



В. И. КАНАВЕЦ, А. Ю. СТАБИНИС

**ИНДУЦИРОВАННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ АНСАМБЛЯ  
КЛАССИЧЕСКИХ НЕЛИНЕЙНЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ  
С СОБСТВЕННЫМИ ПОТЕРЯМИ**

Рассмотрено воздействие внешней силы на ансамбль возбужденных нелинейных классических осцилляторов с собственными потерями. Найдены зависимости энергии индуцированного излучения и к.п.д. взаимодействия от параметров системы.

Воздействие внешней силы на ансамбль классических возбужденных нелинейных осцилляторов с пренебрежимыми потерями подробно рассмотрено в обзорной работе [1]. Показано, что совокупность ансамблей может представлять собой среду, в которой возможна передача энергии от осцилляторов внешнему полю, т. е. возможно индуцированное излучение. В диапазоне СВЧ используются ансамбли электронных циклотронных осцилляторов. Активные среды, состоящие из таких осцилляторов, перспективны для генерации больших мощностей на предельно высоких частотах этого диапазона. В этой области могут быть существенны собственные потери осцилляторов на излучение.

Учет потерь в ансамбле классических нелинейных возбужденных осцилляторов с одинаковыми амплитудами и произвольными фазами при воздействии внешней силы был проведен в работе [2]. Показано, что при определенных соотношениях между параметрами происходит передача энергии внешней системе, если начальная амплитуда осцилляторов больше некоторого критического значения. Подробное исследование зависимости индуцированного излучения от параметров системы не проводилось.

Для практического применения теории оказывается важным оценить не общую величину энергии взаимодействия между ансамблем осцилляторов и внешним полем, а коэффициент полезного действия. Ниже представлены результаты систематического изучения зависимости энергии индуцированного излучения и к. п. д. взаимодействия от параметров системы.

**Постановка задачи**

Воспользуемся укороченными уравнениями ансамбля нелинейных осцилляторов, полученными в [2]:

$$y_n = -\beta y_n - \sin \psi_n, \quad \dot{\psi}_n = \delta - y_n^2 - \frac{\cos \psi_n}{y_n}, \quad n = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

где  $y_n$ ,  $\psi_n$ ,  $\beta$ ,  $\delta$  определяют соответственно амплитуду, фазу, величину потерь и расстройку для одного из осцилляторов, а  $N$  — число осцилляторов в ансамбле. В случае ансамбля циклотронных осцилляторов потери могут определяться спонтанным дипольным излучением. Начальные амплитуды, потери и расстройку считаем для всех осцилляторов одинаковыми, а фазы произвольными.

Усредненная по ансамблю мощность взаимодействия поля и осцилляторов дается выражением  $\langle P \rangle = -\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N y_n \sin \psi_n$ . Энергия индуцированного излучения равна

$$\Delta W = \int_0^{\tau} \langle P \rangle dt, \quad (2)$$

где  $\tau$  — безразмерное время.

Величина к. п. д. взаимодействия определяется выражением

$$\eta = \frac{2|\Delta W|}{y_0^2} \quad (\Delta W < 0), \quad (3)$$

где  $y_0$  — начальная амплитуда отдельного осциллятора.

Решения системы (1) и значения  $\langle P \rangle$ ,  $\Delta W$ ,  $\eta$  находились путем проведения расчетов на ЭЦВМ БЭСМ-4. Для упрощения расчетов начальные фазы осцилляторов ансамбля взяты через равный интервал. При этом величина  $N=20$  вполне достаточна для обеспечения точности расчета.

### К.п.д. взаимодействия

Проведенное детальное исследование зависимости  $\Delta W$  от времени при разных  $y_0$  и при фиксированных  $\beta$  и  $\delta$  показало, что для существования индуцированного излучения ( $\Delta W < 0$ ) необходимо, чтобы  $y_0$  превышало некоторое критическое значение, зависящее от  $\beta$  и  $\delta$ . При увеличении  $y_0$  энергия индуцированного излучения возрастает и имеет четко выраженный максимум во времени. При дальнейшем увеличении начальной амплитуды возникает несколько максимумов, при этом их расположение во времени зависит от  $y_0$ . В дальнейшем число максимумов растет, причем первые становятся меньше остальных. На рис. 1 представлена типичная зависимость максимальных значений энергии индуцированного излучения от  $y_0$  для нескольких первых максимумов во времени при  $\beta=0,1$  и  $\delta=10$ . Второй максимум для  $\Delta W$  появляется при  $y_0 \approx 4$ , а первый и второй становятся равными при  $y_0 \approx 4,1$  и при  $y_0 \approx 4,4$  появляется третий максимум и т. д. Абсолютные величины максимумов с увеличением их номера несколько возрастают, стремясь к насыщению.

