченко,
С.Н. Рукин*, В.Ф. Тарасенко**

Накачка импульсных лазеров с продольным разрядом от генератора с индуктивным накопителем энергии и полупроводниковым прерывателем тока

Институт сильноточной электроники СО РАН, г.Томск

**Институт электрофизики УрО РАН, г.Екатеринбург*

Поступила в редакцию 20.01.2000 г.

Приведены результаты экспериментальных исследований особенностей накачки продольным разрядом азотного ($\lambda = 337,1$ нм) и CO_2 ($\lambda = 10,6$ мкм) лазеров от генератора с индуктивным накопителем энергии и полупроводниковым прерывателем тока, а также энергетические и временные характеристики лазерного излучения. Получены осциллограммы и зависимости, характеризующие различные режимы работы. Описана расчетная модель для определения тока и напряжения в цепи, а также энерговклада в лазерные трубки и потерь в прерывателе тока, результаты расчетов по которой удовлетворительно совпадают с экспериментальными данными.

В наших работах [1–8] было показано, что индуктивный накопитель энергии может успешно использоваться для накачки импульсных газовых лазеров на плотных газах. Генераторы с индуктивным накопителем энергии позволяют легко изменять режимы накачки и осуществлять возбуждение лазеров различного типа в оптимальных условиях [4, 8]. Создание специальных полупроводниковых прерывателей тока (SOS-диодов) [9, 10] позволило существенно расширить возможности использования генераторов с индуктивным накопителем энергии. Однако в литературе нет подробных данных, характеризующих различные режимы накачки импульсных газовых лазеров от индуктивного накопителя энергии, особенно при накачке продольным разрядом.

В связи с этим было проведено исследование работы генератора накачки с индуктивным накопителем и полупроводниковым прерывателем тока на газоразрядную нагрузку, в качестве которой использовался импульсный газовый лазер, возбуждаемый продольным разрядом.

Экспериментальные установки и методики

Для проведения исследований особенностей накачки продольным разрядом азотного ($\lambda = 337,1$ нм) и CO_2 ($\lambda = 10,6$ мкм) лазеров от генератора с индуктивным накопителем энергии и полупроводниковым прерывателем тока была создана экспериментальная установка, электрическая схема которой приведена на рис. 1. Нами использовались: T – тиратрон ТГИ-10000/25, $C_0 = 5,5$ нФ, $L_0 = 16$ мкГн, $U_0 = 25\text{--}32$ кВ (обычно 31 кВ), индуктивность $L_2 = 1\text{--}5$ мкГн (обычно 3 мкГн) и прерыватель тока D . Накопительный конденсатор $C_1 = 4,4$ нФ заряжался от первичного тиратронного генератора до напряжения $U_1 \sim 30$ кВ за время ~ 600 нс. Ток зарядки в максимуме составлял ~ 350 А.

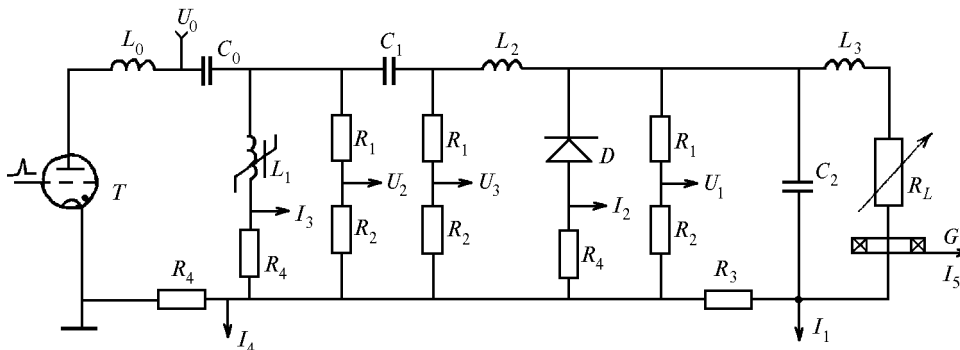


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки с полупроводниковым прерывателем тока

В качестве прерывателя тока использовались специальные кремниевые диоды типа SOS-100-2 или SOS-150-2 [9] с максимальным обратным напряжением 100 или 150 кВ соответственно и максимальной амплитудой обрываемого тока 2 кА. Магнитный ключ L_1 перематывался,

находясь под напряжением, равным напряжению на конденсаторе C_1 . Он представлял собой нелинейный дроссель с сердечником из пермаллового сплава 50НП с толщиной ленты 0,01 мм, сечением 2,6 и средним диаметром 6 см. Число витков обмотки равнялось 6. К моменту окончания

зарядки C_1 сердечник насыщался, индуктивность L_1 уменьшалась до значения $L_{1s} \ll L_1$ и конденсатор C_1 начал разряжаться по цепи $C_1-L_2-D-L_1$, причем ток через диод протекал уже в обратном направлении. Время нарастания тока в данном контуре составляло ~ 150 нс, после чего сопротивление диода резко возрастало.

