

**О ВЛИЯНИИ ОТРАЖЕНИЙ И ЗАТУХАНИЯ В ЛОВ  
НА ВЕЛИЧИНУ ПЕРВОГО РЕЗОНАНСНОГО ПИКА  
АМПЛИТУДЫ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА  
НА НАЧАЛЬНОМ ЭТАПЕ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА**

*А.А. Васильев, С.С. Волощук*

Сделана попытка оценить влияние затухания и отражений на величину резонансного пика в зависимости амплитуды выходного сигнала от времени в модели ЛОВО.

*Ключевые слова:* Лампа обратной волны, резонансный пик излучения, начальный этап переходного процесса.

**Введение**

Уже в первых работах по нестационарной теории лампы обратной волны (ЛОВ) применительно к ЛОВ М-типа и ЛОВ О-типа (см. [1–3]) было показано, что на определенном временном интервале имеет место резкий всплеск амплитуды выходного сигнала (рис. 1). Как следует из расчётов, пиковое значение мощности превосходит в несколько раз постоянную мощность пучка. В последнее время к упомянутому эффекту проявляется повышенный интерес (см., например, [4]). В настоящей работе сделана попытка оценить влияние затухания и отражений на величину резонансного пика в зависимости амплитуды выходного сигнала от времени в модели ЛОВО.

Для описания системы была выбрана рассмотренная в [1] модель, позволяющая рассчитывать характеристики колебаний, а также положения частиц в дискретных точках. Вычисления производились в узлах двумерной решётки, что позволило получить значения амплитуды поля в дискретных координатах в дискретные моменты времени. Запишем исходные уравнения для ЛОВ [1]:

$$\begin{aligned}
\left(\frac{\partial}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial q}\right)^2 \Phi_m &= -\operatorname{Re}(F e^{i\Phi_m}), \\
\frac{1}{u} \frac{\partial F}{\partial \tau} - \frac{\partial F}{\partial q} + dF &= -\frac{2}{M} \sum_{m=1}^M e^{-i\Phi_m}, \\
\Phi_m|_{q=0} &= \frac{2\pi m}{M}, \\
\left[\frac{\partial \Phi_m}{\partial \tau} + \frac{\partial \Phi_m}{\partial q}\right]_{q=0} &= 0, \\
F|_{q=l} &= 0,
\end{aligned} \tag{1}$$

где  $q$  и  $\tau$  – безразмерные координата и время,  $F$  – амплитуда поля,  $\Phi_m$  – фаза электрона,  $d$  – коэффициент затухания,  $u$  – отношение групповой скорости волны  $V_{гр}$  к скорости пучка  $V_0$ .

Записанные граничные условия соответствуют лампе без отражений: поле на коллекторном конце равно нулю. Для введения отражений необходимо переписать последнее граничное условие в виде:

$$\begin{aligned}
F(l, \tau) &= e^{-\alpha l} R_0 R_l F\left(0, \tau - \frac{l}{V}\right) e^{j \cdot (\psi + \psi + 2\beta l)}, \\
u &= V/V_0,
\end{aligned} \tag{2}$$

$R_0, R_l$  – модули коэффициентов отражения,  $\phi_k, \phi_n$  – фазы коэффициентов отражения,  $\phi_k + \phi_n + 2\beta l = \varphi$  – фаза сдвига,  $R_0 R_l = r$  – коэффициент отражения.

Граничное условие, в таком виде определяющее перенос энергии поля от выходного конца лампы в коллекторный конец и обратно, соответствует дополнительной внутренней обратной связи; то есть поле представляет собой суперпозицию волн, распространяющихся в прямом и обратном направлениях. Будем считать, что прямая волна не взаимодействует эффективно с электронным потоком, поскольку находится с ним в рассинхронизме.

