

УДК 621.396.6

И.А. Капура, Г.Ф. Коняхин, А.М. Сотников

Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ВТСП-ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ

Проведены экспериментальные исследования защитного устройства, выполненного на копланарной линии передач из высокотемпературного сверхпроводника (ВТСП). Выяснено, что наблюдается эффект значительного роста затухания в ВТСП-линии при увеличении входной мощности. Построены графики зависимости изменения затухания в исследуемой структуре от уровня импульсной СВЧ-мощности на входе КПЛ при температуре 77К.

Ключевые слова: копланарная линия, высокотемпературный сверхпроводник, волноводно-коаксиальный переход.

Введение

Постановка задачи и анализ литературы. Одним из наиболее очевидных применений сверхпроводящих линий передачи является построение на их основе устройств защиты радиоэлектронной аппаратуры от мощных электромагнитных излучений помех [1 – 3]. При этом сам воздействующий сигнал управляет переходом защитного устройства или его элементов из сверхпроводящего состояния в нормальное. При этом перепад сопротивлений может достигать 10^3 и более.

Целью данной работы является экспериментальное подтверждение работоспособности защитных свойств устройств из ВТСП.

Основная часть

1. Параметры защитного устройства. Для экспериментальных исследований была изготовлена КПЛ в виде меандровой структуры, топология которой приведена на рис. 1.

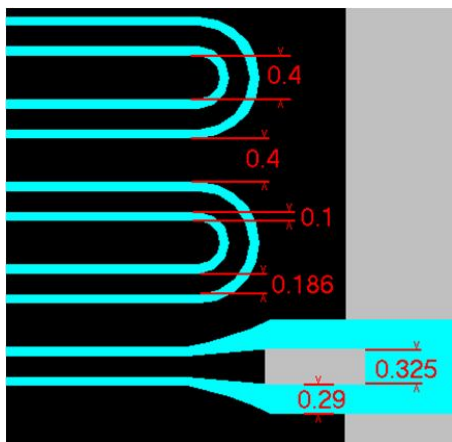


Рис. 1. Топология изготовления копланарной линии передач

На рис. 2 представлен внешний вид бокса для размещения исследуемой структуры.



Рис. 2. Внешний вид бокса для размещения исследуемой структуры

Характерные размеры структуры следующие: ширина линии 0,186 мм; зазор между линией и землей 0,1 мм; расстояние между секциями структуры – 0,4 мм; длина секций $\approx 18,25$ мм; количество секций – 25; общая длина КПЛ $l \approx 506$ мм; толщина подложки $h = 0,5$ мм; размер подложки $\sim 20 \times 20$ мм; материал подложки – Al_2O_3 ; материал проводника – $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$; толщина пленки из ВТСП $d = 0,2$ мкм.

2. Результаты эксперимента и их обсуждение. Структурная схема измерительной установки приведена на рис. 3. Импульсы СВЧ-мощности частотой $f = 9,3$ ГГц и длительностью $\tau_{и} = 20$ мкс формировались с помощью магнетрона ($\Gamma_{свч}$) и генератора импульсов прямоугольной формы Г5-54 ($\Gamma_{имп}$).

Выходная мощность магнетрона изменялась в пределах 0 – 12 Вт и контролировалась по изменению анодного тока I_a (А) с использованием калибровочной кривой зависимости выходной мощности от тока $P_w = f(I_a)$. Копланарная линия, изготовленная из ВТСП-пленки состава $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ на под-

ложке Al_2O_3 , размещалась в специально разработанном боксе (ИО) (рис. 2), позволяющим производить откачку воздуха из его объема при дальнейшем его заполнении инертным газом. Бокс помещался в криостат, температура в котором изменялась в пределах 77-296 К. Изменения температуры контролировались датчиком температуры (ДТ), который располагался непосредственно на самом боксе. Бокс с КПЛ включался в СВЧ тракт с помощью коаксиальной линии передачи (РК-50-2-25; $L = 1,19$ дБ/м) вол-

новодно-коаксиальных переходов (ВКП). Для уменьшения мощности, подаваемой в исследуемую КПЛ, во входном СВЧ- тракте установлен аттенюатор с фиксированными потерями (A_t) (-10 дБ). Входной СВЧ-импульс и импульс, прошедший через исследуемую структуру, индицировались с использованием переключателя сигнала, на экране индикаторного устройства (ИУ), функцию которого выполнял осциллограф С1-70.

