УДК 621.317.78 : 537.227

И. И. КЛЮЧНИК, канд. техн. наук, *П. Г. БАБЕНКО*

ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТРАКТОВ СВЧ

В технике СВЧ тепловые преобразователи (калориметрические, термисторные, термоэлектрические) являются традиционными средствами измерения. В меньшей степени известно применение тепловых генераторных преобразователей на основе пироэлектрического эффекта, хотя такие их характеристики, как высокая чувствительность, неселективность, стабильность параметров, позволяют успешно использовать их при регистрации ИК и светового излучения [1;2].

В диапазоне СВЧ пироэлектрические преобразователи (ПЭП) наиболее перспективны в качестве базовых элементов устройств контроля и измерения импульсной и пиковой мощности [3]. Способность выдерживать значительные тепловые перегрузки, радиационная стойкость, большой динамический диапазон (для лучших материалов более 60 дБ), и значительное быстродействие (10^{-11}с) отводят им особое место при исследовании энергетических параметров сигналов и характеристик трактов различных высокоэнергетических систем СВЧ, работающих, как правило, в импульсном режиме.

Принцип действия преобразователя основан на пироэлектрическом эффекте, заключающемся в изменении спонтанной поляризации некоторых полярных диэлектриков при изменении их температуры. ПЭП СВЧ представляет собой пироэлектрический чувствительный элемент (обычно пластину пироэлектрического материала с нанесенными на плоскости полярных срезов электродами), встроенный в отрезок линии передачи и включенный в измерительную цепь.

Характеристики ПЭП, главным образом, определяются свойствами материалов чувствительных элементов. Выбор материалов для пироэлементов СВЧ осуществляется в соответствии с материаловедческим критерием, который учитывает свойства как пироэлектрика, так и металла электрода, поглощающего СВЧ-излучение за счет конечной проводимости: $M = \gamma\sqrt{K_2/K_1 c_1 c_2 \rho_1 \rho_2}$, где γ — пироэлектрический коэффициент; $c_1 c_2, \rho_1, \rho_2, K_1, K_2$— удельная теплоемкость, плотность и теплопроводность поглощающего электрода и пироматериала.

Это выражение получено на основании анализа теплового режима трехслойного пироэлемента [4]. Оно позволяет оценить эффективность различных материалов его слоев. Учет параметров пироэлектрика и электродов обусловлен соизмеримостью толщины слоев реальных пироэлементов с глубиной проникновения СВЧ-излучения в их материалы, т. е. объемным характером поглощения мощности всеми слоями. Причем чувствительность преобразователя максимальна при соизмеримости толщины поглощающего электрода с глубиной скин-слоя на частоте СВЧ-сигнала.

Число применяемых пироэлектриков непрерывно растет, однако, несмотря на их многообразие, наиболее используемыми в СВЧ-диапазоне остаются титанат и ниобат лития, а также керамики типа ЦТС и ТБК.

На основе этих материалов для работы в составе измерителей большого уровня импульсной мощности СВЧ разработаны конструкции пироэлектрических преобразователей, обеспечивающих регистрацию как периодических, так и одиночных импульсов длительностью от 0,5 до 100 мкс, предназначенных для волноводных трактов с площадью поперечного сечения 72 × 34 и 90 × 45 мм.

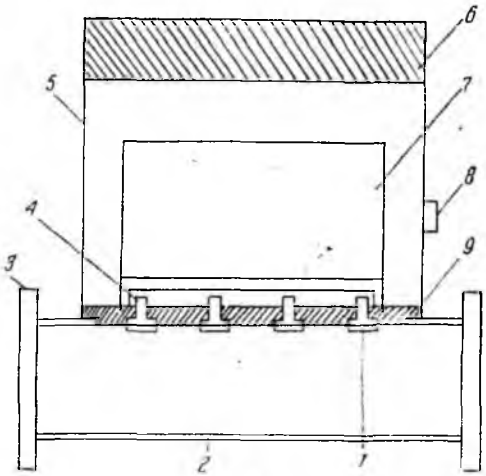

Рис. 1

Преобразователь (рис. 1) включает в себя чувствительный элемент *1*, его держатель *4*, волноводную вставку *9*, отрезок волновода *2* с фланцами *3*, платы предварительной обработки сигнала *7*, блок автономного питания *6*, электромагнитный экран *5* с разъемом *8* для подключения кабеля, соединяющего ПЭП с контрольно-измерительным прибором. Исполнение пиропреобразователя в виде выносного волноводного блока обеспечивает дистанционное наблюдение и регистрацию результатов измерений.

