

**В. К. Киселев, В. П. Радионов**

## ГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМЫ ИМПУЛЬСА ИЗЛУЧЕНИЯ ТЕРАГЕРЦЕВОГО ГАЗОРАЗРЯДНОГО ЛАЗЕРА

*Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины  
12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина  
E-mail: [kiseliiov@ire.kharkov.ua](mailto:kiseliiov@ire.kharkov.ua)*

Представлена методика графического моделирования формы импульса излучения газоразрядного терагерцевого лазера с импульсной накачкой и накачкой переменным током. Исходными данными для моделирования являются: величина и форма импульса разрядного тока, зависимости мощности излучения от разрядного тока и настройки резонатора. Применение данной методики позволяет получать импульсы излучения требуемой формы и подбирать режимы работы с максимальным КПД. Ил. 5. Библиогр.: 5 назв.

**Ключевые слова:** терагерцевый газоразрядный лазер, накачка переменным током, форма импульса.

В газоразрядных терагерцевых лазерах с импульсной накачкой и накачкой переменным током форма импульса излучения зависит от нескольких факторов, основной из них – форма импульса разрядного тока [1–3]. Однако и при неизменной накачке форма импульса излучения может существенно изменяться, например может наблюдаться двугорбость и даже раздвоение импульсов излучения [4]. Это происходит из-за совместного влияния многих факторов: длины и настройки резонатора, контура усиления активного вещества, показателя преломления активного вещества и зависимости показателя преломления от разрядного тока. От формы импульсов разрядного тока и излучения зависит КПД лазера. В то же время управление формой импульса излучения требуется в различных физических и биомедицинских исследованиях; кроме того, это может найти применение в телекоммуникационных системах.

Для практического получения импульсов излучения требуемой формы необходимо научиться тем или иным способом теоретически или эмпирически предварительно моделировать их форму. В силу совместного нелинейного влияния ряда взаимозависимых факторов осуществить математическое моделирование чрезвычайно сложно. В нашей работе представлена графическая полумпирическая методика моделирования формы импульса излучения газоразрядного терагерцевого лазера. Методика использует экспериментально полученные зависимости мощности излучения от разрядного тока и величины расстройки резонатора при накачке исследуемого лазера постоянным током.

Моделирование проводилось на образце HCN-лазера, резонатор которого был адаптирован для накачки постоянным током. Размеры и форма резонатора аналогичны параметрам резонатора лазера с накачкой переменным током частотой 50 Гц, в котором наблюдался эффект раз-

двоения импульса излучения при расстройке резонатора [4]. На рис. 1 приведена экспериментальная зависимость мощности излучения от величины разрядного тока при длине резонатора ~1,2 м. При снятии этой зависимости производилась корректировка длины резонатора с целью настройки на максимум излучения в каждой точке измерения.

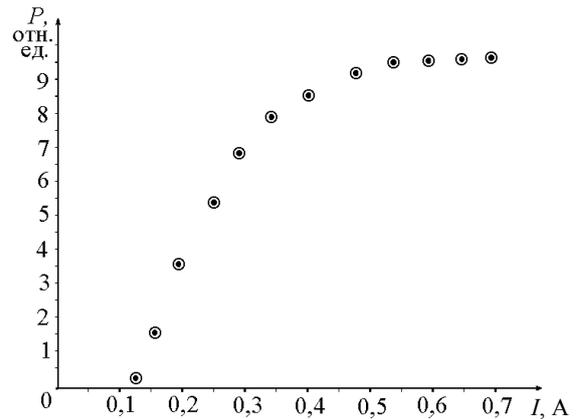


Рис. 1. Экспериментальная зависимость мощности лазерного излучения от величины разрядного тока

Необходимость такой корректировки обусловлена тем, что с изменением величины разрядного тока меняется оптическая длина резонатора  $\Delta L$ , вызванное изменением показателя преломления активного вещества под воздействием тока:

$$\Delta L = L_1 - L_2 = \frac{(v_1 - v_2)M}{2f_0} = \frac{\left(\frac{c}{n_1} - \frac{c}{n_2}\right)M}{2f_0} = \frac{(n_2 - n_1)cM}{2f_0 n_1 n_2},$$

где  $L_1, L_2$  – резонансные длины лазерного резонатора, соответствующие двум различным значени-

ям тока газового разряда;  $f_0$  – центральная частота лазерного излучения;  $v_1, v_2$  – скорости распространения излучения центральной частоты при соответствующих значениях тока газового разряда;  $M$  – число полуволн, укладываемых между зеркалами;  $n_1, n_2$  – абсолютные показатели преломления активного вещества при соответствующих значениях тока газового разряда.