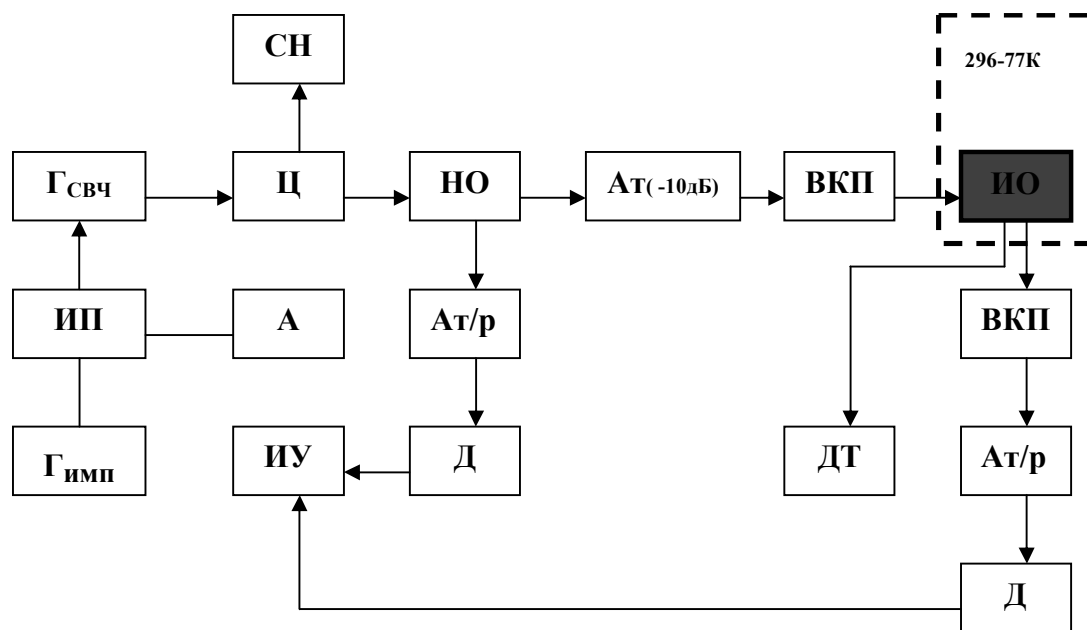


Рис. 3. Структурная схема измерительного стенда:

$G_{свч}$ – СВЧ-генератор (магнетрон); ИП – источник питания; $G_{имп}$ – генератор импульсов прямоугольной формы; А – измеритель постоянного тока (амперметр); Ц – циркулятор; СН – согласованная нагрузка; НО – направленный ответвитель; $A_{т/р}$ – аттенюатор развязывающий; Д – детектор; A_t (-10 дБ) – аттенюатор, потери которого на частоте измерения составляют -10 дБ; ВКП – волноводно-коаксиальный переход; ИУ – индикаторное устройство (осциллограф С1-70); ИО – исследуемая структура (копланарная линия) в боксе, размещенном в криостате, температура в котором изменяется в пределах 296-77 К; ДТ – датчик температуры

Экспериментальное исследование проведено в два этапа. Полученная на первом этапе зависимость изменения затухания ΔL (в раз) в исследуемой структуре (с учетом потерь в передающей линии) от уровня импульсной СВЧ- мощности P_{in} на входе КПЛ, охлажденной до температуры 77К, приведена на рис. 4. Входная мощность P_{in} указана с учетом ослабления на 10 дБ (с помощью A_t (-10 дБ)). На вставке приведена та же зависимость, но изменение потерь в структуре представлено в дБ. Видно, что с увеличением выходной мощности до 200 мВт (точка 1) потери в структуре практически не меняются. Увеличение P_{in} до 350 мВт (точка 2) приводит к росту потерь ΔL почти в два раза, что можно связать с разрушением сверхпроводимости в самой КПЛ СВЧ-током.