Основой конструкции являются пироэлектрические чувствительные элементы размером 4 × 4 × 0,5 мм, образующие согласованную в полосе частот волновода четырехэлементную неэквидистантную решетку. Пристенное размещение чувствительных элементов в волноводе и высокие диэлектрические свойства пироматериалов, исключающие их пробой при предельных напряженностях поля линии передачи, обеспечивают возможность включения преобразователей непосредственно в основной тракт СВЧ-систем с уровнем импульсной мощности до 20 МВт.

Для волноводных трактов больших уровней мощности удобен монтаж пироэлементов на съемном основании *9*, что упрощает сборку

БИБЛИОТЕКА ХИРЭ

узла на этапе изготовления пиропреобразователя и позволяет обеспечить неизменность длины тракта в эксплуатации на время ремонта либо замены пироэлементов путем установки герметизируемой вставки (заглушки) таких же размеров в месте основания *9*.

Замещение части узкой стенки волновода вставкой *9* практически не сказывается на его электрической прочности. Поверхности вставки притираются, что обеспечивает ее плотную посадку в паз волновода. Плотность потока просачивающейся энергии СВЧ не превышает 10 мкВт/см^2 на расстоянии 1 м от выносного преобразователя, что отвечает существующим нормам для внешних измерительных преобразователей ваттметров СВЧ большой мощности.

При использовании волноводных труб с утолщенными стенками (для волноводных сечений площадью 72 × 34 и 90 × 45 мм ГОСТ 20900—75 предусматривается изготовление латунных труб толщиной 2 и 5 мм) для упрощения конструкции пироэлемент может быть укреплен на держателе *4*, ввернутом непосредственно в стенку волновода. Работа источника энергии и питающих его устройств обусловливает сложную электромагнитную обстановку в зоне ПЭП. Это приводит к необходимости принятия мер по обеспечению помехозащищенности как конструкции выносного преобразователя, так и канала связи с контрольно-измерительным прибором. Именно с высоким уровнем помех в зоне тракта большой мощности связано расположение схемы предварительной обработки сигнала *7* непосредственно на волноводной секции преобразователя, питание ее от автономного источника *6* и устройство электромагнитного экрана *5*, защищающего их.

В качестве помехозащищенной линии связи, протяженность которой может достигать сотни метров, использован экранированный радиочастотный кабель.

Для предварительной обработки сигнала конструкция преобразователя включает платы устройства *7*, обеспечивающего согласование импеданса пироэлемента с измерительной цепью, усиление и суммирование сигналов многозондовой системы чувствительных элементов, а также преобразование амплитуды видеоимпульсов в соответствующий уровень постоянного напряжения, что обеспечивает помехозащищенность канала связи ПЭП с измерительным прибором.

Принципиальная электрическая схема такого устройства представлена на рис. 2. Видеоимпульсы положительной полярности, снимаемые с пироэлектрического чувствительного элемента, поступают на согласующий входной усилитель, выполненный на DA1 (544 УД 2А). Наличие регулировочного резистора R8 в цепи обратной связи позволяет компенсировать погрешности, возникающие из-за разброса параметров как самих элементов схемы, так и пироэлектрических чувствительных элементов. Дальнейшее усиление сигнала происходит с помощью усилителя DA2 (544 УД 2А), обладающего, как и предыдущий, возможностью плавной регулировки коэффициента усиления. При наличии нескольких входных усилителей каскад, выполненный на DA2, производит операцию суммирования сигналов. Для этого достаточно выходные разделительные конден-

саторы и резисторы согласующих входных усилителей подключить к инвертирующему входу операционного усилителя DA2. С выхода сумматора сигнал поступает на пиковый детектор, выполненный на VD1, (KD509) DA3 (159 НТ 18), DA4 (544УД 2А). Он позволяет запомнить информацию о максимальном уровне входного сигнала, преобразуя амплитуду импульсов в соответствующий уровень постоянного напряжения, пропорциональный амплитуде импульса, с последующим его запоминанием на время, варьируемое значением емкости С6. Пиковый детектор позволяет регистрировать входные