В данной работе рассмотрены режимы установления колебаний в ЛОВО в зависимости от различных параметров системы: длины лампы, затухания, коэффициента отражения (дополнительной обратной связи). Однако особый интерес представляет исследование параметров выходной амплитуды лампы на начальном этапе установления колебаний. Из полученных зависимостей амплитуды колебания от времени при некоторых параметрах ЛОВ можно выделить временной отрезок, на котором амплитуда колебаний намного больше амплитуды установившихся колебаний (или максимума амплитуды последующих автоколебаний) (см. рис. 1). Была рассмотрена зависимость значений полученного максимума от параметров (коэффициен-

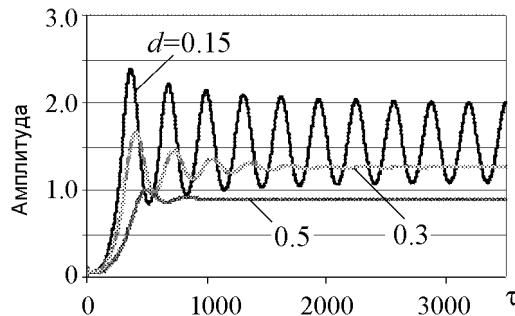


Рис. 1. Зависимость амплитуды выходного сигнала от времени (в безразмерных единицах) на начальном этапе колебаний при различных значениях коэффициента затухания  $d$

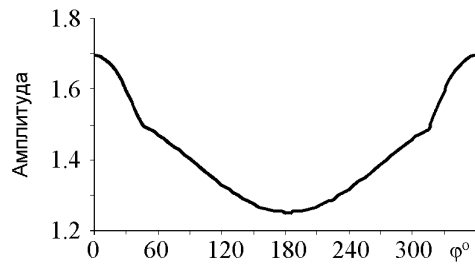


Рис. 2. Зависимость амплитуды колебаний от  $\varphi$

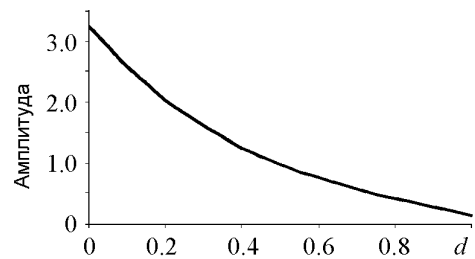


Рис. 3. Зависимость максимальной амплитуды колебаний от коэффициента затухания

та затухания и фазы отражений) лампы. Полученные зависимости представлены на рис. 2 и рис. 3.

На рис. 2 представлена зависимость максимума выходной амплитуды колебаний от сдвига фазы при отражениях ( $\varphi$ ). Рассматриваемый отрезок фаз  $[0^\circ, 360^\circ]$  можно разбить на три промежутка:  $[0^\circ, 50^\circ]$ ,  $[50^\circ, 310^\circ]$ ,  $[310^\circ, 360^\circ]$ . График, представленный на рис. 2, при  $\varphi$ , принадлежащем отрезку  $[0^\circ, 50^\circ]$  или  $[310^\circ, 360^\circ]$ , отражает зависимость выходного максимума, приходящегося не на первый всплеск амплитуды, а на какой-либо последующий. В то же время при фазе отражений  $\varphi$ , лежащей в пределах отрезка  $[50^\circ, 310^\circ]$ , график, представленный на рис. 2, отражает зависимость первого всплеска амплитуды колебаний от  $\varphi$ . Как видно, минимум амплитуды колебаний достигается при  $\varphi = 180^\circ$ , поскольку волны при данном  $\varphi$  складываются в противофазе.

На рис. 3 представлена зависимость максимума амплитуды выходного сигнала от коэффициента затухания  $d$ . При значениях  $d$  близких к 1 становится невозможным выделить начальный всплеск амплитуды колебаний. Таким образом, для наблюдения всплеска выходной амплитуды необходимо использовать лампы, обладающие небольшими значениями коэффициента затухания.

Также в данной работе были определены области существования начального максимума выходной амплитуды (рис. 4) при этом для простоты расчётов затухание в системе считается пренебрежимо малым.

Точки, лежащие под представленным на рис. 4 графиком, соответствуют параметрам лампы, при которых начальный максимум выходной амплитуды существует (и при этом является абсолютным максимумом выходной амплитуды).

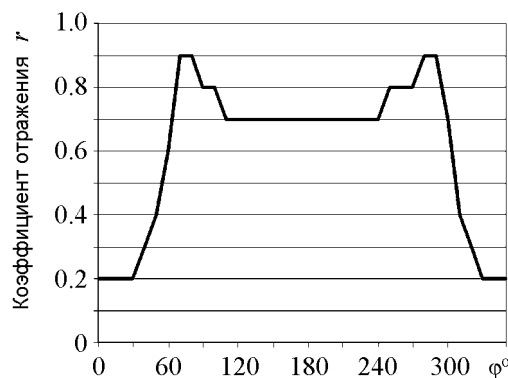


Рис. 4. Области существования начального пика выходной амплитуды

Наряду с этим были определены области одинаковых значений максимума выходной амплитуды (рис. 5).

