

09;12

РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ ВОЛНОВЫХ ПУЧКОВ И КОМПРЕССОРЫ МИКРОВОЛНОВЫХ ИМПУЛЬСОВ

© А.Л.Визарев, Н.Ф.Ковалев, М.И.Петелин

1. Введение

В микроволновом диапазоне для транспортировки мощных электромагнитных потоков используются сверхразмерные, в частности зеркальные, волноводы, а для накопления большой микроволновой энергии — сверхразмерные, в частности зеркальные, резонаторы. Для активного управления такими системами естественно использовать коммутаторы распределенного типа, способные менять направление распространения волны при минимуме паразитных переизлучений. Такого рода коммутация может быть осуществлена, в частности, с помощью решетки из диэлектрических трубок, наполненных газом, который обращается в плазму под воздействием приложенного электрического напряжения для лазерного излучения и (или) самого мощного микроволнового поля. Для коммутации могут быть использованы также и решетки из металлических стержней, параллельных металлической плоскости, способные изменять угол отражения волны в результате пробоя газа при подаче на стержни импульсного напряжения. Подобные распределенные коммутаторы могут быть использованы, в частности, для компрессии (сжатия во времени) микроволновых импульсов.

2. Распределенные коммутаторы

Простейший вариант распределенного коммутатора представляет собой решетку из газоразрядных трубок (рис. 1) с периодом d , малым настолько ($d < \lambda \cos \theta$, где λ — длина электромагнитной волны, θ — угол падения), чтобы отсутствовали любые дифракционные отражения, кроме зеркального. Зеркальный же луч в исходном состоянии подавляется подбором диаметра трубок — интерференционный (а следовательно, резонансный, но, к счастью, низкодобротный) эффект, эквивалентный безотражательному прохождению волны сквозь полуволновую диэлектрическую пластину. Если на стадии коммутации в трубках со-

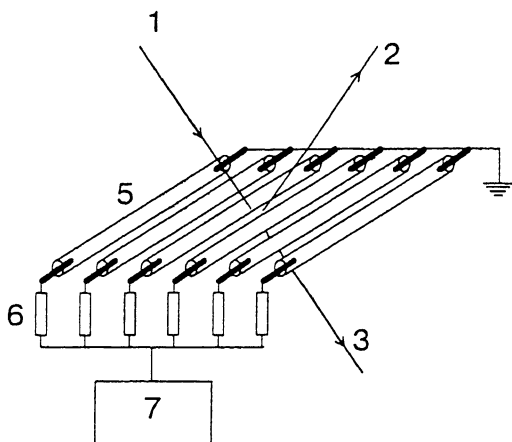


Рис. 1. Волновой коммутатор в виде решетки из газоразрядных трубок: 1 — падающая волна, 2 — зеркальная волна, 3 — прошедшая волна, 5 — газоразрядные трубки, 6 — сопротивления, 7 — генератор импульсов.

здается плазма достаточно высокой плотности, решетка начинает отражать падающую волну в зеркальном направлении.

Более надежным механически и к тому же имеющим элемент настройки является коммутатор в виде решетки из газоразрядных трубок, помещенных над металлическим плоским или гофрированным зеркалом. Такого рода коммутатор может работать на переключении между (-1) -м и (0) -м дифракционными максимумами (рис. 2, а). Для этого параметры периодической структуры и расстояние трубок до зеркала надо подобрать такими, чтобы в исходном состоянии падающая волна отражалась полностью в (-1) -й дифракционный максимум [1] (часто удобен модифицированный автоколлимационный режим, когда векторы распространения падающей и отраженной волн не перпендикулярны ребрам решетки). Если при пробое газа в трубках создается достаточно плотная плазма, такая, что периодическая структура становится эквивалентной металлической плоскости, то падающая волна начинает отражаться в зеркальном ((0) -м) направлении. Возможна и обратная схема, когда до включения разряда в трубках падающая волна отражается зеркально, а после включения разряда отраженный зеркальный луч пропадает и волна отражается в направлении (-1) -го дифракционного максимума.

