

УДК 621.317

В. В. УСЭНҚОВ, В. П. МОРГАЛОВСКИЙ, Ю. И. СОКАЛИН

ИЗМЕРИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ ОДИНОЧНЫХ И РЕДКО ПОВТОРЯЮЩИХСЯ СВЧ-ИМПУЛЬСОВ

Для СВЧ-генераторов большого уровня мощности, работающих в режиме одиночных и редко повторяющихся импульсов, когда продолжительность излучения составляет единицы и десятки секунд, средняя мощность становится практически не контролируемым параметром. Это определяется, в частности, большим временем установления показаний жидкостных калориметрических ваттметров (от 30 с до 1 мин). В этом случае наиболее достоверной энергетической характеристикой является энергия импульса излучения.

Существующие измерители энергии одиночных импульсов, например, в области оптических частот [1] построены по методу статического калориметра, при котором измерительная информация представляется в виде амплитуды напряжения, пропорционального максимальному приращению температуры приемного преобразователя, в свою очередь, пропорционального энергии импульса излучения. Применение указанного способа измерения энергетических характеристик в СВЧ-диапазоне вызывает существенные трудности в его

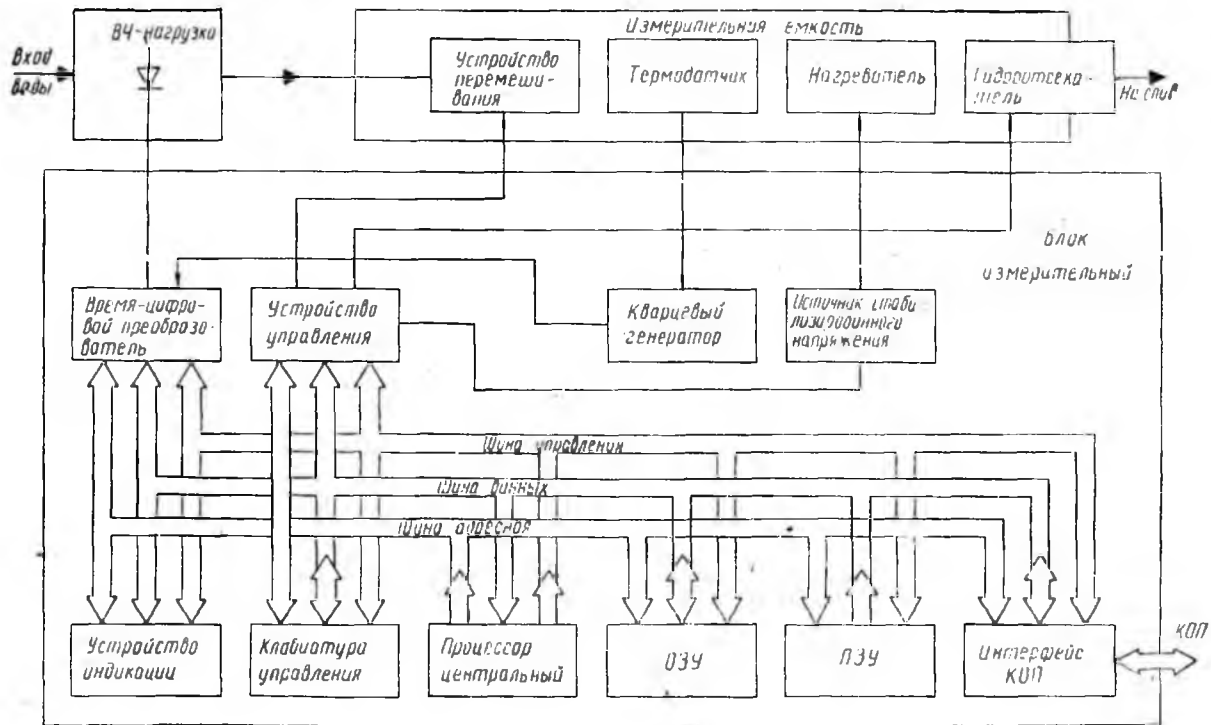
реализации, так как в калориметрических нагрузках большой мощности в качестве поглотителя используется дистиллированная вода, имеющая в силу своих диэлектрических свойств относительно небольшую глубину проникновения электромагнитного поля. Поэтому нагрузки в статическом режиме, т. е. без прокачки воды, работоспособны лишь для невысоких значений мощности в импульсе и его длительности.

