

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВХОДНЫХ ЦЕПЕЙ ПРИЕМНЫХ ТРАКТОВ БОРТОВЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Р.В. Шаповал
(представил проф. А.М. Сотников)

В настоящее время известны различные защитные устройства входных цепей приемных трактов, способные противостоять мощным импульсным излучениям [1]. Однако, применение таких защитных устройств в бортовых РЭС невозможно ввиду больших энергозатрат, необходимости регулировки по уровню защищаемой мощности. Нами предлагаются принципы построения защитных устройств, которые могут быть использованы в бортовых РЭС.

Введение. На рис. 1 представлена одна из предлагаемых моделей защитного устройства [1].

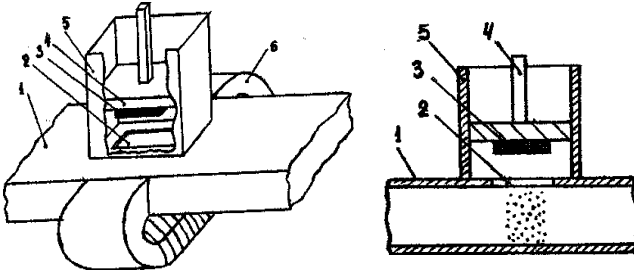


Рис. 1. Модель защитного устройства поршневого типа:
1 – волновод; 2 – щель в середине широкой стенки волновода;
3 – радиоизотопное покрытие; 4 – подвижный поршень;
5 – камера для движения поршня; 6 – соленоид

Устройство для защиты приемного тракта бортовой РЭС (рис. 1) содержит волновод, в середине широкой стенки которого выполнена продольная щель с размерами $l > d$, $d < \lambda$, где d – ширина щели; l – длина щели; λ – длина электромагнитной волны. Щель закрыта подвижным поршнем, установленным в камере, которая закреплена на внешней поверхности широкой стенки волновода симметрично щели. Сторона по-

Отформатировано: Отступ: Первая строка: 0,75 см, Междустр.интервал: множитель 1,07 ин, Узор: Нет (Белый)

Отформатировано: По левому краю, Отступ: Первая строка: 0 см, Междустр.интервал: одинарный, Узор: Нет

Отформатировано: По центру, Отступ: Первая строка: 0,01 см, Справа: 1,1 см, Междустр.интервал: множитель 1.07 ин, Узор: Нет (Белый)

Отформатировано: Шрифт: 9 пт, Цвет шрифта: Авто, русский, разреженный на 0,3 пт

движного поршня, обращенная к щели, частично покрыта радиоактивным веществом, а в области щели установлен соленоид.

Устройство работает следующим образом. Приближая или удаляя подвижный поршень относительно щели, радиоизотопное вещество, размещенное на нижнем торце поршня, ионизирует воздух внутри волновода в области расположения щели, создавая регулируемую начальную концентрацию электронов. Чтобы уменьшить диффузию электронов на стенки волновода, в области щели установлен соленоид, создающий поперечное постоянное магнитное поле. При приходе информационного (полезного) сигнала он проходит через защитное устройство без искажения и затухания. При воздействии мощного СВЧ электромагнитного импульса внутри волновода под щелью за счет СВЧ импульса будет резко увеличиваться концентрация электронов уже образованной радиоизотопным источником слабоионизированной плазмы до критической. Проводимость плазмы возрастает на несколько порядков, происходит разряд промежутка под щелью, замыкая мощный СВЧ электромагнитный импульс и не пропуская его во входные цепи приемного тракта РЭС. Так осуществляется защита входных цепей приемного тракта радиоэлектронных систем от воздействия мощных помеховых сигналов.

