

УДК 621.396.674.39

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОЙ ТУРНИКЕТНОЙ ЩЕЛЕВОЙ АНТЕННЫ

Н.И. Войтович Н.И., Д.С. Клыгач

В работе показано, что применение согласующего устройства в виде отрезка коаксиального кабеля с режимом холостого хода на конце позволяет обеспечить полосу частот согласования щелевой антенны с коаксиальным кабелем примерно 30 % от средней частоты рабочего диапазона частот.

Применение согласующего устройства в виде отрезка коаксиального кабеля с режимом холостого хода на конце и пассивных щелей позволяет увеличить полосу частот согласования примерно до 60 % от средней частоты рабочего диапазона частот.

Теоретически и экспериментально показано, что щелевая турникетная антенна формирует практически круговую диаграмму направленности в горизонтальной плоскости с горизонтальной поляризацией поля излучения и обеспечивает при этом широкую полосу согласования антенны с фидером.

Ключевые слова: антенна; согласование антенны с фидером; широкополосная антенна, щелевая турникетная антенна.

Известен [1] вариант возбуждения щелевой антенны с помощью коаксиальной линии передачи, показанный на рис. 1. Внешний проводник коаксиальной линии гальванически соединен с одним краем щели, а центральный проводник гальванически соединён с противоположным краем щели. В области щели внешний проводник удалён, центральный проводник проложен над щелью. Согласование с фидером при таком способе возбуждения щели достигается выбором расстояния l от точки возбуждения до узкого края щели.

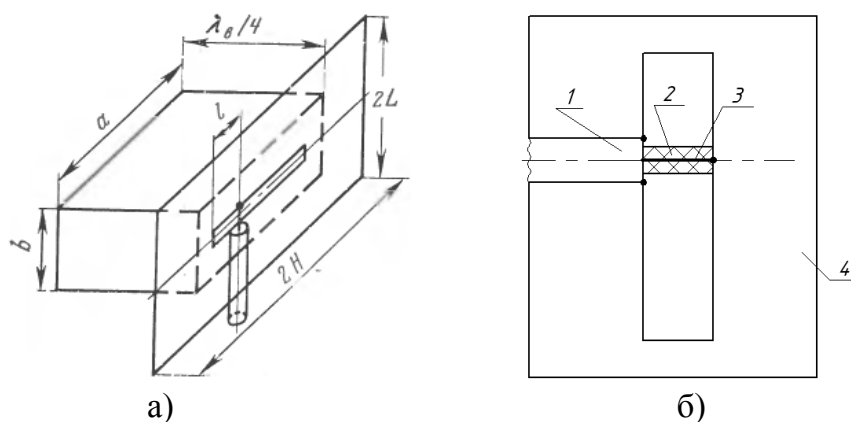


Рис. 1. Известный вариант возбуждения щелевой антенны: 1 – внешний проводник; 2 – диэлектрик; 3 – центральный проводник; 4 – пластина

В известном варианте согласование щелевой антенны с коаксиальным кабелем выполняется в узкой полосе частот. Рассмотрим это далее на более простом примере возбуждения, а именно на примере возбуждения двухстороннего щелевого излучателя, выполненного в виде щели на прямоугольной пластине с размерами $0,8\lambda \times 0,4\lambda$, в которой прорезана прямоугольная щель длиной $\lambda/2$ и шириной $0,04\lambda$, где λ – длина волны (рис.1б). Точка возбуждения щели расположена на расстоянии $0,1\lambda$ от узкого края щели. На рис. 2 приведены расчётные зависимости реальной ReZ и мнимой ImZ части входного сопротивления Z указанной двухсторонней щелевой антенны от частоты.

