

ВЛИЯНИЕ УСИЛЕННОГО СПОНТАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХПРОХОДНОГО УСИЛИТЕЛЯ

А.О. Терских

Проведены расчеты зависимости эффективности и коэффициента усиления внешнего излучения двухпроходного усилителя от мощности входного излучения при различных апертурах системы и для различных значений коэффициентов усиления и нерезонансного поглощения.

Развитие широкоапертурных оксиплексных систем для целей УТС, лазерного зондирования и т.д. [1-2] стимулировало разработку методов учета влияния усиленного спонтанного излучения на выходные характеристики таких установок [3-6].

В данной работе для расчета выходных энергетических характеристик широкоапертурного двухпроходного усилителя с учетом усиленного спонтанного излучения (УСИ) использован метод "функционала насыщения" [5], основанный на численном решении интегрального уравнения для величины $\Phi(\mathbf{r})$, которая определяет степень насыщения лазерного перехода излучением:

$$\Phi(\mathbf{r}) = \int d\omega \frac{S(\omega)}{S(0)} \int d\Omega_{\mathbf{n}} \frac{I_{\omega}(\mathbf{n}, \mathbf{r})}{I_s} \quad (1)$$

Здесь $S(\omega)$ — спектральная функция перехода ($S(0)$ — ее значение в максимуме); I_s — насыщающая мощность; $I_{\omega}(\mathbf{n}, \mathbf{r})$ — интенсивность излучения в точке \mathbf{r} активной среды в направлении, определяемом вектором \mathbf{n} , она включает в себя УСИ и усиленное внешнее излучение.

Метод [5] имеет ряд преимуществ перед другими (например, [4]), основным из которых является то, что в нем учтена радиальная зависимость насыщенного коэффициента усиления κ^+ . Метод [4] позволяет довольно быстро рассчитывать степень усиления G и эффективность одно- и двухпроходных усилителей. Однако, при этом использованы аппроксимации: во-первых, насыщенный коэффициент усиления κ^+ предполагается зависящим только от продольной координаты z ; во-вторых, κ^+ вычисляется на оси активной среды, что дает его завышенное значение; в-третьих, не учитывается влияние нижнего рабочего уровня при вычислении κ^+ . Авторы [4] справедливо отмечают, что этот метод хорош для больших мощностей входного сигнала.

Представленные здесь расчеты проведены для широкоапертурного усилителя КгF ($\lambda = 248$ нм), параметры активной среды которого отвечают оконечному модулю установки "Аврора" [1]. На рис. 1 представлены результаты расчета зависимости коэффициента усиления G и КПД η усилителя от мощности входного сигнала $y = I_c/I_s$, при различных значениях отношения длины активной среды L к ее диаметру D . Величины G и η определялись после решения уравнения (1) по формулам:

$$G = \langle \exp [2 \int_0^L (\kappa^+ - \kappa^-) dz] \rangle_{\Gamma} \quad (2)$$

$$\eta = (W - W_0)/W_p = y(G - 1)/\kappa_0^+ L \quad (3)$$

где W_0 — мощность входящего излучения; W — выходящая мощность; $W_p = \hbar\omega D_2 V$ — мощность накачки; V — объем среды; D_2 — поток накачки на верхнее лазерное состояние; κ_0^+ — ненасыщенный коэффициент усиления; скобки $\langle \dots \rangle_{\Gamma}$ в (2) обозначают усреднение по радиусу активной среды, которое необходимо проводить, т.к. мощность усиленного сигнала не является однородной по радиусу.

