

## КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ СВЕРХБОЛЬШОГО УРОВНЯ

*А. Ч. Ким, В. П. Моргаловский, А. В. Морозов, Е. И. Попов,  
П. Е. Сурков, В. П. Ткаченко, В. Н. Чкана*

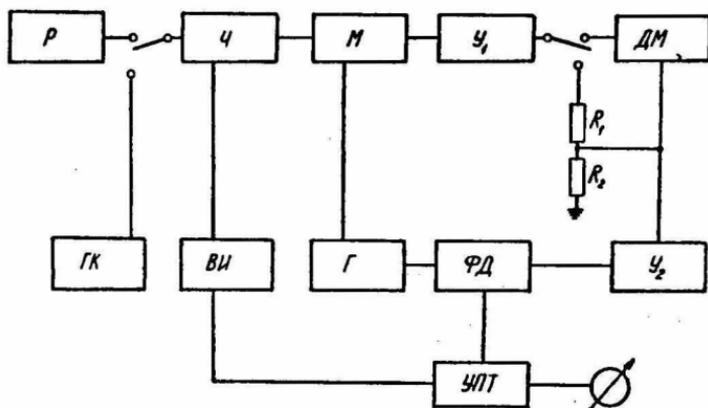
Харьков

В настоящее время наблюдается непрерывный рост выходных мощностей передающих устройств. Имеются сведения о разработке генераторов с выходной мощностью в непрерывном режиме 1000 кВт [1]. Промышленные же измерители мощности обеспечивают измерение средних уровней мощности до 2 кВт (МЗ-13/1) [2]. Калориметрический измеритель мощности (КИМ) МЗ-13/1 выполнен по схеме замещения. Применение метода замещения позволило избежать точного измерения расхода калориметрической жидкости. С увеличением верхнего предела измеряемых мощностей применение метода замещения нецелесообразно из-за увеличения мощности низкочастотного эквивалента. Поэтому в КИМ сверхбольшого уровня мощности, рассматриваемом в данной работе, применен метод прямого отсчета. Необходимые преобразования измеряемой разности температур и расхода осуществляются непосредственно в измерителе, так что показания выходного прибора пропорциональны измеряемой мощности. Для безопасности работы на больших уровнях мощности в КИМ предусматривается дистанционное управление.

Структурная схема КИМ приведена на рисунке. Прибор рассчитан на подключение к внешнему гидравлическому контуру. Для измерения разности температур в КИМ применяются термометры сопротивления марки ТСП-037  $k$ , включенные в дифференциальный мост (ДМ) с параллельным включением датчиков. Как известно [3], такая схема позволяет измерять разность температур с большой точностью, так как в ней существенно уменьшается погрешность за счет разброса характеристик датчиков.

Для измерения расхода применяется турбинный расходомер марки ТДР-25 (Р) с пределами измерения расхода 0,5 — 2,5 л/сек и точностью измерения 0,25%.

Сигнал с турбинного датчика расхода после усиления и формирования поступает на конденсаторный частотомер (Ч). Постоянное напряжение на выходе частотомера пропорциональ-



Структурная схема калориметрического измерителя мощности (КИМ):

Р — расходомер; Ч — частотомер; М — модулятор;  $У_1$ ,  $У_2$  — усилители низкой частоты; ДМ — дифференциальный мост; ГК — генератор калибровки; ВИ — выносной индикатор; Г — опорный генератор; ФД — фазовый детектор; УПТ — усилитель постоянного тока.

но расходу. Оно регистрируется стрелочными приборами на гидравлическом блоке, в блоке преобразования и индикации (БПИ) и выносном индикаторе, а также подается на схемупускowego контроля (на рис. не показана), которая отключает СВЧ-генератор при уменьшении расхода до 0,5 л/сек. Постоянное напряжение с выхода конденсаторного частотомера модулируется с частотой 1,5 гц и усиливается усилителем переменного тока ( $У_1$ ).  $У_1$  включает в себя фазоинверсный каскад и усилитель мощности, нагрузкой которого является термочувствительный мост (при измерении мощности) или эквивалент моста (сопротивления  $R_1$  и  $R_2$ ) при калибровке БПИ. В термочувствительном мосте производится перемножение результатов измерения расхода и разности температур. Сигнал разбаланса моста, пропорциональный измеряемой мощности, усиливается усилителем разбаланса ( $У_2$ ) на четырех кремниевых транзисторах и через двойной эмиттерный повторитель поступает на фазовый детектор (ФД), на который подается опорное напряжение от автогенератора (Г).

Чтобы исключить влияние изменения коэффициентов передачи конденсаторного частотомера и усилителей со временем на погрешность измерения в БПИ, используется высокостабильный генератор калибровки (ГК). Временная (в течение года) и температурная нестабильность генератора калибровки не более 0,4%.

Переключение шкал ваттметра осуществляется делителем мощности на выходе  $U_1$ .

В КИМ используется калориметрическая нагрузка с согласующим наклонным окном. Полоса согласования нагрузки на уровне КСВ 1,2 не менее 25%. Электрическая прочность нагрузки близка к электрической прочности регулярного волновода. Нагрузка удовлетворительно работает при достигнутых в настоящее время уровнях мощности. Тепловые потери в нагрузке не более 150 *вт*, инерционность менее 30 *сек*. Нагрузка позволяет работать при избыточном давлении воздуха в волноводе более 6 *ати* и давлении со стороны поглощающей жидкости более 14 *ати*.

Конструктивно КИМ выполнен в виде гидравлического блока, в котором размещаются термосопротивления, расходомер, регулятор расхода и прибор для контроля расхода, блока преобразования и индикации, выносного индикатора и калориметрической нагрузки.

Рассмотрим результаты испытаний и аттестации. Суммарная погрешность КИМ определялась поэлементной аттестацией. При аттестации БПИ термометры сопротивлений помещались в термостаты, разница температур между которыми измерялась образцовой термопарой. Вместо выхода расходомера на вход БПИ подавался сигнал с генератора ГЗ-3З, частота которого контролировалась частотомером ЧЗ-4А. Определение погрешности БПИ производилось сравнением мощности, вычисленной по показаниям образцовых средств, и мощности, отчитанной по КИМ.

Как показала аттестация, максимальная погрешность измерения мощности в динамическом диапазоне свыше 30 *дб* не более 3,3%. Основная ее часть (2,4%) приходится на систематическую погрешность аттестации БПИ. Погрешность за счет тепловых потерь пренебрежимо мала. Погрешность за счет нестабильности расхода почти полностью исключается, так как измерение расхода и разности температур происходит одновременно. Для того, чтобы исключить влияние очень быстрых флуктуаций расхода в КИМ, предусмотрена цепь задержки. При включенной задержке мгновенное изменение расхода на 10% вызывает изменение показаний КИМ не более 1%.

Гидравлическое сопротивление всей системы при расходе 2,5 *л/сек* не более 3 *ати*.

## ЛИТЕРАТУРА

1. The Electronic Eng , 27, 11, 1968.
2. Радиоизмерительные приборы (каталог-проспект), НИИЭИР, 1970.
3. Л. И. Боженко, Э. М. Гашпар, О. А. Кюздени. Контрольно-измерительная техника, вып. 4. Изд-во Львовск. ун-та, 1968.