

П.М. Зацепин, П.В. Малинин, Д.П. Зацепин
**Измеритель мощности СВЧ излучения
на основе микроконтроллера**

Введение. Анализ тенденций развития современных радиотехнических систем и устройств показывает, что одним из приоритетных в нашей стране и за рубежом направлений является создание высокоэффективных антенно-фидерных и СВЧ комплексов и оборудования, широко используемых как в военных, так и в общехозяйственных целях [1].

Сверхвысокочастотные (СВЧ) измерения – это измерения характеристик поля СВЧ диапазона (мощность, плотность потока, поляризация). Эффективность передающих и принимающих радиоустройств сверхвысокочастотного диапазона зависит от колебательного контура, располагающегося в выходном каскаде каждого устройства. Практически все приборы СВЧ диапазона используют для измерения какой-либо величины датчик, который обычно преобразует СВЧ колебания в измеряемый сигнал.

Существуют различные датчики измерения СВЧ мощности (диодный детектор, датчик Холла, термисторная головка). Например, термисторная головка изменяет свое рабочее сопротивление под действием СВЧ излучения. Это изменение сопротивления фиксируется каким-либо измерительным прибором. Датчик имеет некоторую инерционность вследствие СВЧ нагревания термистора. Недостатком является и то, что для различных диапазонов частот необходимы отдельные термисторные головки, это связано с нелинейной зависимостью сопротивления термистора в широком диапазоне частот (порядка 10 ГГц). К достоинствам термисторной головки относится простая схема включения [2].

Принципы измерения СВЧ мощности. Принцип действия подавляющего большинства измерителей мощности СВЧ, называемых ваттметрами, основан на измерении изменений температуры или сопротивления элементов, в которых рассеивается энергия исследуемых электромагнитных колебаний. К приборам, основанным на этом явлении, относятся калориметрические и терморезисторные измерители мощности. Получили распространение ваттметры, использующие пондеромоторные явления (электромагнитные силы), и ваттметры, работающие на эффекте Холла. Особенность первых

из них – возможность абсолютных измерений мощности, а вторых – измерение мощности независимо от согласования высокочастотного тракта. По способу включения в передающий тракт различают ваттметры проходящего типа и поглощающего. Ваттметр проходящего типа представляет собой четырехполюсник, в котором поглощается лишь небольшая часть общей мощности. Ваттметр поглощающего типа, представляющий собой двухполюсник, подключается на конце передающей линии, и в идеальном случае в нем поглощается вся мощность падающей волны. Ваттметр проходящего типа часто выполняют на основе измерителя поглощающего типа, включенного в тракт через направленный ответвитель.

Калориметрические методы измерения мощности основаны на преобразовании электромагнитной энергии в тепловую в сопротивлении нагрузки, являющейся составной частью измерителя. Количество выделяемого тепла определяется по данным изменения температуры в нагрузке или в среде, куда передано тепло. Различают калориметры статические (адиабатические) и поточные (неадиабатические). Во-первых, мощность СВЧ рассеивается в термоизолированной нагрузке, а во-вторых, предусмотрено непрерывное протекание калориметрической жидкости. Калориметрические измерители позволяют измерять мощность от единиц милливатт до сотен киловатт. Статические калориметры измеряют малый и средний уровни мощности, а поточные – средние и большие значения мощности. Все ваттметры диапазона СВЧ по точности измерений относятся к одной из следующих категорий: образцовые приборы 1-го разряда с относительной погрешностью измерений мощности 0,8–1,5%; образцовые приборы 2-го разряда с погрешностью 1,5–5%, рабочие измерительные приборы с погрешностью более 5%.

Возможность применения МК в СВЧ-приборах. Основное назначение МК в измерителе СВЧ мощности – это обработка измеряемых данных и управление процессом измерения. Как правило, у преобразователей СВЧ-сигнала зависимость, в данном случае мощности, от непосредственно снимаемой величины имеет нелинейный характер. Поэтому для представления измеряе-

мой величины в линейном виде прибегают к линеаризации датчиков (преобразователей СВЧ).

В аналоговых измерительных приборах используют аналоговое вычитание, компенсацию для представления измеряемой величины в исходном виде. С развитием современной цифровой техники стало возможным обрабатывать нелинейность датчиков цифровым способом. Для этого необходимо знать зависимость измеряемой величины от снимаемой и запрограммировать ее в микропроцессор. Тем самым, можно обойтись без сложных схемных решений по вычислению искомой величины.