Рассмотрим принцип и схему построения автоматизированного измерителя энергии одиночных и редко повторяющихся СВЧ-импульсов, в котором в значительной степени удалось избежать указанного недостатка [2].

Прибор состоит из трех блоков: калориметрической нагрузки, измерительной емкости и измерительного блока (рисунок). Калориметрическая нагрузка предназначена для преобразования СВЧ-энергии в тепловую при малых значениях различных неконтролируемых потерь. Калориметрическая нагрузка работает в динамическом режиме, т. е. с прокачкой воды, которая с поглощенной энергией импульсного излучения локализуется в специальном калориметре — измерительной емкости, а разность температур, соответствующая различным моментам времени (до и после воздействия импульса), служит мерой энергии импульса. Измерительная емкость представляет собой теплоизолированный сосуд цилиндрической формы с конфузуром, снабженный запорным вентилем с электромагнитным приводом, нагревателем, системой датчиков температуры и устройством перемешивания воды. Измерительный блок осуществляет измерение температуры в разные промежутки времени, преобразование температурных сигналов в код, вычисление разности температур, преобразование данной величины в масштабируемую величину энергии импульса с индикацией ее в цифровой форме. Кроме того, он обеспечивает автоматическую синхронную работу всего измерителя по заданному алгоритму.

Алгоритм работы прибора включает в себя следующие операции. До подачи СВЧ-импульса вода последовательно проходит через калориметрическую нагрузку, измерительную емкость и далее на слив. При подаче СВЧ-импульса по переднему фронту его огибающей, получаемой с помощью диодной детекторной секции, включенной с необходимым ослаблением параллельно калориметрической нагрузке, формируется команда об измерении начальной температуры. По этой команде снимаются сигналы с датчиков температуры, в качестве которых используются специальные кварцевые резонаторы с LC-срезом, позволяющие получить стабильный температурный коэффициент частоты при нелинейности, не превышающей 0,2 % в диапазоне температур 0 — 100°C. Частотный выход кварцевых датчиков дает возможность с минимальной погрешностью и минимальными аппаратными затратами получить информацию о температуре воды.

Дальнейший алгоритм работы измерителя предусматривает через определенное время задержки после окончания действия СВЧ-импульса подачу команды «закрыто» на запорный вентиль с электромагнитным приводом. По этой команде прекращается прохождение воды через измерительную емкость. Габаритные размеры измерительной



емкости выбираются с учетом необходимого расхода воды, симально возможной длительности импульса и условия «отсе», которое заключается в том, чтобы вода с преобразованной в тепло энергией импульса не вышла за пределы измерительной емкости. В целях минимизации габаритных размеров измерительной емкости в последней устанавливается турбулентный режим течения, характеризующийся прямоугольным распределением скоростей по поперечному сечению гидравлического канала. Одновременно с командой «за крыто» формируется команда, в соответствии с которой на фиксированное время включается устройство перемешивания воды (электродвигатель с мешалкой). После этого в емкости устанавливается равномерное поле. Энергия, выделяемая в результате перемешивания воды, впоследствии учитывается как систематическая ошибка. Производится измерение конечной температуры воды, аналогичное предыдущему процессу измерения начальной температуры. Устройство управления и обработки, реализованное на базе однокристалльного центрального процессора типа 580ВМ80, производит обработку поступающей в него информации согласно выражению $W = H(\bar{T}_{\text{кон}} - \bar{T}_{\text{нач}})$ (1), где W — энергия СВЧ одиночного импульса; H — тепловой эквивалент; $\bar{T}_{\text{кон}}$, $\bar{T}_{\text{нач}}$ — усредненные значения температуры воды в измерительной емкости после и до действия СВЧ-импульса.