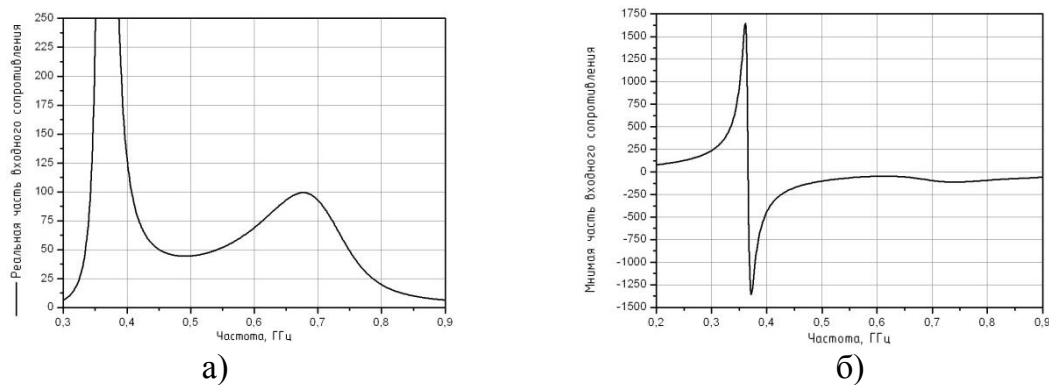


Рис. 2. Зависимость входного сопротивления двухсторонней щелевой антенны от частоты: а) реальная часть; б) мнимая часть

Полоса частот, в которой реальная часть входного сопротивления равна 50 ± 10 Ом (440 – 560 МГц), составляет 18 % от средней частоты рабочего диапазона. Мнимая часть входного сопротивления (рис. 2б) принимает наименьшее значение, равное минус 1300 Ом, на частоте 370 МГц. На частотах выше 370 МГц ImZ возрастает, достигая максимума, равного минус 50 Ом, на частоте 600 МГц. В полосе частот 600 – 740 МГц ImZ убывает и достигает минимума, равного минус 120 Ом, на частоте 740 МГц. В области более высоких частот ImZ возрастает, стремится к величине, равной нулю.

Из анализа зависимости входного сопротивления щелевой антенны от частоты, представленной на рис. 2, можно отметить следующие особенности такого варианта возбуждения щелевой антенны.

- 1) полоса частот, в которой реальная часть сопротивления равна 50 ± 10 Ом, составляет 18 % от резонансной частоты;
- 2) мнимая составляющей входного сопротивления антенны в полосе частот по п. 1 является ёмкостной, большой по абсолютной величине;
- 3) согласование щелевой антенны с фидером получается узкополосным; ширина полосы согласования составляет $0,05f_{cp}$, где f_{cp} – средняя частота диапазона.

Из рассмотрения представленной зависимости следует, что для увеличения ширины полосы согласования щелевой антенны с фидером необходимо скомпенсировать мнимую (реактивную) составляющую входного сопротивления в диапазоне 440–560 МГц. Как показано авторами в [2], это можно сделать при другом варианте возбуждения, показанном на рис. 3. В предложенном авторами варианте устройства возбуждения конец внешнего проводника коаксиальной линии, проложенной на пластине, гальванически соединён с краем щели; центральный проводник проложен над щелью и в области другого края щели гальванически соединён с центральным проводником отрезка коаксиальной линии передачи с холостым ходом на противоположном конце. Внешний проводник отрезка коаксиальной линии с холостым ходом гальванически соединён с пластиной.

Согласующим устройством при таком варианте возбуждения антенны выступает отрезок коаксиальной линии передачи с режимом холостого хода на конце. Входное сопротивление разомкнутого на конце отрезка коаксиальной линии длиной менее четверти длины волны является ёмкостным. Представленный отрезок компенсирует мнимую часть входного сопротивления щелевой антенны в широкой полосе частот.