На рис. 5 представлены области одинаковых значений максимума выходной амплитуды в плоскости «коэффициент отражения – фаза». Как можно видеть из данного рисунка, при фазе отражений, близкой к  $90^\circ$  и  $270^\circ$  градусам, удаётся получить первый резонансный максимум выходной амплитуды лампы даже при очень больших значениях коэффициента отражения, чего при этих же коэффициентах отражения

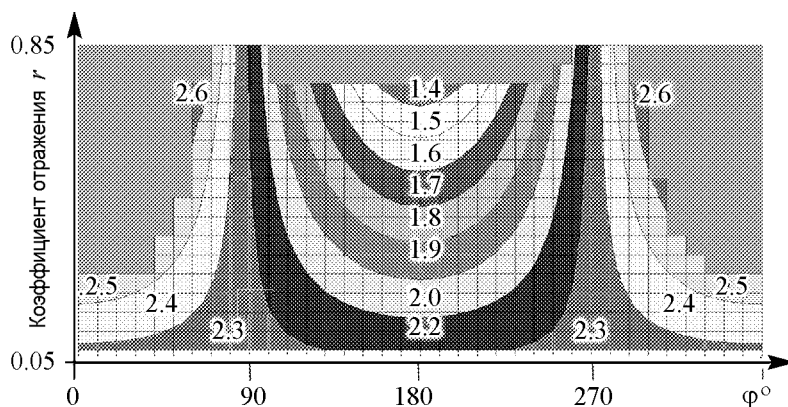


Рис. 5. Области одинаковых значений максимума выходной амплитуды

нельзя получить при другой фазе отражения. Также видно, что амплитуда поля при фазе отражений, близкой к 90 или 270 градусам, мало меняется при различных значениях коэффициента отражения и лежит вблизи значения 2.3. Примечательно, что максимум выходного сигнала лампы при отсутствии отражения также лежит в окрестности значения 2.3.

#### Библиографический список

1. Кузнецов С.П., Трубецков Д.И. Две лекции по нестационарной теории взаимодействия электронных пучков с электромагнитными волнами. В книге «Лекции по электронике СВЧ. 3-я зимняя школа-семинар инженеров». Кн. 5. Изд-во СГУ, 1974. С. 88.
2. Электроника ламп с обратной волной / Под ред. В.Н. Шевчика и Д.И. Трубецкова. Гл. III. Изд-во СГУ, 1975.
3. Безручко Б.П., Гинзбург Н.С., Кузнецов С.П. Теоретическое и экспериментальное исследование переходных процессов в ЛОВО-генераторе. В кн. «Лекции по электронике СВЧ. 4-я зимняя школа-семинар инженеров». Кн. 5. Изд-во СГУ. 1978. С. 236.
4. Korovin S.D. et al. Generation of Cherenkov superradiance pulses with a peak power exceeding the power of driving short electron beam // Phys. RevE. 2006. Vol. 74. 016501.

Саратовский государственный  
университет им. Н.Г. Чернышевского

Поступила в редакцию  
После доработки

15.04.2010  
20.05.2010

#### INFLUENCE BOTH OF REFLECTIONS AND DISSIPATION IN THE BACKWARD-WAVE OSCILLATOR ON FIRST RESONANCE PEAK OF AMPLITUDE AT THE TRANSIENT BEGINNING

*A.A. Vasiliev, S.S. Voloshchuk*

In the present work an effort to analyze dissipation and the wave reflection influence on the first resonant pulse in the time dependence of the output signal of the BWO has been taken.

*Keyword:* Backward-wave oscillator, resonance peak, transient beginning.



*Васильев Андрей Алексеевич* – родился в 1990 году в Саратове, после окончания лицея прикладных наук в 2008 году поступил в Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского на факультет нелинейных процессов, студент 2го курса.

410021 Саратов, ул. Астраханская, 83  
Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского  
E-mail: andrew\_vasiliev@rambler.ru



*Волощук Сергей Сергеевич* – родился в 1990 году в Саратове, после окончания лицея прикладных наук в 2008 году поступил в Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского на факультет нелинейных процессов, студент 2го курса.

410021 Саратов, ул. Астраханская, 83  
Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского  
E-mail: ss.voloshchuk@gmail.com