Таким образом, для уменьшения мощности СВЧ электромагнитного импульса ниже пороговой, необходимо увеличивать уровень начальной концентрации и регулировать ее величину за счет изменения интенсивности радиоизотопного источника при движении подвижного поршня относительно щели в волноводе. Снижение диффузии электронов из области плазмы достигается путем создания в области щели поперечного магнитного поля [2]. Например, при величине магнитного поля $H = 1$ кЭ коэффициент диффузии уменьшается на два порядка, а время нарастания плотности плазмы до критического уровня уменьшается в 1,5 – 2 раза и становится менее 10^{-8} с. Величина магнитного поля выбирается из тех соображений, чтобы ларморовский радиус был меньше характерного размера волновода.

Продольная щель в широкой стенке волновода и в ее середине, как известно [3], не излучает и представляет собой малую неоднородность в волноводе, не вносит потерь, так как она не пересекает линий СВЧ тока, а направлена вдоль них. Так как используемая нами неоднородность не вносит отражения мощности, то коэффициент стоячей волны уменьшается.

На рис. 2 приведена еще одна модель устройства для защиты приемного тракта от воздействия мощных электромагнитных импульсов, где обозначено: 1 – волновод, 2 – щель в широкой стенке волновода, 3 – пластина с фиксирующей пружиной 7, регулирующей открытие и закрытие щели, 4 – радиоизотопное покрытие, нанесенное на поверхность пластины 3, обращенной в сторону щели 2, 5 – соленоид.

Принцип действия предлагаемого защитного устройства точно такой же, как и принцип действия защитного устройства, изображенного на рис. 2. Регулируя пластинкой 3 открытие и закрытие щели, радиоизотопное покрытие 4 создает внутри волновода 1 в области щели регулируемую начальную концентрацию электронов, способствующую значительному снижению пороговой мощности, поступающей во входные щели приемного устройства.

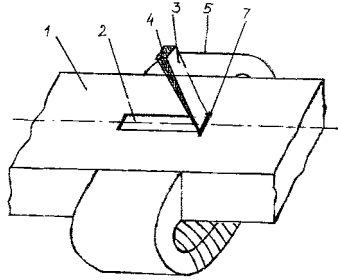


Рис. 2. Модель защитного устройства

Относительно выбора радиоизотопного источника. Для создания предварительной ионизации газа в волноводе целесообразно использовать α -частицы, излучаемые Po-210, Po-208 и Pu-238. Из перечисленных радиоизотопных веществ лучше всего подходят Po-208 или Pu-238, имеющие период полураспада 3 года и 90 лет соответственно [4], что согласуется со временем эксплуатации РЭС. Кроме того, Pu-238 не излучает γ -частицы вообще, а у Po-210 и Po-208 почти полностью отсутствует γ -излучение. Это свойство делает перечисленные радиоизотопные источники радиационно безопасными в эксплуатации, то есть не требуют специальных защитных устройств.

Оценим необходимую активность α -радиоизотопного источника. Можно показать, что концентрация электронов n_0 , создаваемая в газе источником радиоактивности с интенсивностью q и с током за счет рекомбинации I_p определяется соотношением [5]:

$$n(t) = \sqrt{\frac{q}{\alpha_p}} \cdot \frac{\exp\{2\sqrt{\alpha_p q} t\} - 1}{\exp\{2\sqrt{\alpha_p q} t\} + 1}.$$

Для случая рекомбинации парными соударениями ($I_p = \alpha_p n^2$) в стационарном случае имеем

$$n_0 = \sqrt{\frac{q}{\alpha_p}}.$$

Следовательно, при удельной активности α -источника порядка 0,1...10 Кюри и давлении воздуха в одну атмосферу концентрация электронов в волноводе с характерным размером 5×5 см будет $n_0 = (10^8 \div 10^{10} \text{ см}^{-3})$ (на один акт распада приходится 10^5 актов ионизации),

а при активности в один Кюри массой 21 мг создается $3,7 - 10^{10}$ расп/с [4]. Концентрация электронов в волноводе размером $7,2 \times 3,4$ мм² ($\lambda \sim 8$ мм) при атмосферном давлении может достигать величины $n_0 = 10^8 \dots 10^{12}$ см⁻³ в зависимости от интенсивности источника ионизации. Известны эксперименты по ионизации воздуха α -частицами, где $n_0 = 10^6$ см⁻³ на удалении 0,5 м. Отметим, что ионизация α -частицами является сравнительно равномерной по длине пробега, что важно для обеспечения устойчивого электрического пробоя в волноводе.