Этот эффект достаточно хорошо виден на зависимости мощности, прошедшей через КПЛ, от входной мощности $P_{out} = f(P_{in})$. Дальнейшее увеличение

P_{in} до значения 1080 мВт (точка 3) приводит к достаточно резкому изменению потерь в КПЛ (до 20 раз).

Тестирование структуры при комнатной температуре после проведенных измерений с повышенной мощностью входных импульсов показало, что свойства структуры изменились (последующая проверка состояния структуры показала, что в КПЛ появился непроводящий при комнатной температуре участок линии – микроразрыв).

Второй цикл измерений был проведен после того, как было обнаружено изменение потерь в структуре (вместе с ВКП на участке 1-2 (рис. 4) при температуре 77К. В этой связи, для получения более полной информации была незначительно видоизменена схема измерения (рис. 5). Так, на входе и выходе ВКП были включены измерительные аттенюаторы (A_t/i) типа Д5-5, что позволило контролировать мощность сигнала, поступающего в структуру КПЛ.

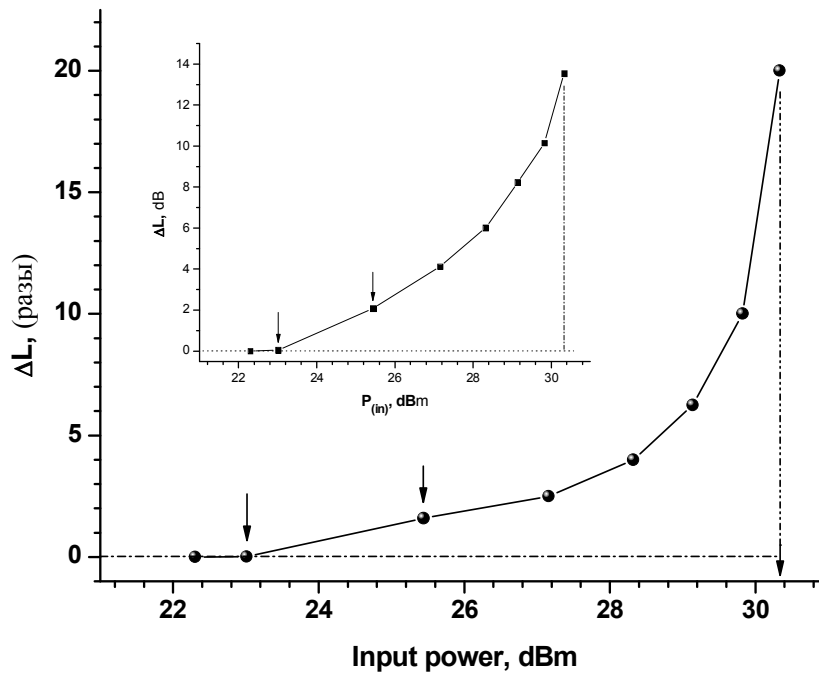


Рис. 4. Зависимость изменения затухания ΔL в исследуемой структуре от уровня импульсной СВЧ- мощности P_{in} на входе КПЛ (вставка – ΔL указана в дБ) при температуре 77К