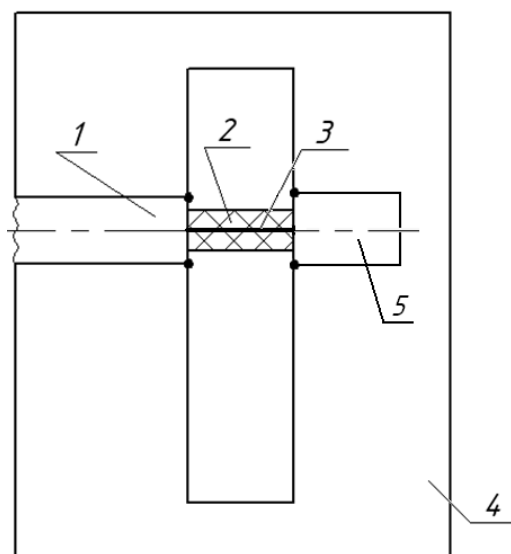


Рис. 3. Вариант возбуждения щелевой антенны, при котором согласование достигается применением короткого отрезка линии передачи с холостым ходом:
1 – внешний проводник; 2 – диэлектрик; 3 – центральный проводник;
4 – пластина; 5 – согласующий отрезок.

Рассмотрим зависимости активной и реактивной части входного сопротивления щелевой антенны, запитанной по варианту, показанному на рис. 3, в котором согласующим устройством является разомкнутый на конце отрезок коаксиальной линии.

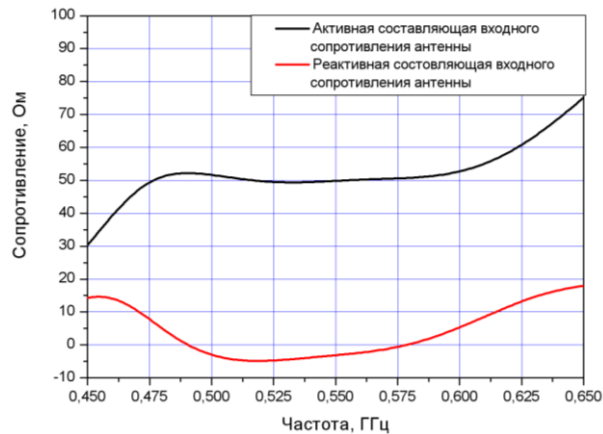


Рис. 4. Зависимость входного сопротивления щелевой антенны при возбуждении, представленному на рис. 3

Как видно из рассмотрения графиков, представленных на рисунке 4, мнимая составляющая входного сопротивления антенны в достаточной мере скомпенсирована в полосе частот 475–615 МГц, а реальная часть в той же полосе частот практически постоянна и равна 50 Ом. Используя вариант возбуждения, при котором в роли согласующего устройства выступает короткий разомкнутый на конце отрезок коаксиальной линии, получим следующее:

- 1) скомпенсирована мнимая составляющая входного сопротивления щелевой антенны в широкой полосе частот;
- 2) практически постоянное значение реальной части входного сопротивления в широкой полосе частот;
- 3) увеличение полосы частот согласования до величины $0,3f_{cp}$.

Рассмотрим далее вариант двухсторонней щелевой антенны, дополненной парой щелей, расположенных симметрично относительно щели в центре пластины. Длина дополнительных щелей равна $0,5\lambda_{cp}$, где λ_{cp} — длина волны на средней частоте диапазона. Такие щели мы будем называть пассивными, т.к. эти щели непосредственно фидером не возбуждаются; их возбуждение происходит за счёт энергии волн, распространяющихся от щели в центре пластины. Вносимое сопротивление от дополнительных щелей является практически реактивным. Поэтому дополнительные щели могут выступать в качестве согласующего устройства и компенсировать реактивную часть входного сопротивления антенны.

Такую систему, состоящую из основной щели и пассивных щелей, можно рассматривать как систему из двух связанных между собой резонансных контуров. Выбором резонансной частоты пассивных щелей полосу согласования антенны можно расширить в область высоких частот.

На рис. 6 и 7 представлены зависимости от частоты КСВ и зависимости реальной и мнимой части входного сопротивления щелевой антенны, дополненной пассивными щелями.