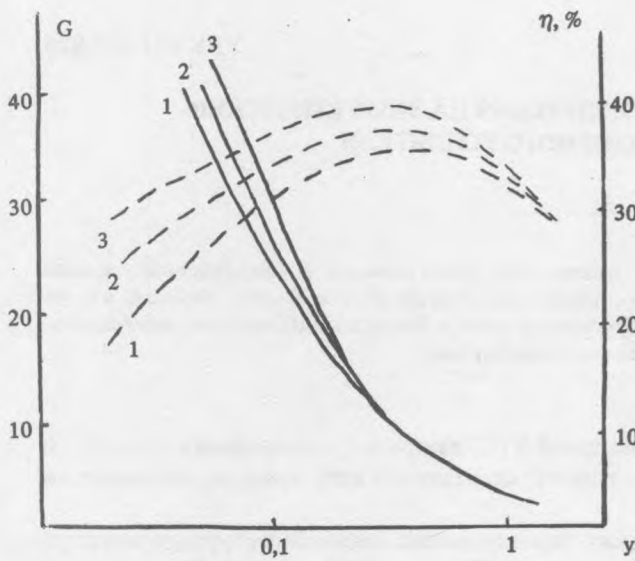


Рис. 1.

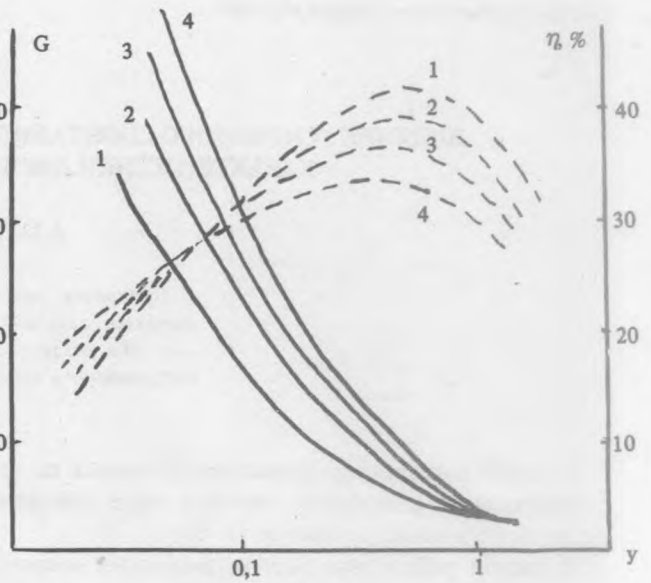


Рис. 2

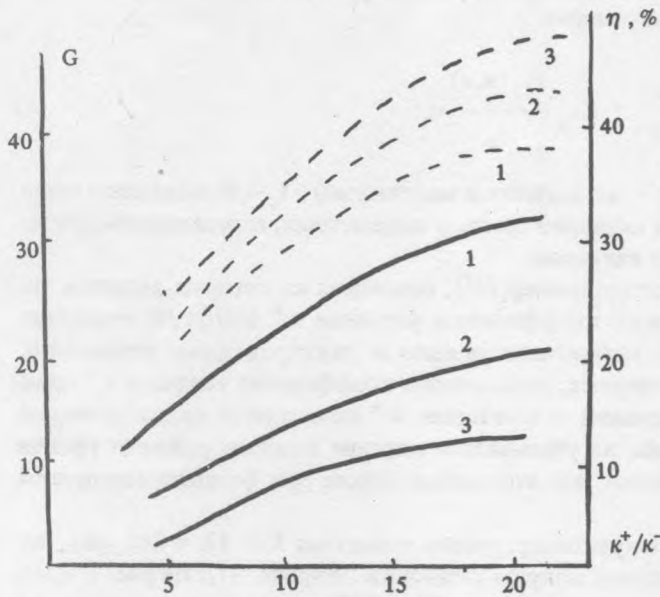


Рис. 3

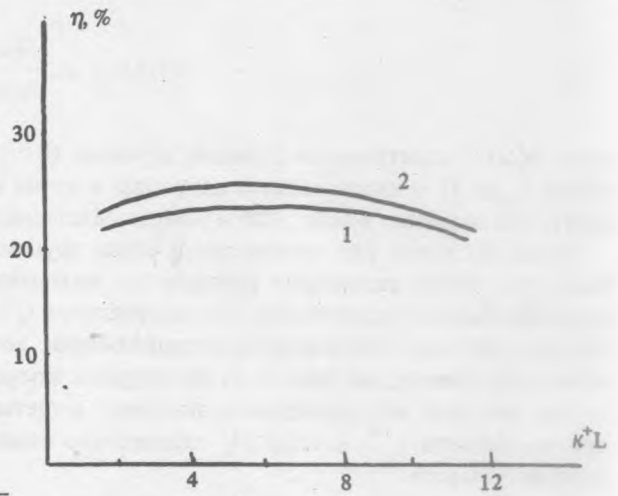


Рис. 4

Рис. 1. Зависимости коэффициента усиления G (сплошная линия) и КПД η (пунктир) от интенсивности входного излучения $u = I_c/I_s$ при $L = 200$ см, $\kappa^+L = 7$, $\kappa^+/\kappa^- = 10$ для различных диаметров активной среды $D/L = 0,5$ (1); $0,2$ (2); $0,1$ (3).

Рис. 2. Зависимости η (пунктир) и G (сплошная линия) от интенсивности входного излучения при $L = 200$ см, $L/D = 2$, $\kappa^+/\kappa^- = 10$ для различных значений $\kappa^+L = 5$ (1), 7 (2), 10 (3), 12 (4).

Рис. 3. Зависимости η (пунктир) и G (сплошная линия) от отношения κ^+/κ^- для различных мощностей входного сигнала $u = 0,1$ (1); $0,2$ (2); $0,4$ (3) при $L = 200$ см, $L/D = 2$, $\kappa^+L = 7$.

Рис. 4. Зависимость КПД η от коэффициента усиления κ^+ при $L/D = 1$, $L = 200$ см, $\kappa^+/\kappa^- = 10$: 1 — расчет по методу /5/, 2 — данные работы /4/.

Из расчетов, представленных на рис. 1, видно, что эффективность η усилителя существенно растет с уменьшением диаметра активной среды для мощностей сигнала $y = I_c/I_s < 0,1$. Это связано с уменьшением влияния УСИ. На рис. 2 приведены зависимости η и G от y для различных значений коэффициента усиления κ^+ . С увеличением κ^+ уменьшается максимальное значение КПД, что