За счет быстрого уменьшения тока в контуре (его индуктивность $L_\Sigma = L_{1s} + L_k + L_2 \approx 5$ мкГн, где L_k – конструктивная индуктивность контура, учитывающая взаимодействие магнитных полей отдельных индуктивностей) на нагрузке R_L и диоде D возникал импульс высокого напряжения, а за счет энергии, запасенной в индуктивности L_Σ , могла заряжаться обострительная емкость C_2 до напряжения 40–80 кВ за время $20 \div 70$ нс в зависимости от величины C_2 . При напряжении на газоразрядной трубке, равном 50–80 кВ, в ней происходил пробой рабочего газа. Индуктивность подводов в контуре L_3 обычно делалась минимально возможной. В ряде экспериментов лазерная трубка заменялась резистором марки ТВО, последовательно с которым включался искровой разрядник с микрозазором, что позволяло регистрировать токи и напряжения при постоянном сопротивлении нагрузки. В лазере в качестве газоразрядной трубки использовалась стеклянная трубка, длина (20 и 40 см) и внутренний диаметр (2,2; 3,4; 6,8 и 9,5 мм) которой варьировались в различных экспериментах. Трубка заполнялась азотом или смесью $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-He}$ и подключалась с минимальной индуктивностью параллельно диоду.

Внутренний резонатор, состоящий из плоского зеркала с алюминиевым покрытием и плоскопараллельной кварцевой пластинки или плоского медного зеркала и германиевой пластинки с многослойным покрытием с коэффициентом отражения 80% для $\lambda = 10,6$ мкм, устанавливался на торцах трубки. Напряжения и токи на установке измерялись омическими делителями R_1-R_2 и шунтами R_3 и R_4 , поясом Роговского G , сигналы с которых направлялись на осциллограф 6-ЛЮР. В ряде экспериментов подводы к нагрузке от обострительного конденсатора и диода выполнялись параллельно и токи через них регистрировались отдельными шунтами. Форма импульса лазерного излучения и мощность регистрировались фотодиодом ФЭК-22 СПУ или ФСГ-22-3А2, а средняя мощность излучения в импульсно-периодическом режиме – калориметром ИМО-2Н.

Особенности накачки

В ходе экспериментов с индуктивным накопителем энергии использовались различные типы нагрузок. На рис. 2,а приведены осциллограммы токов генератора, работающего на постоянную нагрузку, сопротивление которой менялось только при установке резисторов марки ТВО различных номиналов. При постоянном сопротивлении нагрузки в начальный момент времени до пробоя искрового промежутка ее сопротивление было высоким. После пробоя искрового промежутка сопротивление нагрузки за несколько наносекунд становилось равным величине сопротивления резистора. Важным обстоятельством является изменение скорости обрыва тока в диоде при различных токах нагрузки. Из рис. 2,б видно, что при нагрузке с малым сопротивлением (режим короткого замыкания) скорость обрыва тока наибольшая, а при увеличении сопротивления нагрузки до 193 Ом время обрыва тока увеличилось и скорость изменения dI/dt уменьшилась.

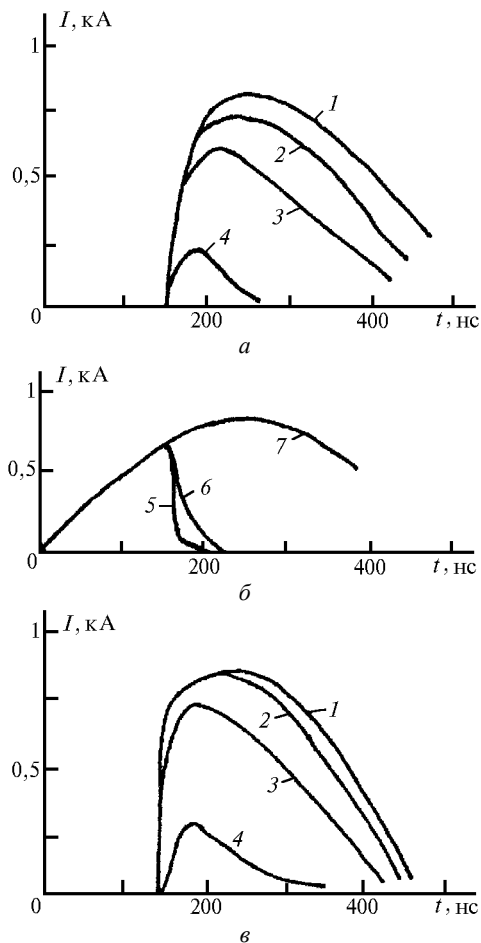


Рис. 2. Осциллограммы токов, полученных экспериментально (а, б) и из расчетов (в) при $C_2 = 0$: а, в – I_1 (1, 2, 3, 4 – $R_L = 0$; 5; 20; 200 Ом); б – I_2 (5, 6 – $R_L = 0$; 200 Ом); 7 – I_2 при закороченном прерывателе