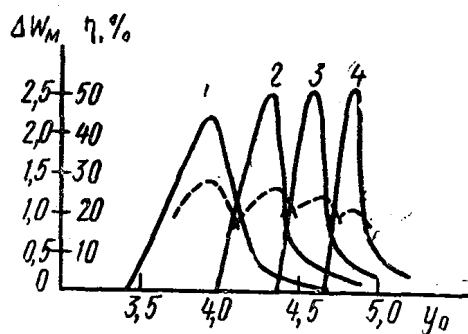


Рис. 1. Зависимость максимальных значений энергии индуцированного излучения (сплошные кривые) и соответствующих к. п. д. (пунктирные кривые) от начальной амплитуды. 1, 2, 3, 4 — номера максимумов во времени

На рис. 1 показана также зависимость к. п. д.  $\eta$  от  $y_0$ . Максимальная величина  $\eta$  достигается при том же значении  $y_0$ , при котором

получается наибольшее значение  $\Delta W$  для первого максимума во времени. С увеличением  $y_0$  к. п. д. уменьшается. Те же зависимости прослеживаются и при других значениях  $\beta$  и  $\delta$ . В дальнейшем будем считать, что оптимальный режим — это режим максимального значения к. п. д., получаемого при изменении  $y_0$ .

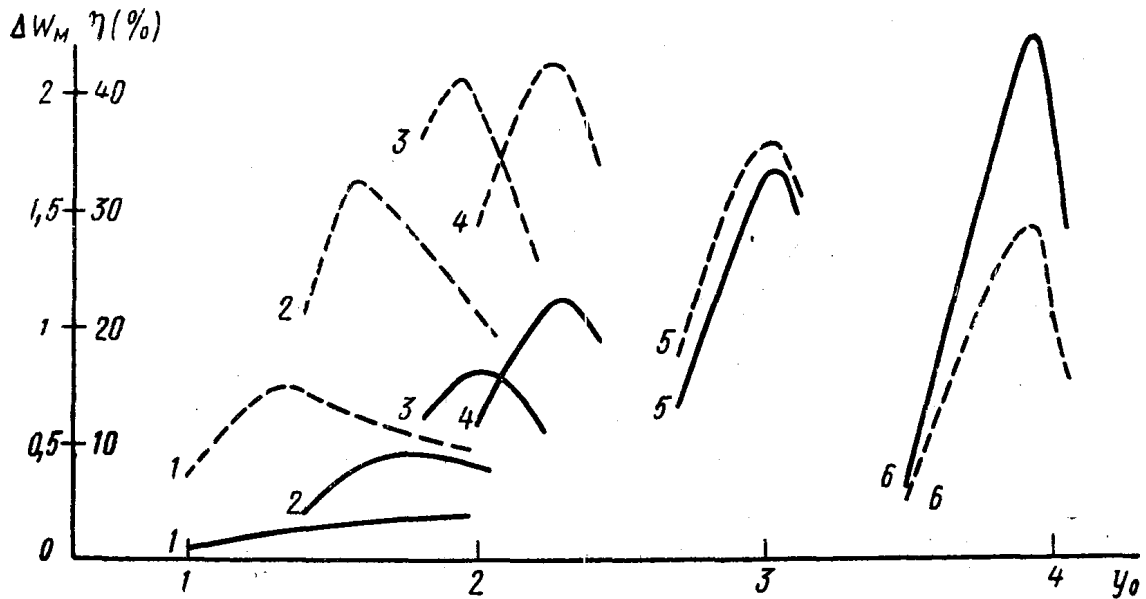


Рис. 2. Зависимость максимальных значений индуцированного излучения (сплошные кривые) и к. п. д. (пунктирные кривые) от начальной амплитуды для разных  $\delta$  при  $\beta=0,1$ . 1 —  $\delta=-2$ , 2 —  $\delta=0$ , 3 —  $\delta=1$ , 4 —  $\delta=2$ , 5 —  $\delta=5$  и 6 —  $\delta=10$

Анализ результатов расчета показал, что ход зависимостей оптимальных значений  $\Delta W_{\text{опт}}(\delta)$  и  $\eta(\delta)$  при  $\delta > 10$  существенно различен. Если при увеличении сначала наблюдается некоторое возрастание  $\Delta W_{\text{опт}}$  [2], то к. п. д.