В описанных выше коммутаторах концентрация электронов, возникающих при пробое в газе, должна быть поряд-

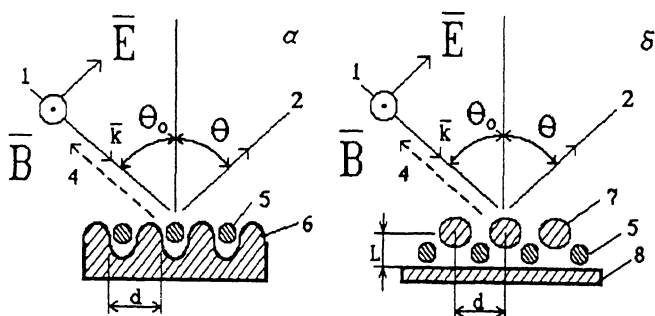


Рис. 2. Электрически управляемые отражательные дифракционные решетки:

1 — падающая волна, 2 — зеркальная волна, 4 — автоколлимационная волна, 5 — газоразрядные трубки, 6 — гофрированная решетка, 7 — металлические стержни, 8 — плоское металлическое зеркало.

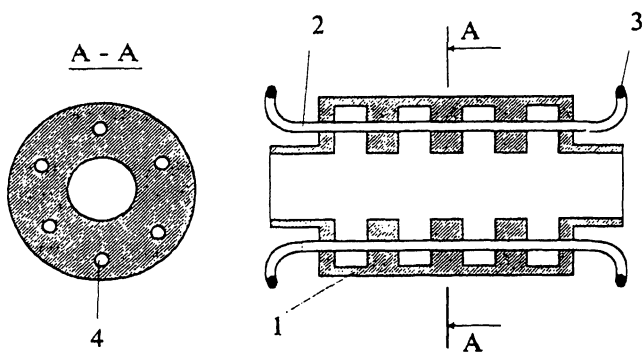


Рис. 3. Брэгговский рефлектор:

1 — периодическая структура, 2 — газоразрядные трубки, 3 — электроды, 4 — отверстия для газоразрядных трубок.

ка или выше критической ($N_{c0} = \pi\omega^2/4\pi e^2$) для частоты используемого электромагнитного излучения, а параметры плазмы должны обладать высокой степенью однородности по длине трубок. Эти ограничения можно ослабить, если электродинамическая структура обладает резонансными свойствами, и соответственно для нарушения резонанса достаточно относительно небольшого изменения параметров среды, заполняющей трубку. В этом случае можно использовать как частотный, так и пространственный резонанс.

Частотный резонанс может быть реализован, например, в комбинированной решетке из металлических стержней и газоразрядных трубок, помещенных над металлическим плоским зеркалом (рис. 2,б). Чем меньше прозрачность металлической решетки, тем выше добротность резонанса и тем он чувствительнее к изменению диэлектрической проницаемости среды, например к включению или выключению газоразрядных трубок, размещенных между решеткой и отражающей плоскостью. В остальном структура, изображенная на рис. 2,б, эквивалентна изображенной на рис. 2,а. Альтернативой может служить сплошная металлическая пластина, прорезанная параллельными резонансно-профилированными [2] канавками, в которые утоплены газоразрядные трубки.

Пространственный резонанс может быть реализован в системах с брэгговскими рефлекторами (рис. 3), где подбором геометрии полосы трансформации исходной волны в волну другого типа (например, в волну со встречным направлением распространения) следует заузить настолько, чтобы уже небольшое изменение параметров разрядников смещало эту полосу так, чтобы частота волны оказалась за ее пределами.

3. Компрессия микроволновых импульсов

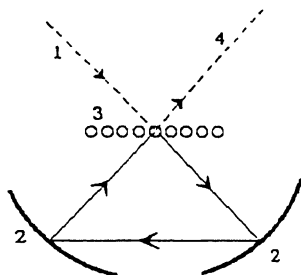
Электрически управляемые распределенные коммутаторы могут быть использованы для сжатия микроволновых импульсов:

а) в многозеркальных резонаторах (рис. 4), где одно из зеркал имеет конфигурацию, изображенную на рис. 2, и возможны схемы компрессии как с полупрозрачными, так и с отражательными дифракционными решетками;

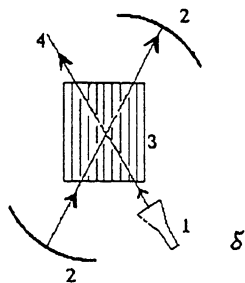
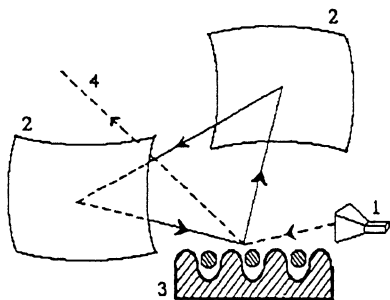
б) в брэгговских резонаторах (рис. 5), где один из рефлекторов выполнен по схеме, изображенной на рис. 3.