Отметим, что при использовании данной схемы небольшой ток продолжает протекать через нагрузку еще несколько сотен наносекунд после основного импульса. Это объясняется тем, что в реальной схеме магнитный ключ L_1 открывался несколько раньше, чем необходимо, и в конденсаторе C_0 оставалась часть энергии, которая обеспечивала его перезарядку по цепи L_0-T-L_1 , и после прекращения тока через ключ L_1 конденсатор C_1 начинал заряжаться от C_0 через сопротивление нагрузки R_L . Все эти процессы хорошо видны на рис. 3 и 4, которые иллюстрируют работу реальной схемы с двумя различными величинами конденсатора C_1 . Для диапазона давлений газа и длин трубок, исследованных нами, сопротивление разрядных трубок, заполненных азотом, составляет десятки ом, а смесь $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-He}$ – сотни ом. Этим обусловлен выбор сопротивлений нагрузок, для которых сняты осциллограммы на рис. 3 и 4. На рис. 3 при постоянной нагрузке 58 Ом и примерно равных величинах конденсаторов C_0 и C_1 приведены осциллограммы токов через нагрузку I_5 (кривая 1) и прерыватель тока I_2 (2), тока короткого замыкания (3), токов через магнитный дроссель I_3 (4) и конденсатор C_0 I_4 (5), а также осциллограммы напряжений U_1 (6), U_3 (7) и U_2 (8). Этот режим является наиболее оптимальным для дан-

ной схемы с точки зрения передачи энергии от C_0 в индуктивность. Так как искровой промежуток пробивался практически сразу после начала обрыва тока в прерывателе и роста напряжения на нагрузке (т.е. к индуктивному накопителю энергии очень быстро до достижения максимума напряжения подключалось сопротивление нагрузки 58 Ом), то максимальное напряжение на нагрузке составляло менее 40 кВ. Продолжающийся несколько сотен наносекунд ток после окончания основного импульса обусловлен разрядом конденсатора C_0 (осциллограмма 3 на рис. 3).

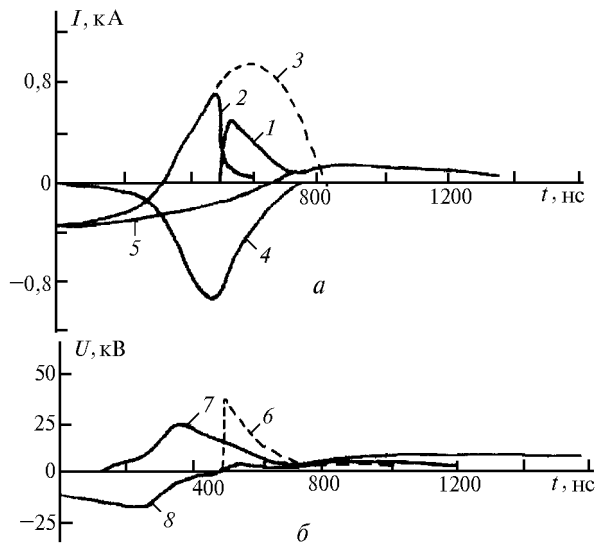


Рис. 3. Осциллограммы токов и напряжений при работе установки на сопротивление $R_L = 58$ Ом ($C_1 = 4,4$ нФ; $C_2 = 0$): 1 - I_1 ; 2 - I_2 ; 3 - I_2 при закороченном прерывателе тока; 4 - I_3 ; 5 - I_4 ; 6 - U_1 ; 7 - U_3 ; 8 - U_2

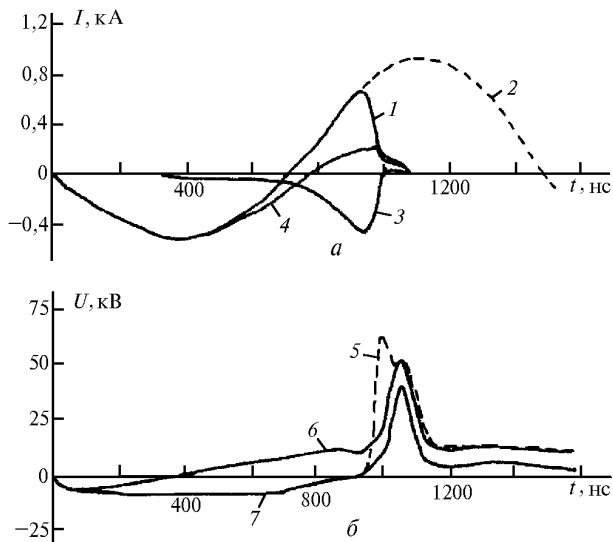


Рис. 4. Осциллограммы токов и напряжений при работе установки в режиме холостого хода ($C_1 = 16,5$ нФ; $C_2 = 0$): 1 - I_2 ; 2 - I_2 при закороченном прерывателе тока; 3 - I_3 ; 4 - I_4 ; 5 - U_1 ; 6 - U_3 ; 7 - U_2