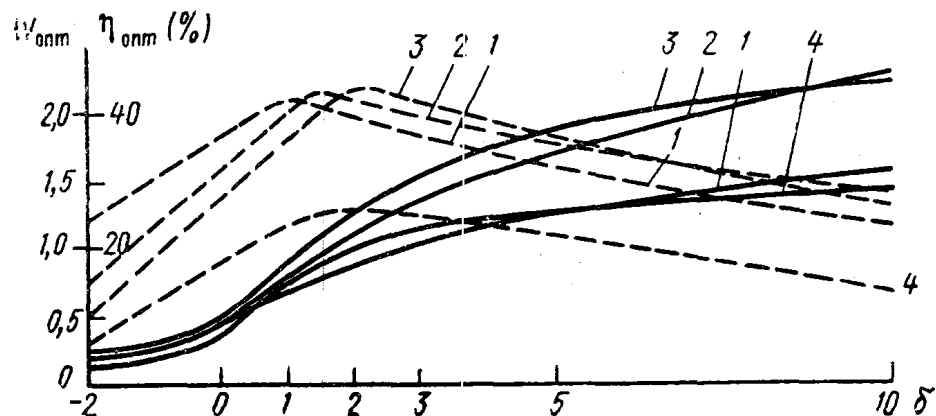


Рис. 3. Зависимость оптимальных значений энергии индуцированного излучения (сплошные кривые) и к. п. д. (пунктирные кривые) от параметра расстройки  $\delta$  при равных  $\beta$ . 1 —  $\beta=0$ , 2 —  $\beta=0,1$ , 3 —  $\beta=0,141$ , 4 —  $\beta=0,316$

при этом неуклонно падает. Так, при  $\beta = 0,1$  имеем:  $\delta = 10$ ,  $\eta = 26\%$ ,  $\delta = 25$ ,  $\eta = 9\%$  и  $\delta = 75$ ,  $\eta = 4\%$ . В связи с таким резким уменьшением к. п. д. ограничимся лишь значениями  $\delta \leq 10$ .

На рис. 2 представлены зависимости  $\Delta W_M$  и  $\eta$  от  $y_0$  для различных  $\delta$  при  $\beta = 0,1$ . На рис. 3 построены огибающие для оптимальных значений  $\Delta W$  в зависимости от  $\delta$  при разных  $\beta$ . Из рис. 3 следует, что выбор расстройки определяет характер обмена энергии между ансамблем и внешней силой, который связан с характером прохождения осцилляторов ансамбля

через резонанс. Существуют оптимальные значения  $\delta$ , при которых при данном  $\beta$  достигается максимум к. п. д. Максимальные значения  $\eta_{\text{опт}}$  приходятся на  $\delta \simeq 1 - 2$ .

Ход кривых указывает на то, что возможны режимы, при которых энергия индуцированного излучения и к. п. д. ансамбля с потерями больше соответствующих величин для ансамбля без потерь. Это означает, что в определенных режимах потери в ансамбле могут улучшить качество фазовой группировки внешней силой. Абсолютный максимум к. п. д. индуцированного излучения достигается при  $\beta = 0,15$ ,  $\delta = 2$ . При увеличении  $\beta$  в области  $\beta > 0,2$  к. п. д. быстро уменьшается.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гапонов А. В., Петелин М. И., Юлпатов В. К. «Изв. вузов», радиофизика, **10**, 1414, 1967.
2. Канавец В. И., Стабинис А. Ю. «Изв. вузов», радиофизика, **12**, 129, 1969.

Поступила в редакцию  
26.6 1969 г.

Кафедра  
радиотехники