

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ С РАДИОИЗОТОПНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ, ОСНОВАННЫХ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАДИОИЗОТОПНЫХ ИСТОЧНИКОВ

С.М. Мешеряков

(Объединенный научно-исследовательский институт ВС, Харьков)

Предложены принципы построения защитных устройств, позволяющие создавать устройства защиты входных цепей приемных трактов бортовых РТС при ограничениях на весогабаритные характеристики и энергопотребление.

защитные устройства, радиоизотопные включения, радиоизотопный источник

Введение. Анализ последних достижений в области защиты приемных трактов радиотехнических систем от мощных импульсных помех показал, что эта сложная техническая задача может быть решена на основе применения защитных устройств во входных цепях, к которым могут быть отнесены газоразрядные [1, 2], полупроводниковые [3, 4], вакуумные [5, 6], защитные устройства на основе сверхпроводимости [7], а также метода предложенного нами [8], основанного на использовании радиоизотопных источников для создания предварительной ионизации во входных цепях приемного тракта.

Анализ возможности исследования вышеназванных защитных устройств в бортовых радиотехнических системах показал, что в виду больших габаритов, необходимости использования дополнительных источников питания, искажения принимаемых сигналов из-за внесения неоднородности в тракт приема и невозможности регулировки уровня пороговой мощности помех, не могут быть использованы в бортовых радиотехнических системах.

Применение же в целях защиты радиоизотопных источников не возможно без разработки принципов построения защитных устройств и анализа их характеристик. Таким образом, целью статьи является разработка принципов построения защитных устройств бортовых радиотехнических систем на основе использования источников ионизации радиоизотопного типа, анализ их принципов действия.

1. Разработка устройства защиты входных цепей приемных трактов бортовых РТС поршневого типа. На рис. 1 представлена одна из предлагаемых моделей защитного устройства.

Устройство для защиты приемного тракта бортовых РТС (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 подвижного поршня, обращенная к щели, частично покрыта радиоактивным веществом, а в области щели установлен соленоид.

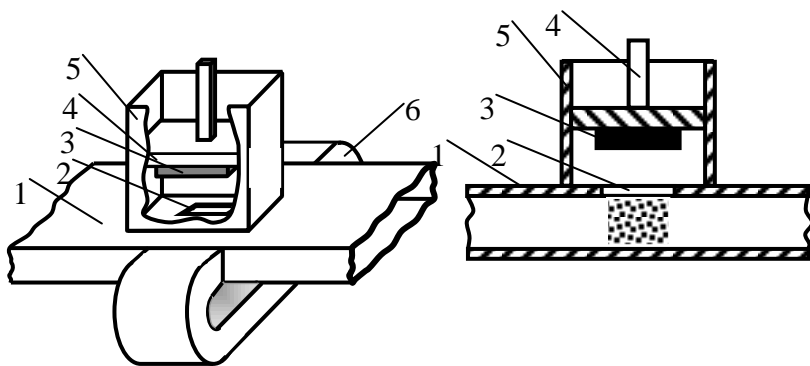


Рис. 1. Модель защитного устройства поршневого типа:
 1 – волновод; 2 – щель в середине широкой стенки волновода;
 3 – радиоизотопное покрытие; 4 – подвижный поршень;
 5 – камера для движения поршня; 6 – соленоид

Устройство 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 слабоионизованной 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 [9]. 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 [10], 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

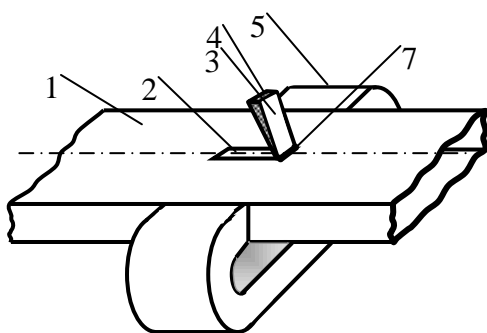


Рис. 2. Модель защитного устройства

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. 1. Регулируя пластиной 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 цепи приемного устройства.

Относительно выбора радиоизотопного источника. Для создания предварительной ионизации газа в волноводе целесообразно использо-

вать 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 [10], 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 [11].

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

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

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 $n_0 = (10^8 \div 10^{10})$ см [12] (на один акт распада приходится 10^5 актов ионизации), а при активности в один Кюри массой 21 мг создается $3,7 \cdot 10^{10}$ расп/с [10]. 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 [13], где $n_0 = 10^6$ см⁻³ на удалении 0,5 м. Отметим, что ионизация α -частицами является сравнительно равномерной по длине пробега [14], что важно для обеспечения устойчивого электрического пробоя в волноводе.