На рис. 4 приведены осциллограммы токов и напряжений при работе установки в режиме холостого хода: токов через диод D I_2 (кривая 1), при коротком замыкании диода (2), через магнитный дроссель I_3 (3) и

конденсатор C_0 I_4 (4), а также напряжений U_1 (5), U_3 (6) и U_2 (7). Видна динамика изменения токов и напряжений, начиная с момента времени срабатывания тиратрона T . В данном случае величина C_1 специально увеличена (до 16,5 нФ), что позволило при накачке CO_2 -лазера формирование разряда осуществлять от энергии, запасенной в индуктивности, а основную накачку осуществлять за счет энергии, оставшейся в конденсаторе C_1 . Для этого режима характерны более длинные импульсы тока и напряжения на нагрузке и два пика на импульсе напряжения. Второй пик на импульсе напряжения, по-видимому, обусловлен повышением индуктивности магнитного ключа для тока разрядки конденсатора C_0 при увеличении сопротивления прерывателя.

Следует отметить, что азотный лазер является лазером на самоограниченных переходах и генерация излучения в нем осуществляется практически на переднем фронте импульса тока. На рис. 5 приведены осциллограммы импульсов напряжения на газоразрядной трубке, заполненной азотом, и тока через нее при включении параллельно разрядной трубке обострительного конденсатора C_2 . Включение обострительного конденсатора приводит к увеличению тока через трубку, но при этом уменьшается величина максимального напряжения на газоразрядной трубке. Скорость роста тока через трубку и мощность накачки в некоторых режимах при относительно малых величинах C_2 и коротких трубках могут даже увеличиваться по сравнению с накачкой только от индуктивного накопителя энергии. Поэтому для достижения максимальной мощности накачки в конкретных газоразрядных трубках могут быть использованы как индуктивный накопитель энергии, так и емкостной с зарядкой от индуктивного накопителя энергии. При значительном увеличении длины газоразрядной трубки (увеличении индуктивности L_3) наибольшие мощности накачки будут реализовываться при накачке от индуктивного накопителя энергии.

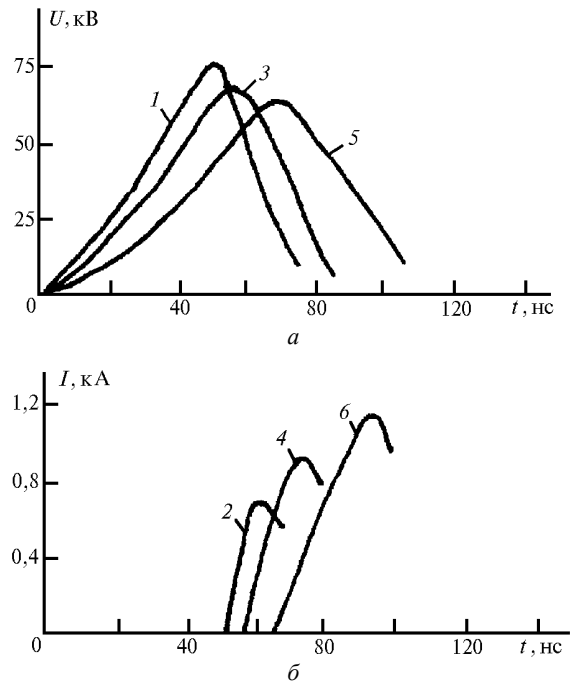


Рис. 5. Осциллограммы напряжений на газоразрядной трубке (I , 3 - 5) и токов разряда (2, 4, 6). Разряд в азоте, $p = 30$ торр; $C_2 = 94$ (1, 2); 170 (3, 4); 330 пФ (5, 6)

На рис. 6 приведены характерные осциллограммы токов и напряжений разряда при работе индуктивного накопителя на газоразрядную нагрузку для различных давлений азота в трубке. Видно, что с увеличением давления растут пробивное напряжение газоразрядной трубки и сопротивление разряда. При этом наблюдаются уменьшение тока разряда и замедление времени спада напряжения на плазме. Наибольшая скорость роста тока через трубку достигается при малых давлениях, когда сопротивление нагрузки более низкое.

