

## ИМПУЛЬСНАЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ

*А.И.Весницкий, Л.А.Островский, В.В.Папко,  
В.Н.Шабанов*

Распределенные параметрические генераторы электромагнитного излучения впервые были реализованы в оптике [1]. Ввиду больших, по сравнению с длиной волны, размеров резонансной системы, в них, как и в лазерах, принципиально возможна генерация излучения с широким дискретным спектром – одновременно на многих модах. Существенна при этом возможность управления процессом с помощью синхронизации мод, приводящей, в частности, к получению коротких импульсов. Однако в параметрических генераторах эти явления до настоящего времени не наблюдались.

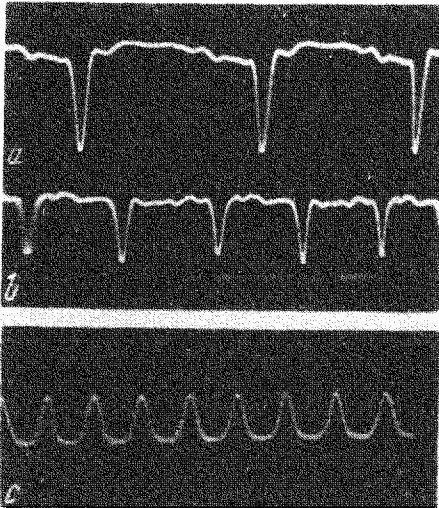


Рис. 1. *a* – осциллограмма напряжения на конце одномерного резонатора с параметрическими диодами ( $f = 1,6 \text{ мГц}$ ), *b* – то же в середине резонатора, *c* – напряжение на конце параметрического германиевого диода длиной  $14 \text{ см}$  ( $f = 37 \text{ мГц}$ )

В данной работе приводятся результаты экспериментального исследования многомодовой параметрической генерации в радиодиапазоне. Отметим, что в последнем специфика многомодовых систем используется, в известном смысле, наиболее эффективно. Действительно, максимальная ширина генерируемого спектра (и, соответственно, минимальная длительность импульсов) в различных диапазонах определяется частотными свойствами как резонатора, так и рабочего вещества. В оптических системах спектр излучения узок по сравнению со сред-

ней частотой ( $\Delta\omega \ll \omega$ ). На более низких частотах (в радиодиапазоне) оказывается возможной генерация максимально широкого спектра, когда  $\Delta\omega$  и  $\omega$  сравнимы по величине. В результате энергия гармонической накачки преобразуется в энергию автоколебаний видеоимпульсного типа, форма которых далека от синусоидальной.

Построение таких систем в радиодиапазоне связано со значительными трудностями ввиду того, что имеющиеся нелинейные материалы (ферриты, сегнетоэлектрики и т.д.) недостаточно прозрачны в столь широкой полосе частот, чтобы при разумных размерах системы обеспечить возбуждение большого числа мод. Наилучшими частотными свойствами обладают параметрические полупроводниковые диоды, но их нельзя считать распределенными элементами вплоть до весьма высоких частот.

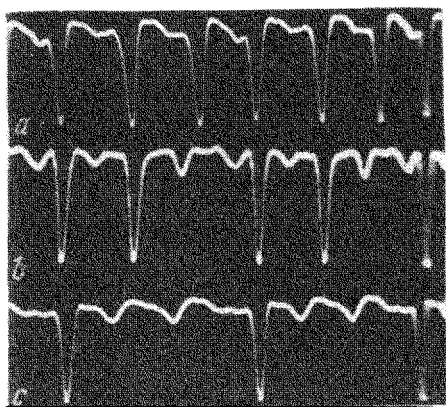


Рис. 2. Различные режимы генерации при  $f \approx 3F_0$ . (а — 4,7 мГц, б — 4,77 мГц, с — 4,85 мГц)

Первым, в какой-то степени компромиссным решением были "искусственные" одномерные резонаторы в виде цепей (фильтров) из большого числа (10 — 20) звеньев с сосредоточенными индуктивностями и емкостями, причем последними служили параметрические диоды.

Была получена импульсная генерация и в "истинно" распределенной системе — распределенном параметрическом диоде. Последний имеет вид полосковой линии длиной до 14 см, в которой пространство между металлическими проводниками заполнено полупроводниковым материалом, содержащим *p-n*-переход (детали конструкции диода описаны в работе [2]). При отрицательном смещении в диоде могут распространяться волны, близкие к поперечным, а его отрезок используется как нелинейный резонатор со спектром собственных частот, близким к эквидистантному. Можно показать, что при определенных условиях электрическая энергия сосредоточена главным образом в области запирающего слоя толщиной  $d \approx 1$  мк, а магнитная распределена по всей толщине полупроводника  $D \approx 400$  мк вследствие чего главная волна в системе замедлена в