Изменение показателя преломления и оптической длины резонатора вызывает необходимость подстройки расстояния между зеркалами для сохранения резонансной настройки на центральную частоту линии излучения активного вещества. Такая подстройка составляет примерно 1 мкм на каждые 0,1 А изменения разрядного тока (рис. 2).

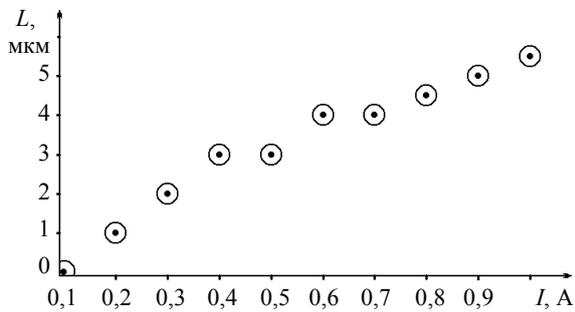


Рис. 2. Экспериментальная зависимость изменения резонансной длины резонатора от величины разрядного тока

Для осуществления моделирования формы импульса излучения предварительно снимается группа экспериментальных зависимостей мощности излучения от перемещения подвижного зеркала резонатора для каждого измеряемого значения разрядного тока (рис. 3, а) и на их основе строится серия лекальных линий (рис. 3, б). Максимуму каждой такой линии соответствует оптимум настройки резонатора на центральную частоту линии излучения активного вещества при данном токе накачки. Цифрами 1–7 на рис. 3 обозначены экспериментальные зависимости и построенные на их основе линии для моделирования при токах накачки: 0,15; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 А соответственно.

Моделирование формы импульса излучения осуществляется исходя из задаваемой (реальной или прогнозируемой) формы импульса разрядного тока. При этом необходимо обеспечить условие, чтобы изменение разрядного тока в импульсе лежало в пределах ранее измеренной зависимости мощности излучения от величины разрядного тока.

Рассмотрим в качестве примера импульс разрядного тока колоколообразной формы, который изображен на рис. 4, а, характерный для накачки газоразрядного HCN-лазера переменным током частотой 50 Гц.

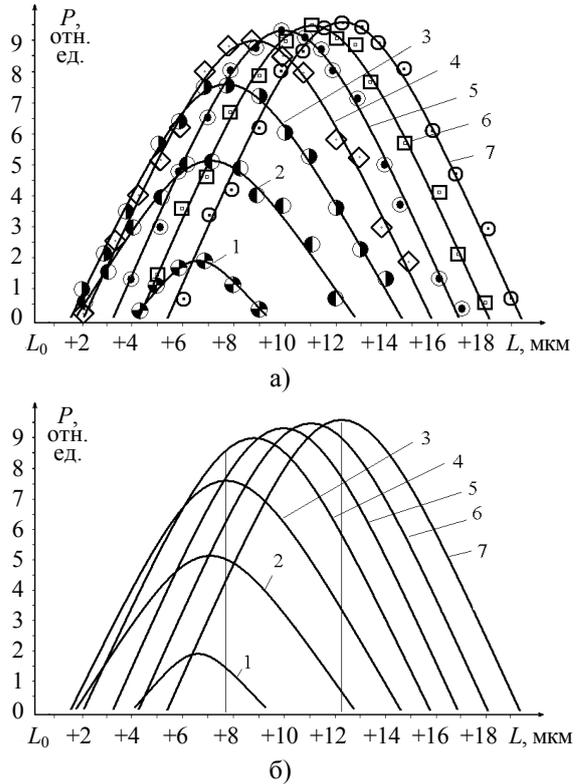


Рис. 3. Экспериментальные зависимости мощности излучения от изменения положения подвижного зеркала резонатора для различных токов накачки (а) и построенные на их основе лекальные линии для моделирования формы импульсов излучения (б)

