

УДК 621.378.325

ФИЗИКА

Л. С. КОРНИЕНКО, Н. В. КРАВЦОВ, Е. Г. ЛАРИОНЦЕВ, Н. И. НАУМКИН

ИНЖЕКЦИЯ КОРОТКОГО ИМПУЛЬСА СВЕТА В ОКГ С БОЛЬШОЙ ДЛИНОЙ РЕЗОНАТОРА

(Представлено академиком А. М. Прохоровым 25 V 1972)

В настоящей работе обсуждаются некоторые эффекты, возникающие при инжекции в резонатор ОКГ импульса света, длительность которого τ мала по сравнению со временем полного обхода резонатора T , $\tau \ll T$.

Возможны два режима инжекции. Если до прихода внешнего импульса в лазере уже имела место генерация, возникает режим конкурентного взаимодействия короткого импульса и «собственного» излучения ОКГ. Во втором случае инжекция производится до момента возникновения генерации (на линейном этапе развития генерации). При этом динамика излучения ОКГ может определяться инжектируемым импульсом.

Отметим, что в случае инжекции короткого импульса можно не согласовывать спектр частот этого импульса с собственными частотами резонатора, поскольку при $\tau \ll T$ импульс не интерферирует сам собой внутри резонатора.

При определенных условиях, которые обсуждаются ниже, под воздействием внешнего импульса в ОКГ может возникнуть квазистационарный режим «бегающего» импульса, аналогичный режиму, возникающему при синхронизации мод. Энергия бегающего импульса стационарна, т. е. лазер излучает последовательность коротких импульсов с одинаковой энергией, повторяющихся через интервал времени T . Форма импульса не является стационарной: она постоянно изменяется при последовательных проходах через активную среду вследствие ее нелинейности и дисперсии. Средняя мощность генерации в этом случае оказывается равной мощности генерации P_0 в непрерывном режиме:

$$\frac{1}{T} \int_0^T P_n(t) dt = P_0. \quad (1)$$

Средняя мощность бегающего импульса равна $P_n = P_0 T \tau^{-1} > P_0$. При фиксированной накачке P_n растет с увеличением длины резонатора L .

Процесс установления квазистационарного состояния отличается от обычного переходного процесса в режиме свободной генерации. Если обычный переходный процесс в твердотельных ОКГ является колебательным, то в рассматриваемом случае он имеет аperiодический характер.

Режим бегающего импульса устойчив при условии, что в промежутках между импульсами не может развиваться генерация из спонтанного излучения. В случае твердотельных лазеров ($T \ll T_1$, T_1 — время релаксации инверсной населенности) для устойчивости квазистационарного режима достаточно, чтобы энергия инжектированного импульса E была бы больше энергии импульса в квазистационарном режиме, т. е. $E \geq P_0 T$.

Анализ происходящих процессов проведем, для простоты рассматривая кольцевой ОКГ бегущей волны. Исходные уравнения для плотности числа фотонов $M(z, t)$ и плотности инверсной населенности $N(z, t)$ имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \partial M / \partial t + v \partial M / \partial z &= BMN, \\ \partial N / \partial t &= -BNM + N_n - N / T_1, \end{aligned} \quad (2)$$

где v — скорость света в активной среде, $B = \sigma v$, σ — поперечное сечение лазерного перехода, N_n — скорость накачки.

При $\tau \ll T$ можно пренебрегать действием накачки и релаксацией населенности в течение длительности импульса.

Из уравнений (2) получим соотношения, описывающие изменение энергии импульса и коэффициента усиления среды при последовательных прохождении импульса через резонатор:

$$\begin{aligned} X_{n+1}^{1/R} - 1 &= K_n (X_n - 1), \\ \ln K_{n+1} &= \frac{B}{v} l N_n [1 - \exp(-T/T_1)] + \\ &+ \exp(-T/T_1) \cdot [\ln K_n - (K_n - 1)(X_n - 1)]; \end{aligned} \quad (3)$$

здесь

$$X_n = \exp B \int_{t_n}^{t_n+T} m_n(t) dt, \quad K_n = \exp \left[\frac{B}{v} \int_0^l N_n(z) dz \right],$$

где l — длина активной среды, $m_n(t)$ — огибающая импульса на входе активной среды во время n -го прохода через резонатор, t_n — момент начала n -го прохода через активную среду, $N_n(z)$ — распределение инверсной населенности в среде перед началом n -го прохода, R — эффективный коэффициент отражения зеркал резонатора.