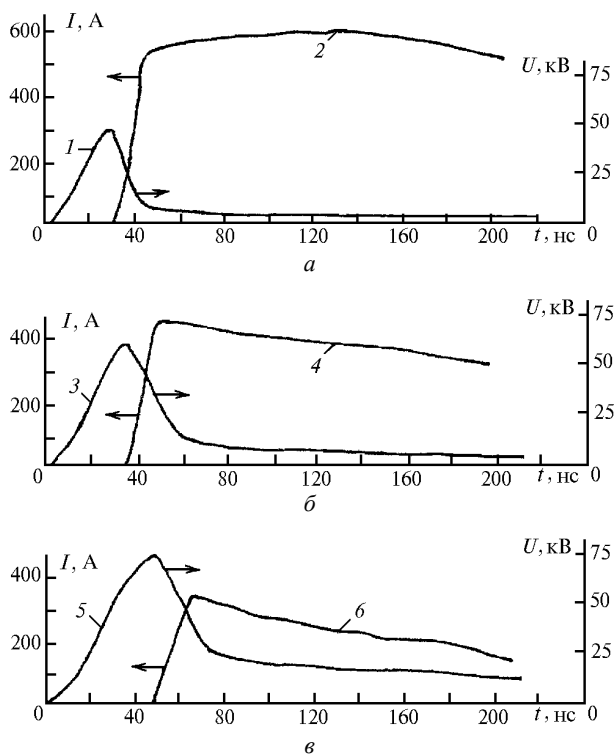


Рис. 6. Осциллограммы токов разряда (1, 3, 5) и напряжений на газоразрядной трубке (2, 4, 6). Разряд в азоте, $C_2 = 0$: $a - p = 6$ торр; $b - p = 15$ торр; $v - p = 30$ торр

С целью реализации условий, оптимальных для получения генерации на CO_2 , емкость C_1 была увеличена до 16,5 нФ. Это привело к уменьшению зарядного напряжения C_1 до ~14,5 кВ и увеличило потери энергии при зарядке конденсатора C_1 от C_0 . Однако в этом режиме основной энергозатрат в рабочую смесь осуществляется при сравнительно низких напряжениях на газоразрядной плазме и длительность импульса накачки превышает 1 мс (см. рис. 4). Характерной особенностью работы данной схемы, как было отмечено, являются появление второго пика напряжения, который возник из-за увеличения индуктивности магнитного ключа для тока разрядки конденсатора C_0 , и формирование более длинных импульсов тока и напряжения.

Расчетная модель

Для моделирования работы генератора с индуктивным накопителем энергии на нагрузку была составлена программа, позволяющая рассчитывать упрощенную эквивалентную схему генератора. Эквивалентная схема состояла из колебательного RLC -контура с $L = L_{\Sigma}$, $C = C_1$ и двух изменяющихся во времени сопротивлений, включенных

параллельно. При этом одно из сопротивлений (R_D) соответствовало полупроводниковому прерывателю тока, второе (R_L) – газоразрядной нагрузке, и их величины в разные моменты времени задавались формулами, аналогичными использованным в [11]:

$$R_D = \begin{cases} 0,5; & 0 \leq t \leq t_1 \\ dR/dt \cdot (t - t_1) + 0,5 & t > t_1 \end{cases}, \quad (1)$$

$$R_L = \begin{cases} 10^6; & 0 \leq t \leq t_2 \\ 60 + 10^6/\exp(a \times (t - t_1)); & t > t_2 \end{cases}, \quad (2)$$

где t_1 – время начала обрыва тока; t_2 – время начала пробоя газоразрядного промежутка.

Значения коэффициентов $dR/dt \approx 6 \cdot 10^9$ Ом/с и $a \approx 9 \cdot 10^8$ с⁻¹ подбирались при сравнении расчетных и экспериментальных данных. Представление импеданса SOS-диода в фазе обрыва тока линейно изменяющимся во времени сопротивлением позволяет с удовлетворительной точностью описывать ход экспериментальных осциллограмм (рис. 2, в), хотя, конечно, не является заменой специально разработанным моделям. Данная модель позволила рассчитать потери в прерывателе тока и энергозатрат в нагрузку, проанализировать на качественном уровне работу генератора при изменении его параметров (например, при уменьшении времени прямой накачки SOS-диода), а также дала возможность исключить влияние на ход экспериментальных осциллограмм смежных контуров, имеющих в реальной схеме.

Генерация в азоте

Для получения генерации в азоте при накачке от генератора с индуктивным накопителем энергии продольный разряд использовался в работах [1–4, 6, 8]. Было показано, что применение индуктивного накопителя позволяет осуществлять накачку однополярными импульсами с крутым передним фронтом и эффективно передавать энергию в нагрузку. При накачке от индуктивного накопителя энергии уменьшается влияние индуктивности разрядного контура L_3 и расширяется область рабочих давлений, при которых реализуется генерация, а обострительные конденсаторы, установленные параллельно разрядной трубке, уменьшают потери энергии в полупроводниковом прерывателе тока и могут увеличивать энергию излучения лазера. Были получены мощность излучения в импульсе 40 кВт и средняя мощность излучения 12 мВт, реализован импульсно-периодический режим работы лазера при накачке от генератора с индуктивным накопителем энергии с частотой повторения до 100 Гц.

