

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СВЧ ВАТТМЕТРОВ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ

УЛУЧШЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМАТИЧЕСКИХ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ СВЧ

В. И. Осокин

Рязань

Работа большинства термисторных измерителей мощности СВЧ основана на проведении операции замещения измеряемой мощности СВЧ P_x эквивалентной ей по тепловому воздействию на термистор мощностью постоянного тока P_n .

Применение подобных измерителей в современных системах автоматического контроля сложных радиоэлектронных объектов не всегда рационально в силу их сравнительно малого быстродействия, чувствительности и необходимости введения дополнительных сложных узлов для преобразования получаемой информации в цифровую форму.

Исходя из этого разработаны измерители мощности СВЧ [1] частотно-импульсного типа. Они отличаются от известных тем, что мощность замещения образуется в них за счет импульсного напряжения постоянной амплитуды U_m , длительности τ и переменной (управляемой) частоты F . Измеряемая мощность определяется в этом случае простым соотношением

$$P_x = P_0 - P_{\text{имп}} = \frac{U_m^2 \tau}{4R_T} (F_1 - F_2) = K \Delta F_1, \quad (1)$$

где F_1 — частота импульсов замещения при отсутствии измеряемой мощности ($P_x = 0$);

F_2 — частота импульсов при подаче на термистор измеряемой мощности;

U_m и τ — соответственно амплитуда и длительность импульсов замещения.

Анализ подобных устройств показывает, что они отличаются от известных измерителей, выполненных на основе автобалансных мостов постоянного или переменного тока, большей помехозащищенностью, достижимой точностью и быстродействием.

Измерение очень малых или различие близких по значению мощностей вызывает необходимость в измерителях с возможно большей чувствительностью. В случаях применения их

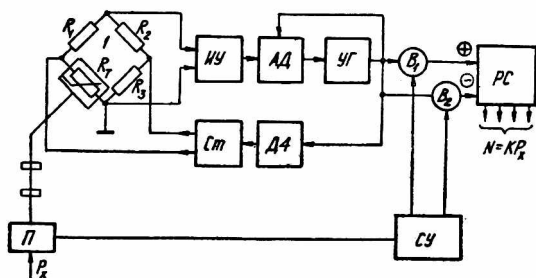


Рис. 1. Блок-схема цифрового измерителя СВЧ мощности повышенной чувствительности.

в системах автоматического контроля одним из важнейших качеств измерителя мощности становится быстродействие.

Из формулы (1) видно, что чувствительность измерителя по частоте при принятом значении сопротивления термистора $R_T = \text{const}$ можно увеличить путем уменьшения длительности импульсов, снижения амплитуды импульсов, а также увеличения разности частот ΔF .

Однако снижение амплитуды приводит к потере основного преимущества импульсных мостов — их высокой чувствительности по напряжению. Применение импульсов малой длительности связано со специфической особенностью импульсных мостов и возможностью появления дополнительной погрешности измерения, вызываемой наличием паразитных емкостей, которые шунтируют плечи моста.

С учетом сказанного и был разработан частотно-импульсный измеритель мощности СВЧ повышенной чувствительности, в котором увеличения чувствительности можно достигнуть простыми средствами и в широких пределах [2]. На рис. 1 показана несколько упрощенная блок-схема рассматриваемого измерителя. Сопротивление термистора R_T и три одинаковых резистора $R_1 = R_2 = R_3 = R_T$ образуют равноплечий мост 1, питаемый прямоугольными импульсами постоянной амплитуды U_m , длительностью τ и частотой F_1 , которые выбираются так же,

как и в первоначальной схеме [1] в соответствии с формулой для $P_x = 0$

$$P_0 = P_{\text{имп}} = \frac{U_m^2 \tau}{4R_{\text{то}}} F_1. \quad (2)$$

Мост при этом будет сбалансирован с тем большей точностью, чем выше коэффициент передачи разомкнутого контура самобалансирующейся системы. Остаточное напряжение разбаланса усиливается импульсным усилителем ИУ, детектируется следящим амплитудным детектором АД и после сглаживающего фильтра поступает на управление частотой управляемого генератора УГ. Параметры генератора подбираются так, чтобы при $P_x = 0$ частота F_1' генерируемых импульсов была в n раз больше частоты F_1 импульсов питания моста

$$F_1' = nF_1, \quad (3)$$

где n — желаемая кратность увеличения чувствительности схемы по частоте.

Полученные импульсы с генератора подаются затем, во-первых, на управляющий вход следящего детектора, во-вторых, на суммирующий и вычитающий входы реверсивного счетчика РС через вентили B_1, B_2 и на делитель частоты повторения ДЧ. С выхода делителя частоты импульсы частотой F_1 поступают после стандартизатора Ст длительности τ и амплитуды U_m на диагональ питания мостовой схемы 1.