Система уравнений (3) имеет стационарное решение

$$K_n = K_{n+1} = K = \text{const}, \quad X_n = X_{n+1} = X = \text{const}.$$

Стационарные значения K и X определяются из системы трансцендентных уравнений (3). При условии $T \ll T_1$, которое обычно выполняется для твердотельных ОКГ, приближенное решение можно представить в виде

$$\begin{aligned} K &= \frac{1}{R} \left[1 + \frac{1}{2} (X - 1) \left(\frac{1}{R} - 1 \right) \right], \\ X - 1 &\equiv B \int_{t_n}^{t_n+T} m_n(t) dt = \eta \frac{T}{T_1} \frac{R}{1 - R} \ln \frac{1}{R}; \end{aligned} \quad (4)$$

здесь η — относительное превышение уровня накачки над пороговым уровнем. Нетрудно показать, что последнее выражение можно преобразовать к виду (1).

Исследуя устойчивость найденного решения относительно малых возмущений энергии импульса и коэффициента усиления, получим следующее выражение для декремента затухания λ :

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= -\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T} \ln [1 - K(X - 1)], \\ \lambda_2 &= \frac{1}{T} \ln [KRX^{1-1/R}]. \end{aligned}$$

Нетрудно видеть, что решение (4), справедливое при $T \ll T_1$, является устойчивым; для него

$$\lambda_1 \simeq -\frac{1}{T_1} (\eta + 1), \quad \lambda_2 = -\frac{1}{2T_1} \eta \ln \frac{1}{R}$$

и процесс установления квазистационарного режима является аperiодическим.

Нами было проведено экспериментальное исследование влияния короткого инжектируемого импульса на характер генерации ОКГ на рубине с

линией задержки. Эффективная длина ОКГ была равна 124 м (¹), соответственно $T = 2L/c = 0,83 \cdot 10^{-6}$ сек. Длительность инжектируемого импульса, полученного от ОКГ с модулированной добротностью, $\tau \sim 0,1 \cdot 10^{-6}$ сек. Выбирая время задержки инжектируемого импульса относительно начала импульса накачки ОКГ, нетрудно получить описанный выше режим бегающего импульса. На рис. 1а показана осциллограмма бегающего импульса, а на рис. 1б для сравнения приведена осциллограмма импульса генерации ОКГ, полученная при тех же условиях, но в отсутствие

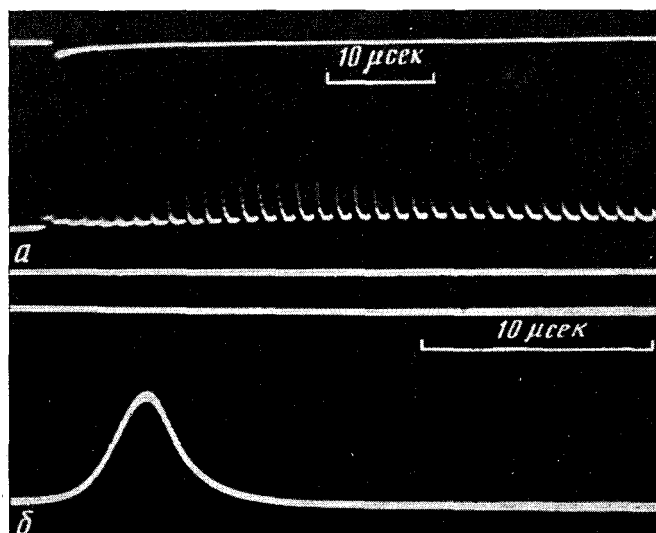


Рис. 1

инжектируемого сигнала. Как видно из приведенных осциллограмм, продолжительность генерации в режиме бегающего импульса больше, чем в режиме свободной генерации. Огибающая последовательности импульсов излучения примерно повторяет форму импульса накачки. Длительность бегающего импульса мало изменяется за время действия накачки ($0,3 \cdot 10^{-3}$ сек).

Как отмечалось выше, кроме рассмотренного режима при инъекции внешнего сигнала в резонатор ОКГ, возможно возникновение и других режимов генерации, о которых будет сообщено отдельно.

Научно-исследовательский институт ядерной физики
Московского государственного университета
им. М. В. Ломоносова

Поступило
23 V 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. М. Дытынко, Л. С. Корниенко и др., Радиотехника и электроника, 16, № 3, 450 (1971).