$\sqrt{\epsilon D/d}$  раз ( $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость полупроводника). В результате низшая собственная частота  $F_0$  резонатора длиной 14 см составляет  $37 + 45$  МГц (при изменении смещения от 4 до 10  $\sigma$ ),

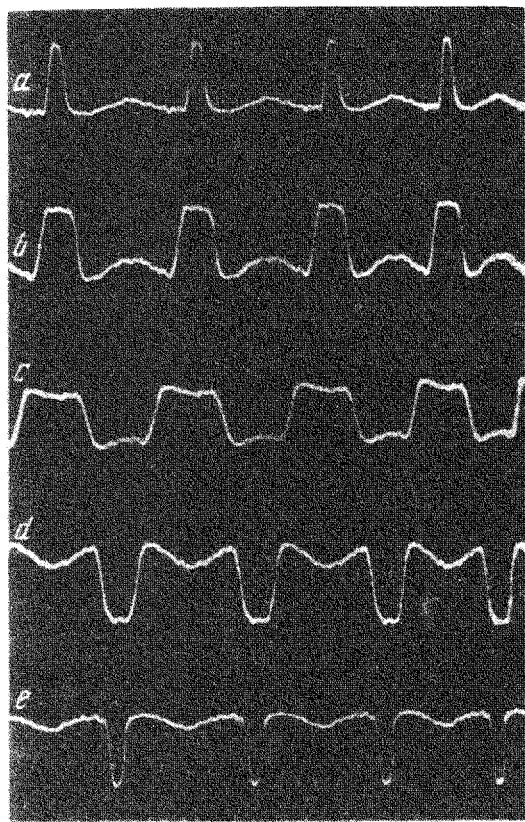


Рис. 3. Осциллограммы импульсов в различных точках замкнутого резонатора ( $a, e$  – вблизи концов,  $c$  – в середине)

Интересно отметить, что в рассматриваемых системах синхронизация мод не требует какого-либо специального внутреннего или внешнего управляющего элемента (как в лазерах), а осуществляется непосредственно полем накачки, благодаря его соответствующему пространственному распределению. В простейшем случае в разомкнутом на концах резонаторе возбуждалась от гармонического источника стоячая волна накачки с частотой  $f$ , близкой к  $F_0$ . Генерируемые короткие импульсы синхронизованы с накачкой; их минимальная длительность  $\tau$  определяется нелинейными дисперсионными свойствами системы, а период следования на конце резонатора совпадает с периодом накачки, тогда как в середине этот период вдвое меньше (рис. 1,  $a, e$ ).

Наиболее короткие импульсы, полученные в распределенном диоде, имели длительность  $(5 + 7) \cdot 10^{-9}$  сек и амплитуду 8 в (рис. 1, с). В системах на искусственных линиях ширина спектра генерации меньше ( $\tau \sim 10^{-7} + 10^{-8}$  сек,  $T \sim 10^{-6}$  сек). Однако такие системы допускают более детальное исследование ввиду легкости изменения их конструкции и режима работы. Интересные особенности возникают с повышением частоты накачки. Так, при  $f \approx 3F_0$  возможны три различных режима (устойчивых состояния), в которых генерируются последовательности импульсов с пропуском одного или двух периодов накачки (рис. 2). Переход от одного режима к другому осуществляется изменением смещения или малым (несколько процентов) изменением  $f$ ; при этом возможны гистерезисные явления.

Наконец, возможны совершенно другой результат синхронизации мод. На рис. 3 показаны колебания в резонаторе с замкнутыми концами. Здесь картина качественно различна в разных точках и в целом может быть представлена суперпозицией двух встречных волн с короткой (ударной) нарастающей и пологой спадающей частями.

Описанные системы, вероятно, могут представить, кроме физического, заметный практический интерес с точки зрения трансформации синусоидальных колебаний в импульсы ввиду ряда достоинств в смысле энергетических затрат и гибкости управления.

В заключение отметим, что на сходном принципе может быть основана синхронизация мод параметрических генераторов в оптике. Для этого рабочее вещество должно занимать меньшую часть резонатора, а фаза накачки — модулироваться с периодом, равным удвоенному времени пробега импульса между зеркалами резонатора<sup>1)</sup>.

Авторы весьма признательны А.В.Гапонову за обсуждение результатов работы.

Институт ядерной физики  
Горьковского  
государственного университета

Поступило в редакцию  
14 января 1969 г.

### Литература

- [1] С.А.Ахманов, Р.В.Хохлов. Радиотехника и электроника, 12, 2052, 1967.
- [2] В.Н.Шабанов, В.А.Толомасов. Радиотехника и электроника, 11, 772, 1966.
- [3] S. E. Harris. IEEE, QE-2, 701, 1966.

<sup>1)</sup> Обсуждающийся в литературе [3] способ синхронизации мод в ПГ связан с амплитудной, а не фазовой, модуляцией накачки.