

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВЧ-АНТЕННЫ УПРАВЛЯЕМОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ С РАЗРЯДОМ В ПОЛОМ КАТОДЕ

*Н. Н. Горобец, А. Ф. Ляховский, В. М. Ткаченко,
В. Б. Тютюнник*

Харьков

Создание быстродействующих электрически управляемых СВЧ элементов, позволяющих производить переключения в тракте, управлять амплитудой и фазой электромагнитных волн — одна из актуальных задач техники СВЧ. Весьма перспективно использование таких элементов для управления излучением антенн.

Применение для этих целей газоразрядной плазмы редко выходило за рамки экспериментальных исследований в связи с большими трудностями создания плазмы достаточной плотности. Например, приборы с использованием положительного столба тлеющего разряда [1] не нашли широкого применения из-за малого диапазона управления. Более пер-

спективно применение области отрицательного свечения, в которой концентрация электронов на один-два порядка выше, чем в положительном столбе [2]. Но и в этом случае конструкции устройств весьма несовершенны, так как требуют размещения в волноводе стеклянных трубок, электродов и т. д., что приводит к значительной неоднородности тракта и технологическим трудностям в изготовлении самих устройств.

Недостатки устраняются, если применить разряд с полым катодом. В качестве катода можно использовать отрезок полого волновода, а в качестве анода — два отрезка такого же волновода, расположенные по обеим сторонам катода. Неоднородности в такой конструкции минимальны, а симметричное расположение анодов приводит к уменьшению напряжения горения разряда. Благодаря колебательному движению электронов в поперечном сечении катода, а также более полному использованию ультрафиолетового излучения из области отрицательного свечения [3], в полном катоде легко достигается концентрация плазмы, достаточная для эффективного управления фазой и амплитудой электромагнитных волн СВЧ диапазона в широких пределах [4].

В настоящей работе исследована возможность управления поляризацией излучаемого антенной поля с помощью плазмы разряда в полном катоде.

Экспериментально исследована антенна круговой и управляемой поляризации на основе трехдецибелного волноводно-щелевого моста, предложенная в работе [5]. В такой антенне для управления поляризацией оба входа щелевого моста следует запитать одновременно. При этом результирующая волна на выходе антенны будет являться суммой двух кругополяризованных компонент с противоположными направлениями вращения векторов поля, коэффициент эллиптичности поляризационного эллипса будет определяться отношением амплитуд компонент, угол ориентации — разностью их фаз [5]. Если антенну запитать через управляемый делитель амплитуд, разность фаз волн на выходе которого не изменяется при изменении их амплитуд, таким делителем будет регулироваться только величина коэффициента эллиптичности. Для изменения ориентации поляризационного эллипса в один из входных каналов щелевого моста следует включить управляемый фазовращатель. Раздельная регулировка поляризационных параметров — важное преимущество антенны.

В качестве управляемого делителя амплитуд, не имеющего дополнительного сдвига разности фаз волн на выходе, предлагается использовать трехдецибелный волноводно-щелевой мост, запитываемый в одно из входных плеч при согласованной нагрузке в соседнем плече, с разрядом в полном катоде.

Как ясно из принципа работы моста, отношение амплитуд волн на его выходе

$$\left| \frac{\dot{E}_2}{\dot{E}_3} \right| = \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2},$$

где E_2 и E_3 — амплитуды волн в выходных плечах моста;
 $\varphi = (\beta_{10} - \beta_{20})l$ — дифференциальный фазовый сдвиг между волнами H_{10} и H_{20} в области связи моста;

β_{10} и β_{20} — постоянные распространения волн H_{10} и H_{20} соответственно;

l — длина области связи моста.

Если заполнить область связи моста плазмой, при изменении тока разряда будет изменяться эффективная диэлектрическая проницаемость,

следовательно, будут изменяться постоянные распространения волн H_{10} и H_{20} в соответствии с соотношением, приведенным в работе [6] (при $\nu \ll \omega$, где ν — частота столкновений электронов в плазме, ω — частота поля):

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)^2 - \frac{n}{n_{кр}}},$$

где n — концентрация электронов в разряде;

$n_{кр}$ — концентрация электронов в разряде при равенстве плазменной частоты и частоты поля СВЧ.

При этом изменяется отношение амплитуд волн на выходе щелевого моста, разность же их фаз, равная 90° , изменяться не будет.

На рис. 1 представлена зависимость постоянных распространения волн H_{10} и H_{20} , их разности $\beta_{10} - \beta_{20}$ и отношения амплитуд волн на выходе моста от относительной концентрации плазмы, пропорциональной току разряда. Расчеты проведены для $\lambda = 3,1$ см и ширины области связи моста $d = 47$ мм. Из рисунка видно, что изменение деления моста возможно в широких пределах.

Изменение коэффициента эллиптичности при возбуждении антенны делителем амплитуд в виде управляемого трехдецибелного щелевого моста подчиняется простому закону:

$$r = \frac{1 - \left| \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} \right|}{1 + \left| \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} \right|}.$$

Для изменения угла ориентации поляризационного эллипса в пределах от 0 до 180° необходимо изменение разности фаз кругополяризованных компонент от 0 до 360° фазовращателем с разрядом в полном катоде (длиной 10 см), как показано в [4]. достигается при изменении тока разряда в аргоне до 80 ма.