В обоих случаях на стадии накопления энергии управляемый коммутатор обладает электродинамической конфигурацией, обеспечивающей добротность резонатора Q порядка $\omega\tau_1$, где ω — частота волны, τ_1 — длительность первичного микроволнового импульса, а после срабатывания коммутатора (пробоя газа) добротность резонатора резко падает и запасенная энергия выводится из него в течение времени τ_2 , много меньшего τ_1 .

В отличие от хорошо известных схем компрессии [3,4] переход к сверхразмерным, в частности, открытым резонаторам позволит многократно увеличить накапливаемую микроволновую энергию и соответственно мощность выходного излучения.



α



δ

Рис. 4. Схемы компрессии микроволнового импульса на основе резонаторов с электрически управляемыми волновыми коммутаторами:

1 — входной импульс, 2 — фокусирующие зеркала, 3 — коммутатор, 4 — выходной импульс.

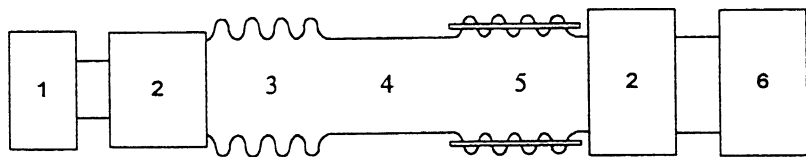


Рис. 5. Схема компрессии на основе объемного резонатора с брэгговскими рефлекторами:

1 — СВЧ генератор, 2 — волновой трансформатор, 3 — входной брэгговский рефлектор, 4 — отрезок круглого волновода, 5 — управляемый брэгговский рефлектор, 6 — нагрузка.

4. Эксперименты

В экспериментах, направленных на создание квазиоптических переключателей и компрессоров микроволновых импульсов, использовались кварцевые трубки с внешним диаметром 7.5 мм, внутренним диаметром 5.7 мм и длиной 30–50 см. Трубки имели патрубki для откачки и напуска газа, а также стальные электроды, которые подключались к генератору импульсного напряжения. Генератор формировал импульсы с амплитудой 35–40 кВ, длительностью 100 нс и передним фронтом 10 нс.

Как известно [5], время формирования плазмы в длинных трубках в основном определяется скоростью распространения фронта ионизации, которая зависит от давления газа, приложенного напряжения и скорости его нарастания. В описываемых здесь экспериментах при давлении воздуха в трубках 1–100 Тор скорость фронта ионизации достигала $5 \cdot 10^9 - 10^{10}$ см/с. Соответственно в трубках длиной 50 см плазма создавалась за 5–10 нс. Концентрация электронов плазмы превышала критическую для излучения с длиной волны 3 см. Трубка с такой плазмой, помещенная в волновод, отражала падающую волну, как металлический стержень.

В эксперименте с простейшей решеткой (рис. 1) из 12–15 трубок разброс времен образования плазмы в различных трубках был в пределах 1 нс. Квазиоптический поток с длиной волны 3 см полностью, с точностью до ошибки измерений, переключался с прошедшего на отраженный.

5. Оценки возможностей

Согласно предварительным оценкам, распределенные квазиоптические коммутаторы описанного типа могут быть использованы для управления волновыми потоками с длиной волны 1–3 см, имеющими мощность порядка нескольких сотен мегаватт при длительности импульсов 10–100 нс, следующими с частотой до десятка килогерц.

Список литературы

- [1] *Electromagnetic theory of gratings* / Ed. by R.Petit. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. New York, 1980.
- [2] Шейнина Е.В. // Изв. вузов. Радиофизика, 1988. Т. 31. С. 855–888.
- [3] Диденко А.Н., Юшков Ю.Г. Мощные СВЧ импульсы наносекундной длительности. М.: Энергоатомиздат, 1984. 112 с.
- [4] Диденко А.Н., Новиков С.А., Разин С.В., Чумерин П.Ю., Юшков Ю.Г. // Докл. АН. 1991. Т. 321. № 3. С. 518–520.
- [5] Асиновский Э.И., Василяк Л.М., Марковец В.В. // Теплофизика высоких температур. 1983. Т. 21. В. 3. С. 577–590.