Разработка защитного устройства входных цепей приемного тракта бортовой радиоэлектронной системы штыревого типа. Рассмотренное выше устройство для защиты приемного тракта РЭС все же имеет некоторую ограниченную возможность регулировки интенсивности источника ионизации, а следовательно, недостаточно высокую чувствительность к изменению электромагнитного поля. Для увеличения чувствительности устройства к изменению мощности электромагнитного поля источник ионизации помещается внутри волновода, а для регулировки порога срабатывания источник ионизации перемещается с помощью перемещения диэлектрического стержня. Такое защитное устройство представлено на рис. 3.

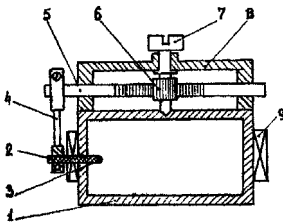


Рис. 3. Модель защитного устройства
1 – волновод; 2 – диэлектрический штырь; 3 – радиоизотопное вещество; 4 – поводок; 5 – подвижная рейка; 6 – шестерня; 7 – регулировочный винт; 8 – корпус; 9 – соленоид

Устройство, представленное на рис. 3 работает следующим образом. Как было показано на рис. 1, внутри волновода за счет электрического поля электромагнитной волны, проходящей по волноводу, будет создаваться некоторая ионизация газа, находящегося внутри волновода, с плотностью электронов, соответствующей распределению электрического поля внутри волновода. Также было показано, что проводимость участка ионизации очень мала даже при прохождении мощной

СВЧ волны, что не приводит к отражению электромагнитной волны на любом участке ионизированного газа. Радиоизотопное вещество, расположенное на конце диэлектрического штыря, приводит к созданию внутри волновода вспомогательной низкотемпературной слабоионизованной плазмы, расположенной в непосредственной близости от торца диэлек-

трического штыря, где размещено радиоизотопное покрытие. Так как напряженность электрического поля (рис. 1) имеет максимальное значение в центре волновода, то в этом месте за счет ионизации газа электрическим полем и источником α -частиц будет максимальная концентрация свободных электронов. Приходящий информационный (полезный) сигнал не вызывает резкого возрастания проводимости плазмы, так как имеет малую величину напряженности электрического поля и не вызывает замыкания (отражения) этого сигнала через участок ионизации. Другими словами, информационный сигнал проходит по волноводу во входные цепи приемника без искажения и потерь. При приходе мощного помехового СВЧ сигнала внутри волновода в области расположения источника α -частиц будет создаваться плазма с высокой проводимостью (концентрация электронов в плазме становится выше критической), замыкая (отражая) это электромагнитное излучение и не пропуская его во входные цепи приемного тракта, то есть защищая приемный тракт радиоэлектронной системы от воздействия мощных СВЧ электромагнитных импульсов. После прекращения воздействия помехи проводимость плазмы резко уменьшается, и устройство продолжает работать в нормальном штатном режиме.

