

## МАЛОИНЕРЦИОННЫЕ ПЛЕНОЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СВЧ МОЩНОСТИ

*Е. А. Баймуратов, Л. И. Майоров*

Горький, Харьков

Необходимость все более точного измерения мощности определяет разработку и совершенствование ее преобразователей. При этом развитием СВЧ техники обусловлено создание быстродействующих преобразователей для систем автоматического регулирования, встроенного контроля и стабилизации мощности в непрерывном и импульсных режимах работы. К их числу относятся преобразователи (головки) с пленочными болометрами и термопарами на отрезках стеклянного волокна малого диаметра [1, 2]. Применение тонкопленочных слоев металлов и полупроводников открывает большие возможности для разработки болометров и термопар со специфическими параметрами.

Основным их достоинством (относительно объемных датчиков СВЧ мощности) является малая частотная вариация сопротивления, определяемая несоизмеримостью глубин скин-слоя и толщины пленки в диапазоне частот и позволяющая осуществить широкополосное высококачественное согласование пленочных болометров и термопар в измерительных головках при малой величине потерь.

Известные проволочные болометры для преобразования и измерения СВЧ мощности, изготовленные из тонкой платиновой («волластоновской») нити, при малой электрической прочности отличаются сравнительно узким частотным диапазоном (из-за влияния скин-слоя) и значительным разбросом характеристик (из-за отклонения диаметра нити от номинального). Новая конструкция термочувствительного элемента болометра представляет собою отрезок стеклянной нити малого диаметра с платиновым покрытием [1]. В измерительной головке термочувствительные элементы смонтированы на круглом слюдяном диске с системой контактов, обеспечивающей параллельное включение двух элементов на СВЧ. В цепь постоянного тока элементы включаются последовательно. Основным преимуществом новой конструкции болометров являются большая электрическая прочность, расширенный частотный диапазон и возможность изменения характеристики болометра изменением соответствующим образом диаметра волокна, материала пленки и ее толщины.

Измерительные головки М5-46 и М5-47, разработанные на основе использования пленочных малоинерционных болометров, применяются для измерения импульсной мощности в системах, основанных на дифференцировании интегрированного болометром СВЧ импульса. Однако наличие сложной структуры пленочного болометра, значительное различие тепловых параметров пленки и подложки обуславливали отличие процесса нагрева и остывания болометра при воздействии скачка мощности от экспонен-

нального, что определяет аномальную импульсную чувствительность и зависимость ее от длительности фронта импульса.

При исследовании согласования болометрических головок в дециметровом и сантиметровом диапазонах волн было установлено, что значительное влияние на качество согласования оказывают длина термочувствительного элемента болометра, высота его подъема над согласующими пластинами контактного узла, конфигурация замыкающей плоскости, согласующих пластин, индуктивных камер в наружном и внутреннем проводнике коаксиала. Влияние на согласование болометра с СВЧ трактом оказывает также сопротивление элемента болометра, что необходимо учитывать при работе головок в системах для измерения мощности в импульсе. Потери мощности в диэлектрических опорах, в подложке контактного узла и в других диэлектрических элементах головки вызывают отличие коэффициента преобразования от единицы на верхних частотах сантиметрового диапазона (до 3—5%). Зависимость коэффициента преобразования от частоты имеет вид кривой, плавно спадающей в области верхних частот. Измерительные болометрические головки М5-46 и М5-47 с малоинерционными пленочными болометрами могут также применяться для измерения мощности непрерывных колебаний и среднего значения мощности импульсно-модулированных СВЧ сигналов. Малая частотная зависимость коэффициента преобразования и быстродействия болометра определяют возможность использования головок в системах стабилизации мощности свип-генераторов, а также в панорамных измерителях СВЧ мощности.

Основным источником информации о рассеиваемой на входе головки СВЧ мощности является изменение сопротивления, вследствие чего изменение температуры окружающей среды в процессе измерения может привести к значительной ошибке при отсутствии термостатирования или соответствующей коррекции с помощью индикационной системы. С этой точки зрения значительное удобство представляют термоэлектрические преобразователи, выходной сигнал которых является функцией мощности и не зависит от вариации температуры окружающей среды.

Пленочная термопара преобразователя изготавливается на отрезке стеклянного волокна и выполняет одновременно роль нагрузки и элемента, преобразующего энергию СВЧ [2]. Чувствительность и быстродействие такой термопары зависят от физических свойств покрытия и подложки, а также от тепловязи термопары с элементами конструкции преобразователя. Термопара изготавливается как с непосредственным контактом ее рабочих ветвей, так и с разрывом их в месте включения сопротивления — концентратора рассеиваемой мощности. При этом термопара представляет собой последовательно включенные сопротивления, образованные пленками разнородных металлов на отрезке стеклянного волокна и являющиеся ее положительной и отрицательной ветвями. Для обеспечения стабильности параметров ветви наносятся через

подслои материала, обладающего достаточной адгезией к поверхности стекла. В термопаре имеются пленочные контакты для включения в цепь СВЧ токов и тока калибровки, а также защитное диэлектрическое покрытие, предохраняющее рабочие слои от окисления в процессе эксплуатации. Роль «концентратора» и дополнительного защитного покрытия выполняет пленка материала с относительно большим удельным погонным сопротивлением. При этом в месте разрыва ветвей термопары при сопротивлении концентратора, превышающем сопротивление ветвей термопары, наблюдается локальное выделение мощности, что обеспечивает большой градиент температур «горячего» и «холодного» спаев термопары, чем при их непосредственном контакте.

Коаксиальный преобразователь представляет собой отрезок СВЧ тракта, нагруженный на контактный узел с двумя диаметрально расположенными термопарами. Индуктивность термопар и пленочных контактных площадок, емкость торцевой поверхности центрального проводника и ряд других элементов преобразователя определяют реактивную компоненту комплексного сопротивления преобразователя на СВЧ, а следовательно, зависимость качества согласования от частоты. Уменьшение индуктивности нитевидных термопар в коаксиальных и волноводных преобразователях достигается путем шунтирования их пленочной металлической диафрагмой, являющейся продолжением пленочных контактов контактного узла термопары. При этом степень уменьшения индуктивности зависит от высоты подъема термопары над металлической плоскостью контактов и величины зазора диафрагмы. Компенсация емкости, образованной торцевой поверхностью центрального проводника СВЧ тракта, обеспечивается соответствующим подбором камер во внешнем проводнике коаксиального тракта в непосредственной близости к месту расположения термопар. Получаемый при этом резонансный контур имеет малую добротность из-за шунтирования его относительно малым сопротивлением термопары (50 Ом), чем обуславливается отсутствие экстремумов зависимости к. с. в. преобразователя от частоты.

При исследовании измерительных коаксиальных преобразователей на СВЧ установлено, что при соответствующем выборе согласующих камер к. с. в. их в широкой полосе частот (до  $16 \div 17$  ГГц) не превышает 1,35—1,5. Изменение коэффициента преобразования в рабочем диапазоне преобразователя составляет  $\pm 3\text{—}5\%$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Е. А. Баймуратов, А. Д. Селивановский. Автор. свид. № 178526, «Изобретения, промышленные образцы, товарные знаки», 1966, № 3
2. Е. А. Баймуратов. Пленочный датчик измерителя мощности СВЧ. Авт. свид. № 272610, «Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки», 1970, № 19.