объясняется возрастанием мощности накачки W_p (3). Представленные на рис. 3 зависимости η и G от отношения κ^+/κ^- ($\kappa^+ = 0,035 \cdot \text{см}^{-1}$) демонстрируют значительное влияние нерезонансных потерь на КПД усилителя. Из этого рисунка видно, что при условиях, реализованных в /1/, влияние нерезонансных потерь приводит к уменьшению КПД приблизительно на 12%. Из рис. 4 следует, что расчет зависимости η от κ^+ проведенный по методу /4/ (кривая 2), дает более высокие значения по сравнению с расчетом по методу "функционала насыщения" /5/ (кривая 1). Это объясняется тем, что в /4/ не учтена радиальная зависимость насыщенного коэффициента усиления.

Целью настоящей работы являлась табуляция основных энергетических характеристик усиления η и G . Используя данный материал можно получить представление о поведении КПД широкоапертурного двухпроходного KGF усилителя в широкой области параметров (κ^+ , κ^- , L , D).

ЛИТЕРАТУРА

1. Rosocha A. et al. Laser and Particle Beams, 4, 55 (1986).
2. Афанасьев Ю. В. и др. Препринт ФИАН № 33, М., 1980.
3. Молчанов А. Г. Труды ФИАН, 171, 128 (1986).
4. Lowenthal D. D., Eggleston J. M. IEEE Journ. Quant. Electron., QE-22, 1165 (1986).
5. Жидков А. Г., Терских А. О., Яковленко С. И. Препринт ИОФАН № 343, М., 1987.
6. Жидков А. Г. и др. Квантовая электроника, 16, 923 (1989).

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 27 февраля 1990 г.