Перемещая диэлектрический штырь с нанесенным на его торец радиоизотопным покрытием с помощью поводка, рейки, шестерни и регулировочного винта, тем самым будем регулировать порог срабатывания защитного устройства, то есть будем регулировать уровень защищаемой мощности. Для уменьшения времени срабатывания защитного устройства, уменьшения скорости потерь электронов из области пробоя на стенках волновода необходимо в области нахождения α -источника создавать постоянное магнитное поле с помощью соленоида, устанавливаемого на боковых стенках волновода. Таким образом, при увеличении мощности СВЧ электромагнитного импульса, воздействующего на приемный тракт РЭС, необходимо увеличивать уровень начальной концентрации электронов в месте предварительного разряда, уменьшать частоту диффузии электронов из области пробоя, накапливать в газе долгоживущие метастабильные атомы или молекулы азота и кислорода с высоким уровнем возбуждения, снижающие потенциал ионизации, а следовательно, и уровень пороговой мощности. Предполагаемая модель защитного устройства входных цепей приемного тракта РЭС позволяет уменьшить время переключательных процессов более чем на 10^2 , в несколько раз уменьшить критическую мощность пробойного электрического поля.

Разработка устройства защиты входных цепей приемных трактов бортовой оптикоэлектронной системы с помощью металличе-

ской сетки с радиоизотопным покрытием. Для защиты входных цепей приемных трактов оптикоэлектронных систем (например, телевизионных систем) используют твердотельные оптические фильтры. Однако такие устройства не эффективны при воздействии внедиапазонного излучения, в частности, при воздействии на телевизионную систему СВЧ излучения с различными видами модуляции. Не эффективно для защиты таких систем и использование регулярных электродинамических структур, установленных на борту летательного аппарата, например, металлических сеток. Металлическая сетка с определенным шагом, размещенная на внешней поверхности обтекателя, защищает оптико-электронную систему от воздействия мощных СВЧ излучений. Известно, что металлы (в том числе и металлические сетки) обладают высокой отражательной способностью и поэтому широко используются для экранировки электромагнитных излучений. Однако, нанесенная на внешнюю поверхность обтекателя металлическая сетка не препятствует прохождению электромагнитных волн с длиной волны $\lambda < l$, где l – характерный размер ячейки сетки. Сделать же шаг металлической сетки очень малым невозможно, так как тогда эта сетка будет отражать не только мощную импульсную СВЧ помеху, но и полезный сигнал.

Нами предлагается устройство для защиты приемного тракта оптико-электронной системы, структурная схема которого представлена на рис. 4 [1].

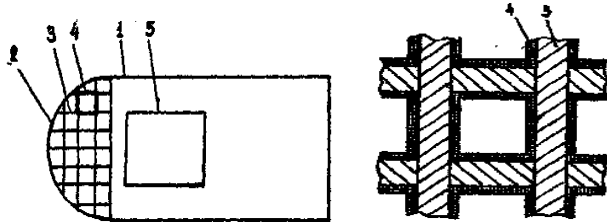


Рис. 4. Структурная схема защитного устройства:
 1 – корпус летательного аппарата; 2 – обтекатель;
 3 – металлическая сетка; 4 – радиоизотопное покрытие;
 5 – оптикоэлектронная система

Устройство, представленное на рис. 4, работает следующим образом. Радиоизотопное покрытие, размещенное на поверхности металлической сетки, которая, в свою очередь, установлена на внутренней поверхности обтекателя, создает предварительную ионизацию газа внутри обтекателя непосредственно перед чувствительным элементом оптико-электронной

системы. Защита оптикоэлектронной системы как раз и осуществляется плазмой, образованной внутри обтекателя как за счет предварительно созданной радиоизотопным покрытием, так и за счет энергии приходящего СВЧ мощного излучения. Наличие предварительно созданной слабоионизованной плазмы существенно снижает пробивное напряжение СВЧ разряда и время создания плазмы с критической концентрацией электронов. При падении мощного электромагнитного импульса на предварительно созданную плазму (с концентрацией электронов порядка $n_e \sim (10^8 \div 10^{10})\text{см}^{-3}$ СВЧ возникает при плотностях потока энергии импульса, достаточных для функционального поражения элементов приемного тракта. Важным обстоятельством, снижающим величину пробивного напряжения по сравнению со свободным пространством, является наличие конструктивных элементов в области ионизованного газа. Определить влияние геометрии элементов конструкции, однако, можно только экспериментально.