Вычислим разность температур согласно выражению

$$\bar{T}_{\text{кон}} - \bar{T}_{\text{нач}} = \sum_{i=1}^n \frac{f_{\text{кон}i} - f_{\text{нач}i}}{\alpha_i n}, \quad (2)$$

где $f_{\text{кон}i}$ — частота кварцевого генератора с i -датчиком при температуре $T_{\text{кон}}$; $f_{\text{нач}i}$ — частота кварцевого генератора с i -датчиком при температуре $T_{\text{нач}}$; α_i — температурный коэффициент частоты i -датчика; n — количество кварцевых термодатчиков, использованных для измерения температуры в измерительной емкости.

Тепловой эквивалент измерительной емкости определяется экспериментально при калибровке ваттметра. При калибровке на фиксированное время $t_{\text{кал}}$ включается источник стабилизированного напряжения U_k , подключенный к нагревателю с сопротивлением R , размещаем в измерительной емкости

$$W_{\text{кал}} = \frac{U_k^2}{R} t_{\text{кал}} = H(t_k - t_1), \quad (3)$$

где $W_{\text{кал}}$ — энергия, поступившая в измерительную емкость от стабилизированного источника напряжения; t_1 — температура в измерительной емкости до подачи мощности; t_k — температура в измерительной емкости после подачи мощности и окончания работы устройства перемешивания

После окончания измерения температуры $T_{\text{кон}}$ формируется команда «открыто», поступающая на запорный вентиль с электромагнитным приводом, в результате которой открывается прохождение воды через цепочку нагрузка — емкость. После удаления воды с погло-

щенной энергией предыдущего импульса измеритель готов к приему нового импульса. Затем цикл работы повторяется.

Дополнительная информация о длительности измеряемого импульса, поступающая с детекторной секции, преобразуется с помощью время-цифрового преобразователя в двоичный код. Этим же преобразователем частота сигнала, поступающая с кварцевого генератора, преобразуется в информацию об измеряемой температуре. Полученные результаты преобразования позволяют кроме энергии импульса $W_{\text{и}}$ измерить его длительность $\tau_{\text{и}}$ и среднюю мощность в импульсе $P_{\text{ср.и}} = W_{\text{и}}/\tau_{\text{и}}$ (4).

С помощью клавиатуры управления задается требуемый режим работы прибора и вывод одного из измеренных параметров $W_{\text{и}}$, $\tau_{\text{и}}$, $P_{\text{ср.и}}$, выводимых на цифровое табло измерителя. Встроенный интерфейс канала общего пользования (КОП) позволяет работать прибору в АИС и обеспечивает вывод измеренных параметров в КОП и программирование из КОП режимов работы прибора. Часть интерфейсных функций в приборе реализована программным способом. Рабочая программа, реализующая алгоритм работы прибора, записана в постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) и занимает 8 Кбайт.

Расширение динамического диапазона прибора в сторону больших значений измеряемой энергии может быть достигнуто включением в режиме калибровки внешнего источника стабилизированной мощности и увеличением габаритных размеров измерительной емкости.

Методика поверки погрешности измерителя включает поэлементный метод суммирования частных составляющих погрешности с обязательной экспериментальной поверкой погрешности на токе промышленной частоты. В этом случае калориметрическая нагрузка заменяется нагревателем с системой подачи стабилизированной мощности тока промышленной частоты. Максимальное значение основной погрешности не превышает $\pm 10\%$.

Список литературы: 1. Катюк А. Ф. Измерение энергетических параметров и характеристик лазерного излучения. М., 1981. 200 с. 2. А. с. 470769 СССР. Измеритель энергии СВЧ-импульса/Попов Е. И., Усэнков В. В. // Открытия. Изобретения. 1975. № 18. С. 104.

Поступила в редколлегию 20.04.87