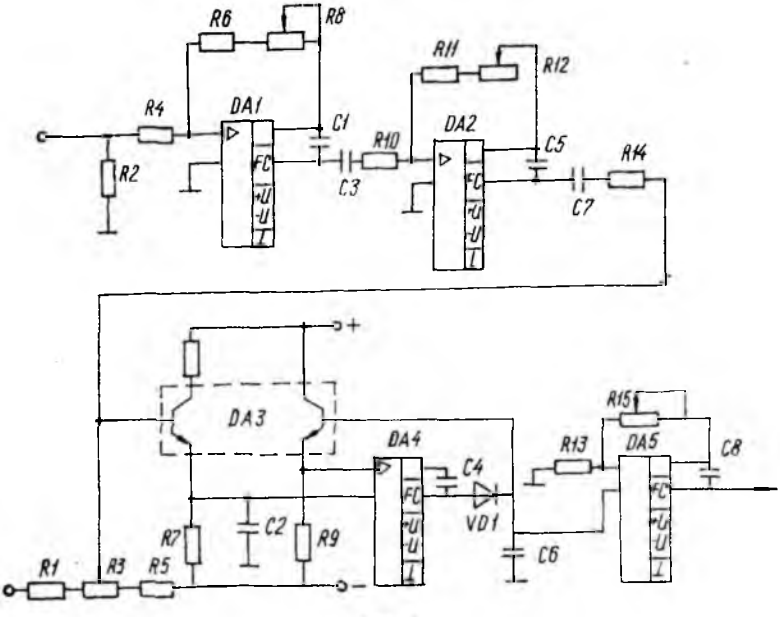

Рис. 2

импульсы длительностью от 0,1 мкс с частотой следования до 1 кГц. Введение регулировочного резистора R3 дает возможность линеаризовать характеристику детектора в диапазоне от 50 мВ до 8 В входного сигнала. Корректирующий усилитель на DA5 (544 УД2 А) является буферным каскадом, развязывающим запоминающую емкость пикового детектора С6 от нагрузки, и одновременно компенсирует потери напряжения в кабеле связи.

Устройство предварительной обработки сигнала запитывается от автономного источника и поддерживает работоспособность при изменении питающего напряжения от ± 15 до ± 10 В.

Таким образом, сигнал измерительной информации пироэлектрического преобразователя представляет собой изменяющийся уровень постоянного напряжения, передаваемый по кабелю связи на внешние устройства для дальнейшей обработки. Вывод измерительной информации в аналоговой форме в данном случае повышает помехозащищен-

ность всего пироэлектрического преобразователя, так как микросекундные импульсы помехи, равные по длительности, и синфазные с импульсами регистрируемого излучения, накладываясь на постоянное напряжение, не вызывают изменения его амплитуды. По кабелю связи изменяющееся постоянное напряжение подается на устройство выборки-хранения информации, что дает возможность работы с одиночными и редко повторяющимися импульсами. Затем сигнал подвергается аналого-цифровому преобразованию и через программируемый переферийный интерфейс при автоматизированной обработке данных измерений подается для окончательной обработки на микроЭВМ.

В конструкции волноводного пиропреобразователя (рис. 1) все схемы выполнены на трех платах методом печатного монтажа и разделены внутренними экранами. Платы предварительной обработки сигнала и ряд деталей конструкции ПЭП на волноводные сечения 90 × × 45 и 72 × 34 мм унифицированы. При необходимости унификация может быть практически полной для широкого ряда волноводных сечений. Реализация на основе пироэлементов многозондовых структур и удобство их сопряжения с средствами микровычислительной техники расширяют функциональные возможности пироэлектрических преобразователей и позволяют рассматривать их как перспективные первичные преобразователи СВЧ-диапазона, на основе которых целесообразно создание целого ряда измерительных устройств СВЧ: измерителей $K_{стU}$, полных сопротивлений, затухания, ваттметров пиковой и импульсной мощности и т. д.

Таким образом, пиропреобразователи могут рассматриваться как основной элемент при создании достаточно полного метрологического обеспечения сверхвысокочастотных трактов большой мощности.

Список литературы: 1. *Новик В. К., Гаврилова Н. Д., Фельдман Н. Б.* Пироэлектрические преобразователи. М., 1979. 176 с. 2. *Кременчугский Л. С., Ройцина О. В.* Пироэлектрические приемники излучения. К., 1979. 382 с. 3. *Ключник И. И., Новик В. К.* Пироэлектрические преобразователи в устройствах СВЧ // Электрон. техника. Сер. Электроника СВЧ. Вып. 10 (322). 1980. С. 63—65. 4. *Ключник И. И., Куценко Л. М.* Тепловой режим пироэлектрического преобразователя СВЧ // Радиотехника. 1987. Вып. 83. С. 44 — 51.

Поступила в редколлегию 20.04.87