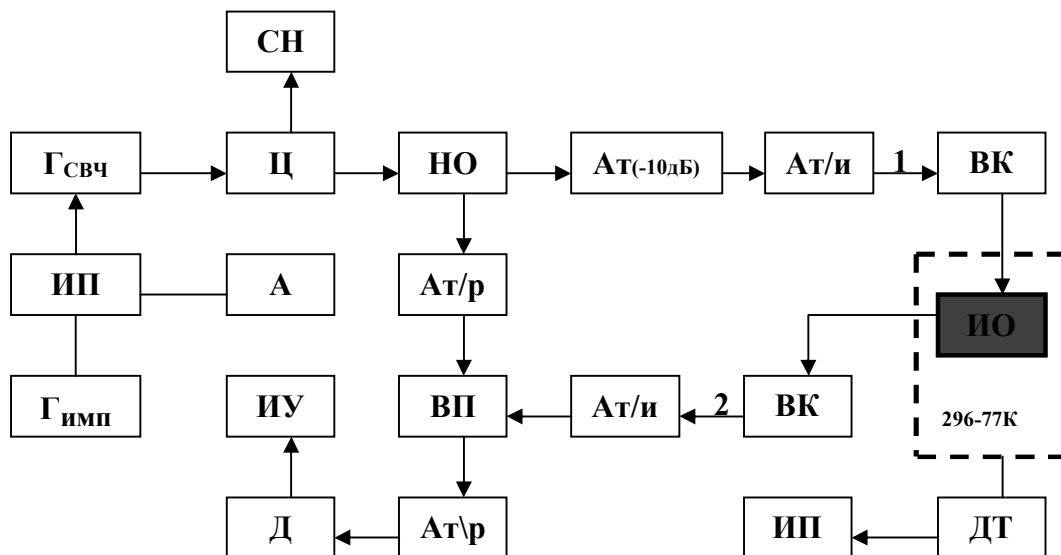


Рис. 5. Структурная схема измерительного стенда:

$G_{свч}$ – СВЧ-генератор (магнетрон М-857; $f = 9,3$ ГГц); ИП – источник питания; $G_{имп}$ – генератор импульсов прямоугольной формы Г5-54; А – измеритель постоянного тока (амперметр); Ц – циркулятор; СН – согласованная нагрузка; НО – направленный ответвитель; $A_{т/р}$ – аттенуатор развязывающий; $A_{т/и}$ – аттенуатор измерительный (Д5-5); Ат (-10 дБ) – аттенуатор, потери которого на частоте измерения составляют -10 дБ; ВП – волноводный переключатель; ВКП – волноводно-коаксиальный переход; ИУ – индикаторное устройство (осциллограф С1-70); ИО – исследуемый объект, размещенный в криостате, температура в котором изменяется в пределах 296-77 К; ИП – измерительный прибор (В7-35); ДТ – датчик температуры; Д – детектор (ДК-В3)

Для удобства контроля и измерения входного и выходного сигнала в тракте был установлен волноводный переключатель (ВП), что позволило исключить один из детекторов и тем самым уменьшить ошибку измерения, которая может быть вызвана неидентичностью характеристик СВЧ-детекторов.

Перед проведением первого цикла измерений были определены потери (ΔL) в структуре (ИО) на участке 1-2 (см. схему измерений рис. 3) при температурах 296К и 77К: $\Delta L = L_{296} - L_{77} = 41 - 25 = 16$ дБ. После проведения измерений было обнаружено, что ΔL изменились и составляют $\Delta L = L_{296} - L_{77} = 44 -$

38 = 6 дБ. Такое изменение потерь указало на необходимость повторных измерений, результаты которых представлены на рис. 6.

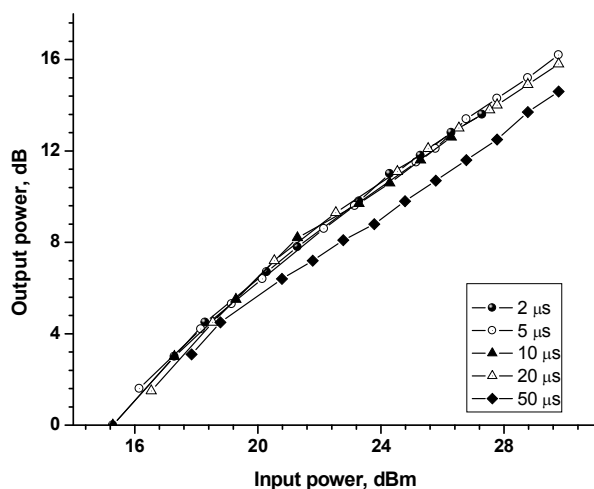


Рис. 6. Зависимость мощности, прошедшей через КПЛ (P_{out}), от входной мощности (P_{in}) при температуре 77К