В данной работе МК должен обрабатывать зависимость падающей мощности на термистор от напряжения разбалансировки моста. По экспериментальным данным, зависимость падающей СВЧ мощности на термистор от разбалансировки моста имеет сложный характер, но имеет также линейный участок. Так как зависимость $P(U)$ была выбрана на линейном участке, то не нужно линеаризовать данные. МК в данном случае будет вычислять линейную зависимость.

Требования к МК, применяемому в приборе. Во-первых, МК должен содержать АЦП (аналого-цифровой преобразователь), преобразующий входное напряжение в цифровой сигнал. Во-вторых, МК как процессор должен иметь необходимую вычислительную мощность для расчета зависимости СВЧ мощности от напряжения. В-третьих, МК должен обеспечивать вывод результата в соответствующем виде на модуль ЖКИ (жидкокристаллический индикатор). Так как измерений может быть большое количество, то необходимо наличие внешней памяти для сохранения результатов измерений. Для дальнейшей обработки измерений на компьютере необходим интерфейс для связи прибора с компьютером. Так как прибор должен быть портативным, то нужен МК, который содержал бы в себе как можно больше периферийных составляющих, в том числе и инструментальный усилитель для усиления сигнала до необходимого уровня. Вышеприведенным требованиям удовлетворяет МК ATmega 128.

Портативный измеритель СВЧ мощности на основе МК ATmega 128. Функциональная схема измерителя СВЧ мощности изображена на рисунке 1. Антенна А принимает СВЧ излучение и попадает на термисторы измерительной головки ИГ. Термисторная головка включена в резистивный мост (мост Уитстона) и под действием СВЧ излучения изменяет свое сопротивление. В результате сбалансированный мост выходит из баланса. Эта разбалансировка подается на инструментальный усилитель, находящийся в МК

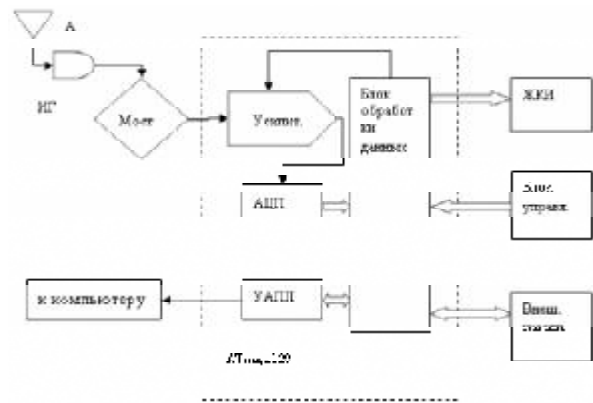


Рис. 1. Функциональная схема измерителя СВЧ мощности

(ATmega 128). С выхода МК преобразованные данные по-байтно передаются в энергонезависимую память (AT29C512). После чего данные преобразуются в соответствующие коды и выводятся на ЖКИ (HD44780u) [3]. После того как измерения закончены, можно передать данные из внешней памяти (AT29C512) через интерфейс УАПМ МК в компьютер, но прежде необходимо согласовать уровни между МК и последовательным портом (СОМ-порт) компьютера. На СОМ-порту напряжение может изменяться от -12 до $+12$ В, а для МК необходимы пятивольтовые уровни. Для этих целей применяется микросхема преобразования уровней MAX 232.

Применяемый датчик и его характеристики.

В данной работе предполагается использовать преобразователь измерительный первичный М5 – 38, который предназначен для измерения малой мощности СВЧ в волноводных трактах П-образного сечения. Этот преобразователь имеет следующие основные характеристики: диапазон частот преобразователя 5,64–16,7 ГГц (сечение волновода П-образное 17х8 мм), максимальная измеряемая мощность 10 мВт, коэффициент эффективности ($K_{эф}$) преобразователя в диапазоне частот равен 1 (погрешность $K_{эф}$ 6%), коэффициент стоячей волны ($K_{СВН}$) входа преобразователя не более 1,5, чувствительность преобразователя не менее 5 Ом/мВт и другие.