2. Разработка устройства защиты входных цепей приемных трактов с помощью металлической сетки с радиоизотопным покрытием. Для защиты входных цепей приемных трактов оптикоэлектронных систем (например, телевизионных систем) используют твердотельные оп-

тические 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 оптикоэлектронную систему от воздействия мощных СВЧ излучений. Известно [15], 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 $\lambda < \ell$, 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-

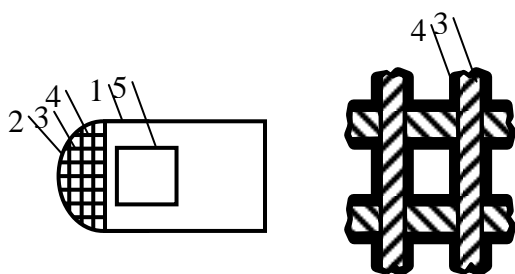


Рис. 3 Структурная схема защитного устройства:
 1 – корпус летательного аппарата, 2 – обтекатель,
 3 – металлическая сетка, 4 – радиоизотопное покрытие, 5 – оптикоэлектронная система

электронной системы, структурная схема которого представлена на рис. 3. Устройство 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 $n_{e0} \sim (10^8 \div 10^{10}) \text{см}^{-3}$) 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. 4.

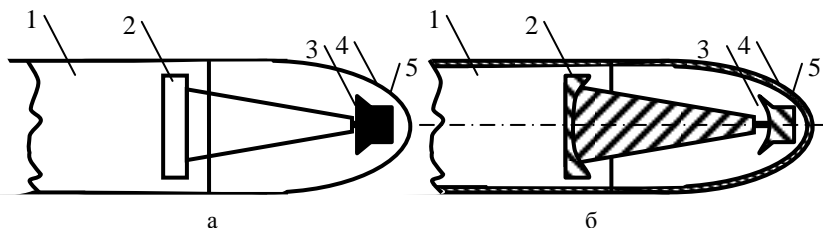


Рис. 4. Структурная схема защитного устройства:

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 РТС, 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 объекта, 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.

Выводы. Предложенные нами принципы построения защитных устройств позволяет создавать устройства защиты входных цепей приемных трактов бортовых РТС при ограничениях на весогабаритные характеристики и энергопотребление.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ситнов Х.В. Направления модернизации российского вооружения // *Военный парад*. – 2000. – № 5. – С. 5 – 6.
2. Силкин А.И., Бренер А.Б., Дробышевский А.В. Универсальные беспилотники // *Независимое военное обозрение*. – 2003. – № 4. – С. 4.
3. Рудов В.И. Воздушный компонент американской системы ПРО на ТВД // *Зарубежное военное обозрение*. – 1998. – № 5. – С. 18 – 61.
4. Рудов В.И. Американский противоракетный комплекс ТНААД // *Зарубежное военное обозрение*. – 1998. – № 9. – С. 21 – 28.
5. Блудов С.П., Гадецкий Н.П., Кравцов К.А. и др. Генерация мощного импульсивного СВЧ излучения и его воздействие на электронные приборы // *Физика плазмы*. – 1994. – Т. 20, № 7, 8. – С. 643 – 647.
6. Altgilbers L.L., Ivanov V.C., Sochenko V.A. Blowup-magnetic generators parameters investigations // *Book of Abstracts EUROEM'98*. – June 14-19, 1998. – Tel. Aviv, Israel. – P. 129.
7. Антупин И.И., Годовицын В.А. Влияние мощных импульсивных микроволновых помех на полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы // *Зарубежная электроника*. – 1995. – № 1. – С. 37.
8. Мецзяков С.М. Определение критерия пробоя в воздухе при прохождении через него электрического импульса // *Вестник НТУ «ХПИ»*. – Х.: НТУ «ХПИ». – 2004. – Вып. 47. – С. 91 – 97.
9. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. *Физическая кинетика*. – М.: Наука, 1979. – С. 308 – 319.
10. *Экспериментальная ядерная физика. Т.1 / Под ред. Сэгре*. – М.: ИЛ, 1955. – 199 с.
11. *Краткий справочник инженера-физика. Ядерная и атомная физика*. – М.: Атомиздат, 1961. – 319 с.
12. Кепнер К. *Радиохимия*. – М.: Атомиздат, 1978. – 231 с.
13. Пшежецкий С.Я., Дмитриев М.Т. *Радиационные физико-химические процессы в воздушной среде*. – М.: Атомиздат, 1978. – 182 с.
14. Шпольский Э.В. *Атомная физика*. – М.: ГИТТЛ, 1950. – Т. 2. – 395 с.
15. Крылов В.А., Юченкова Т.В. *Защита от электромагнитных излучений*. – М.: Сов. радио, 1972. – 182 с.

Поступила 21.07.2005

Рецензент: доктор технических наук, старший научный сотрудник В.И. Антюфеев,