Было также показано, что при накачке азотного лазера от генератора с индуктивным накопителем энергии для исследованных параметров схемы ($C_1 = 4,4$ нФ, $U_1 \sim 30$ кВ) наибольшая интенсивность излучения достигается при $L_{\Sigma} = 4 \div 5$ мкГн. В данной статье был существенно расширен диапазон исследованных диаметров и длин лазерных трубок. На рис. 7 приведены зависимости импульсной энергии излучения и средней плотности энергии излучения от давления азота в трубках различного диаметра. Длина всех трубок равнялась 20 см. Наибольшая энергия излучения азотного лазера для давления в газоразрядной трубке $p = 15$ торр была получена при значении $C_2 = 170$ пФ и составила 0,4 мДж, а для $p = 30$ торр – при $C_2 = 94$ пФ составила 0,3 мДж. Это связано с тем, что ско-

рости зарядки конденсаторов и длительности переднего фронта тока разряда различны и с увеличением давления растет разность между их зарядными напряжениями – конденсатор с меньшей емкостью заряжается до большего напряжения и обеспечивает более крутой фронт тока (см. рис. 5). При этом становится существенным вклад тока индуктивного накопителя в полный ток разряда: для $p = 30$ торр, $C_2 = 94$ пФ он составил 36% полного тока. Дальнейшее уменьшение емкости C_2 приводило к уменьшению энергии излучения, так как напряжение на C_2 достигало своего максимального значения (практически равного напряжению пробоя при $C_2 = 0$), а ток разряда уменьшался.

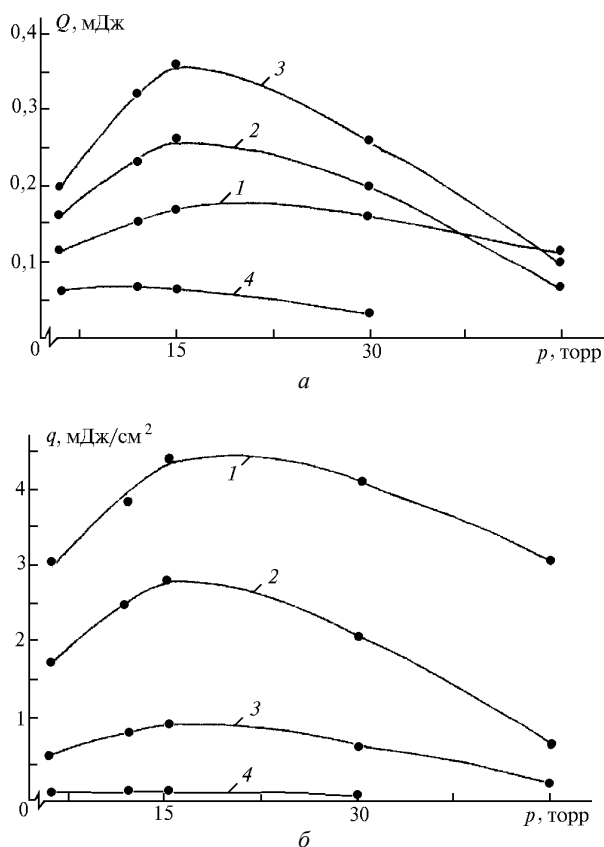


Рис. 7. Зависимость энергии излучения (а) и средней плотности энергии излучения (б) азотного лазера от давления азота для различных диаметров d разрядной трубки (длина трубки 200 мм, $C_2 = 330$ пФ): 1, 2, 3, 4 – $d = 2,2; 3,4; 6,8; 9,5$ мм

На рис. 8 приведены зависимости импульсной энергии излучения от давления азота при различных величинах обострительного конденсатора. Максимальная энергия излучения была получена при включении обострительного конденсатора 170 пФ на трубке диаметром 6,8 мм и составила 0,55 мДж. Максимальная плотность энергии излучения была получена в трубке наименьшего диаметра из исследованных (2,2 мм) и составила 4,5 мДж/см². При увеличении длины трубки в два раза оптимальное давление азота уменьшается также примерно в два раза, т.е. величина U_0/pd сохраняется (U_0 – напряжение пробоя газоразрядной трубки, p – давление газа, d – расстояние между электродами). Энергия излучения за импульс в длинной трубке при этом возрастала на 45%. При накачке от индуктивного накопителя без использования обострительного конденса-