С подведением к схеме измеряемой мощности P_x мост разбалансируется и снова приходит в равновесное состояние уже при новом значении F_2 частоты питания мостовой схемы, которое может быть определено по очевидной зависимости

$$P_0 = P_x + \frac{U_m^2 \tau}{4R_{\text{т}}} F_2. \quad (4)$$

Тогда измеряемая мощность определится из условия равенства левых частей выражений (2) и (4) по формуле

$$P_x = \frac{U_m^2 \tau}{4R_{\text{т}}} (F_1 - F_2) = \frac{\Delta F}{S}, \quad (5)$$

где S — чувствительность схемы по частоте в соответствии с выходной характеристикой частотно-импульсного автобалансного моста

$$\Delta F = SP_x. \quad (6)$$

Таким образом, в процессе измерения частота питания моста F_1 изменяется на величину ΔF , а частота генератора УГ — соответственно на

$$\Delta F' = F_1' - F_2' = n\Delta F = nSP_x. \quad (7)$$

Отсюда видно, что изменение частоты на выходе измерителя возросло в n раз по сравнению с устройством без делителя [1] при том же значении измеряемой мощности.

Следовательно, благодаря постановке делителя частоты ДЧ между выходом генератора УГ и стандартизатором Ст. в цепи питания моста, приращение частоты, регистрируемое счетчиком РС и определяемое данным значением измеряемой мощности P_x , увеличивается в n раз. Это позволяет простыми средствами либо повысить чувствительность прибора в n раз, либо при прежней погрешности дискретности уменьшить время измерения также в n раз. Верхняя граница возможной чувствительности определяется только флюктуациями частоты.

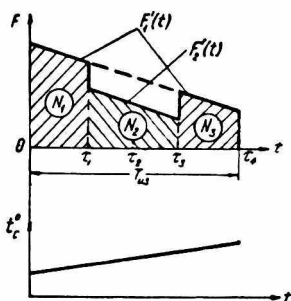


Рис. 2. Временные диаграммы работы цифрового измерителя СВЧ мощности.

В известных термисторных измерителях СВЧ мощности такое увеличение чувствительности неизбежно привело бы к большим погрешностям измерения, обусловленным нестабильностью температуры среды, которая окружает термисторный датчик, поскольку последний обладает значительным температурным коэффициентом. Рассматриваемое устройство позволяет за счет соответствующего выбора алгоритма работы практически полностью исключить эту составляющую погрешность измерения. Весь цикл измерения $T_{из}$ разбит на четыре такта одинаковой длительности $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_0 = 0,25 T_{из}$ (рис. 2).

В первый такт работы измерителя мощности СВЧ на термистор не подается и с выхода управляемого генератора частота $nF_1 = F_1'$ поступает на суммирующий вход РС, в результате чего в РС поступит число импульсов N_1 . Затем измеряемая мощность P_x через высокочастотный переключатель П, управляемый так же, как вентили B_1 и B_2 , схемой управления СУ, подается на термистор в течение времени $\tau_2 + \tau_3 = 0,5 T_{из}$. В результате этого с выхода УГ на вычитающий вход РС поступает частота $nF_2 = F_2'$, определяемая значением P_x ; на вычитающий вход РС поступит число импульсов N_2 . По окончании второго и третьего тактов работы схемы измеряемая мощность P_x снова отключается и выход УГ вновь подключается к суммирующему входу РС, позволяя записать в него за время новое число N_3 импульсов частотой F_1' .

Предположим, что температура окружающей среды возрастает за время измерения линейно, что вполне допустимо, поскольку за малый промежуток времени измерения (одна-две

секунды) скорость изменения температуры практически постоянна (рис. 2). Тогда под действием линейно возрастающей температуры частоты на выходе УГ линейно уменьшаются вследствие отрицательного значения температурного коэффициента сопротивления термистора. При этом временная функция выходной частоты УГ для первого и четвертого тактов работы измерителя имеет вид

$$F_1'(t) = S [P_0 - P_\theta(t)]. \quad (8)$$

Соответственно для второго и третьего тактов частота определяется следующим выражением:

$$F_2'(t) = S [P_0 - P_\theta(t) - P_x], \quad (9)$$

где $P_\theta(t) = \theta V_{t0} t$ — меняющаяся во времени мощность, эквивалентная воздействию на термистор внешней среды;

θ — коэффициент теплоотдачи термистора;

V_{t0} — скорость изменения температуры внешней среды;

t — текущее время.

Результирующее число импульсов, зафиксированное РС, определится из выражения

$$\Delta N = (N_1 + N_3) - N_2 = \int_0^{\tau_1} F_1'(t) dt + \int_{\tau_3}^{\tau_4} F_1'(t) dt - \int_{\tau_3}^{\tau_3} F_2'(t) dt. \quad (10)$$

После интегрирования получим

$$\Delta N = 0,5 T_{из} n S P_x. \quad (11)$$

Таким образом, результат отсчета линейно связан с измеряемой мощностью и инвариантен к любым нестабильностям температуры среды, окружающей термисторную головку. Это позволяет путем использования способа повышения чувствительности измерителя контролировать весьма малые уровни СВЧ мощности с высокой точностью, даже при условии резких перепадов температуры внешней среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Г. Карпов, С. В. Груздев, М. И. Фролин, В. И. Осокин, Н. Д. Дубовой. Измеритель СВЧ мощности. Авт. свид. № 272400. «Бюлл. изобрет.», № 19, 1970.
2. С. В. Груздев, Н. Д. Дубовой, Р. Г. Карпов, В. И. Осокин, С. И. Чибриков. Частотно-импульсный измеритель СВЧ мощности. Авт. свид. № 270887. «Бюлл. изобрет.», № 17, 1970.