При подаче СВЧ мощности на преобразователь часть мощности не поглощается термистором, а отражается за счет неполного согласования преобразователя с остальным измерительным трактом. В этом случае мощность, подводимая к преобразователю,

$$P_{пад} = P_{моста} (1 + |\Gamma_T|^2) / \eta,$$

где $P_{пад}$ – мощность, подаваемая на вход преобразователя (измеряемая мощность); $P_{моста}$ – мощность, измеряемая выходным ваттметром тер-

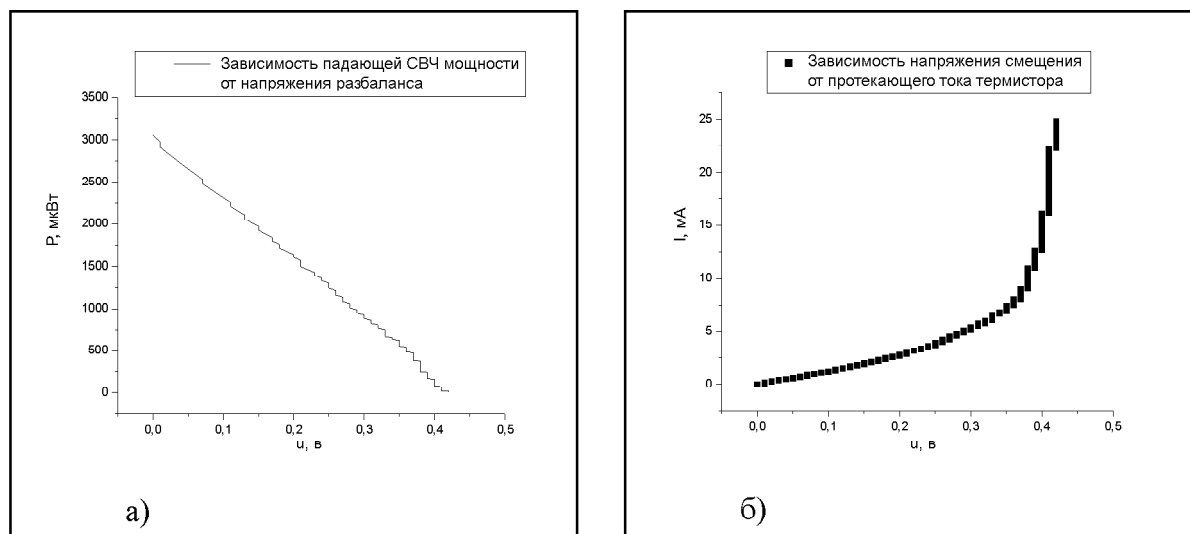


Рис. 2: а – зависимость падающей СВЧ мощности от напряжения разбаланса для термистора головки М5-42 (экспериментальные данные); б – зависимость напряжения смещения от протекающего тока термистора (экспериментальные данные)

мисторного моста; h – коэффициент эффективности преобразователя [4].

Предварительные измерения характеристик термистора в измерительной головке показали, что зависимость СВЧ мощности от напряжения разбаланса моста на частоте 9 ГГц имеет линейный характер (рис. 2а), а зависимость напряжения смещения на термисторе от протекающего через него тока имеет зависимость, представленную на рисунке 2б. С помощью первой зависимости в МК вычисляется измеряемая головкой СВЧ мощность, а с помощью второй – выбирается рабочий ток головки (около 3 мА).

Заключение. В результате проделанной работы спроектирован портативный измеритель

СВЧ мощности на основе термисторной головки и микроконтроллера ATmega128, с помощью которого можно строить диаграмму направленности антенн на персональном компьютере. Данный прибор может являться прототипом приборов подобного класса. Предполагаемые технические характеристики прибора: верхний предел измеряемой мощности – 6 мВт, частотный диапазон – 5,64–16,7 ГГц, напряжение питания – 9 В, потребляемый ток (при измерении) – 10 мА. Оценочная погрешность измерения при учете основных источников погрешности – погрешности АЦП, погрешности сопротивлений моста – составляет величину порядка единиц процентов.

Литература

1. Преображенский А.П. О возможности разработки подсистемы анализа САПР радиолокационных антенн. – Воронеж, 2005.
2. Мейзда Ф.Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений. – М., 1990.
3. Жидкокристаллический модуль ps-1602 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.gaw.ru/map/htm>, свободный. – Яз. рус.
4. Преобразователь измерительный первичный М5-38 / Техническое описание и инструкции по эксплуатации: ГВ4.681.018 ТО. – 1985.