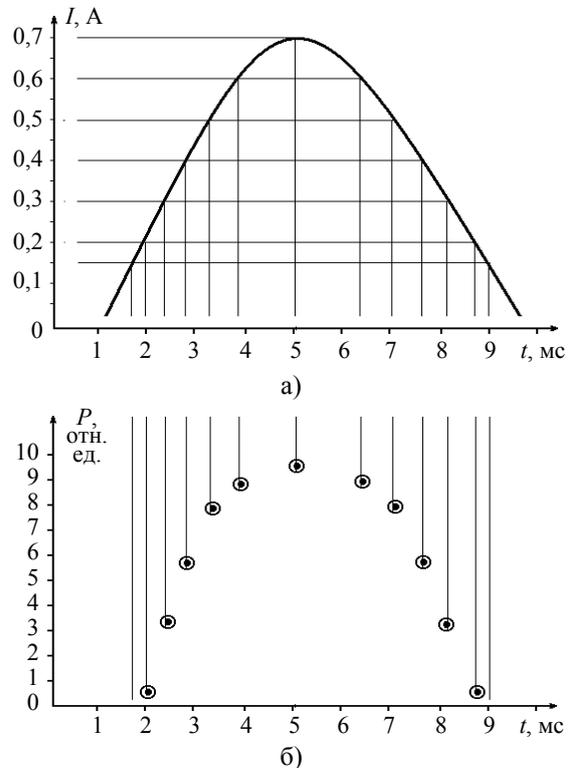


Рис. 4. Импульс тока накачки (а), моделирование импульса излучения, для настройки резонатора на максимальном разрядном токе 0,7 А (б)

Мощность излучения в каждый момент времени в течение импульса тока определяется по лекальным линиям (рис. 3, б) для каждого значения разрядного тока при выбранной настройке резонатора. На рис. 4, б смоделирован импульс излучения, когда резонатор оптимально настроен при разрядном токе 0,7 А; длина резонатора при этом составляет  $\sim L_0 + 12$  мкм (рис. 3). На рис. 4, б напротив каждого соответствующего момента времени отображаются значения мощностей, которые находятся на пересечении лекальных линий (рис. 3, б) с вертикальной прямой, проходящей через максимум лекальной линии для тока 0,7 А.

Изменение длины резонатора на несколько микрон оказывает существенное влияние на форму импульса излучения. На рис. 5, б смоделирован импульс излучения при длине резонатора, укороченной на 4 мкм относительно предыдущего случая, при настройке, оптимальной для тока  $I = 0,3$  А.

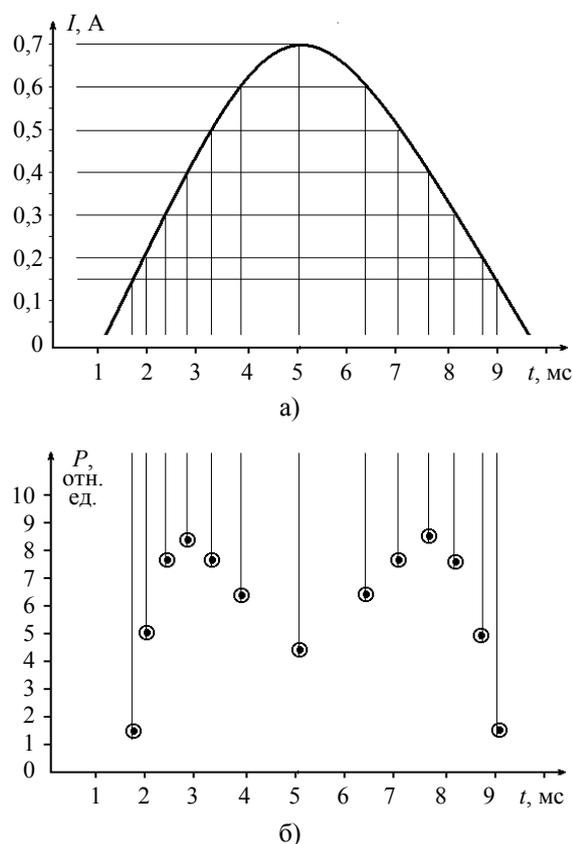


Рис. 5. Импульс тока накачки (а), моделирование импульса излучения, для настройки резонатора при максимальном разрядном токе 0,3 А (б)

На рис. 5, б отображаются значения мощностей для каждого момента времени, которые находятся на пересечении лекальных линий (см. рис. 3, б) с вертикальной прямой, проходящей через максимум лекальной линии для тока 0,3 А.