тора для данной длины трубки максимальная энергия излучения была меньше (рис. 8, кривая 4). Однако при увеличении давления эта разница начинала уменьшаться, затем энергии излучения в обоих случаях сравнивались, и при максимальных давлениях генерация в азоте наблюдалась только при накачке от индуктивного накопителя без обострительного конденсатора. Отметим, что прерыватели на основе SOS-диодов позволяют переключать килоамперные токи в нагрузку за единицы наносекунд, но для реализации этих возможностей необходимо уменьшать время обратной накачки SOS-диода (уменьшая в первую очередь L_2) и увеличивать напряжение зарядки конденсатора C_1 . В этом случае следует ожидать значительного увеличения энергии излучения при накачке от индуктивного накопителя энергии и большей эффективности по сравнению с накачкой от обострительной емкости. Большая эффективность накачки от индуктивного накопителя энергии может быть, по-видимому, реализована также в длинных разрядных трубках (около 1 м) и в капиллярах, когда индуктивность контура с обострительным конденсатором значительно увеличивается.

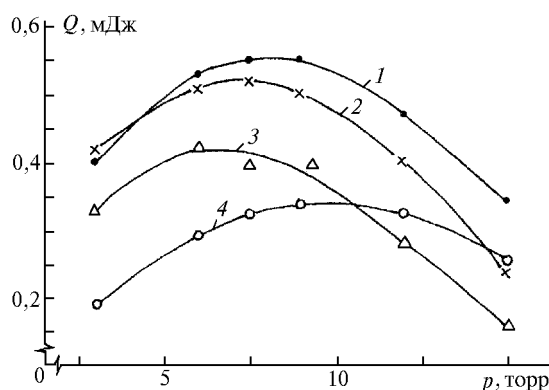


Рис. 8. Зависимость энергии излучения азотного лазера от давления азота для разрядной трубки длиной 400 мм и диаметром $d = 6,8$ мм: 1, 2, 4 – $C_2 = 170; 330; 0$ пФ; 3 – 330 пФ при $d = 9,5$ мм

Генерация в CO_2

Для получения генерации в CO_2 при накачке от генератора с индуктивным накопителем энергии продольный разряд ранее не использовался. В [7, 8] было показано, что при накачке поперечным разрядом от генератора с индуктивным накопителем энергии удастся получить мощную и эффективную генерацию. В данном разделе приведены первые результаты, полученные при продольной накачке. Нами не ставилась задача полной оптимизации параметров генератора накачки для получения максимальной эффективности генерации. По сравнению с азотным лазером длительность импульса накачки должна быть увеличена, также необходимо уменьшить удельные мощности накачки. Соответственно наибольшие энергии излучения и эффективности накачки были получены в исследованных трубках с наибольшим диаметром и при наибольшей длине.

Для уменьшения мощности накачки и увеличения длительности импульса накачки была использована схема с частичным переводом энергии в индуктивность и поддержанием разряда за счет энергии, оставшейся в конденсаторе C_1 . На рис. 9 приведены зависимости энергии излучения от давления рабочей смеси для генераторов с обострительным конденсатором и без него. Так как

роль обострительного конденсатора сводится только к увеличению тока в первые 100 нс, то его использование в схеме накачки CO₂-лазера не давало увеличения мощности излучения, более того, его подключение приводило к снижению энергии излучения в импульсе на 10%. По-видимому, это связано с тем, что основная часть энергии, запасенной в обострительном конденсаторе, вкладывалась в разряд при слишком большом значении параметра U/pd (U – напряжение на трубке). При уменьшении величины C_1 с 16,5 до 4,4 нФ энергия излучения падала на ~30%. Уменьшение диаметра газоразрядной трубки с 9,5 до 6,8 мм также приводило к существенно уменьшению энергии излучения (рис. 9). Наибольшая энергия излучения в импульсе составила 11 мДж.

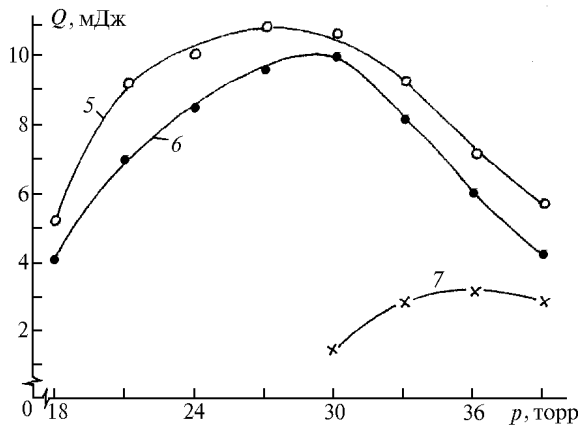


Рис. 9. Зависимость энергии излучения CO₂-лазера от давления рабочей смеси CO₂:N₂:He = 1:3:3; длина трубки 400 мм: 1 – $d = 9,5$ мм, $C_1 = 16,5$ нФ, $C_2 = 0$; 2 – $d = 9,5$ мм, $C_1 = 16,5$ нФ, $C_2 = 170$ пФ; 3 – $d = 6,8$ мм, $C_1 = 4,4$ нФ, $C_2 = 0$