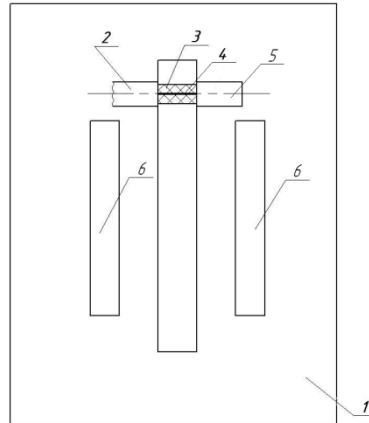


Рис. 5. Модель щелевой антенны с пассивными щелями
1 – пластина; 2 – коаксиальный кабель; 3 – диэлектрик;
4 – центральный проводник; 5 – согласующий отрезок; 6 – пассивные щели

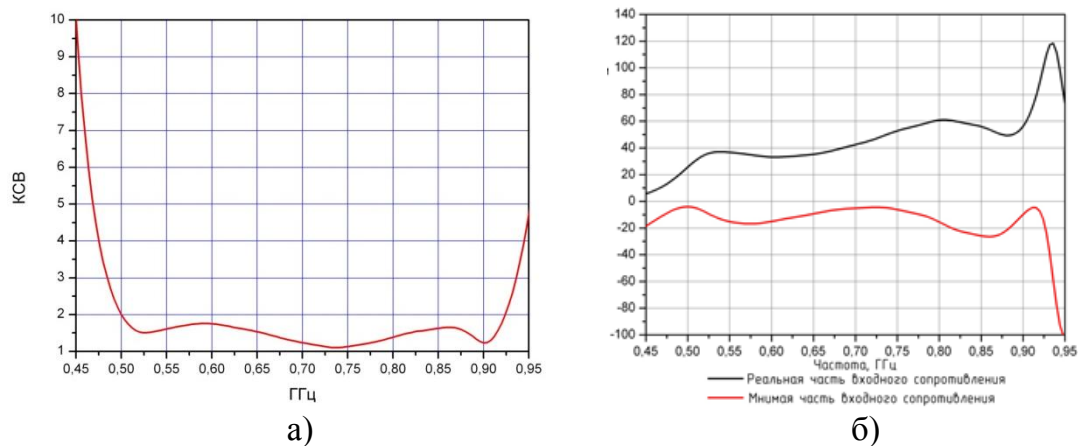


Рис. 6. Зависимость от частоты КСВ и входного сопротивления щелевой антенны с пассивными щелями: а) зависимость КСВ от частоты, б) зависимость входного сопротивления антенны

Благодаря применению пассивных щелей (рис. 6а) полоса согласования щелевой антенны увеличилась в два раза по сравнению с полосой согласования щелевой антенны без пассивных щелей.

На рис. 6б представлены зависимости от частоты $\text{Re}Z$ и $\text{Im}Z$ входного сопротивления Z щелевой антенны. Зависимость $\text{Re}Z$ от частоты характеризуется наличием участка от 500 до 900 МГц, на котором значение реальной части входного сопротивления равно 50 ± 10 Ом; за пределами этого участка, в области низких частот, $\text{Re}Z$ убывает, а в области высоких частот наблюдается резкое возрастание $\text{Re}Z$, максимальное значение которого равно 119 Ом.

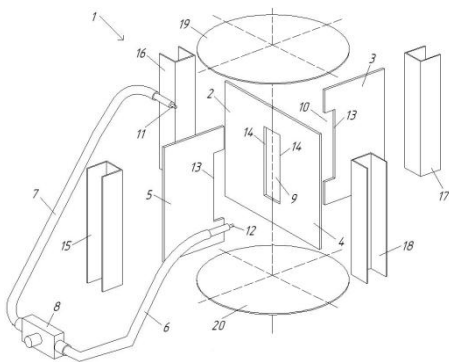
Зависимость $\text{Im}Z$ от частоты характеризуется участком от 475 до 910 МГц, на котором значение $\text{Im}Z$ изменяется в пределах от минус 25 до 0 Ом, т.е. мнимая часть входного сопротивления, скомпенсирована

в более широкой полосе частот, чем в антенне без пассивных щелей. За пределами этого участка в области низких частот, $\text{Im}Z$ убывает, в области высоких частот, значение $\text{Im}Z$ резко убывает, на частоте 950 МГц достигает значение минус 100 Ом.