Видно, что увеличение длительности импульса до 50 мкс при входной мощности $P=600$ мВт и выше, приводит к изменению наклона зависимости $P_{in} = f(P_{out})$ по сравнению с зависимостями для $\tau_{in} = 5$ мкс и $\tau_{in} = 20$ мкс, что, по-видимому, можно объяснить влиянием теплового эффекта (разогрев структуры) на характеристики самой структуры.

Выводы

1. Физическая природа полученной зависимости, временные характеристики переходных процессов при включении и выключении микроволнового поля и влияние различных факторов на наблюдаемый нелинейный эффект требуют дальнейшего изучения.
2. Наблюдается эффект значительного роста затухания в ВТСП линии при увеличении входной

мощности, который можно объяснить переходом ВТСП из сверхпроводящего в резистивное состояние.

Экспериментальные зависимости позволяют утверждать, что рост затухания не связан с медленными тепловыми процессами, которые начинают проявляться при длительностях импульсов ~ 50 мкс.

3. Анализ процессов, происходящих в макете защитного устройства, может быть проведен только после исследования подобного макета (или аналогичного ему) в более широком диапазоне длительностей СВЧ импульсов (хотя бы до ~ 10 нс) и мощностей СВЧ сигнала (от 10 мВт до 10 Вт). Кроме того, желательно проведение экспериментов по оценке искажений СВЧ импульсов, проходящих через макетную структуру. Это позволит провести косвенную оценку широкополосности ВТСП линии, используемой в качестве основы макета защитного устройства, а также возможности работы с длительностями импульсов ~ 1 нс и менее.

Список литературы

1. Алыбин В.Г. Проблемы создания СВЧ защитных устройств для радиолокации и связи / В.Г. Алыбин // 12 th Int. Crutean Conference «Microwave Telecomm - nicootion Technology», 9- 13-September 2002. – P. 15-21.
2. Ропий А.И. Сверхвысокочастотные защитные устройства / А.И. Ропий, А.М. Старик, К.К. Шутков. – М.: Радио и связь, 1993. – 128 с.
3. Капура И.А. Разработка метода защиты радиоэлектронной аппаратуры от воздействия мощных ЭМИ на основе высокотемпературных сверхпроводников / И.А. Капура, Г.Ф. Коняхин, А.М. Сотников // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – X.: ХУПС, 2010. – Вип. 4 (26). – С. 143-147.

Поступила в редколлегию 26.11.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.И. Чумаков, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАХИСНОГО ПРИСТРОЮ НА ОСНОВІ ВТНП-ЛІНІЙ ПЕРЕДАЧІ

І.А. Капура, Г.Ф. Коняхін, О.М. Сотніков

Проведено експериментальні дослідження захисного пристрою, виконаного на копланарній лінії передач із високотемпературного надпровідника. З'ясовано, що спостерігається ефект значного росту загасання у ВТНП лінії при збільшенні входної потужності. Побудовано графіків залежності зміни загасання в досліджуваній структурі від рівня імпульсної НВЧ- потужності на вході КПЛ при температурі 77К.

Ключові слова: копланарна лінія, високотемпературний надпровідник, хвилевідно-коаксіальний перехід.

RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCHES OF THE ACCIDENT PROTECTION DEVICE ON THE BASIS OF HTSC-TRANSFER LINES

I.A. Kapura, G.F. Konjahin, A.M. Sotnikov

Experimental researches of the accident protection device executed on coplanarity of a line of transfers from a high-temperature superconductor are spent. It is found out that the effect of considerable growth of attenuation in HTSC lines is observed at input power increase. Schedules of dependence of change of attenuation in investigated structure from level of pulse microwave capacity on input are constructed at temperature 77K.

Keywords: a coplanarity line, a high-temperature superconductor, waveguide-coaxial transition.