Видно, что при такой настройке происходит раздвоение импульса излучения. При максимальном токе и вблизи него резонатор оказывается расстроенным, и это приводит к снижению мощности излучения в этой области.

Если резонатор настроен для более высокого значения тока, относительно максимального, раздвоения не происходит, а наблюдается снижение мощности и сужение импульса излучения, что также легко смоделировать. Все это имеет место на практике [4].

В рассмотренных примерах моделирования все процессы в лазерном резонаторе предполагаются квазистационарными и не учитываются различия в структуре газового разряда на постоянном и импульсном токе. В лазерах с внутррезонаторным синтезом активного вещества необходимо также учитывать такие параметры, как время синтеза активного вещества и скорость его прокачки, поскольку при определенных режимах импульсной накачки эти параметры могут вносить существенные изменения в процесс генерации [5].

**Выводы.** Описанную графическую методику можно рассматривать пока как основу для последующего более точного моделирования, учитывающего временные и пространственные характеристики процессов. Тем не менее эту методику уже в представленном виде можно использовать на практике для подбора режимов работы импульсных лазеров, работающих при низких частотах накачки. В частности, с ее помощью можно, с учетом указанных ограничений, прогнозировать величину КПД лазера при различных формах импульсов накачки или рассчитать требуемую корректировку длины резонатора в процессе следования импульса накачки для достижения максимального КПД. Такое графическое моделирование также может оказаться полезным при осуществлении внутррезонаторной амплитудной и частотной модуляции лазерного терагерцевого излучения.

1. Mathias L. E. Laser oscillations at submillimetre wavelengths from pulsed gas discharges in compounds of hydrogen, carbon, and nitrogen / L. E. Mathias, A. Crocker, M. S. Wills // Electron. Lett. – 1965. – 1, iss. 2. – P. 45–46.
2. Sachar V. Time dependence of the power output at 337 $\mu$  in a CN laser / V. Sachar, Eric Braner // Appl. Phys. Lett. – 1967. – 10, N 8. – P. 232–234.
3. Shozo Kon. Experiments on a Far Infrared CN Laser / Shozo Kon // Jpn. J. Appl. Phys. – 1967. – 6, N 5. – P. 612–619.
4. Киселев В. К. Исследование эффекта раздвоения импульса лазерной генерации при накачке HCN лазера переменным током / В. К. Киселев, В. П. Радионов // Радиофизика и электрон.: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – X., 2009. – 14, № 2. – С. 218–221.
5. Киселев В. К. Влияние времени синтеза активного вещества и интенсивности прокачки на параметры терагерцевого газоразрядного лазера / В. К. Киселев, В. П. Радионов, Н. Ф. Дахов // Радиофизика и электрон.: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – X., 2009. – 14, № 1. – С. 93–96.

V. K. Kiseliyov, V. P. Radionov

GRAPHIC MODELLING  
OF THZ GAS-DISCHARGE LASER RADIATION  
PULSE SHAPE

A technique for modelling the shape of the radiation pulse-pumped THz gas-discharge laser is presented. The initial data to be used for modelling are as follows: the size and the shape of a discharge-current pulse; discharge current-dependent radiated power; the dependence of radiated power upon the tuning control of a resonator at different pumping currents. The application of the above technique makes it possible to produce pulses of required shape and to select laser peak-efficiency operating conditions.

**Key words:** terahertz gas-discharge laser, pumping by alternating current, pulse shape.

В. К. Кісельов, В. П. Радіонов

ГРАФІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ  
ФОРМИ ІМПУЛЬСУ ВИПРОМІНЮВАННЯ  
ТЕРАГЕРЦОВОГО ГАЗОРОЗРЯДНОГО ЛАЗЕРА

Подано методику графічного моделювання форми імпульсу випромінювання газорозрядного терагерцового лазера з імпульсною накачкою та накачкою змінним струмом. Вихідними даними для моделювання є: величина і форма імпульсу розрядного струму, залежності потужності випромінювання від розрядного струму та настройки резонатора. Застосування даної методики дозволяє отримувати імпульси випромінювання потрібної форми й підбирати режими роботи з максимальним ККД.

**Ключові слова:** терагерцовий газорозрядний лазер, накачка змінним струмом, форма імпульсу.

*Рукопись поступила 14.06.11 г.*