Аналогично предыдущему устройству для защиты приемных трактов оптикоэлектронных систем нами предлагается еще одно устройство, показанное на рис 5.

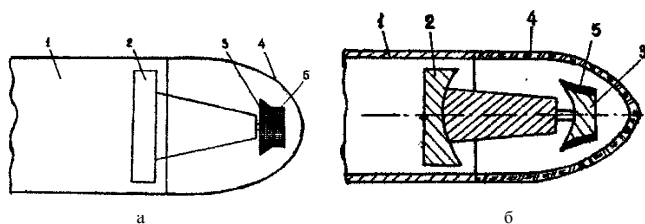


Рис. 5. Структурная схема защитного устройства:
 а – структурная схема; б – структурная схема в разрезе;
 1 – головка самонаведения; 2 – первичное зеркало;
 3 – вторичное зеркало; 4 – обтекатель;
 5 – радиоизотопное покрытие

Устройство для защиты приемного тракта оптикоэлектронной системы включает корпус 1, впереди которого установлен обтекатель. В передней части ЛА шарнирно и соосно закреплены первичное и вторичное зеркала, закрытые обтекателем. На внешней поверхности вторичного зеркала нанесено радиоизотопное покрытие, создающее предварительную ионизацию газа внутри обтекателя.

Принцип работы данного устройства аналогичен принципу действия предыдущего устройства для защиты оптикоэлектронных систем.

Радиоактивное покрытие создает внутри обтекателя предварительную слабоионизованную плазму. При воздействии мощного электромагнитного импульса на предварительно созданную плазму СВЧ пробой возникает при плотностях потока энергии, превышающих уровень энергии для поражения и вывода из строя входных устройств приемного тракта оптикоэлектронной системы.

Предложенное техническое решение может быть использовано не только для защиты телевизионных систем, но и других бортовых РЭС, использующих обтекатели. До настоящего времени защиты от СВЧ излучения для оптикоэлектронных систем не имелось. Это связано с тем, что спектр собственного излучения плазмы СВЧ разряда высокого давления лежит в другом диапазоне, чем излучение от цели, а самое главное, значительная доля энергии СВЧ излучения переходит в кинетическую энергию молекул газа.

Таким образом, рассмотренные выше устройства для защиты оптикоэлектронных систем позволяют снизить плотность потока энергии мощных импульсных излучений в воздухе при атмосферном давлении на 30 ... 35 дБ, тем самым защищая приемные тракты от воздействия импульсных помех. Такие оценки проводились по методике предложенной в работах.

Выводы. Таким образом, для решения задачи защиты входных цепей приемного тракта бортовых радиоэлектронных систем от воздействия мощных импульсных излучений требуется разработка новых и совершенствование известных методов защиты, обладающих минимальными массогабаритными параметрами, минимальными энергетическими затратами и надежной защитой от импульсных перенапряжений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клич С.М. Проектирование СВЧ устройств радиолокационных приемников. – М.: Сов. радио, 1973. – 248 с.
2. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Физическая кинетика. – М.: Наука, 1979. – 456 с.
3. Экспериментальная ядерная физика. Т.1 / Под ред. Сэгре. – М.: ИЛ, 1955. – 199 с.
4. Лебедев И.В., Семенча М.В. Квазиактивный защитный ограничитель СВЧ мощности // Радиотехника. – 2001. – №2. – С. 17 – 21.
5. Крылов В.А., Юченкова Т.В. Защита от электромагнитных излучений. – М.: Сов. радио, 1972. – 182 с.

Поступила 22.08.2004

ШАПОВАЛ Роман Владимирович, зам. начальника кафедры ХИВВС, в 1992 году окончил ХВВКИУРВ им. Крылова, в 2000 г. – факультет подготовки командно-штабного и руководящего инженерного состава ХВУ. Область научных интересов – защита при-

емных трактов радиоэлектронных систем.