Полоса согласования щелевой антенны без пассивных щелей составляет 150 МГц, т.е. $0,3 f_{cp}$; при введении пассивных щелей ширина полосы согласования увеличилась до 400 МГц, что составляет $0,6 f_{cp}$, где f_{cp} – средняя частота диапазона.

Две ортогонально расположенных в пространстве двухсторонних щелевых антенны, запитанных в квадратуре, были применены авторами для построения широкополосной щелевой турникетной антенны [3].

Для проведения экспериментальных исследований был изготовлен макет турникетной щелевой антенны. Макет 1 (рис. 7) состоит из первой 2, второй 3, третьей 4 и четвертой 5 пластин, двух фидеров 6 и 7, делителя мощности 8 на два направления. Пластины 2–5 выполнены из лужёной жести толщиной 0,3 мм. Макет изготовлен следующим образом. Были изготовлены два экземпляра пластины размером $400 \times 380 \text{ мм}^2$. В центре каждой пластины параллельно стороне длиной 400 мм прорезана щель с размерами $275 \times 20 \text{ мм}^2$. Первый экземпляр изготовленной пластины применён в образце в качестве первой 2 и третьей 4 пластин с первой щелью 9.



а) макет турникетной антенны
в разобранном виде



б) фотография макета турникетной
антенны

Рис. 7. Макет щелевой турникетной антенны

Для выполнения второй 3 и четвертой 5 пластин второй экземпляр изготовленной пластины был разрезан по прямой линии, совпадающей с осью щели. Полученные две пластины 3 и 5 припаяны к первому экземпляру пластины с образованием второй щели 10 с краями 13. В результате получено устройство, имеющее в плане вид креста. Двугранные углы, образованные пластинами, каждый равен 90° . К первой пластине рядом с краем 14 щели 9 припаяна оплётка фидера 7 – коаксиального кабеля РК-50-2-21; на участке непосредственно за краем 14 внешний проводник кабеля

удалён, центральный проводник 11 коаксиального кабеля 7 продолжен в область щели 9 и припаян к центральному проводнику первого согласующего отрезка кабеля, внешний проводник которого припаян ко второй пластине 3 (на рис. не показано). Расстояние от места припайки оплётки кабеля к пластине до узкой (нижней) кромки щели равно 55 мм. К пластине 5 в окрестности кромки 13 щели 10 припаяна оплётка фидера 6 – коаксиального кабеля РК-50-2-21; на участке непосредственно за кромкой 14 внешний проводник кабеля удалён, центральный проводник 12 кабеля продолжен в область щели и припаян к центральному проводнику второго согласующего отрезка кабеля, внешний проводник которого припаян к четвёртой пластине 3 (на рис. не показано) [2]. Места распайки фидеров к пластинам разнесены по разные стороны от центра щелей.

В качестве делителя мощности 8 на два направления использован 3 дБ квадратурный направленный ответвитель на связанных полосковых линиях, который, как известно, обеспечивает деление мощности на две равные части и 90° сдвиг по фазе между выходными сигналами.