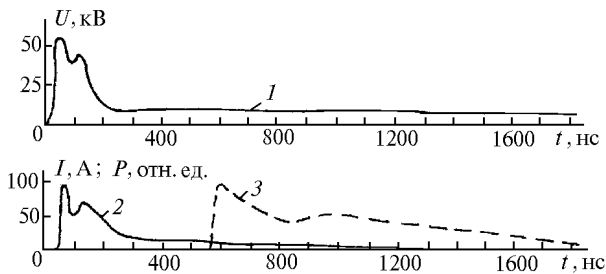


Рис. 10. Осциллограммы напряжения на газоразрядной трубке (1), тока разряда (2) и импульса излучения CO₂-лазера (CO₂:N₂:He = 1:3:3, $C_1 = 16,5$ нФ, длина трубки 400 мм, $d = 9,5$ мм, $p = 27$ торр)

На рис. 10 вместе с осциллограммами импульсов напряжения на промежутке и разрядного тока приведена осциллограмма импульса лазерного излучения (кривая 3). Видно, что лазерное излучение реализуется при практически постоянном напряжении на разрядном промежутке, когда проводимость плазмы, созданной в первые 200 нс, уменьшается. Второй выброс на импульсе тока в первые 200 нс связан, как уже было отмечено, с дополнительным увеличением напряжения на промежутке при росте индуктивности магнитного ключа.

Заключение

Генераторы с индуктивным накоплением энергии позволяют осуществлять накачку однополярными импульсами с крутым передним фронтом и эффективно передавать энергию в нагрузку. При накачке от индуктивного накопителя энергии уменьшается влияние индуктивности разрядного контура и расширяется область рабочих давлений, при которых реализуется генерация, а обострительные конденсаторы, установленные параллельно разрядной трубке, уменьшают потери энергии в полупроводниковом прерывателе тока и могут увеличивать энергию излучения лазера.

Получены энергия излучения азотного лазера 0,55 мДж и плотность энергии излучения 4,5 мДж/см². Для CO₂-лазера впервые реализован режим накачки продольным разрядом от генератора с индуктивным накопителем энергии.

1. Месяц Г.А., Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. // ДАН СССР. 1989. Т. 307. № 4. С. 869–872.
2. Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. // Квантовая электроника. 1990. Т. 17. № 1. С. 32–34.
3. Ломаев М.И., Тарасенко В.Ф. // Квантовая электроника, 1995. Т. 22. № 5. С. 441–442.
4. Ломаев М.И., Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. № 11. С. 1606–1615.
5. Ломаев М.И., Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. // Квантовая электроника. 1997. Т. 24. № 6. С. 499–500.
6. Бакшт Е.Х., Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. // Квантовая электроника. 1998. Т. 25. № 12. С. 1087–1090.
7. Бакшт Е.Х., Орловский В.М., Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24. С. 57–61.
8. Baksh E.H., Panchenko A.N., and Tarasenko V.F. // IEEE J. of QE. 1999. V. 35. № 3. P. 261–267.
9. Lyibutin S.K., Mesyats G.A., Rukin S.N., and Slovikovskii B.G. // Proc. of the XI Int. th IEEE Pulse Power Conference, Albuquerque, USA. 1997. V. 2. P. 992–998.
10. Дарзек С.А., Любутин С.К., Рукин С.Н. и др. // Электротехника. 1999. № 2. С. 20–28.
11. Бочков В.Д., Верецагин Н.М., Горюнов Ф.Г. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. № 2. С. 231–238.

E.H. Baksh, V.A. Vizir, S.E. Kunts, V.M. Orlovskii, A.N. Panchenko, S.N. Rukin, V.F. Tarasenko. Pumping of pulsed gas laser with longitudinal discharge by generator with inductive energy storage and semiconductor interrupter.

The results of experimental investigation of the effect of pumping by a generator with inductive energy storage and semiconductor opening switch of longitudinal discharge of nitrogen ($\lambda = 337.1$ nm) and CO₂ ($\lambda = 10.6$ μ m) lasers are described. Output parameters of the lasers are presented. The generators with inductive energy storage, intermediate inductive energy storage, capacitor energy storage, magnetic switch, and semiconductor interrupter were used in the experiments. The dependencies and oscillograph records describing various regimes of operation are presented. Simple theoretical model for calculation of voltage and current in the discharge circuit as well as energy deposition and losses in the opening switch is described. The calculation results are in good agreement with the experimental data.