Экспериментальный макет антенны в качестве полого катода с разрядом содержал трехдецибелный волноводно-щелевой мост, представляющий собой отрезок волновода сечением 10×47 мм² и длиной 100 мм. К щелевому мосту с помощью дроссельных фланцев с изолирующими прокладками из вакуумной резины присоединялось с одной стороны запитывающее устройство, с другой — антенна круговой поляризации. Запитывающее устройство — два отрезка стандартных прямоугольных волноводов, к одному из которых присоединяется согласованная нагрузка, а в другой запитывается антенна. Антенна круговой поляризации, как и в работе [5], содержит трехдецибелный волноводно-щелевой мост, две 45 -градусные волноводные скрутки, закрученные в разные стороны, фильтр типов волн и пирамидальный рупор с квадратным раскрытием. Область разряда (щелевой мост и отрезки волноводов по обе стороны от него, являющиеся анодами) вакуумирована. Для обеспечения требуемого давления газа в области разряда в середине волновода подпаяна трубка для соединения с вакуумной системой. Управление током разряда осу-

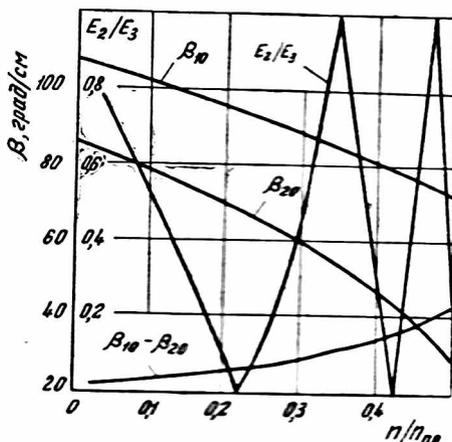


Рис. 1.

ществляется регулировкой постоянного напряжения, приложенного к щелевому мосту — катоду (до -600 в), аноды заземляются.

На рис. 2 приведены экспериментальные зависимости коэффициента эллиптичности и КСВН антенны от тока разряда при заполнении области разряда аргоном (давление $p = 0,1$ и $0,2$ тор при $\lambda = 3,18$ см). Видно, что поляризация изменяется от эллиптической ($r = 0,6$) до круговой, КСВ антенны уменьшается, если поляризация ближе к круговой.

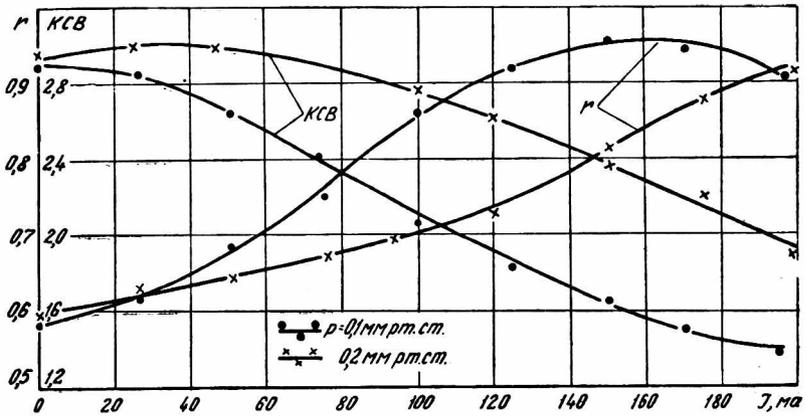


Рис. 2.

Управлять поляризацией излучения антенны на основе трехдецибельного волноводно-щелевого моста можно при помощи регулировки амплитуд линейно поляризованных компонент. Для этого используется щелевой мост с разрядом в полном катоде, возбуждаемый в одно из входных плеч, и непосредственно к нему подключаются 45-градусные скрутки.

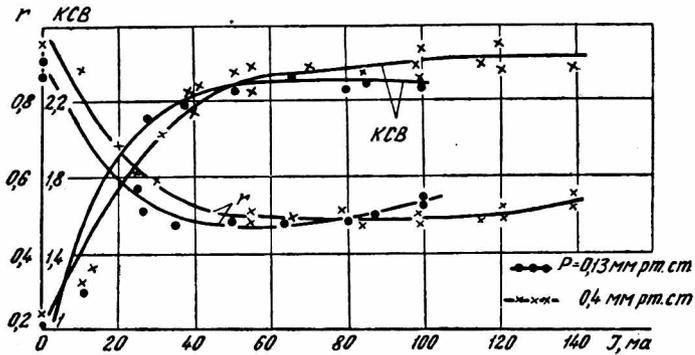


Рис. 3.

Тогда в фильтре типов волн будут складываться два ортогональных линейно поляризованных компонента, амплитуды и фазы которых регулируются током разряда. Экспериментальные зависимости коэффициента эллиптичности от тока разряда (рис. 3) при давлениях $0,13$ и $0,4$ тор на волне $3,12$ см подтверждают этот вывод. КСВН антенны в этом случае меньше, чем в предыдущем, и уменьшается при поляризации, близкой к круговой.

Следует, однако, отметить, что во втором случае затруднено управление ориентацией поляризационного эллипса.

Результаты проведенных исследований можно использовать для косвенных измерений параметров плазмы по изменению поляризации излучения антенны СВЧ.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. A g a m s. Electronics, 27, 168, 1954.
2. D. H. P r i n g l, E. M. B r a d l e y. Electr. and Control, 1, 389, 1956.
3. P. F. L i t t l e, A. v o n E n g e l. Proc. Roy. Soc., 224, 209, 1954.
4. В. М. Ткаченко, В. Б. Тютюнник. Труды конференции по электронной технике, вып. 2 (18), 91, 1970.
5. Н. Н. Горобец. Сб. «Радиотехника», вып. 11. Изд-во ХГУ, Харьков, 1969.
6. М. Хилд, С. Уортон. Микроволновая диагностика плазмы. Атомиздат, 1968.