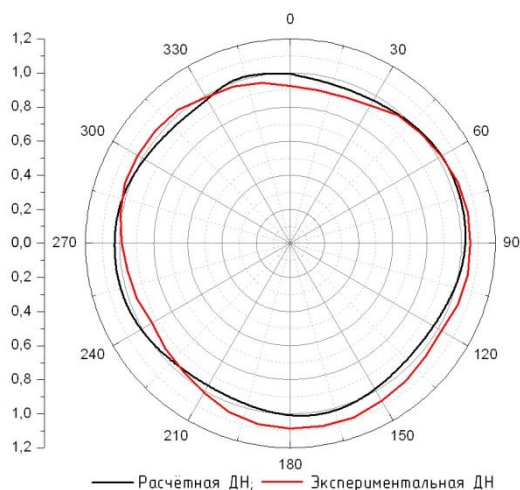


Рис. 8 Диаграммы направленности в плоскости Е турникетной щелевой турникетной щелевой антенны

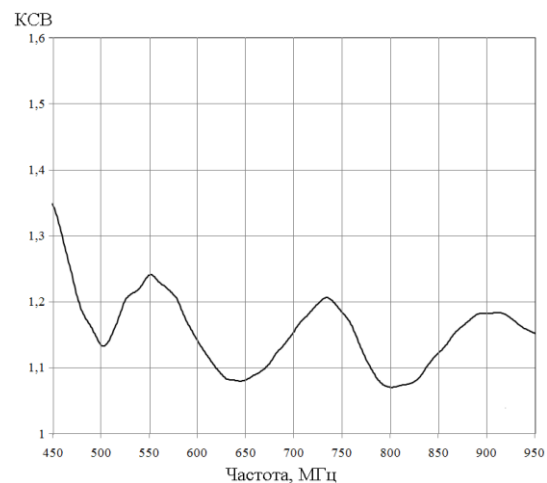


Рис. 9 Зависимость от частоты КСВ щелевой турникетной антенны

На рис. 8 приведены нормированные расчётная и экспериментальная ДН щелевого турникетного излучателя. Нормировка диаграммы выполнена относительно среднеквадратичного уровня напряжённости электрического поля в плоскости вектора Е.

Из рассмотрения графиков на рис. 8 видно, что ДН турникетной антенны практически симметричны относительно направления, составляющего угол 45° относительно пластин со щелями; отклонения экспериментальных ДН антенны от круга не превышают величину ± 1.2 дБ.

Измеренная на макете турникетной антенны зависимость КСВ от частоты приведена на рис. 9.

Заключение

1. Показано, что согласование щелевой антенны с коаксиальным кабелем при известном ранее устройстве возбуждения антенны, при котором внешний проводник кабеля гальванически соединён с одним краем щели, а центральный проводник гальванически соединён с другим краем щели, выполняется в полосе частот, составляющей примерно 5 % от средней частоты рабочего диапазона частот.

2. Применение согласующего устройства в виде отрезка коаксиального кабеля с режимом холостого хода на конце позволяет увеличить полосу частот согласования примерно до 30 % от средней частоты рабочего диапазона частот.

3. Применение согласующего устройства в виде отрезка коаксиального кабеля с режимом холостого хода на конце и пассивных щелей позволяет увеличить полосу частот согласования примерно 60 % от средней частоты рабочего диапазона частот.

4. Щелевая турникетная антенна формирует практически круговую диаграмму направленности в горизонтальной плоскости с горизонтальной поляризацией поля излучения и обеспечивает широкую полосу согласования антенны с фидером.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках комплексного проекта по договору №02.G25.31.0046 между Минобрнауки РФ и ОАО «ЧРЗ Полет» в кооперации с головным исполнителем НИОКТР – ЮУрГУ (НИУ)

Библиографический список

1. Сазонов, Д.М. Антенны и устройства СВЧ: Учеб. для радиотехнич. спец. Вузов/ Д.М. Сазонов. – М.: Высш. шк., 1988. – 432 с.
2. Широкополосная турникетная антенна: пат. 2401492 Рос. Федерация МПК⁷ Н 01 Q 13/ 00 / Войтович Н.И., Клыгач Д.С., Репин Н.Н. – № 2009133771/07, 08.09.2009. приоритет 08.09.2009.
3. Voytovich N.I., Klygach D.S., Repin N.N. Slot turnstyle antenna. 2013 7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), IEEE Xplore. pp. 1209–1212.

[К содержанию](#)